วารสารวิชาการ โรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Royal Thai Naval Academy Journal of Science and Technology

ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มกราคม - ธันวาคม 2564
Vol.4 No.1 January - December 2021

ROYAL THAI NAVAL ACADEMY

ISSN : 2586-971x (Print)
ISSN : 2730-1389 (Online)

Available online at www.rtna.ac.th



ปณิธานโรงเรียนนายเรือ

“ ให้การศึกษาและฝึกอบรมนักเรียนนายเรือ
เพื่อให้เป็นนายทหารสัญญาบัตรที่มีความรู้
ความสามารถ ความคิดริเริ่ม มีความเป็นผู้นำ
เพียบพร้อมด้วยคุณธรรมจริยธรรม
สำหรับปฏิบัติราชการในกองทัพเรือ
รวมทั้งมีความจงรักภักดีต่อชาติ ศาสนา และพระมหากษัตริย์ ”

คณะที่ปรึกษาวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

พลเรือโท ไกรศรี เกษร	ผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรือ
พลเรือตรี ชาติชาย ทองสะอาด	รองผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรือ
พลเรือตรี ประชา สว่างแจ้ง	รองผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรือ
พลเรือตรี ประสงค์ สังข์ทอง	เสนาธิการ โรงเรียนนายเรือ
พลเรือตรี กิตติพงษ์ แดงมาศ	หัวหน้าฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
พลเรือตรี วัชรวีร์ พรสินยศภักดิ์	อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
น.อ.ประจิตร พิชัยศรทัต	รองหัวหน้าฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

บรรณาธิการ

นาวาเอก พนม คมสัน
ผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

กองบรรณาธิการ (ภายใน)

นาวาเอก พนม คมสัน	บรรณาธิการ
นาวาเอก สิงหชัย ประไพสุวรรณ	กองบรรณาธิการ
นาวาเอก พันธุ์นาถ นาคบุปผา	กองบรรณาธิการ
นาวาเอกหญิง รองศาสตราจารย์ ศิริรัตน์ บุญโสภา	กองบรรณาธิการและผู้ดูแลระบบ
นาวาเอกหญิง พัทยวดี ผาสุข	กองบรรณาธิการ
นาวาเอก รองศาสตราจารย์ ไกรสิทธิ์ มหิวรรณ	กองบรรณาธิการ และเลขานุการ
นาวาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพรัช ทัตตะทองคำ	กองบรรณาธิการ และผู้ช่วยเลขานุการ
นาวาเอก สมาน ได้รายรัมย์	กองบรรณาธิการ
นาวาเอก สานนท์ รักหนู	กองบรรณาธิการ
นาวาโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงศิษฏ์ ทวิชพงศ์ธร	กองบรรณาธิการ
เรือตรีหญิง จิราพร แก้วหิรัญทรัพย์	กองบรรณาธิการ
เรือตรี สัญญา วอนน้ำเพ็ชร	กองบรรณาธิการ และผู้ดูแลระบบ

กองบรรณาธิการ (ภายนอก)

พลเรือโท ไชยวุฒิ นาวิกาญจนะ	นักวิชาการอิสระ
พลเรือตรี วัชรินทร์ เครือดำรง	นักวิชาการอิสระ
พลเรือตรี คมสัน กลิ่นสุคนธ์	กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
พลเรือตรี ชัยฤทธิ์ เกิดผล	กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
นาวาเอก ฉัตรชัย เหลืองทองคำ	กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
นาวาโท รณกร ธาราเวชรักษ์	กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
นาวาโท รชต โอศิริ	กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
นาวาเอก วุฒิไชย ชินไชยมงคล	กรมกำลังพลทหารเรือ
นาวาเอก ประโยชน์ พรมมิ	กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ
นาวาเอกหญิง ลลิดา สวัสดิชัย	กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประนอม สุขเกื้อ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศรี บัณฑิตวิไล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ดร.สุภาพร โค้วนฤมิตร	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ดร.คุณานนต์ กิตติพุฒิ	นักวิจัยสังกัด ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีควอนตัม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยและบทความวิชาการ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่ผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ใหม่ทั้งด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมบทความวิจัยและบทความวิชาการที่น่าสนใจและมีคุณค่าทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วาระการเผยแพร่ ปีละ 1 ฉบับ (มกราคม – ธันวาคม)

สถานที่ติดต่อ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนนายเรือ เลขที่ 204 ถ.สุขุมวิท ต.ปากน้ำ อ.เมืองสมุทรปราการ
จ.สมุทรปราการ 10270
โทรศัพท์ : 0-2475-3986
E-mail: rtna.edu.hg@gmail.com

ออกแบบ – พิมพ์ที่ บริษัท แอดวานซ์ กราฟิ จำกัด
503 ถ.อิสรภาพ แขวงบ้านช่างหล่อ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700
โทรศัพท์ : 062-456-4855
E-mail : suwaboot.adg@gmail.com

บทความหรือข้อคิดเห็น ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
เป็นทรรศนะส่วนตัวของผู้เขียน โรงเรียนนายเรือและกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย



บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มกราคม - ธันวาคม 2564 ฉบับนี้ เป็นฉบับที่ 4 นับตั้งแต่ได้เริ่มจัดทำขึ้นมา อาจกล่าวได้ว่าเป็นวารสารที่ค่อนข้างใหม่ในวงการวารสารวิชาการ อย่างไรก็ตาม ทีมงานกองบรรณาธิการภายใต้การสนับสนุนและการดำเนินการของคณะทำงานจัดทำวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือได้พยายามทำให้วารสารของเรามีพัฒนาการที่ดีขึ้น โดยในปีที่ผ่านมาและปีนี้ ได้ใช้ระบบการจัดการวารสารออนไลน์ (Online Journal System : OJS) ของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai Journal Citation Index: TCI) ทำให้มีวารสารอิเล็กทรอนิกส์ที่อำนวยความสะดวกให้ผู้สนใจสามารถหาอ่านได้แบบออนไลน์ อีกทั้งมีการรับ - ส่ง บทความผ่านระบบการจัดการดังกล่าวเพื่อความสะดวกของผู้สนใจส่งบทความลงตีพิมพ์และเพื่อพัฒนาวารสารของเราให้มีคุณภาพยิ่งขึ้นไปอีก

ขอขอบคุณทุกท่านที่สนใจติดตามวารสารของเรา รวมถึงทุกท่านที่ส่งบทความมายังวารสารของเรา ในฐานะที่ท่านมีส่วนช่วยให้วารสารของเรายังคงอยู่และพัฒนาต่อไปได้ เพื่อเป็นช่องทางหรือเครื่องมือหนึ่งในการพัฒนาด้านการศึกษาต่อไป กองบรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อท่านผู้อ่านบุคลากรในแวดวงวิชาการและผู้สนใจติดตามวารสารของเราทุกท่าน

นาวาเอก พนม คมสัน

บรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ

ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สารบัญ

บทความวิจัย (Research Article) **หน้า**

Incorporating the Use of Time Series Remote Sensing Data to Assess the Vulnerability of the Thai Coast to Climate Change Induced Coastal Hazards 1

อนุกิน คงขาล

การพัฒนาโปรแกรมคำนวณหาตำบลที่เรือด้วยดาราศาสตร์ 19
(The Development of Computational Processing Program of Celestial Positionby the Principles of Astronomy)

พีรศิลป์ อนันยวราคม
ฤชา รัตนศีล

การบำบัดน้ำเสียจากการล้างไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์โดยการใช้โอโซน 34
ในระบบพลาสมาความดันสูง
(Treatment of Wastewater from Iso Tank Container Cleaning Process by Using High Pressure Plasma System Ozone)

วิชัย ลอยสรวงสิน

The Equi-Area/Ratio วิธีการใหม่ในการแบ่งเขตแดนทางทะเล 46
(The Equi-Area/Ratio The New Method for Maritime Delimitation)

สมาน ได้รายรัมย์

การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการหาปริมาณสัมพันธ์ของไอออนเชิงซ้อน 63
ระหว่างออกโซวานาเดียม (IV) กับกรด 1-ไฮดรอกซี-2-ไพริดิโนน-6-คาร์บอกซิลิก
ในสารละลายกรดอะซิติกโดยวิธีทางสเปกโทรโฟโตเมตริก
(Preliminary Study on Stoichiometric Determination of The Complex Ion between Oxovanadium (IV) and 1-Hydroxy-2-Pyridinone-6-Carboxylic Acid in Acetic Acid Solution Using Spectrophotometric Methods)

สมศักดิ์ ศิริไชย
ไมโค ซีกเลอร์
ขจัดภัย ทิพยผ่อง

สารบัญ

บทความวิชาการ (Academic Article) **หน้า**

ความแม่นยำของการใช้แบบจำลองการถดถอยพหุคูณในการวิเคราะห์ฐานข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบมีเงื่อนไขเพื่อการคาดการณ์ผลการเรียนของนักเรียนนายเรือ 76
(The Accuracy of Multiple Regression Models in Conditional Randomized Database Analysis to Predict Academic Performance of Naval Cadets)

ศศิธร คงอุดมทรัพย์
พงศิษฏ์ ทวิชพงศ์ธร

แนวทางการควบคุมอัคคีภัยและความเสียหายขั้นสูงในเรือรบ 89
(Approaches to Advanced Fire and Damage Control on Battleship)

วีระ บุญผุด

การกำเนิดเสียงของโซนาร์ที่ส่งผลต่อการตรวจจับวัตถุใต้น้ำ 107
(Sonar Sound Generation that Affects Underwater Object Detection)

อัศนัย ไทรบุญจันทร์

สัมประสิทธิ์ดิวิเอชั่นและการคำนวณหาค่าดิวิเอชั่นเข็มทิศแม่เหล็ก 124
(Coefficient of Deviation and Magnetic Compass Deviation Calculation)

พีรศิลป์ อนันยวราคม

แนวทางการบริหารจัดการระบบสารสนเทศเพื่อการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของหน่วยงานรัฐ 135
(Guidelines for Information Systems Management to Protect Personal Information of Government Agencies)

ดร.อรรถพล ป้อมสถิตย์

Incorporating the Use of Time Series Remote Sensing Data to Assess the Vulnerability of the Thai Coast to Climate Change Induced Coastal Hazards

อนุทิน คงขาล[1]
Anutin Khongkhan[1]

Received : April15, 2021
Revised : May3, 2021
Accepted : May7, 2021

Abstract

The climate change has the direct and indirect effects on natural negative changing such as disasters, animal and forestry reduction and habitat loss. Coastal changes including accretion and erosion are also affected by climate change which tend to intensify. Samut Prakan and Chachoengsao are two of the coastal provinces in Thailand having high economic and population growth which lead to the increment of coastal land use and the destruction of coastal resources. In addition, the characteristics of muddy coasts in Samut Prakan and Chachoengsao are susceptible to sediment movements. These cause severe coastal erosion in Samut Prakan and Chachoengsao. This project aims to provide the data of coastal erosion/accretion in Samut Prakan and Chachoengsao, over 40 kilometres long, from 2017 to 2020. The rates of coastal changes would be generated and calculated by Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v.5, the extension of ArcMap, based on the statistical concept of a linear regression. In addition, the image processing uses PlanetScope satellite imagery and the Normalised Difference Water Index (NDWI), spatial analysis function in ArcGIS, in water extraction process. The result shows that 40.33% of the study area are eroded while 59.67% are accreted. In addition, each part of study areas has different rates of shoreline changes depending on the diversity of coastal impacts and protections. Coastal protections including hard-engineered structures, soft protection

[1] กองภูมิสารสนเทศทางอุทกศาสตร์ ศูนย์ข้อมูลข่าวกรองภูมิสารสนเทศทางอุทกศาสตร์ กรมอุทกศาสตร์
Hydrospatial Division, Hydrospatial Intelligence Center, Hydrographic Department,
E-mail: anutin.hydronavy@gmail.com

structures and shoreline protection from nature, especially mangroves, as well as climate change are the main concerns of shoreline changes in this project analysis. The coastal protections play the vital role in preventing shoreline erosion from offshore factors, such as the intensify of winds, waves and marine disasters, and onshore factors, such as land subsidence and coastal land use. Furthermore, the result also infers that the order of coastal protection placement has the potential influences on preventing the shoreline from erosion as well as sedimentation increment of muddy coasts.

Key words: "Thailand", "Coastal Erosion", "Remote Sensing", "DSAS", and "NDWI"

1. Introduction

Around one-third (15-40%) of world's population live in coastal areas [1]; therefore, a large number of people impacted by coastal problems. Due to an increasing human population, there is a higher demand on using coastal resources as evidenced by the expansion of communities, number of residents and construction near coastal areas. This leads to various coastal hazards, especially coastal erosion [2]. There are two main coastal characteristics in Thailand including: (1) sandy coast (most coasts) and (2) muddy coast (along the inner upper Gulf of Thailand) [3]. It seems that the muddy coast would have higher rate of coastal accretion and erosion due to its characteristics than the sandy coast. Furthermore, the muddy coast is also mainly involved in both ecosystem and economy growth in Thailand [3]. Samut Prakan and Chachoengsao are muddy coastal provinces which have received significant effects from coastal erosion; therefore, Samut Prakan and Chachoengsao are the focus of this research.

The coastal management mostly depends on the measurement and prediction of shoreline changes; therefore, DSAS - Digital Shoreline Analysis System, the extension of analysis tools in ArcGIS, has been widely used in calculating and processing the coastal changes [4]. In addition, the high-resolution satellite imagery could be used to improve the analysis regarding the accuracy in pixels [4]. Therefore, using DSAS with high-resolution imagery could provide high credibility in the analysis of coastline changes

1.1 Aim and Objectives

The aim of this research is to assess the vulnerability of the Thai coast to climate change induced coastal hazard by using time-series remote sensing data. The result would be

illustrated in maps showing the rate of shoreline changes using the PlanetScope satellite imagery from 2017 to 2020. This will be achieved through the following objectives: (1) the image processing with ArcGIS Pro and ArcMap software, (2) the image calculation by the Normalised Difference Water Index (NDWI), spatial analysis function in ArcGIS Pro, and Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v.5, an extension of ArcMap, as well as (3) the qualitative ground validation. In addition, the causes and effects in accordance with the result will also be discussed.

2. Literature Review

2.1 Study Area

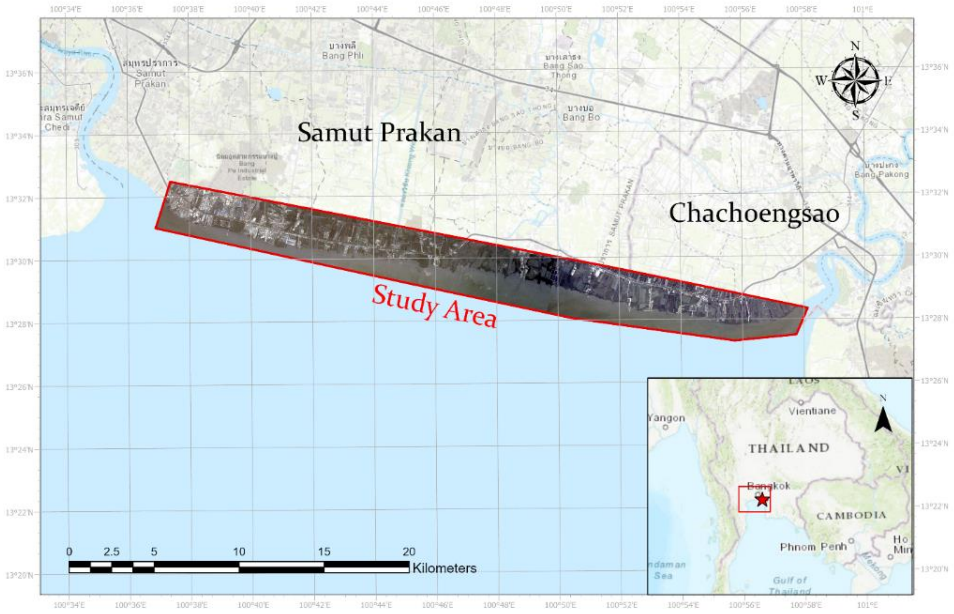


Figure 1 Coastal areas of Samut Prakan and Chachoengsao provinces in the inner upper Gulf of Thailand shown by PlanetScope imagery in 2020.

According to [5], Samut Prakan and Chachoengsao (Figure 1) have long muddy coastal area, more than 40 km., as well as receive the severe effect on coastal erosion in the past. According to the study of [3] by using 30-m-resolution LANDSAT satellite imagery, between 1989 and 2010 (20 years), the coasts in some areas of the two provinces have been eroded over 660 m. or around 33 m. per year.

2.2 Coastal erosion factors

According to [3], the height of offshore wave is approximately 2.4 m with 7.7 s. period. The direction of waves is from south and south-west as well as the mean high-water level is 1.4 m above mean sea level. Furthermore, the beach slope of study area was less than 1:300 as well as the study area has been protected by; (1) hard coastal protection structure (low-crested revetment and sand-filled geocontainer or sand sausages) and (2) soft breakwaters (bamboo fencing) since 2010 [3]. Consequently, there are one factor causing natural forces, winds and waves, as well as the other factor protecting that forces which are coastal protection structures.

2.3 Remote Sensing

In recent decades, remote sensing is one of the most useful technique in analysing large area data in terms of area classification and monitoring the changes over time [6]. To model and calculate complex data, geographic information systems (GIS) also considered as one of the effective analysis tools from the acquired Remote Sensing data (e.g. aerial photograph and satellite images) [6]. The erosion rate normally has been computed and analysed to observe and monitor the sediment movement and natural process related to the unique of each area [6]. The remote sensing approaches used in this project compose of the Normalised Difference Water Index (NDWI) and Digital Shoreline Analysis System (DSAS).

2.3.1 The Normalised Difference Water Index - NDWI

Water resource and coastal managements has been developed and effective by using remote sensing outcomes and analysis [7]. The data from satellite imagery could extract the land and water area by using computation of single band and multi band method [8]. However, the multi-band method seems to outweigh to detect the difference between open-water and land area. Each involved band within multi-band imagery is distinct on detecting specific area [7]. The NDWI was proposed in 1996 by McFeeters [8]. The index composition/equation uses the difference signature between visible and near infrared (NIR) wavelength. By this calculation, the reflection water features are enhanced while the land and vegetation are decreased except the build-up land due to the mixed noise [7]. The equation would be shown as follows;

$$NDWI = \frac{Green\ wavelength - NIR\ wavelength}{Green\ wavelength + NIR\ wavelength} \quad \text{Eq. 1}$$

While Green wavelength could be reflected significantly by water, NIR wavelength would be absorbed significantly by water. Moreover, NIR wavelength could be reflected significantly by vegetation and soil features

2.3.2 Digital Shoreline Analysis System - DSAS

Remote sensing data by using satellite imagery has been widely use to analyse the shoreline changes related to time-series [2]. In addition, the DSAS software start developing in early 1990s which try to help calculating the coastal rate of change by providing statistics outcomes for a time series [4]. DSAS, the extension of analysis tools in ArcGIS, has been widely used in calculating and processing the coastal changes [4]. The process consumes short amount of time while providing high effective outcome to understand the coastal process in specific areas [2].

The changes over time of coastal erosion and accretion in large area could be measured and analysed by extracting/digitising shoreline from satellite imagery [6].

3. Methodology

3.1 Satellite Datasets

The satellite imagery in the process using PlanetScope imagery cover the study area, over 40 km. long. The specification and information of PlanetScope and its satellite imagery are provided as shown in Table 1

Table 1 PlanetScope characteristics including satellite numbers, bands and resolutions [8]

Number of Satellites	Band	Spatial Resolution	Temporal Resolution
Approx. 170	Band 1 (blue) 455-515 nm Band 2 (green) 500-590 nm Band 3 (red) 590-670 nm Band 4 (near infrared) 780-860 nm	3.7 m.	Daily

Planet is the operational satellite imagery company which launched a group of PlanetScope, named flocks. This composes of 170 small cubic satellites, known as 'doves', which have dimensions 10 cm × 10 cm × 30 cm. [9].

The period of satellite imagery using in the study is on March of 2017, 2018 and 2020 which aim to mitigate the monsoon wind factor in accordance with the literature review. In addition, the coordinate system using for this satellite imagery is WGS 1984 UTM Zone 47N which has already been automatically set as the default of the PlanetScope satellite imagery in this area.

3.2 Image Processing

This project using ArcGIS Pro for preparing data as well as ArcMap 10.6.1 with DSAS v.5 extension in coastal erosion/accretion calculating process. The summary process would be shown in Figure 2

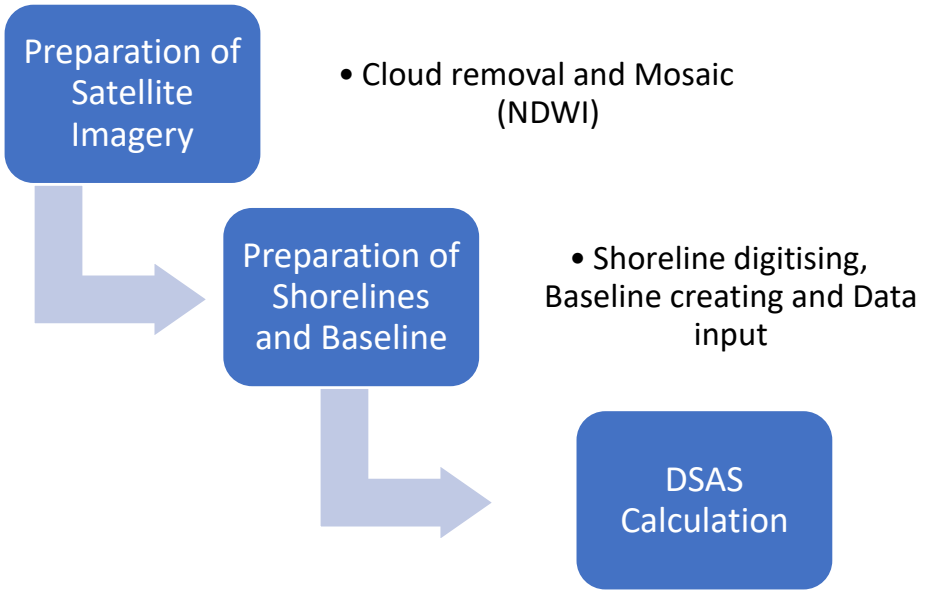
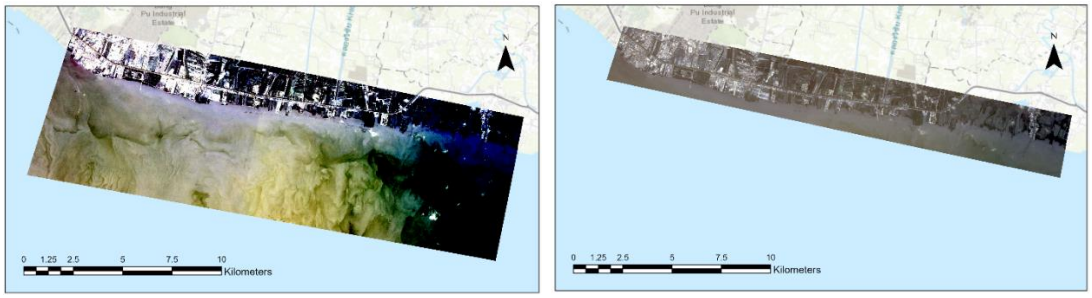


Figure 2 A Workflow Diagram of image processing by using ArcGIS pro, ArcMap and DSAS v.5, the extension of ArcMap before producing outcomes.

The acquired imagery has large areas on water covered by clouds (Figure 3); therefore, the polygon feature is created to use in clipping clouds which would benefit the mosaic process.



(a) (b)

Figure 3 The PlanetScope satellite imagery (a) with cloud (original) and (b) without cloud.

The advantage of NDWI is that the extracted water is distinctive when comparing vegetation and soil features with open water. On the other hand, the contrast between water and built-up land by using MNDWI is distinguishing [8]. In addition, the coastline of study areas composes of mangroves, mud, soft and hard coastal protection structures as well as open water. From these factors, it seems that NDWI is more suitable for this study area than MNDWI. Therefore, NDWI was used in the mosaic calculation.

This means that the digitising process would have more precise and accuracy because the uncertainty from human error would be lessen (Figure 4).



Figure 4 Digitising process using PlanetScope satellite imagery in 2017.

After digitising coastlines in 2017, 2018 and 2020, all data were merged (Figure 5), and then created buffer. The buffer distance would be used as the range between baseline and shoreline so the distance should base on previous erosion rate from 1989 to 2010 which was around 33 metres/year. The period of the PlanetScope satellite imagery in this project is 4 year; therefore, the erosion would be approximately 132. Consequently, setting baseline range at 150 metres is reasonable. After that, the 3 objectIDs of created buffer would be merged (Figure 6).

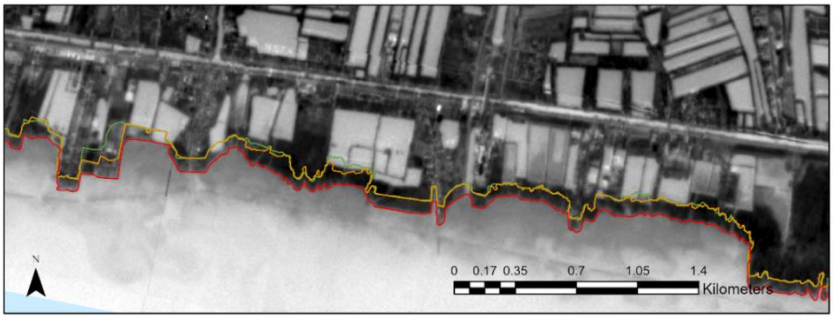


Figure 5. The coastlines in 2017, 2018 and 2020.

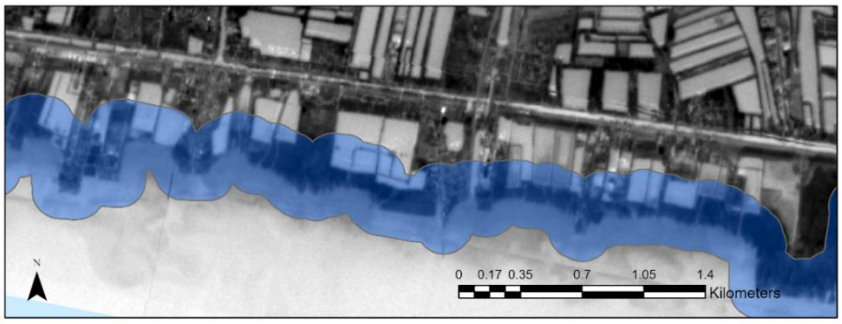


Figure 6. A buffer from the coastlines using for the baseline creation

The merge shoreline would be used as shorelines while the buffer range (upper/land side) would be used as a baseline (Figure 7).

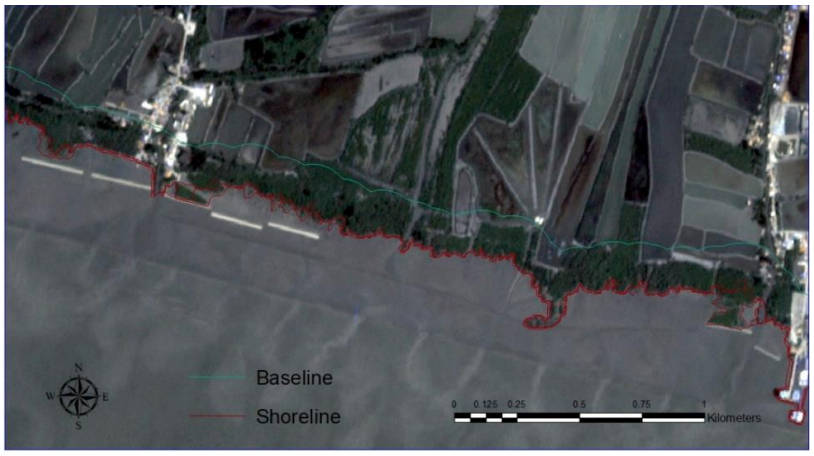


Figure 7. Baseline and shorelines using in DSAS calculation process.

The new feature class of attribute table would be created by following the DSAS v.5 extension requirement as shown Table 2.

Table.2. Attribute table of shoreline and baseline including field names and data types.

Shoreline		**Baseline**	
Field Name	Data Type	Field Name	Data Type
OBJECTID	Object ID	OBJECTID	Object ID
SHAPE	Geometry	SHAPE	Geometry
Shape_length	Double	ID	Long Integer
DSAS_date	Text	Group	Long Integer
DSAS_uncy	Double	Search_distance	Short Integer
		Type	Short Integer

The personal geodatabase, known as .mdb file, was created for computation in the DSAS process by using data from baseline and shoreline in file geodatabase, known as .gdb file. If there are the attribute tables/fields missed from creating feature class, the Attribute Automator could be used to add that fields.

The baseline, shoreline parameters setting would be added as shown in Table 3.

Table 3. Baseline and shoreline parameters.

Baseline Parameters		**Shoreline Parameters**	
Baseline Layer	Baseline	Shoreline Layer	Shoreline
Baseline ID Field	ID	Shoreline ID Field	DSAS_date
Baseline Group Field	Group_	Shoreline Uncertainty Field	DSAS_uncy
Baseline Search Distance	Search Distance	Default Data Uncertainty	10
Baseline Orientation	Right	Seaward Intersect	
Baseline placement	Onshore	Log File Output	Extended
Log File Output	Extended		

The uncertainty of digital pixels from PlanetScope is equal to 3.7 metres (Table 3). Furthermore, the digitising process potentially has human error. Therefore, the uncertainty in the Transect process should be 10 metres.

The baseline orientation (Table 3.) could be illustrated as shown in Figure 8.



Figure 8. Baseline orientation using in attribute table.

After setting default parameters, the transect has already to be created by using Cast Transect and input data as shown in Table 4.

Table 4. The maximum distance using in Cast Transect.

Maximum Search Distance	
From Baseline	450
Transect Spacing	30
Smoothing Distance	1200

The transect lines generated from Table 4 could cover coastlines in most of the study area (Figure 9).

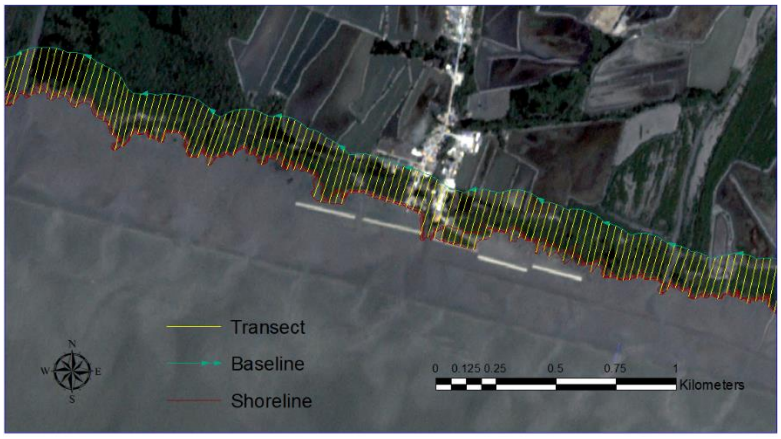


Figure 9. Transect lines between baseline and shorelines.

After that, the transect lines would be used to calculate SCE, NMS, EPR, LRR and WLR with 99% confidence interval due to the uncertainty setting from Table 3. Furthermore, the results from transect calculation could display SCE or NMS in distances as well as EPR, LRR or WLR in rate per year by selecting on the DSAS data visualisation. In this study, the LRR would be used as the calculation method due to the suitability and high credibility of statistical concept as illustrated in the literature review.

The erosion/accretion rate would be categorised into 6 levels; (1) very high erosion (30-40 metres/year), (2) High erosion (15-30 metres/year), (3) moderate erosion (0-15 metres/year), (4) moderate accretion (0-15 metres/year), (5) high accretion (15-30 metres/year) and (6) very high accretion (30-40 metres/year).

4. Result and Discussion

4.1 Result

4.1.1 The DSAS data summary

After DSAS calculation, the DSAS extension would produce the DSAS data summary which provide results of coastal changes including distances (minimum, average and maximum) in metre and metre/year as well as percentages and numbers of transect in both negative and positive values. The important calculating outcomes would be shown in Table 5.

4.1.2 DSAS result analysing

When the study area observed, there were four main human activities to protect the study area; (1) Off-shore coastal protection structures – breakwaters, (2) Coastal protection along the shore – seawalls and revetments, (3) Soft coastal protection structures – bamboo fencing and (4) mangrove planting projects. The protections of the above factors are different along each coastal part of the study areas; therefore, the study area distribution would be significantly useful and effective in analysis.

As following the DSAS (Figure 10), to explain the study thoroughly, the study areas would be separated into four parts including: (1) study area A covering the west area which has no breakwaters, (2) study area B covering the middle-west area which has breakwaters, (3) study area C covering the middle-east area which has breakwaters and (4) study area D covering the East area which has no breakwaters.

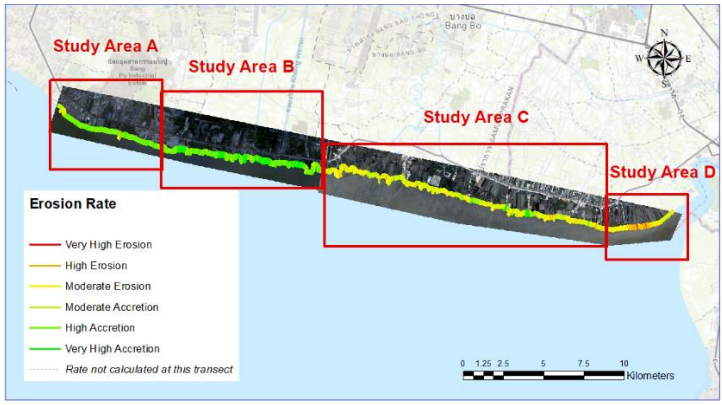


Figure 10. The map showing the 4 study areas in result analyzing.

Table 5. DSAS summary transect data of the shoreline changing from 2017 to 2020.

	Average distance/rate	Minimum distance	Maximum distance	Percent of all transects that have a negative distance/rate	Average of all negative distances/rates	Percent of all transects that have a positive distance/rate	Average of all positive distances/rates
DISTANCE: SCE (Shoreline Change Envelope, m)	51	0.35	499.06				
DISTANCE: NSM (Net Shoreline Movement, m)	27.18			27.18%	-23.18	58.11%	63.49
RATE: EPR (End Point Rate, m/yr)	8.91			41.89%	-7.6	58.11%	20.8
RATE: LRR (Linear Regression Rate, m/yr)	9.82			40.33%	-7.58	59.67%	21.57
RATE: WLR (Weighted Linear Regression, m/yr)	9.82			40.33%	-7.58	59.67%	21.57

.

4.1.3 Study Area A



Figure 11. Study Area A – West area without outer coastal protections.

The result from Figure 11 shows that the coastal areas, in study area A, are noticeably increased in the high and very high accretion rates, principally; however, there are some part on the left having a moderate erosion rate. Furthermore, the coastal structures in the study area A, from qualitative ground validation, mainly compose of revetments and seawalls on-shore, while dense mangroves and bamboos fencing off-shore. By these evidences, it could be assumed that the integrated coastal protections in this area could manage the coastal problem.

4.1.4 Study Area B

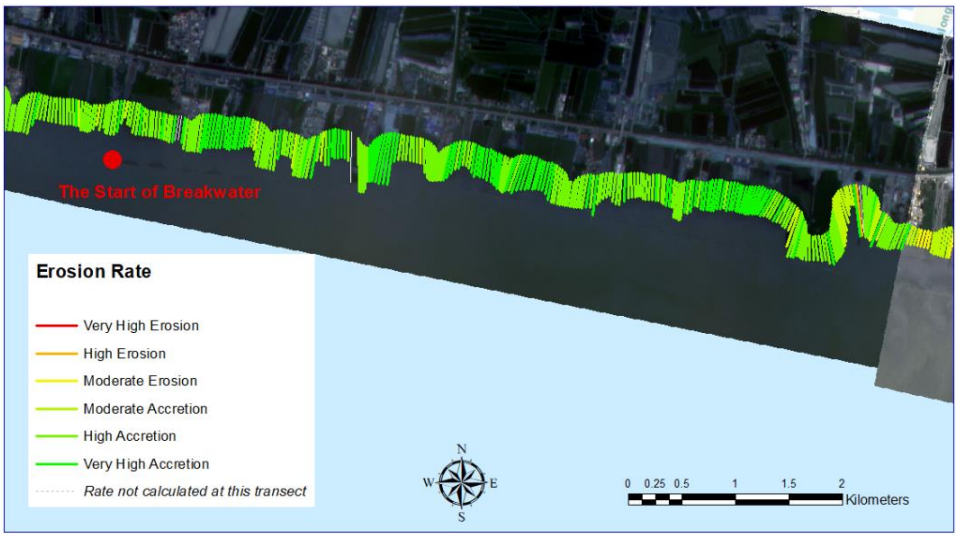


Figure 12. Study Area B – West area with outer coastal protection.

The coastal changes in the study area B are quite similar to the study area A which means that most of the coastal areas have increased since 2017; however, some parts of shoreline on the East have slightly been eroded in the moderate accretion rate (Figure 12).

4.1.5 Study Area C



Figure 13. Study Area C – East area with outer coastal protection.

The coastal changes in the study area C are mostly erosion which is in moderate erosion rate (Figure 13). Although the coastal structure types in the study area C are similar to the study area B which compose of breakwaters, revetments, seawalls, mangroves and bamboo fencing, the arrangement of coastal protection is different. In this area, the hard-coastal protection structures are located outside covering the mangrove areas inside. On the other hand, the study area A and B have mangroves and bamboo fencing outside, excluding breakwaters.

This could be assumed that coastal protections from nature, bamboo fencing and especially mangroves, could not only prevent the shoreline erosion, but it is also able to preserve and collect muddy sediment to help increasing coastal areas. In contrast, the hard-engineered structures could merely reduce the rate of coastal erosion in the muddy coastal areas.

4.1.6 Study Area D

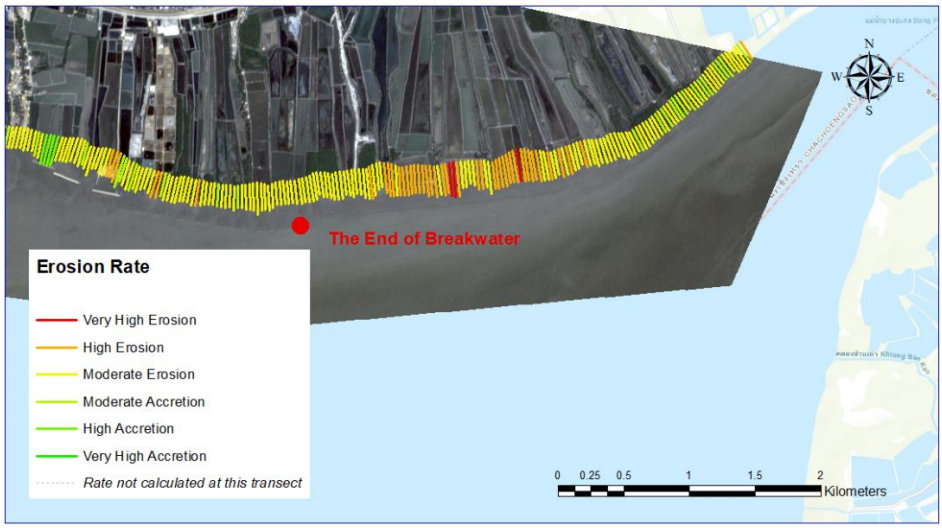


Figure 14. Study Area D - East area without outer coastal protection.

Since there are no additional ground truth data in this area, the analysis would only be based on the DSAS result (Figure 14), satellite imagery analysis and assumed data from nearby areas. Study area D has the most erosion rate among the 4 areas which approximately 30% are in high and very high erosion rate, while around 60% are in moderate erosion rate. This is probably because this area located at the end of the breakwaters; therefore, the natural force action could erode directly to the shorelines. Moreover, the muddy sediments in this area potentially move to nearby areas due to the coastal protection side-effect with regard to the sediment movement based on literature review.

4.2 Summary

In this chapter, overall, the coastal protection structures, both soft and hard, as well as the mangrove planting projects seem to mitigate the severity of coastal erosion in Samut Prakan and Chachoengsao efficiently and effectively, especially in Samut Prakan. 59.67% of the study areas increase, and the erosion rates of around 40% are reduced. Nonetheless, approximately 40% of all study areas still have coastal erosion problems, mostly with the moderate erosion rate or 0-15 metres/year. In addition, around 5% of the erosion areas have erosion rate within high and very high erosion range or within 15-30 and 30-40 metres/year, respectively. This means that the coastal management of Thailand is still deficient and has some limitations in some areas. According to the literature review, the function of breakwater

could only protect the specific area in front of the structures, while the nearby coasts would not be protected. Therefore, the rate of erosion in study area D tend to be noticeably higher from this presumption, reasonably.

The placement of coastal protections is also necessary in terms of the protection capability. The study areas compose of similar coastal protections (breakwaters, revetments, seawalls, mangroves and bamboo fencing); however, the order of placement is different. Study area A and B use mangroves as the first coastal protection, excluding breakwaters, while study area C use revetments and seawalls. The placement of coastal protections in study area A and B seem significantly better than study area C. In other words, in study area A and B, coastal areas are increased; while, in study area C, coastal areas are still eroded. These could be assumed that mangroves are the most suitable coastal protections using in muddy coasts located as the first protection. In addition, breakwaters could mitigate the coastal erosion in sensitive areas as following the result of the study area D.

5. Conclusions

This project aims to find Thai muddy coastal hazard related to climate changes by using remote sensing time-series. The overview information has been provided in the literature review including causes and effects of climate change on coastal areas, general Thai coastal information, muddy coast description as well as shoreline change factors including monsoon winds and coastal protection structures. In the literature review, it can be seen that the rate of erosion/accretion in Samut Prakan and Chachoengsao, muddy coastal provinces, has been significantly changed by; (1) the unique characteristics of muddy coasts (2) natural force changing and (3) human activities. In addition, the climate changes seem to intersify the changes of natural forces, especially winds and waves, which have the direct impact on coastline changes. Although coastal protection structures have been created to reduce the increase of natural forces influenced by climate changes, there would be some side-effects with regard to each type of coastal protection structures as well as the placement.

The main motivations of finding the coastal erosion/accretion rate in the study area from 2017 to 2020 is because Samut Prakan and Chachoengsao have a unique coastal type as well as faced the severe coastal erosion due to the climate change. In addition, the

result of this project could be compared with the previous study in the same area of [3]. This could improve the analysis of coastal change under the complicated factors and circumstances since the study area in Thailand has more coastal change factors in recent years. The result of this project could also be used in creating the coastal protection structures which would be used to protect the coastlines in the similar area types same as this study area.

The result of this project shows that 40.33% of coastal area have been eroded while 59.67% has been accreted from 2017 to 2020. The average of accretion is 21.57 metres/year, whereas the erosion average is 7.58 metres/year; however, there are 5% of eroded areas having the erosion rate greater than 30 metres/year. The previous research from [3] showed that the muddy coast erosion rate, in one part of study areas, was approximately 33 metres/year before establishing the coastal protection structures in 2010. This means that coastal protection structures constructed in study areas could solve the coastal erosion problems; however, the erosion rates are still high in some areas. In addition, when considering the placement of coastal protections, the areas depending on a large number of mangroves as the first prevention have significant increment of coastal area. On the other hand, the erosion of shoreline using hard-engineered structures, such as revetment and seawall, as the first protection would only decrease.

In conclusion, in this study area, using remote sensing, time-series, analysing how severe the climate change have direct influence on the coastal hazard is complex because there are various factors causing coastal changes including protection and erosion sides. Climate changes are still the major factors of coastal erosion problem which could not be completely solved and inevitable. Although the human-made coastal protections could protect the target shores, the nearby coastal areas would still receive the side-effects on erosion increasing. In addition, the placement of coastal protections seems to have a significant influence on preventing and preserving coastal areas. Mangroves which are the coastal protection from nature seem to have benefits in preserving and collecting the muddy sediments outweighing the man-made engineered structures.

References

[1] Nicu IC, Stalsberg K, Rubensdotter L, Martens VV, Flyen AC. Coastal erosion affecting cultural heritage in svalbard. A case study in Hiorthhamn (adventfjorden)-An abandoned mining settlement. Sustainability [Internet]. 2020 Mar [cited 2021 Apr 5]; 12(6):1–21. Available from: https://doi.org/10.3390/su12062306

[2] Sheik, M., & Chandrasekar. (2011). A shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin, India, using digital shoreline analysis system. *Geo-Spatial Information Science*, *14*(4), 282–293. https://doi.org/10.1007/s11806-011-0551-7

[3] Saengsupavanich, C. (2013). Erosion protection options of a muddy coastline in Thailand: Stakeholders' shared responsibilities. *Ocean and Coastal Management*, *83*, 81–90. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.02.002

[4] Stanchev, H., Stancheva, M., Young, R., & Palazov, A. (2018). Analysis of shoreline changes and cliff retreat to support Marine Spatial Planning in Shabla Municipality, Northeast Bulgaria. *Ocean and Coastal Management*, *156*, 127–140. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.06.011

[5] OECD. (2020). *Economic Outlook Report Netherlands*. *2020*(1). Retrieved from https://issuu.com/oecd.publishing/docs/nld-eo-june-2020-29/2

[6] Chowdhury, S. R., & Tripathi, N. K. (2013). Coastal erosion and accretion in Pak Phanang, Thailand by GIS analysis of maps and satellite imagery. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, *35*(6), 739–748.

[7] Yang, X., Zhao, S., Qin, X., Zhao, N., & Liang, L. (2017). Mapping of urban surface water bodies from sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening. *Remote Sensing*, *9*(6), 1–19. https://doi.org/10.3390/rs9060596

[8] Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, *27*(14), 3025–3033. https://doi.org/10.1080/01431160600589179

[9] Cooley, S. W., Smith, L. C., Stepan, L., & Mascaro, J. (2017). Tracking dynamic northern surface water changes with high-frequency planet CubeSat imagery. *Remote Sensing*, *9*(12), 1–21. https://doi.org/10.3390/rs9121306

การพัฒนาโปรแกรมคำนวณหาตำบลที่เรือด้วยดาราศาสตร์

The Development of Computational Processing Program of Celestial Position by the Principles of Astronomy

พีรศิลป์ อนันยวราคม[1] และ ฤชา รัตนศีล[2]
Peerasin Ananyawarakorn[1] and Ruechaa Rattanaseen[2]

Received : March 16, 2021
Revised : April20, 2021
Accepted : April 20, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคำนวณเพื่อหาตำบลที่เรือจากดาวฤกษ์ ด้วยกระบวนการทางดาราศาสตร์ โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ สามารถประมวลผลการคำนวณตามลำดับ 5 ขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วยการหาค่าสูงจริง การปรับวันและเวลาตามมาตรฐานกรีนิช การหามุมเมริเดียน การหาเดคลิเนชัน การหามุมแอซิมัท และระยะอินเตอร์เซปต์ โดยค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้มีค่าความถูกต้องกว่าการคำนวณจากเครื่องคิดเลขโดยนักเรียนนายเรือ ทำให้สามารถบอกเส้นแสดงจุดตัดตำแหน่งของตำบลที่เรือได้แม่นยำกว่า ลดความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณได้มากกว่า อีกทั้งโปรแกรมดังกล่าวสามารถสนับสนุนการฝึกเดินเรือในทะเลเปิด อันเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับนักเรียนนายเรือพรรคนาวินทุกนาย สามารถกระชับเวลาการฝึกเดินเรือดาราศาสตร์ได้เป็นอย่างดี ทำให้นักเรียนนายเรือมีเวลาสำหรับทบทวนการฝึกในแต่ละวันมากยิ่งขึ้น รวมถึงประหยัดทรัพยากรจากการแจกปฏิทินเดินเรือและมาตรา Increments and Corrections สำหรับใช้ในการฝึกภาคทะเลอีกด้วย

คำสำคัญ: โปรแกรมคำนวณหาตำบลที่เรือ/การเดินเรือดาราศาสตร์/การหาตำบลที่เรือด้วยวัตถุท้องฟ้า

[1] นักศึกษาวิทยาลัยการทัพเรือ
Naval War College, Naval Education Department
E-mail: prabparapak_311@hotmail.com
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาคณิตศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
Assistant Professor, Department of Mathematics, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy
E-mail: ruechaa@gmail.com

Abstract

This study aims to develop a computational processing program so as to locate one's positions on the earth by angular measurement of planetary bodies – stars, and visible horizon under the astronomical navigation principles. The computerized database was analyzed under the five procedures of plotting a line of position which include 1) Observation of the Altitude 2) Meridian and Hour Angle Measurement 3) Declination 4) Azimuth Angles and 5) Intercept. The numerical data calculated by this program are more accurate than estimating by scientific calculators for they provide the precise intercept calculation, minimizing the chance of error in celestial navigation. These five procedures of position line calculation are regarded as a training requirement for all naval cadets serving in the RTN General Line; therefore, this computational program can be used as navigation aids during an open sea training.

This computational program can reduce time range for navigation calculation so cadet have more time for feedback after training sessions. As well, this can save energy by reducing the use of paper for printing the Nautical Almanac as well as Increments and Corrections.

Keywords: Computational Processing Program of Celestial Position/Celestial Navigation/Plotting Procedures of Celestial Position

1. บทนำ

วัตถุประสงค์หนึ่งของแผนการศึกษาแห่งชาติ (พ.ศ.2560 – 2579) [1] คือเพื่อพัฒนาระบบและกระบวนการจัดการศึกษาที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพ โดยให้สถาบันการศึกษาและหน่วยงานที่จัดการศึกษาผลิตบัณฑิตที่มีความเชี่ยวชาญและเป็นเลิศเฉพาะด้าน โรงเรียนนายเรือซึ่งเป็นสถาบันอุดมศึกษาของกองทัพเรือ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ความรู้นักเรียนนายเรือด้านวิชาการตามมาตรฐานการศึกษาของสถาบันการศึกษาในระดับปริญญาตรีด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ตามความต้องการของกองทัพเรือ อีกทั้งให้ความรู้และเพิ่มพูนประสบการณ์ในการเดินเรือและพื้นฐานวิชาชีพทหารเรือทั้งทางภาคทฤษฎีและปฏิบัติอย่างเพียงพอที่จะศึกษาต่อด้านวิชาชีพทหารเรือชั้นสูงตามพรรค – เหล่าต่าง ๆ ต่อไป เนื่องจากการสร้างนักเดินเรือจำเป็นต้องอาศัยการฝึกและประสบการณ์จริงจากการออกเรือ ดังนั้นการฝึกภาคทะเลของนักเรียนนายเรือจึงเป็นโอกาสสำคัญในการพัฒนานักเดินเรือมืออาชีพ เพื่อให้ได้นายทหารเรือที่มีความพร้อมสำหรับการปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายจากกองทัพเรือในอนาคต ถึงแม้ว่าในปัจจุบันการเดินเรือจะไม่ยากลำบากเท่าสมัยอดีต เนื่องจากมีอุปกรณ์ติดตั้งในเรือช่วยอำนวยความสะดวก หรือ

เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ซึ่งได้รับการพัฒนาตามวิทยาการที่ก้าวหน้ายิ่งขึ้นตามยุคสมัย แต่หากอยู่ในสภาวการณ์ที่ไม่สามารถใช้อุปกรณ์เดินเรือเหล่านั้นได้ เช่น ไฟฟ้าดับ เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์เสีย สัญญาณดาวเทียม GPS โดนรบกวนทำให้ไม่มีสัญญาณ หรือสถานีควบคุมไม่สามารถตรวจสอบดาวเทียมได้ตลอดเวลา เป็นต้น อีกทั้งวิทยาลัยกองทัพเรือสหรัฐ (US Naval Academy) [2] มองเห็นว่าในอนาคตมีความเป็นไปได้ที่ระบบ GPS อาจต้องปิดชั่วคราวเพื่อป้องกันไม่ให้ศัตรูเข้ามาใช้งาน หรืออาจโดนสัญญาณ GPS ปลอมหลอกได้ ด้วยเหตุดังกล่าวการเดินเรือจึงไม่ควรพึ่งพาแต่เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้การเดินเรือดาราศาสตร์ (Celestial Navigation) เป็นสิ่งสำคัญที่นักเรียนนายเรือพรรคนาวินทุกนายจำเป็นต้องเรียนรู้และฝึกฝนจนชำนาญ ซึ่งเป็นทักษะของวิธีการเริ่มแรกที่มนุษย์ใช้ในการเดินเรือข้ามมหาสมุทร หรือเมื่อเรืออยู่ห่างจากฝั่งจนไม่สามารถมองเห็นที่หมายบนฝั่งได้ โดยนักเดินเรือจะใช้ดวงดาวบนท้องฟ้า คือ ดาวฤกษ์ ดาวเคราะห์ ดวงอาทิตย์ และดวงจันทร์ เพื่อนำทาง จากความรู้ที่ได้ศึกษาในวิชาดาราศาสตร์ประกอบกับวิชาตรีโกณมิติทรงกลมนำมาใช้คำนวณทำให้ได้เส้นแสดงจุดตัดตำแหน่งของเรือในทะเล โดยดวงดาวที่นิยมใช้ คือ ดาวฤกษ์ เนื่องจากสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน หรืออาจใช้ดวงจันทร์ในเวลากลางคืนและดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน เนื่องจากวัตถุในกลุ่มนี้มีข้อมูลพิกัดที่ชัดเจนในปฏิทินเดินเรือ (The Nautical Almanac) [3]

จากปัญหาและความสำคัญดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมคำนวณหาตำบลที่เรือโดยกระบวนการทางดาราศาสตร์ ด้วย Microsoft Excel ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ เป็นเครื่องมือช่วยคำนวณโดยนักเรียนนายเรือต้องมีความรู้ความเข้าจากการศึกษาในวิธีการหาตำบลที่เรือ โดยใช้เส้นตำบลที่ของวัตถุท้องฟ้า การเปิดปฏิทินเดินเรือ/มาตราสำเร็จ และวิธีการคำนวณต่าง ๆ จึงสามารถใช้โปรแกรมที่พัฒนานี้ได้อย่างถูกต้อง ทำให้สามารถลดเวลาสำหรับการคำนวณหาเส้นแสดงจุดตัดตำแหน่งของเรือจากความสูงของดาวฤกษ์ 3 ดวง ที่นักเรียนนายเรือต้องจดบันทึกและรายงานผลทั้งช่วงเช้าและช่วงเย็น ทำให้นักเรียนนายเรือมีเวลาสำหรับทบทวนการฝึกในแต่ละวันมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังมีประโยชน์สำหรับผู้สอน/ผู้ฝึก ทำให้สามารถกระชับเวลาการฝึกเดินเรือดาราศาสตร์ได้เป็นอย่างดี และประหยัดทรัพยากรจากการแจกปฏิทินเดินเรือ และมาตรา Increments and Corrections [4] ลดปริมาณการใช้กระดาษได้อย่างเป็นรูปธรรมในการฝึกภาคทะเลอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาโปรแกรมคำนวณหาตำบลที่เรือจากเส้นแสดงจุดตัดตำแหน่งของเรือจากความสูงของดาวฤกษ์ 3 ดวง ด้วยกระบวนการทางดาราศาสตร์ ลดความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณได้อย่างแม่นยำ

2.2 เพื่อสนับสนุนการฝึกเดินเรือดาราศาสตร์ ประหยัดทรัพยากรจากการแจกปฏิทินเดินเรือ และมาตรา Increments and Corrections ในการฝึกภาคทะเลของนักเรียนนายเรือ

2.3 เพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลขโดยนักเรียนนายเรือในแต่ละขั้นตอน

3. ขอบเขตของการวิจัย

ดำเนินการพัฒนาโปรแกรมคำนวณเพื่อหาตำบลที่เรือจากดาวฤกษ์ตามกระบวนการทางดาราศาสตร์ [5] แบ่งการคำนวณเป็นลำดับ 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย

ขั้นตอนที่ 1 การหาความสูงซึ่งวัดจากดาวฤกษ์ปรับแก้อัตราจนได้ค่าสูงจริงหรือสูงวัด (Observed Altitude: Ho)

ขั้นตอนที่ 2 การปรับวันและเวลาตามมาตรฐานกรีนิช

ขั้นตอนที่ 3 การหามุมเวลากรีนิช (Greenwich Hour Angle: GHA) การหามุมเวลาตำบลที่ (Local Hour Angle: LHA) และการหามุมเมริเดียน (Meridian Angle: t)

ขั้นตอนที่ 4 การหาเดคลิเนชัน (Declination : d)

ขั้นตอนที่ 5 การหาค่าสูงคำนวณ (Computed Altitude: Hc) การหาระยะอินเตอร์เซปต์ (Intercept: a) การหามุมแอซิมัท (Azimuth Angle: Z) และการหาค่าแอซิมัทจริง (True Azimuth: Zn)

โดยแสดงผลการคำนวณทั้งหมดด้วยแบบฟอร์ม Sight Reduction ที่สามารถสั่งพิมพ์ได้ชัดเจน ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้ทำให้สามารถพัฒนากระบวนการจัดการศึกษาให้มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ด้วยการพัฒนาโปรแกรมจาก Microsoft Excel ซึ่งเป็นโปรแกรมทางด้านคำนวณหนึ่งในชุด Microsoft Office ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) ที่ได้รับความนิยมในตลาดคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมากกว่า 90% ของการใช้งานทั่วโลก ส่งผลให้สามารถเข้าถึงโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นได้ง่าย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานของโครงการวิจัยมีขั้นตอนปฏิบัติ ดังนี้

4.1 ศึกษาข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเดินเรือดาราศาสตร์ในการหาตำบลที่เรือจากดาวฤกษ์

4.2 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรม Microsoft Excel ให้เป็นไปตามขั้นตอนการคำนวณเพื่อหาค่าสำหรับหาเส้นแสดงจุดตัดตำแหน่งของเรือ รวมถึงการนำข้อมูลปฏิทินเดินเรือ และมาตรา Increments and Corrections ในช่วงเวลาที่ต้องการใช้สำหรับการคำนวณแทรกไว้ในโปรแกรม และมีความพร้อมสำหรับการปรับปรุงข้อมูลให้มีความทันสมัยกับช่วงเวลาที่ฝึกเดินเรือดาราศาสตร์เสมอ โดยแสดงผลในรูปแบบของแบบฟอร์มการบันทึกค่าในแต่ละขั้นตอนของแต่ละดาวฤกษ์ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถพิมพ์เป็นเอกสารประมวลผลที่ชัดเจน

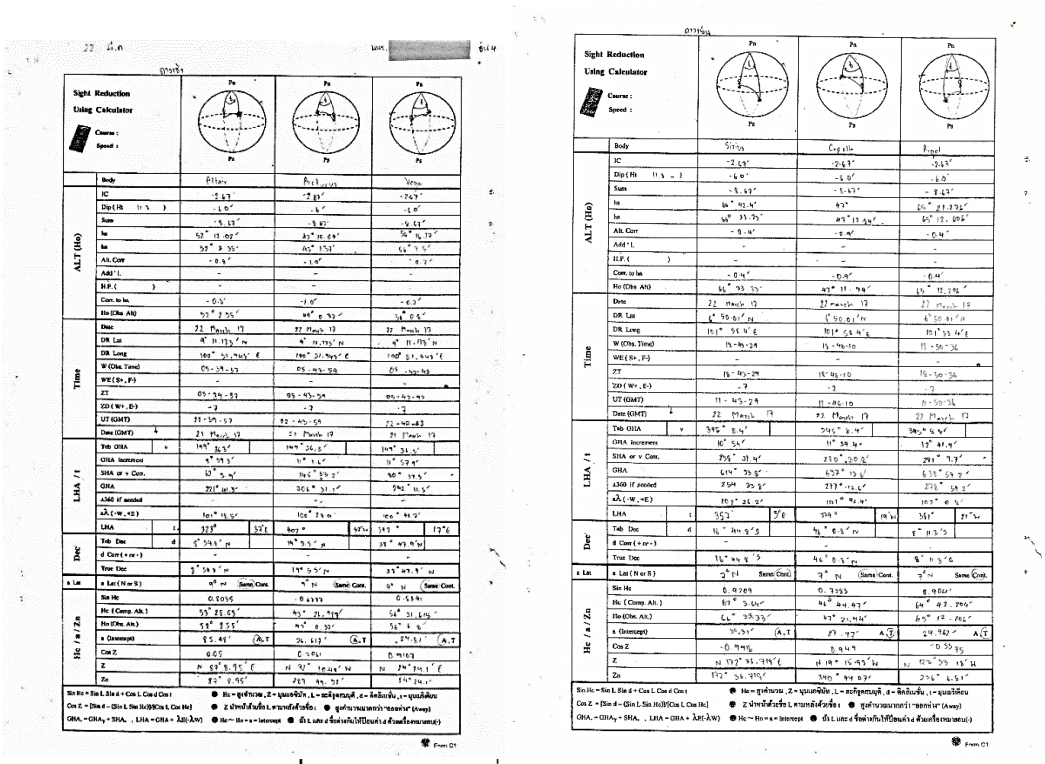
4.3 ติดตั้งโปรแกรมที่ถูกพัฒนาเสร็จสมบูรณ์แล้วในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของนักเรียนนายเรือหรือส่วนกลางของกองวิชาเดินเรือ/กองการฝึก เพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ตามสะดวก

4.4 ตรวจสอบและติดตามผลการใช้งาน พร้อมแก้ไขหากมีข้อขัดข้อง

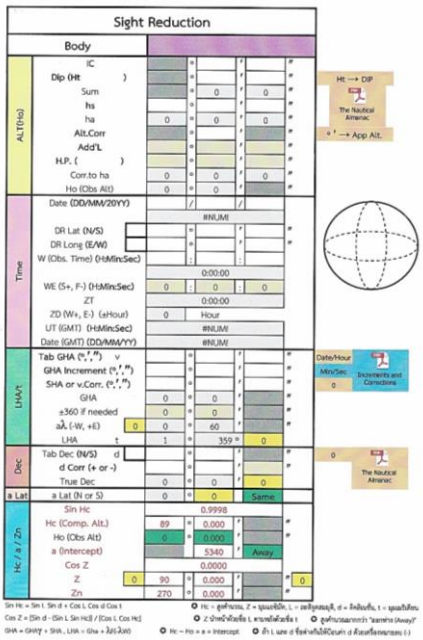
4.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการวิจัย

5. ผลการวิจัย

5.1 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคำนวณหาตำบลที่เรือด้วย Microsoft Excel ให้สามารถแสดงผลในแต่ละขั้นตอนของการคำนวณด้วยแบบฟอร์ม Sight Reduction ซึ่งแสดงผลที่ได้จากการวัดดาวฤกษ์ในแต่ละดวง โดยเปรียบเทียบกับแบบฟอร์มต้นแบบที่นักเรียนนายเรือทำการคำนวณและจดบันทึกด้วยตนเองในช่วงการฝึกภาคทะเล ดังรูปที่ 1 (รูปที่ 1.1 – รูปที่ 1.2)

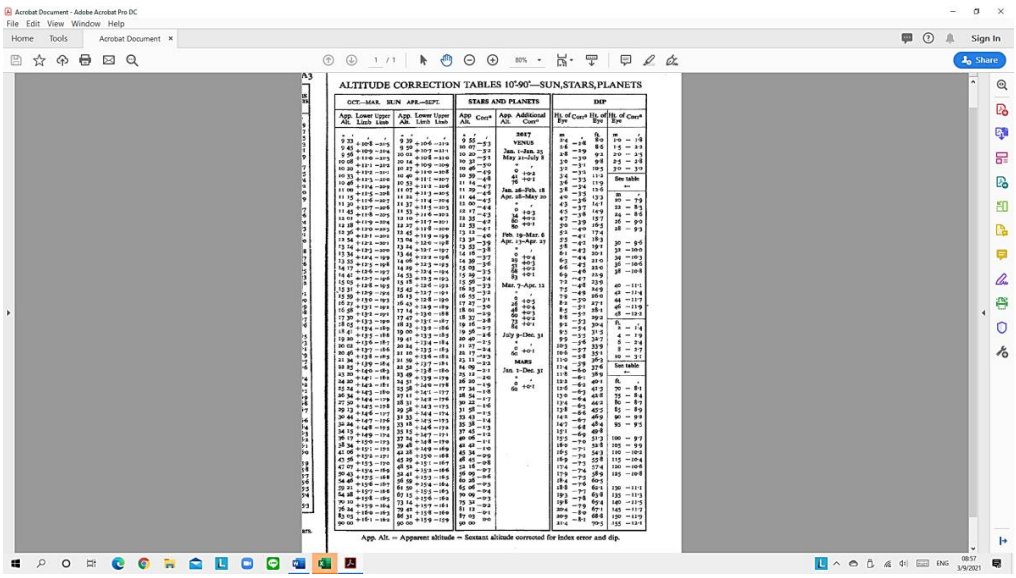


รูปที่ 1.1 แบบฟอร์มที่บันทึกโดยนักเรียนนายเรือ

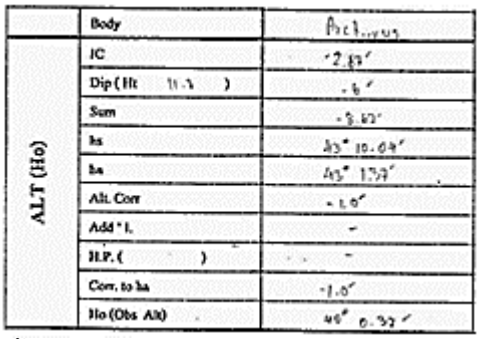


รูปที่ 1.2 แบบฟอร์ม Sight Reduction จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

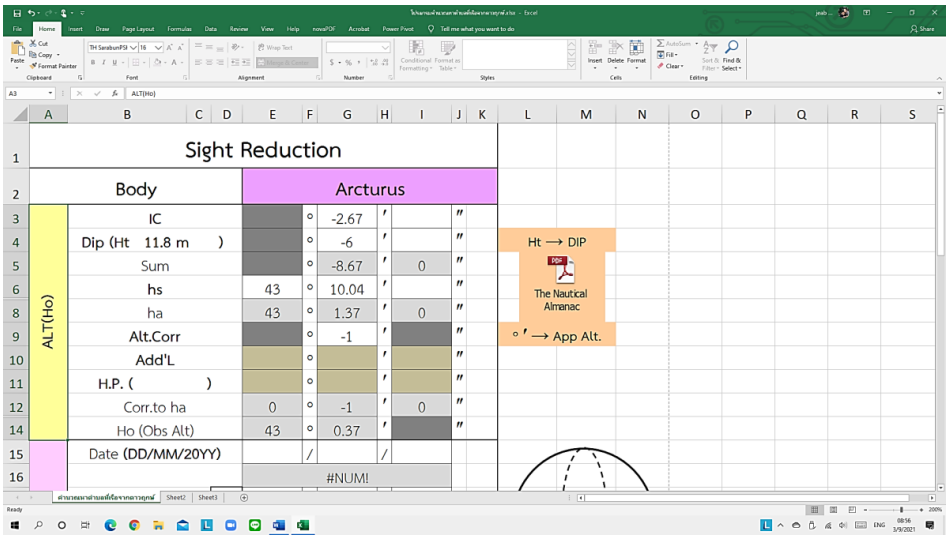
5.2 คำนวณในขั้นตอนที่ 1 โดยการหาความสูงของดาวฤกษ์ที่วัดได้จากเครื่องวัดแดดและแก้อัตราต่าง ๆ จากปฏิทินเดินเรือ ซึ่งสามารถเปิดข้อมูลได้ในโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2 จะได้ค่าสูงจริงหรือสูงวัด (Observed Altitude: Ho) นำผลที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลขโดยนักเรียนนายเรือ ทั้งตัวอย่างดาวฤกษ์ในช่วงเช้าและช่วงเย็น ดังรูปที่ 3 (รูปที่ 3.1 – รูปที่ 3.2) และรูปที่ 4 (รูปที่ 4.1 – รูปที่ 4.2) ตามลำดับ



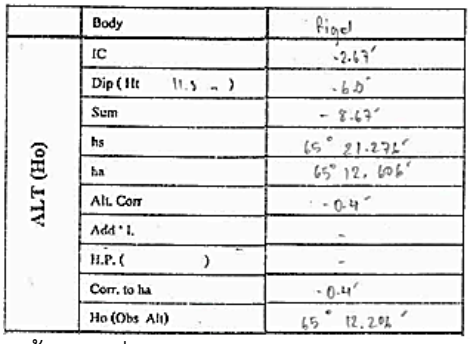
รูปที่ 2 แสดงข้อมูลจากปฏิทินเดินเรือที่แทรกอยู่ในโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้น



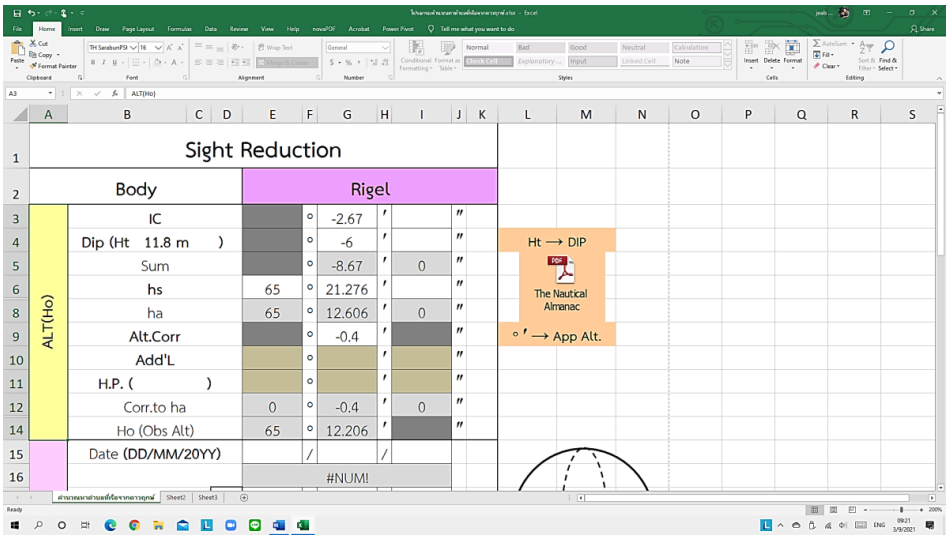
รูปที่ 3.1 การคำนวณในขั้นตอนที่ 1 ของดาวฤกษ์ Arcturus ในช่วงเช้าโดยนักเรียนนายเรือ



รูปที่ 3.2 การคำนวณในขั้นตอนที่ 1 ของดาวฤกษ์ Arcturus ในช่วงเช้าโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 4.1 การคำนวณในขั้นตอนที่ 1 ของดาวฤกษ์ Rigel ในช่วงเย็นโดยนักเรียนนายเรือ

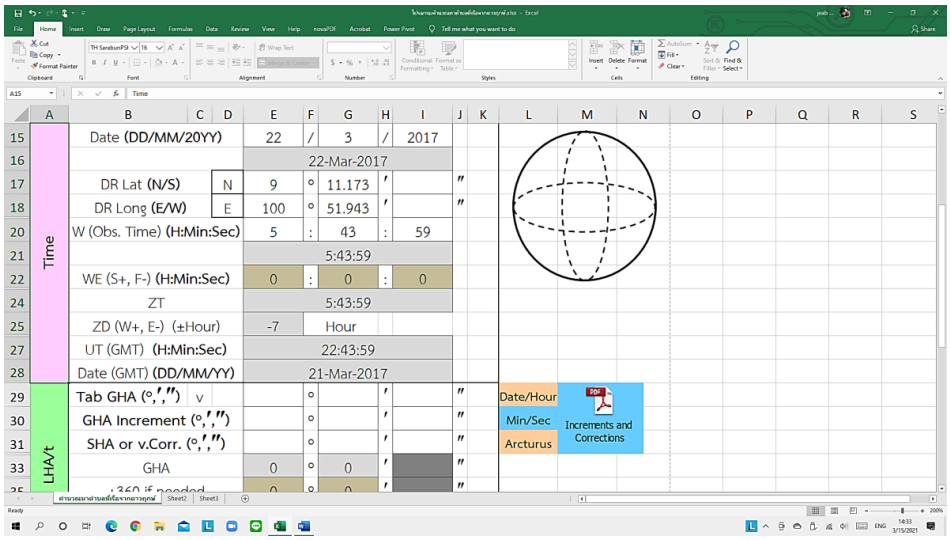


รูปที่ 4.2 การคำนวณในขั้นตอนที่ 1 ของดาวฤกษ์ Rigel ในช่วงเย็นโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

5.3 คำนวณในขั้นตอนที่ 2 โดยการปรับวันและเวลาให้เป็นไปตามมาตรฐานกรีนิช ดังแสดงภาพการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณของนักเรียนนายเรือกับผลจากการใช้โปรแกรมคำนวณที่พัฒนาขึ้นในรูปที่ 5 (รูปที่ 5.1 – รูปที่ 5.2) และรูปที่ 6 (รูปที่ 6.1 – รูปที่ 6.2) สำหรับตัวอย่างดาวฤกษ์ในช่วงเช้าและช่วงเย็น ตามลำดับ

Time	Date	22 March 17
	DR Lat	9° 11.173′ N
	DR Long	100° 51.943′ E
	W (Obs. Time)	05 - 43 - 59
	WE (S+, F-)	-
	ZT	05 - 43 - 59
	ZD (W+, E-)	- 7
	UT (GMT)	22 - 43 - 59
	Date (GMT)	21 March 17

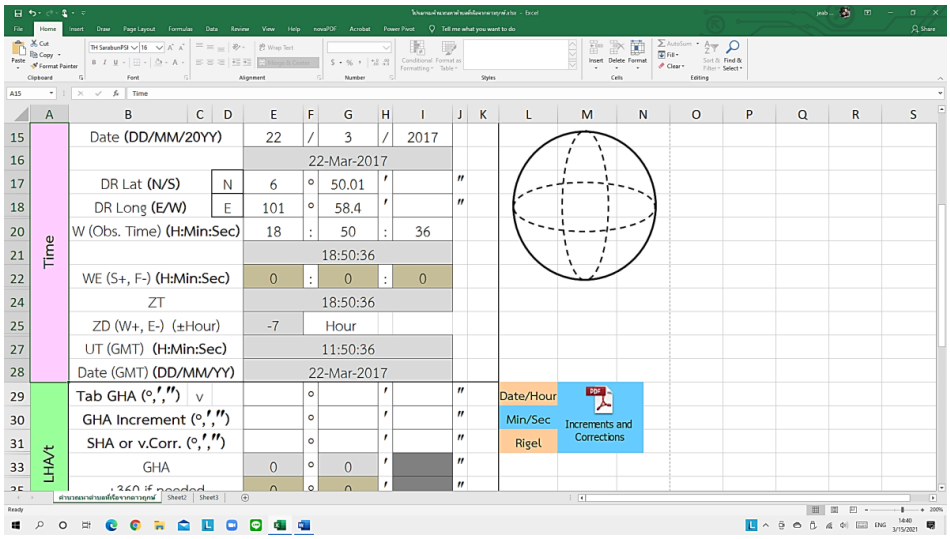
รูปที่ 5.1 การคำนวณในขั้นตอนที่ 2 ของดาวฤกษ์ Arcturus ในช่วงเช้าโดยนักเรียนนายเรือ



รูปที่ 5.2 การคำนวณในขั้นตอนที่ 2 ของดาวฤกษ์ Arcturus ในช่วงเช้าโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

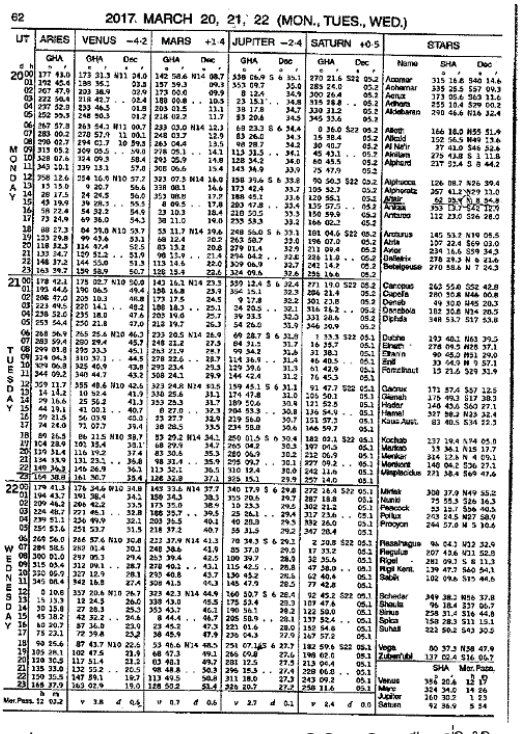
Time	Date	22 March 17
	DR Lat	8° 50.81′ N
	DR Long	101° 33.4′ E
	W (Obs. Time)	18 - 50 - 36
	WE (S+, F-)	-
	ZT	18 - 50 - 36
	ZD (W+, E-)	- 7
	UT (GMT)	11 - 50 - 36
	Date (GMT)	22 March 17

รูปที่ 6.1 การคำนวณในขั้นตอนที่ 2 ของดาวฤกษ์ Rigel ในช่วงเย็นโดยนักเรียนนายเรือ

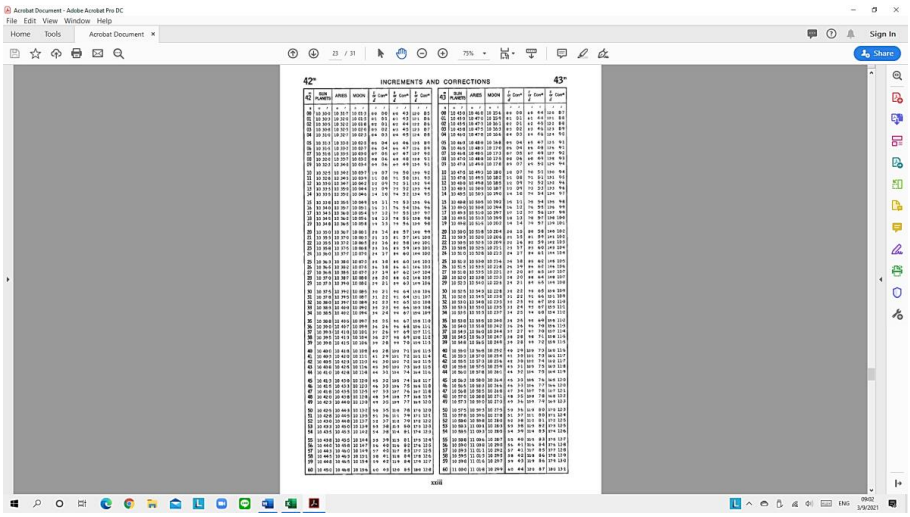


รูปที่ 6.2 การคำนวณในขั้นตอนที่ 2 ของดาวฤกษ์ Rigel ในช่วงเย็นโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

5.4 คำนวณในขั้นตอนที่ 3 เป็นการหามุมเวลาตำบลที่ (Local Hour Angle: LHA) ทำให้ได้มุม t หรือมุมเมริเดียน (Meridian Angle) สำหรับการคำนวณของรูปสามเหลี่ยมดาราศาสตร์ โดยได้จากค่าของ Tab GHA (Greenwich Hour Angle) และมุมเวลาไซดอเรียล (Sidereal Hour Angle: SHA) ซึ่งเป็นข้อมูลในปฏิทินเดินเรือที่แทรกไว้ในโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 7 และค่า GHA ได้จากมาตราที่เรียกว่า Increments and Corrections ซึ่งแทรกไว้ในโปรแกรมนี้เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 8

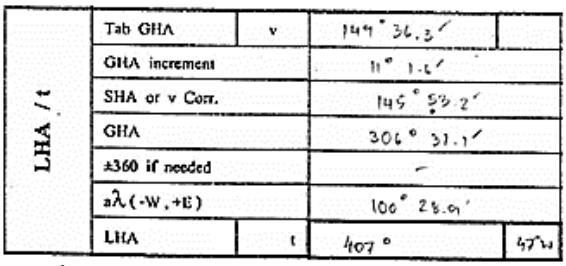


รูปที่ 7 แสดงค่า GHA และ SHA จากปฏิทินเดินเรือที่ใช้ในการคำนวณหามุม t

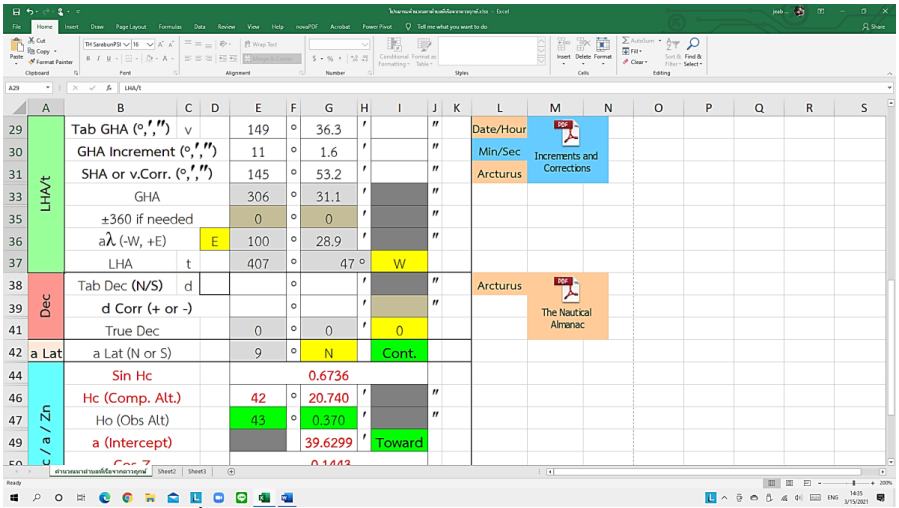


รูปที่ 8 แสดงข้อมูลจาก Increments and Corrections ที่แทรกอยู่ในโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้น

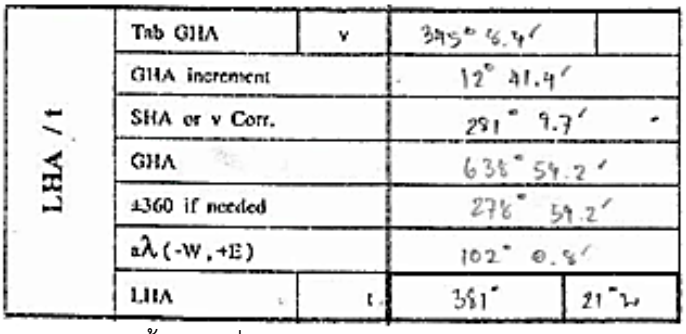
ทำการเปรียบเทียบผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับผลจากนักเรียนนายเรือ ทั้งตัวอย่างดาวฤกษ์ในช่วงเช้าและช่วงเย็น ดังรูปที่ 9 (รูปที่ 9.1 – รูปที่ 9.2) และรูปที่ 10 (รูปที่ 10.1 – รูปที่ 10.2) ตามลำดับ



รูปที่ 9.1 การคำนวณในขั้นตอนที่ 3 ของดาวฤกษ์ Arcturus ในช่วงเช้าโดยนักเรียนนายเรือ

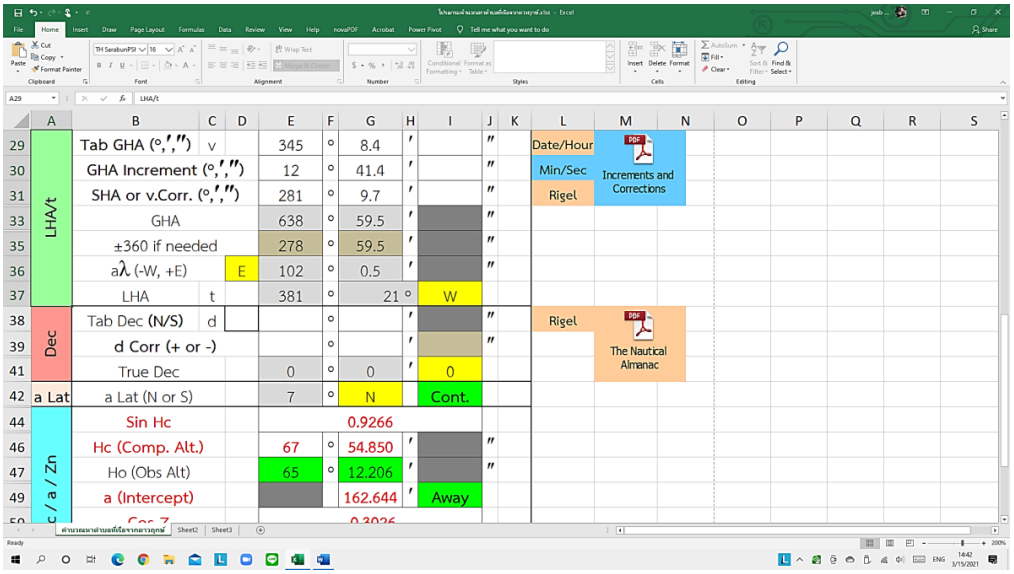


รูปที่ 9.2 การคำนวณในขั้นตอนที่ 3 ของดาวฤกษ์ Arcturus ในช่วงเช้าโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น



LHA / t	Tab GHA	v	345° 8.4′	
	GHA increment		12° 41.4′	
	SHA or v Corr.		281° 9.7′	
	GHA		638° 59.2′	
	±360 if needed		278° 59.2′	
	aλ (-W, +E)		102° 0.8′	
	LHA	t	381°	21° W

รูปที่ 10.1 การคำนวณในขั้นตอนที่ 3 ของดาวฤกษ์ Rigel ในช่วงเย็นโดยนักเรียนนายเรือ



รูปที่ 10.2 การคำนวณในขั้นตอนที่ 3 ของดาวฤกษ์ Rigel ในช่วงเย็นโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

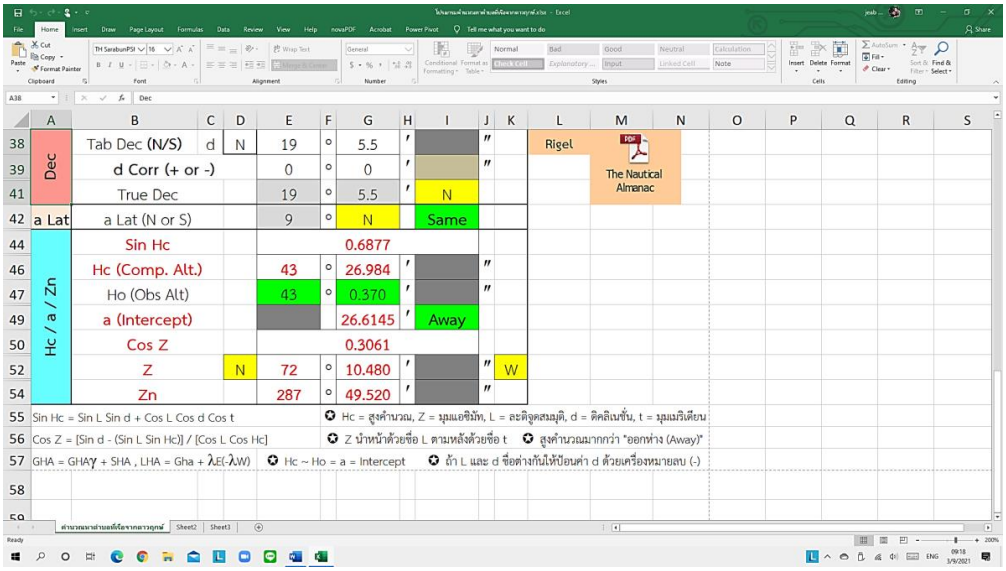
5.5 คำนวณในขั้นตอนที่ 4 เป็นการหาเดคลิเนชัน (Declination) หรือค่า d ซึ่งได้จากข้อมูลในปฏิทินเดินเรือของวันและเวลาตามมาตรฐานกรีนิชจากขั้นตอนที่ 2 ดังแสดงข้อมูลในรูปที่ 7 จากนั้นจึงคำนวณเพื่อหาค่า a Lat

ค่าที่ได้จากการคำนวณตามขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4 จะถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณต่อ สำหรับหาค่าสูงคำนวณ (Computed Altitude: Hc) ระยะอินเตอร์เซปต์ (Intercept: a) มุมแอซิมัท (Azimuth Angle: Z) และค่าแอซิมัทจริง (True Azimuth: Zn) ซึ่งโปรแกรมคำนวณจะแสดงผลลัพธ์ของค่าเหล่านี้ในขั้นตอนที่ 5 โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมและจากการคำนวณโดยนักเรียนนายเรือด้วยเครื่องคิดเลขทั้งตัวอย่างดาวฤกษ์ในช่วงเช้าและช่วงเย็น ดังรูปที่ 11 (รูปที่ 11.1 – รูปที่ 11.2) และรูปที่ 12 (รูปที่ 12.1 – รูปที่ 12.2) ตามลำดับ

Dec	Tab Dec	d	19° 5.5′ N	
	d Corr (+ or -)		-	
	True Dec		19° 5.5′ N	
a Lat	a Lat (N or S)		9° N	Same Cont.

Hc / a / Zn		
	Sin Hc	0.6877
	Hc (Comp. Alt.)	43° 26.984′
	Ho (Obs. Alt.)	43° 0.37′
	a (Intercept)	26.617′ A.T
	Cos Z	0.3061
	Z	N 72° 10.48′ W
	Zn	287 49.52′

รูปที่ 11.1 การคำนวณในขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 5 ของดาวฤกษ์ Arcturus ในช่วงเช้าโดยนักเรียนนายเรือ

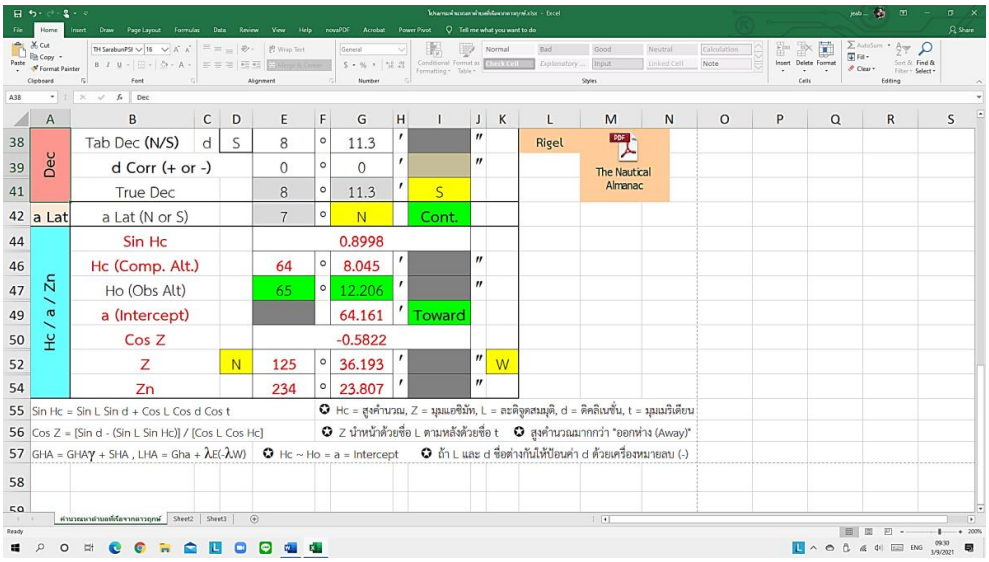


รูปที่ 11.2 การคำนวณในขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 5 ของดาวฤกษ์ Arcturus ในช่วงเช้าโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

Dec	Tab Dec	d	8° 11.3′S	
	d Corr (+ or -)		-	
	True Dec		8° 11.3′S	
a Lat	a Lat (N or S)		7° N	Same Cont.

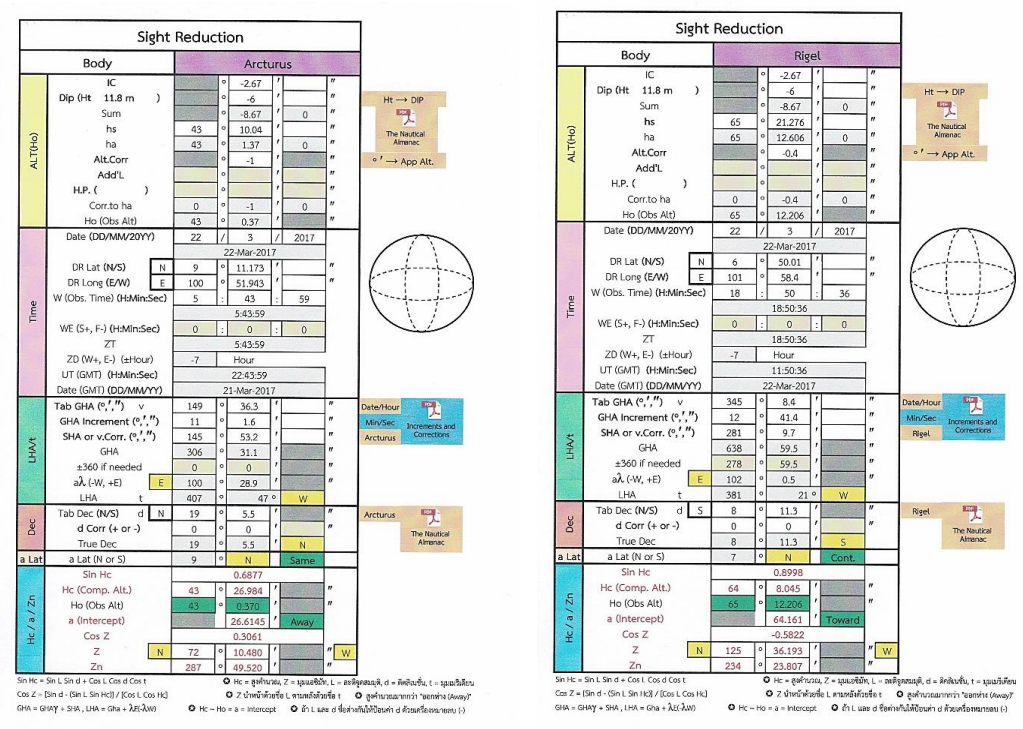
Hc / a / Zn		
	Sin Hc	0.9044
	Hc (Comp. Alt.)	64° 42.204′
	Ho (Obs. Alt.)	65° 12.206′
	a (Intercept)	29.962′ A T
	Cos Z	-0.5595
	Z	N 123° 39.18′ W
	Zn	236° 1.81′

รูปที่ 12.1 การคำนวณในขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 5 ของดาวฤกษ์ Rigel ในช่วงเย็นโดยนักเรียนนายเรือ



รูปที่ 12.2 การคำนวณในขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 5 ของดาวฤกษ์ Rigel ในช่วงเย็นโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

5.6 ผลที่ได้จากการคำนวณทั้ง 5 ขั้นตอนของโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อหาเส้นแสดงจุดตัดตำแหน่งของเรือจากดาวฤกษ์ สามารถพิมพ์เป็นเอกสารได้ในแบบฟอร์ม Sight Reduction ดังรูปที่ 13



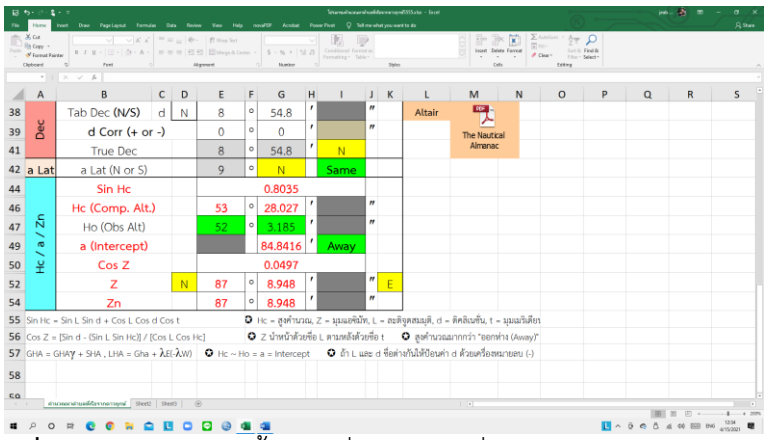
รูปที่ 13 แบบฟอร์ม Sight Reduction ที่แสดงค่าจากการคำนวณทั้ง 5 ขั้นตอน

6. อภิปรายผลการวิจัย

6.1 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากดาวฤกษ์ในช่วงเช้าด้วยโปรแกรมคำนวณหาตำบลที่เรือด้วยดาราศาสตร์กับผลการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลขโดยนักเรียนนายเรือ พบว่าผลการคำนวณในขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4 มีค่าไม่แตกต่างกัน

6.2 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากดาวฤกษ์ในช่วงเย็นด้วยโปรแกรมคำนวณที่พัฒนาขึ้นนี้กับผลการคำนวณด้วยเครื่องคิดเลขโดยนักเรียนนายเรือ พบความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการคำนวณค่า GHA ในขั้นตอนที่ 3 ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการนำค่าที่ผิดพลาดไปคำนวณต่อในขั้นตอนที่ 5 อีกทั้งความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปัดเศษของการคำนวณในแต่ละขั้นตอนก็สามารถทำให้ค่าคำนวณผิดพลาดได้เช่นกัน ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ผิดพลาดเพียงเล็กน้อยในขั้นตอนที่ 3 แม้จะเป็นเพียงค่าทศนิยมในตำแหน่งของลิปดา แต่ทำให้ค่าองศาในขั้นตอนที่ 5 ผิดพลาดไปได้ แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมคำนวณที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถลดความผิดพลาดจากความประมาทให้ผลลัพธ์ได้แม่นยำกว่า การคำนวณมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า

6.3 โปรแกรมคำนวณหาตำบลที่เรือด้วยดาราศาสตร์จากงานวิจัยนี้สามารถสนับสนุนการเรียนการสอนวิชาเดินเรือดาราศาสตร์และการฝึกภาคทะเลได้เป็นอย่างดี เนื่องจากในแต่ละขั้นตอนของการใช้โปรแกรมนี้นักเรียนนายเรือจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานของการเดินเรือดาราศาสตร์ เช่น การอ่านมุมที่เครื่องวัดแดด การวัดสูงดาวฤกษ์ด้วยเครื่องวัดแดด และการแก้สูงดาวฤกษ์ในขั้นตอนที่ 1 อีกทั้งยังต้องเลือกใช้ข้อมูลในปฏิทินเดินเรือในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 4 และเลือกใช้ข้อมูลในมาตรา Increments and Corrections ในขั้นตอนที่ 3 ถูกต้อง จึงจะได้ค่าคำนวณในขั้นตอนที่ 5 ถูกต้องเช่นกัน ส่งผลให้ได้เส้นแสดงจุดตัดที่สามารถบอกตำแหน่งของเรืออย่างแม่นยำ ซึ่งในกรณีที่ผลการคำนวณค่ามุมแอซิมัท (Z) ในขั้นตอนที่ 5 ถ้านักเรียนนายเรือที่เป็นผู้บันทึกอยู่ในทิศเหนือ N และมุมเมริเดียน (t) อยู่ในทิศตะวันตก W โปรแกรมคำนวณจะแสดงผลของค่าแอซิมัทจริง (Zn) ดังรูปที่ 11.2 และรูปที่ 12.2 เพื่อนำค่า Zn นี้ซึ่งเป็นทิศจริงไปใช้ในการหาเส้นแสดงจุดตัดตำแหน่งของเรือต่อไป แต่ถ้าผลการคำนวณค่ามุมแอซิมัท (Z) ในขั้นตอนที่ 5 ได้ค่ามุมเมริเดียน (t) อยู่ในทิศตะวันออก E แสดงว่าค่ามุมแอซิมัท (Z) เป็นทิศจริง โดยโปรแกรมคำนวณจะแสดงผลของค่าแอซิมัทจริง (Zn) เท่ากับค่ามุมแอซิมัท (Z) ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 การคำนวณในขั้นตอนที่ 5 ในกรณีที่มุมแอซิมัท (Z) เป็นทิศจริง

6.4 แบบฟอร์ม Sight Reduction ที่ได้จากการพัฒนาโปรแกรมคำนวณในงานวิจัยนี้มีรูปแบบที่ชัดเจนและมีข้อมูลสำคัญในการหาตำแหน่งตำบลที่เรือครบถ้วน โดยการฝึกภาคทะเลของนักเรียนนายเรือจะมีการฝึกการเดินเรือดาราศาสตร์เพื่อเพิ่มพูนทักษะและประสบการณ์ของนักเดินเรือมืออาชีพ โปรแกรมนี้สามารถลดความผิดพลาดจากการคำนวณได้เป็นอย่างดี และทำให้นักเรียนนายเรือมีเวลามากขึ้นสำหรับการทบทวนการฝึกในแต่ละวันอีกด้วย

7. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมคำนวณหาตำบลที่เรือด้วยกระบวนการทางดาราศาสตร์จากงานวิจัยนี้เป็นเพียงการคำนวณที่ได้จากดาวฤกษ์เท่านั้น สำหรับการเดินเรือดาราศาสตร์แล้วนักเดินเรือควรจะสังเกตจากดวงดาวในทุกช่วงเวลา โดยใช้ดาวฤกษ์ในช่วงเช้าและช่วงเย็นเนื่องจากสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ใช้ดวงจันทร์ในเวลากลางคืน และใช้ดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาโปรแกรมคำนวณเพื่อหาตำบลที่เรือเพิ่มเติมในส่วนของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ เพื่อเป็นการสนับสนุนการฝึกเดินเรือดาราศาสตร์ของนักเรียนนายเรือได้อย่างสมบูรณ์แบบในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560 – 2579 [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา; 2563. [สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ก.พ. 2564]. จาก: http://www.lampang.go.th/public60/EducationPlan2.pdf

[2] US Navy renews training in celestial navigation over GPS hack fears [Internet]. Massachusetts: SOPHOS; 2015.[updated 2015 Oct 22; cited 2021 Feb 28]. Available from: https://nakedsecurity.sophos.com/2015/10/22/us-navy-renews-training-in-celestial-navigation-over-gps-hack-fears/.

[3] จรินทร์ บุญเหมาะ. ปฏิทินเดินเรือ (The Nautical Almanac). สมุทรปราการ: กองวิชาเดินเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ; [ม.ป.ป.].

[4] มาตรา Increments and Corrections. สมุทรปราการ: กองวิชาเดินเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ; [ม.ป.ป.].

[5] กองทัพเรือ. เอกสารอ้างอิงกองทัพเรือ 7704 เดินเรือดาราศาสตร์ (อทร.7704) [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพมหานคร: กองทัพเรือ; 2541. [สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มี.ค. 2564]. จาก: http://www.ftc.navy.mi.th/km/Rtn-Ref/7704.pdf

การบำบัดน้ำเสียจากการล้างไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์ โดยการใช้โอโซนในระบบพลาสมาความดันสูง

Treatment of Wastewater from Iso Tank Container Cleaning Process by Using High Pressure Plasma System Ozone

วิชัย ลอยสรวงสิน[1]
Wichai Loysuangsin[1]

Received : January 15, 2021
Revised : February 10, 2021
Accepted : March 18, 2021

บทคัดย่อ

น้ำเสียจากการล้างไอโซแท็งก์นั้น มีการบรรจุสารเคมีหลายประเภท เป็นอีกสาเหตุทำให้เกิดน้ำเสียที่ยากจะบำบัดได้ แต่ด้วยอุตสาหกรรมต่าง ๆ ปัจจุบัน ยังต้องมีการขนส่งสารเคมีอยู่เป็นประจำ และวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ก็คือการขนส่งด้วยไอโซแท็งก์ จึงได้ใช้หลักการทางฟิสิกส์วิศวกรรมออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสีย โดยปั๊มน้ำเสียมาฉีดให้เป็นฝอยเพื่อเพิ่มพื้นที่ของน้ำเสียให้สัมผัสกับโอโซนในระบบพลาสมาความดันสูง การศึกษานี้ ได้ใช้โอโซน 800 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง กับน้ำเสีย 20 ลิตร อัตราการไหล 60 ลิตรต่อชั่วโมง ผลคือทำให้ค่าคุณภาพน้ำที่ใช้ตรวจวัด ได้แก่ ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ค่าบีโอดี (BOD) และค่าซีโอดี (COD) ของน้ำเสียดีขึ้น ในเวลาอันรวดเร็ว คือ ค่า DO เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 24 นาที การวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยค่า R^2 = 0.903 เข้าใกล้ 1 แสดงว่า DO ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับเวลาอยู่ในระดับสูงมาก ส่วน BOD ลดลงร้อยละ 32.79 จาก 6,550 เหลือ 4,402.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 12 นาที โดยมีค่า R^2 = 0.708 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการลดของ BOD มีความสัมพันธ์กับเวลาสูง และ COD ลดลงร้อยละ 14.23 จาก 14,375.33 ลงมาเหลือ 12,330 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 24 นาที ค่า R^2 = 0.871 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการลดของ COD มีความสัมพันธ์กับเวลาสูง เช่นกัน

คำสำคัญ **:** ไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์ โอโซนการบำบัดน้ำเสีย

[1] นักศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
[1] Master of Engineering students Energy and Environment Management Program Siam Technology College
E-mail : wichai@simthai.com

Abstract

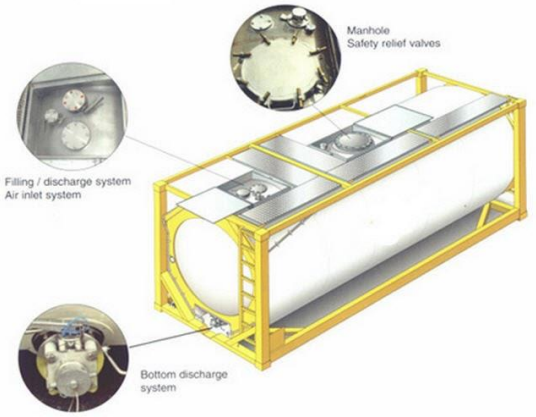
There are many types of wastewater chemicals cleaning from isotank containers. It is another cause of wastewater that is difficult to treat. But with today's industries, chemicals still need to be transported on a regular basis. And how widely used Is the isotank transport Therefore applied the principles of physics engineering to design a wastewater treatment machine The waste water pump is injected into a capillary to increase the area of wastewater exposed to ozone in high pressure plasma systems. In this study, 800 milligram per hour of ozone was applied to 20 liters of wastewater with a flow rate of 60 liters per hour. As a result, the quality of the water used to measure water was dissolved oxygen (DO), BOD and COD of wastewater. In a short time, the DO increased from 0 to 4 milligram per liter in 24 minutes. Statistical analysis with R^2 = 0.903 approaching 1 showed that increased DO was significantly associated with time, whereas BOD. Decreased 32.79 percent from 6,550 to 4,402.33 milligrams per liter in 12 minutes. The value R^2 = 0.708 approached 1, indicating that the reduction of BOD was highly time-related and the COD decreased 14.23% from 14,375.33 down to 12,330 milligram per liter in 24 minutes. R^2 = 0.871 close to 1 indicates that COD reductions are related to high time as well.

***Keywords*:** ISO tank container, Ozone, Wastewater treatment

1. บทนำ

ไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์ คือ ถังบรรจุสารเคมีประเภทของเหลวก๊าซ และผงสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย บรรจุภัณฑ์นี้ ออกแบบตามมาตรฐานสากลเพื่อขนส่งสารเคมีอันตราย และไม่อันตราย จากรูปที่ 1 และ 2 ลักษณะของแท็งก์จะเป็นถังทรงกระบอกแนวยาว อยู่ในโครงเหล็กขนาดใหญ่ ผนังของถังนิยมทำเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) และจะถูกบุด้วยฉนวน หรือชั้นป้องกัน ซึ่งทำมาจากอะลูมิเนียม (Aluminum) หรือโพลียูรีเทน (Poly Urethane) และต้องการควบคุมความดันตามชนิดวัสดุที่นำมาใช้ประกอบบรรจุภัณฑ์ ซึ่งสามารถที่บรรจุได้ 10,000 - 26,000 ลิตร อุตสาหกรรมการขนส่งสารเคมี มีอัตราการเติบโตสูงมาก ยิ่งในกรณีที่ขนส่งสารเคมีที่มีความจำเพาะ และปริมาณมาก เพราะมีความจำเป็นต้องใช้สูง

เพื่อความสะอาดและความปลอดภัยในการใช้งานจึงต้องมีกระบวนการล้างที่ถูกวิธีทำให้เกิดอุตสาหกรรมล้างบรรจุภัณฑ์ “ไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์” ขึ้น และทำให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการนี้เช่นกัน ซึ่งอาจจะประกอบด้วยสารเคมีและสารอินทรีย์ที่ขนถ่ายและสารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาดส่งผลให้อาจเกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยผู้ประกอบการมิได้มีเจตนา [1]



รูปที่ 1 ภาพจำลองไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์ [2]



รูปที่ 2 การดำเนินการของโรงงานที่มีการใช้สารเคมี [3]



รูปที่ 3 ถังบรรจุสารเคมีเพื่อการขนส่ง
: ไอโซแทงก์คอนเทนเนอร์



รูปที่ 4 การขนส่งสารเคมีโอโซน
โดยไอโซแทงก์คอนเทนเนอร์

ดังนั้น เพื่อต้องการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้จึงเลือกการใช้โอโซนซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่ำขั้นตอนสะดวกเหมาะสมกับน้ำเสียที่เกิดจากการล้างไอโซแท็งก์ เนื่องจากมีสารเคมีหลายชนิดปะปนกันอยู่ และโอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง มีความสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด รวมทั้งเชื้อไวรัส ของโรคไข้หวัดใหญ่ (Influenza) เชื้อโรคโปลิโอ (Poliomyelitis) และเชื้อบิด (Endamoeba Histolytica)

โอโซนสามารถสลายตัวได้ง่าย และเปลี่ยนเป็นออกซิเจนเมื่อสัมผัสกับสารรีดิวส์ หรือใช้โลหะทรานซิชั่นเป็นตัวเร่งจากสมบัติดังกล่าวจึงมีการนำโอโซนมาบำบัดน้ำเสียจากชุมชน และน้ำทิ้งจากโรงงาน โอโซนสามารถออกซิไดซ์โลหะหนักต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ เช่น Pb^{2+}, Cd^{2+}, Hg^{2+}, Mn^{2+} เป็นต้น [4]

$$Pb^{2+} + 2O_3 \rightarrow PbO_2 + 2O_2$$

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มลพิษทางน้ำ

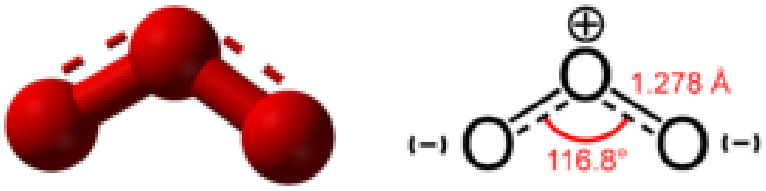
มลพิษทางน้ำ (Water Pollution) เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มากที่สุด ปัญหาหนึ่งของประเทศ เมื่อเปรียบเทียบกับปัญหามลพิษอื่น ๆ ปัญหามลพิษทางน้ำมักเกิดกับเมืองใหญ่ แหล่งน้ำที่สำคัญของ ประเทศซึ่งถูกปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรก และสารมลพิษต่าง ๆ ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้เต็มที่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต การพัฒนาทางเศรษฐกิจ และสังคม

สาเหตุของการเกิดมลพิษทางน้ำ ส่วนใหญ่เกิดจากน้ำทิ้งจากที่อยู่อาศัย ซึ่งมักจะมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนมาด้วย น้ำทิ้งดังกล่าวมักเป็นสาเหตุของการที่น้ำมีสีดำ และมีกลิ่นเน่าเหม็น น้ำที่มีสารพิษตกค้างอยู่ เช่น น้ำจากแหล่งเกษตรกรรมที่มีปุ๋ย และยากำจัดศัตรูพืช น้ำทิ้งที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น สารเหล่านี้จะถูกสะสมในวงโคจรห่วงโซ่อาหารของสัตว์น้ำ และมีผลต่อมนุษย์ ภายหลัง

2.2 การบำบัดน้ำเสียโดยการใช้โอโซน

โอโซน เป็นสารออกซิแดนท์ที่แข็งแกร่งสามารถใช้ในการเพิ่มความเสถียรของน้ำผิวดิน หรือน้ำใต้ดิน รวมถึงการบำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัดจุลินทรีย์ ไอออนอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ การใช้โอโซนที่เก่าแก่ที่สุดนั้น เป็นเหมือนไบโอไซด์ในการบำบัดน้ำดื่ม การได้รับโอโซนเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นสำหรับการฆ่าเชื้อโรคในระดับที่กำหนด สามารถคำนวณได้จากค่าคงที่จลศาสตร์การเคลื่อนไหวของจุลินทรีย์ โอโซนกำจัดเหล็กแมงกานีส และสารหนูจากน้ำโดยการออกซิเดชั่นไปยังรูปแบบที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งจะถูกแยกออกโดยการกรองเพิ่มเติม กระบวนการทั้งสองต้องการโอโซนในรูปโมเลกุล แต่การกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นวัสดุทนไฟเพื่อการรักษาอื่น ๆ สามารถทำได้โดยการใช้ประโยชน์จากปฏิกิริยาทางอ้อมที่เกิดขึ้นในช่วงโอโซน ทางตอนเหนือของสวีเดนได้มีการศึกษาในอีกสาขาอุตสาหกรรมที่ใช้โอโซน คือ การกำจัดยาโดยการทิ้งลงไปในระบบการกำจัดน้ำเสีย แม้ว่าไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่ทันสมัย (Wastewater Treatment Plant: WWTP) แต่น่าแปลกใจที่ WWTP ได้รับการระบุว่าเป็นแหล่งสำคัญของเวชภัณฑ์ที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อม สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เกิดขึ้นจากการเติมโอโซน ทางเภสัชกรรมในน้ำทิ้งของ WWTP เป็นหนึ่งในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีการพิจารณามากที่สุด ซึ่งมีความสามารถพร้อมสำหรับการใช้งานเต็มรูปแบบในแง่การจัดการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมยานี้ อย่างไรก็ตามมีหลายแง่มุมของการใช้งานที่จะต้องมีการวิจัยเพิ่มเติม ซึ่งพบว่าโอโซนนั้น ได้มีผลกระทบกับแบคทีเรียต่าง ๆ หลายชนิดอย่างชัดเจนแบบมีนัยสำคัญ [5]

โอโซน (Ozone หรือ O_3) เป็นโมเลกุลของก๊าซ ที่ประกอบจากก๊าซออกซิเจน 3 อะตอม ดังรูปที่ 5 ปรากฏ อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก และมีการใช้งานในทางอุตสาหกรรม และเครื่องใช้ตามบ้านทั่วไป



รูปที่ 5 รูปร่างโมเลกุลของโอโซน [6]

โอโซน ถูกค้นพบครั้งแรกโดย คริสเตียน ฟรีดริช เชินไบน์ (Christian Friedrich Schönbein) นักเคมีชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1840 โดยตั้งชื่อตามภาษากรีกคำว่า Ozein ซึ่งแปลว่ากลิ่น โอโซนเข้มข้นมีสีฟ้าที่อุณหภูมิ และความดันมาตรฐาน (Standard Temperature and Pressure; STP) เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง -112 องศาเซลเซียส โอโซนจะเป็นของเหลวสีน้ำเงิน และเมื่ออุณหภูมิ ลดต่ำกว่า -193 องศาเซลเซียส ก็จะกลายเป็นของแข็งสีดำ นอกจากแก๊สโอโซนเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดี หากเกิดการสัมผัสกับสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) อย่างรวดเร็ว ซึ่งมีปฏิกิริยาสูงถึง 2.07 โวลต์ (Oxidation Potential) ในขณะเดียวกันก็เป็นสารที่ไม่อยู่ตัว มักจะสลายเป็นก๊าซออกซิเจนได้ง่ายดังสมการ [6]

$$2O_3 \rightarrow 3O_2$$

โอโซนเป็นก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอน และมีแสงแดดเป็นตัวพลังงานที่ทำให้เกิดก๊าซโอโซน โดยปกติแล้วในบรรยากาศชั้นล่างจะมีโอโซนปะปนอยู่เล็กน้อย ซึ่งมีมากแถวชายทะเลที่แสงแดดจัด ส่วนในบรรยากาศที่ชั้นบนจะมีเป็นชั้นโอโซนอยู่ [7] ประโยชน์ของโอโซนคือ เพิ่มออกซิเจนในอากาศทำให้อากาศบริสุทธิ์ขึ้น แต่ถ้าในบรรยากาศของเรามีก๊าซโอโซนมากเกินไป ก็จะก่อให้เกิดโทษได้มากมายเช่นกัน เช่น ทำให้เกิดอาการแสบตาระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ และรุนแรงถึงขั้นก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้เพราะก๊าซโอโซนมีคุณสมบัติ ยอมให้แสงผ่านได้มากกว่าก๊าซชนิดอื่น

สำหรับโอโซนในบรรยากาศชั้นบนนั้น พบว่านับวันโอโซนจะลดลงเรื่อย ๆ ทั้งนี้เพราะมีการปล่อยสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน ซึ่งสารพวกนี้จะใช้ขับดันในกระป๋องฉีดสเปรย์ เมื่อปล่อยสู่บรรยากาศจะไปทำลายโอโซน ทำให้ชั้นโอโซนลดลง ปริมาณรังสีอุลตราไวโอเลตที่ส่งมายังพื้นโลกก็สามารถผ่านมาได้มากขึ้น ทำให้มีระดับมากกว่าปกติ อาจทำให้มีระดับมากกว่าปกติ อาจทำให้เกิด มะเร็งที่ผิวหนังได้ [1]

ตัวอย่างสมการ การเกิดปฏิกิริยาของโอโซน

การทำปฏิกิริยาสลายกลิ่นแอมโมเนีย:

$$3O_3 + 2NH_3 \rightarrow N_2 + 3H_2O + 3O_2$$

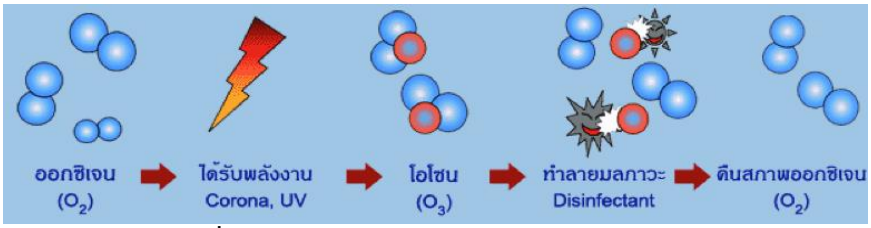
การทำปฏิกิริยาสลายพิษคาร์บอนมอนอกไซด์:

$$O_3 + CO \rightarrow CO_2 + O_2$$

จุดเด่นของการใช้ก๊าซโอโซน

1. ฆ่าเชื้อโรคได้รวดเร็วโดยเฉพาะแบคทีเรีย (ทำให้เกิดโรค และกลิ่นเหม็น) ที่ความเข้มข้นเพียง 0.01 - 0.04 ppm.
2. ทำลายกลิ่น สารเคมี และก๊าซพิษได้ดีเยี่ยม
3. ไม่ทิ้งพิษตกค้างเพราะเมื่อทำปฏิกิริยากับมลพิษเสร็จทุกครั้งจะได้ออกซิเจน (O_2) จึงเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมที่ดี
4. สามารถผลิตขึ้นได้จากอากาศทั่วไป และบริเวณที่มีไฟฟ้าใช้
5. สามารถควบคุมได้ง่าย อย่างอัตโนมัติ
6. ค่าใช้จ่ายในการใช้งาน และบำรุงรักษาต่ำมาก และใช้ได้ตลอดไป ไม่ต้องคอยเปลี่ยนใหม่ เหมือนสารเคมีดับกลิ่นอื่น ๆ

จากข้อมูลที่กล่าวมา ไม่ว่าจะเป็นการฆ่าเชื้อ กำจัดมลพิษ ราคาที่ไม่สูง จึงทำให้การนำโอโซนไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น โรงงานผลิตน้ำดื่มผ่านการฆ่าเชื้อด้วยน้ำโอโซน เครื่องฟอกอากาศ เครื่องปรับอากาศในบ้าน เป็นต้น

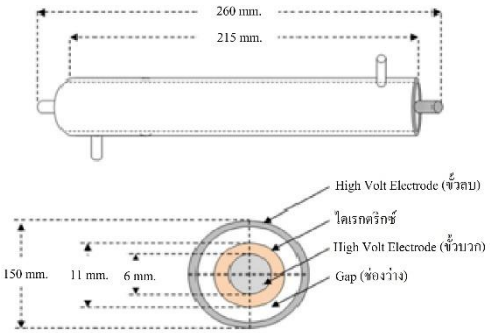


รูปที่ 6 กระบวนการแปลงสภาพของโอโซน [8]

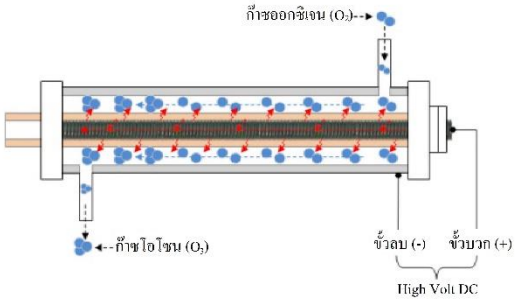
จากเหตุผลข้างต้น จึงนำมาถึงหัวข้อที่ผู้วิจัยทำการทดลองโดยใช้โอโซนในระบบพลาสมา ความดันสูง มาบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการล้างไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์ โดยใช้การวัดค่า DO ค่า BOD และค่า COD ในการพิจารณาคุณภาพน้ำ เป็นสำคัญ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง วิจัย เครื่องผลิตโอโซนในระบบพลาสมาความดันสูง

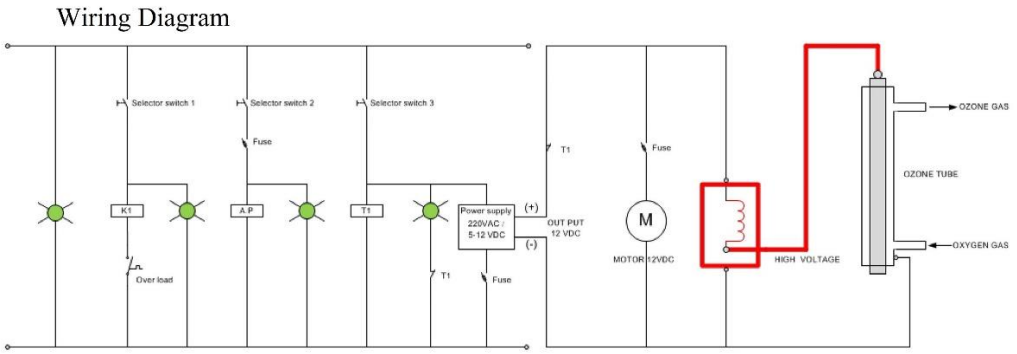


รูปที่ 7 ขนาดภายนอก และภายในหลอดผลิตโอโซน[4]



รูปที่ 8 ลักษณะการเกิดโอโซน [4]

หลักการทำงานโดยนำแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ (VAC) ความถี่ 50 เฮิร์ต (Hz) แปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ (VDC) โดยใช้ Rectifier Diode และตัวเก็บประจุ จากนั้นก็นำไปจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ 12 โวลต์ (VDC) ที่สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ เพื่อสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงด้วยอุปกรณ์สร้างแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูง (High Voltage) และความถี่สูง (High Frequency) ที่สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้า และความถี่สูงได้ ดังแสดงในรูปที่ 9 [4]



รูปที่ 9 วงจรสร้างแรงดันไฟฟ้า High Voltages, High Frequency [4]



อุปกรณ์ เครื่องแก้ว และสารเคมี



เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

รูปที่ 10 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง วิจัย





รูปที่ 11 ขณะทดลอง การเติมโอโซนในระบบพลาสมาความดันสูง

3.2 การวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนละลาย หรือ ดีโอ (DO)

การหาค่าออกซิเจนละลายสามารถวัดโดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางเคมีที่เรียกว่าเอไซด์โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification) ซึ่งเป็นวิธีวัดออกซิเจนละลายได้ทั้งในน้ำสะอาด น้ำเสีย และน้ำที่ผ่านการบำบัดทางชีววิทยาแล้ว [9]

3.3 การวิเคราะห์หาค่าบีโอดี BOD

บีโอดี (BOD; Biochemical Oxygen Demand) เป็นวิธีมาตรฐานสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ สำหรับน้ำทิ้ง น้ำโสโครก และน้ำเสีย เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่ต้องการสำหรับการสลายตัว ทางชีวะของสารอินทรีย์ (Carbonaceous Oxygen Demand: COD) และออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์ สารอนินทรีย์ เช่น ซัลไฟล์ และเฟอร์รัสไอออน ซึ่งอาจจะรวมค่าออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์ ไนโตรเจน (Nitrogenous Demand) ถ้าไม่ใส่สารยับยั้งการย่อยสลายไนโตรเจน [9]

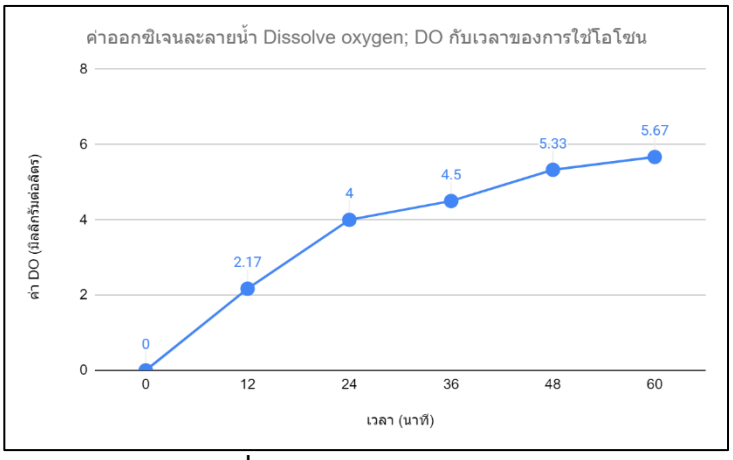
3.4 การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี COD ด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

วิธีนี้ประหยัดกว่าวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด แต่ต้องผสมตัวอย่างน้ำที่มีสารแขวนลอย ให้เข้ากันให้ดี เพื่อได้ผลที่ถูกต้อง และวิธีนี้จะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยได้มากกว่า เนื่องจาก สัมผัสสารโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ได้นานกว่า เหมาะสมกับตัวอย่างน้ำที่มีค่าซีโอดีต่ำกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

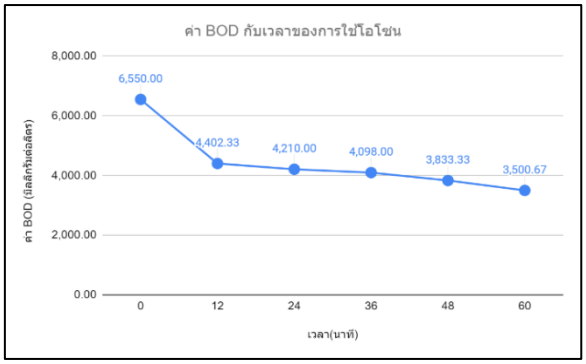
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลองค่า DO, BOD และ COD

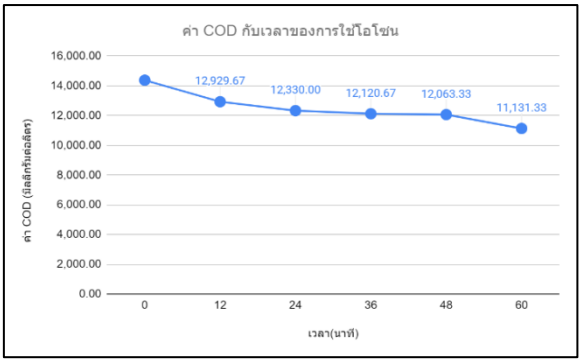
จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้โอโซนในระบบพลาสมาความดันสูงในเวลาที่เพิ่มขึ้น ได้ค่าออกซิเจนละลายน้ำ Dissolved Oxygen; DO, BOD และ COD (มิลลิกรัมต่อลิตร: mg/l) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟได้ดังรูปที่ 12, 13 และ 14 ตามลำดับ



รูปที่ 12 DO กับเวลาเติม O_3

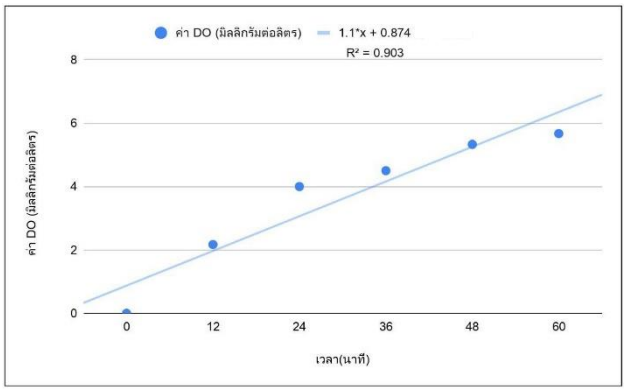


รูปที่ 13 BOD เวลาเติม O_3

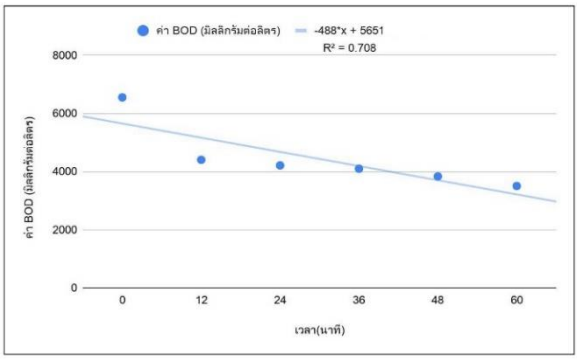


รูปที่ 14 COD กับเวลาเติม O_3

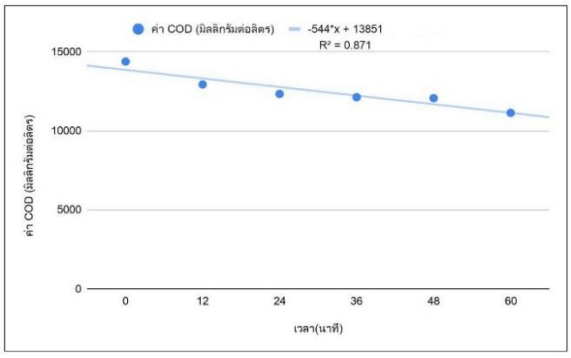
โดยการนำผลการทดลองมาสร้างกราฟแบบสมสนิทดี (Fitting Curve) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO), BOD และ COD กับระยะเวลา (Time) แล้วนำมาหาค่าความชัน (Slope) จากพารามิเตอร์ (Parameter ของ a และ b จากจุดต่าง ๆ ของกราฟ โดยให้ y = ax + b เป็นฟังก์ชันที่ผ่านจุดเหล่านี้ เมื่อ a = ความชัน (Slope) ของ DO/Time และ R^2 (สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ) จาก R^2 = 1- (SSE/SST) (SST: Sum Square of Total; SSE: Sum Square of Error เมื่อนำผลการทดลองระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับเวลาที่ผ่านไป มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ และหาค่าความชัน (Slope) และค่า R^2 [10]



รูปที่ 15 R^2 ของ DO.



รูปที่ 16 R^2 ของ BOD



รูปที่ 17 R^2 ของ COD

5. สรุปผลการวิจัย

พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในกราฟ รูปที่ 12 เมื่อนำผลการทดลองระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับเวลาที่ผ่านไปมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์และหาค่าความชัน (Slope) และค่า R^2 [10] ได้ค่าความชัน (Slope) เท่ากับ 1.1 และ R^2 เท่ากับ 0.903 ค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าค่าออกซิเจนละลายที่เพิ่มขึ้น มีความสัมพันธ์กับเวลา อยู่ในระดับสูงมาก [11]

ดังที่แสดงในกราฟ ตามรูปที่ 15 แสดงว่าการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำที่สัมพันธ์กับเวลานั้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Correlation) [12] และเพราะว่าโอโซนละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน 10 เท่า

มาวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าบีโอดีกับเวลา นำมาหาค่าความชัน (Slope) และค่า R^2 = 0.708 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการลดลงของค่าบีโอดี มีความสัมพันธ์กับเวลาสูง ดังรูปที่ 16 พบว่าปริมาณค่าบีโอดีลดลงเมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มขึ้น [12]

การลดลงของค่าซีโอดีกับเวลา นำมาหาค่าความชัน (Slope) และ R^2 ซีโอดีของน้ำเสีย ดังรูปที่ 17 พบว่าปริมาณค่าซีโอดีลดลง ผลการวิเคราะห์ค่า R^2 = 0.871 ในถังปฏิกิริยามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการลดลงของค่าซีโอดีมีความสัมพันธ์กับเวลาสูง เมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มขึ้น [13]

สรุปข้อมูลค่าใช้จ่ายพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย

ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในระบบพลาสมาความดันสูง อยู่ที่ 0.1892 kW ที่อัตราการไหล 6 ลิตรต่อนาที ดังนั้นการบำบัดน้ำเสีย 6 ลิตรใช้เวลา 1 นาที

ถ้าบำบัดน้ำเสีย 1,000 ลิตร จะใช้เวลา (1,000 x 1)/6 = 166.66 นาทีหรือ 2.77 ชั่วโมง

สูตรการคิดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ

ค่ากำลังไฟฟ้า (kW) x เวลาในการใช้งาน (ชั่วโมง) x ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท)

แทนค่าจะได้ = 0.1892 kW x 2.77 ชั่วโมง x 4 บาท = 2.09 บาท / น้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

หมายเหตุ: คำนวณจากค่าพลังงานไฟฟ้าโรงงานหน่วยละ 4 บาท (ข้อมูลปี พ.ศ.2562)

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ภาวะมลพิษภัยใกล้ตัว. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ; 2534.

[2] Allbiz(C2010-21), ISO Tank Container, Retrived Oct 24, 2018 from https://gujarat.all.biz/iso-tank-container-g335953

[3] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กฎหมายที่เกี่ยวข้องและการตรวจโรงงานที่มีการใช้สารเคมี. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม; 2560.

[4] ไพโรจน์ หอมอ่อน. การพัฒนาและออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ด้วยเทคโนโลยีโอโซนระบบพลาสมาความดันสูง [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. [กรุงเทพ]: วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม; 2558.

[5] Nilsson F. Application of ozone in wastewater treatment: Oxidation of pharmaceuticals and filamentous bulking sludge [Doctural Thesis]. [Lund]: Lund University; 2017.

[6] Hindawi [Internet]. London: Rita Bhatta; c2015. Treatment of Wastewater by Ozone Produced in Dielectric Barrier Discharge; [modified 2015 Jun 22; cited 2020 Sep 18]; [about 1 p.]. Available from: http://dx.doi.org/10.1155/2015/648162

[7] วิกิพีเดีย [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: วิกิพีเดีย; [สืบค้นเมื่อวันที่ 18 ก.ย. 2559]. จาก https://th.wikipedia.org/wiki/โอโซน

[8] การประปานครหลวง. โอโซน. วารสารออนไลน์คลินิกน้ำสะอาด [อินเทอร์เน็ต]. 2556 [สืบค้นเมื่อวันที่ 18ก.ย. 2559];3(2):9-10. จาก: http://cwc.mwa.co.th/index.php?page=showarticlebytopic.php&id=16

[9] Fresenius W and Quentin KE. Water Analysis. Berlin Heidelberg: Springerverlag; 1988.

[10] Kutner MH, Christopher J and Buser HR. Applied Linear Statistical Models. 5th ed. Boston: McGraw-Hill Irwin; 2005.

[11] Zhou H and Daniel W. Ozone Mass Transfer in Water and Wastewater Treatment: Experimental Observations Using a 2D Laser Particle Dynamics Analyzer. Water Research [Internet]. 2000 [cited 2016 Jun 21];(34), 909-9211. Available from: https://www.sciencedirect. com/science/article/abs/pii/S0043135499001967?via%3Dihub

[12] Guikford, JP and Benjamin F. Fundamental Statics in Psychology and Education. Tokyo: McGraw-Hill Kagakusha; 1973.

[13] George T and Franklin B. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. 3rd ed. New York: McGraw – Hill; 1991.

The Equi–Area/Ratio วิธีการใหม่ในการแบ่งเขตแดนทางทะเล

The Equi-Area/Ratio The New Method for Maritime Delimitation

สมาน ได้รายรัมย์ [1]
Samharn Dairairam

Received : November 2, 2020
Revised : January 26, 2021
Accepted : March 18, 2021

บทคัดย่อ

ลักษณะภูมิประเทศตามธรรมชาติที่อยู่เหนือน้ำนอกฝั่งทั้งที่เป็นหิน เกาะต่าง ๆ นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดเส้นฐานตรงของรัฐชายฝั่ง เขตทะเลตามที่มีการระบุไว้ในอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยกฎหมายทะเล ค.ศ.1982 (United Nations Convention on the Law of the Sea: UNCLOS 1982) จะวัดความกว้างของเขตทางทะเลต่าง ๆ จากเส้นฐานปกติ หรือเส้นฐานตรง นอกจากนี้รัฐชายฝั่งยังใช้เส้นฐานตรงเป็นพื้นฐานในการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างประเทศ รัฐชายฝั่งจะอ้างอำนาจและสิทธิอธิปไตยให้มากที่สุดเท่าที่จะสามารถกระทำได้โดยการใช้ หิน เกาะต่าง ๆ เพื่อขยายเส้นฐานตรงออกไปในทะเล ลักษณะทางภูมิศาสตร์บางพื้นที่ หิน และ เกาะต่าง ๆ ที่ถูกนำมากำหนดเป็นจุดเชื่อมต่อของเส้นฐานตรงนั้นมีความคลุมเครือในการนำมาร่วมพิจารณา เช่น เกาะบางเกาะของเส้นฐานตรงอยู่ไกลจากฝั่งมากเกินไป หรือไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของ UNCLOS 1982 บางกรณีต้องใช้การตีความในการนำหินหรือเกาะที่เรียงรายอยู่ตามแนวชายฝั่งมาเป็นส่วนหนึ่งของเส้นฐานตรง เช่น บริเวณใกล้เคียง (Immediate Vicinity) เกาะเล็กเกาะน้อย ที่เป็นเสมือนเกาะบริวารของเกาะใหญ่ (A Fringe of Islands) อย่างไรก็ตามจุดประสงค์หลักในการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐตามที่ระบุไว้ใน UNCLOS 1982 คือ การแบ่งเขตแดนทางทะเลต้องบรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรม (Equitable Solution) เพื่อเป็นการลดความเป็นนามธรรมในการนำ หิน หรือเกาะ ที่มักมีความเห็นแตกต่างกันระหว่างรัฐคู่กรณีมาเป็นส่วนหนึ่งของการแบ่งเขตแดนทางทะเล การนำเสนอ The Equi–Area/Ratio ของงานวิจัยนี้ เป็นแนวคิดวิธีการรูปแบบใหม่ในการแบ่งเขตแดนทางทะเล ที่สามารถนำเกาะทุกเกาะ หินทุกก้อน ไม่ว่าจะอยู่ใกล้หรือไกลฝั่งเพียงใดก็ตาม มาเป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาแบ่งเขตแดนทางทะเลได้เป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้นด้วยการนำขีดความสามารถของระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System: GIS) มาวิเคราะห์และประมวลผลสำหรับการปรับแต่งเส้นเขตแดนทางทะเลเพื่อให้บรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรม

คำสำคัญ: เส้นฐานปกติ, เส้นฐานตรง, ความเที่ยงธรรม, เส้นมัธยะ

[1] รองผู้อำนวยการ กองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
Deputy Director of Department of Hydrographic Engineering, Education Branch, Royal Thai Naval Academy
E-mail: samharn92@yahoo.com

Abstract

Offshore features, islands, rocks or low tide elevations, are very important for extending straight baselines. Measurement of maritime zones starting from either normal baselines or straight baselines is defined in United Nations Convention on the Law of the Sea 1982 (UNCLOS 1982). Straight baselines delineated from or to offshore features usually are control points for drawing median line or equidistance line. The coastal State takes the advantages for maritime delimitation by claiming the outermost offshore features which some are very small and very far from mainland as a part of straight baseline. UNCLOS 1982 does not give the exact meaning, such as distance from the shore or area of the offshore feature, about offshore features suitable for delineating either straight baselines or maritime delimitation. The vagueness is in UNCLOS 1982 for maritime delimitation. Firstly, the immediate vicinity is not to be specific distance between mainland and offshore features. Secondly, a fringe of islands is as same as the immediate vicinity. And thirdly, equitable solution is the goal for maritime delimitation. Making equitable solution more objective and reducing the vagueness of immediate vicinity and a fringe of islands, the Equi-Area/Ratio is the new method for maritime delimitation. The Equi-Area/Ratio applies Geographic Information System (GIS) for taking every rock and island not matter in distance or size to be analyzed to find the equitable area or the equitable ratio. Regarding the equitable area or the equitable ratio, the median line will be adjusted to meet the equitable solution.

Key words: Normal Baselines, Straight Baselines, Equitable Solution, Median Line

1. บทนำ

การแบ่งเขตแดนทางทะเลที่เป็นที่ยอมรับกันได้แก่วิธีการของเส้นมัธยะ โดยสามารถแบ่งได้สองวิธีการย่อย ๆ คือ Median Line [1] สำหรับรัฐชายฝั่งที่อยู่ตรงข้าม และ Equidistance Line [1] สำหรับรัฐชายฝั่งที่อยู่ประชิดกัน หากชายฝั่งที่เกี่ยวข้องในการแบ่งเขตแดนทางทะเลมีลักษณะราบเรียบเป็นเส้นตรง เส้นมัธยะเปรียบเสมือนเส้นแบ่งครึ่งมุม หากแนวชายฝั่งมีความเว้าแหว่ง คดเคี้ยว ไม่ราบเรียบ เส้นมัธยะจะเบี่ยงเบนไปตามภูมิประเทศ ด้วยการเลือกจุดควบคุมเพื่อสร้างเส้นแบ่งครึ่งดังกล่าวให้มีความเที่ยงธรรมมากที่สุด การสร้างเส้นมัธยะจะมีความสลับซับซ้อนมากขึ้นเมื่อชายฝั่งที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเขตแดนทางทะเลมีหินหรือเกาะเรียงรายตามแนวชายฝั่ง และรัฐชายฝั่งคู่กรณีมีความเห็นเกี่ยวกับการนำหินหรือเกาะมาเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างเส้นมัธยะไม่สอดคล้องกัน เมื่อรัฐคู่กรณีฝ่ายหนึ่งนำหินหรือเกาะที่มีความเห็นฝ่ายเดียวว่ามีความเหมาะสมทั้งในส่วนของพื้นที่และระยะห่างจากแผ่นดิน มาเป็นส่วนหนึ่งในการ

สร้างเส้นมัธยะหรือเขตแดนทางทะเลระหว่างกัน ในทางตรงข้าม รัฐคู่กรณีมีความเห็นแย้งว่าหินหรือเกาะดังกล่าวนั้นไม่มีความเหมาะสมทั้งในเรื่องของขนาดพื้นที่หรือระยะทาง หากต้องการนำมาเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างเส้นเขตแดนก็ควรจะให้ผลเพียงบางส่วนเท่านั้น ความเห็นที่แตกต่างกันสืบเนื่องมาจาก UNCLOS 1982 มิได้กำหนดไว้อย่างชัดเจนเกี่ยวกับการนำหินหรือเกาะ มาเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดเส้นเขตแดนทางทะเล โดยลักษณะภูมิประเทศ หินหรือเกาะ ที่ถูกนำมาเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างเส้นฐานตรง ซึ่งเป็นปัจจัยในการสร้างเส้นเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐชายฝั่งได้ถูกบัญญัติไว้เพียงว่า “Deeply Indented And Cut Into” [2] สำหรับการสร้างเส้นฐานตรงในบริเวณชายฝั่งที่มีลักษณะไม่ราบเรียบ คดเคี้ยว และประเด็นในเรื่องของระยะทาง “Fringe of Islands” หรือ “Immediate Vicinity” [3] ที่ถูกนำมาใช้เป็นปัจจัยในการสร้างเส้นฐานตรง หรือการขยายระยะของอาณาเขตทางทะเลในส่วนของน่านน้ำภายใน บริเวณที่มีเกาะเล็กเกาะน้อยต่าง ๆ หรือหินเรียงรายตามแนวชายฝั่ง ที่ UNCLOS 1982 มิได้กำหนดระยะห่างจากแผ่นดินที่ชัดเจน การเปลี่ยนแปลงหรือปรับแต่งเส้นมัธยะที่ไม่เป็นไปตามแนวทางการสร้างเส้นมัธยะตามปกติมีสาเหตุหลักๆ 2 ประการ คือ เหตุผลทางประวัติศาสตร์ (Historical Titles) และ สภาวะแวดล้อมพิเศษ (Special Circumstance) [2] ซึ่งมีลักษณะเป็นนามธรรม สืบเนื่องจากผลการตัดสินของศาลระหว่างประเทศทั้ง ศาลยุติธรรมระหว่างประเทศ (International Court of Justice: ICJ) และ ศาลยุติธรรมระหว่างประเทศทางทะเล (International Tribunal for the Law of the Sea: ITLOS) ก็มีผลการตัดสินที่แตกต่างกันไปแล้วแต่กรณี มิได้นำผลการตัดสินใดๆ มาเป็นบรรทัดฐานในการพิจารณาตัดสิน ดังผลการตัดสินการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างเมียนมาและบังคลาเทศที่ ITLOS ได้พิจารณาว่า “There is no general rule in this respect, the ultimate goal being to reach a solution that is equitable” [4]

มีความพยายามคิดค้นวิธีการแบ่งเขตแดนทางทะเลรวมทั้งวิธีการปรับแต่งเส้นมัธยะ โดยการถ่ายทอดบทบัญญัติต่าง ๆ ใน UNCLOS 1982 จากคำพรรณนามาสู่วิธีการในคู่มือเทคนิคกฎหมายทะเล (A Manual on Technical Aspects of The United Nations Convention on the Law of the Sea: TALOS) ซึ่งจัดทำโดยคณะที่ปรึกษาด้านเทคนิคกฎหมายทะเล (Advisory Board for the Law of the Sea: ABLOS) ภายใต้องค์การอุทกศาสตร์สากล (International Hydrographic Organization: IHO) แต่วิธีการต่าง ๆ ใน TALOS ยังไม่กำหนดแนวทางที่เป็นรูปธรรมเกี่ยวกับการนำหินหรือเกาะ ที่รัฐชายฝั่งคู่กรณีมีความเห็นแย้งกันมาเป็นส่วนหนึ่งของการแบ่งเขตแดนทางทะเลได้อย่างครบถ้วนชัดเจน หรือแม้แต่นำมาเป็นส่วนหนึ่งในการปรับแต่งเส้นมัธยะหรือเส้นเขตแดนทางทะเล ดังจะเห็นได้จากข้อขัดแย้งที่ยังคงมีอยู่แม้จะใช้วิธีการตามที่ TALOS กำหนด มีเพียงคำตัดสินของศาลจากกรณีที่เคยตัดสินแล้วเป็นการอ้างอิงเท่านั้น The Equi-Area/Ratio จึงเป็นวิธีอันมีตรรกะที่สามารถเข้าใจตามวิธีการทางภูมิศาสตร์ที่จะทำให้รัฐชายฝั่งคู่กรณี ยอมรับในผลการวิเคราะห์และประมวลผลเพื่อนำมาปรับแต่งเส้นมัธยะ โดยเป็นการนำ หินหรือเกาะ ทุก ๆ แห่งมาเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างเส้นมัธยะ ซึ่งเส้นมัธยะจะถูกปรับแต่งตามอัตราส่วนที่เหมาะสมตามขนาดของพื้นที่และระยะทางจากแผ่นดินของหินหรือเกาะที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์ด้วย GIS มีผลลัพธ์เป็นตัวเลขที่เป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ดังนั้นการปรับแต่งเส้นมัธยะเพื่อให้ได้เส้นเขตแดนทางทะเล

บนพื้นฐานของวิธีการทางภูมิศาสตร์ซึ่งเป็นข้อมูลที่เห็นเป็นรูปธรรม จะสร้างความเข้าใจที่สามารถยอมรับได้ของคู่กรณี และสามารถทำให้บรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรมได้ชัดเจน สามารถใช้เป็นทางเลือกที่ชัดเจนกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการนำหลักฐานความเป็นมาทางประวัติศาสตร์ (Historical Titles) มาประกอบการพิจารณา แต่ก็อาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนทั้งในส่วนของการเขียนประวัติศาสตร์เฉพาะฝ่ายตน โดยอีกฝ่ายไม่รับรู้ในประวัติศาสตร์ดังกล่าว หรือกรณีของสนธิสัญญาที่กระทำระหว่างรัฐที่ปกครองกับรัฐคู่กรณีเมื่อเวลาผ่านไปรัฐที่ถูกปกครองได้รับเอกราชและทำการแก้ไขปัญหาเขตแดนทางทะเลระหว่างกันตามสนธิสัญญาที่เคยมีมาในอดีตก็อาจจะมีการตีความเนื้อหาในสนธิสัญญาที่แตกต่างกันแม้จะเป็นเรื่องเดียวกันก็ตาม รวมถึงสภาวะแวดล้อมพิเศษอื่น ๆ (Special Circumstance) ที่มีความหลากหลาย เช่น สภาพสังคม เศรษฐกิจ การดำรงชีพ เชื้อชาติ การสัญจร ฯลฯ ที่บางรัฐมองว่าเกี่ยวข้องสามารถนำมาประกอบการพิจารณาได้แต่บางรัฐกลับมีความเห็นต่าง

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาและทดสอบวิธีการแบ่งเขตแดนทางทะเลด้วยวิธี The Equi-Area/Ratio ซึ่งเป็นวิธีแบ่งเขตแดนทางทะเลวิธีการใหม่ ที่สามารถนำหินหรือเกาะที่อยู่นอกฝั่งมาเป็นส่วนหนึ่งในการแบ่งเขตแดนทางทะเล

2.2 เพื่อวิเคราะห์ความสามารถการใช้งานได้จริงของวิธี The Equi-Area/Ratio ที่ลดความคลุมเครืออย่างเป็นรูปธรรม บรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรมตามจุดประสงค์หลักในการแบ่งเขตแดนทางทะเลตามที่ระบุไว้ใน UNCLOS 1982

3. ขอบเขตการศึกษา

เป็นการศึกษาและทดสอบวิธีการใหม่ในการแบ่งเขตแดนทางทะเลที่ชื่อว่า The Equi-Area/Ratio โดยการวิเคราะห์และประมวลผลเขตแดนทางทะเลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับสถานการณ์พื้นที่สมมติที่ทำการแบ่งเขตแดนทางทะเลด้วยวิธีการของเส้นมัธยะ และเปรียบเทียบกับผลการตัดสินของศาลเกี่ยวกับการแบ่งเขตแดนทางทะเลที่มีการแบ่งเขตแดนทางทะเลโดยการนำหินหรือเกาะเข้ามาเกี่ยวข้องกับการแบ่งเขตแดนทางทะเล ไม่นำพื้นที่จริงที่ยังมีความขัดแย้งหรืออยู่ระหว่างการเจรจาในเรื่องเขตแดนทางทะเลมาศึกษาแต่อย่างใด

4. วิธีดำเนินการ

4.1 ทดสอบวิธี The Equi-Area/Ratio กับสถานการณ์ต่าง ๆ คือ การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์สมมุติเป็นพื้นที่ทดสอบ ทั้งนี้ได้มีการจำลองชายฝั่งเพื่อให้พื้นที่มีความเหมาะสม สะดวกต่อการอธิบาย การทดสอบกับผลการตัดสินของศาลยุติธรรมระหว่างประเทศ ได้แก่ กรณีระหว่างยูเครนกับโรมาเนียและผลการตัดสินระหว่างนิการากัวกับโคลัมเบีย การทดสอบทั้งหมดจะเป็นการเปรียบเทียบเส้นแบ่งเขตแดนทางทะเล

ที่ได้จากวิธีการ The Equi-Area/Ratio กับเส้นแบ่งเขตแดนทางทะเลที่ได้ทั้งจากสถานการณ์สมมุติ และที่ได้จากผลการตัดสินของศาล

4.2 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ ด้วยการหาพื้นที่ที่เกี่ยวข้องในการแบ่งเขตทางทะเลระหว่างคู่กรณี โดยการใช้หินและเกาะเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ว่า The Equi-Area/Ratio สามารถนำมาใช้แบ่งเขตแดนทางทะเลได้ และมีประสิทธิผลในการลดความคลุมเครือที่เกี่ยวข้องกับการนำหินหรือเกาะมาเป็นส่วนหนึ่งในการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐ

5. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

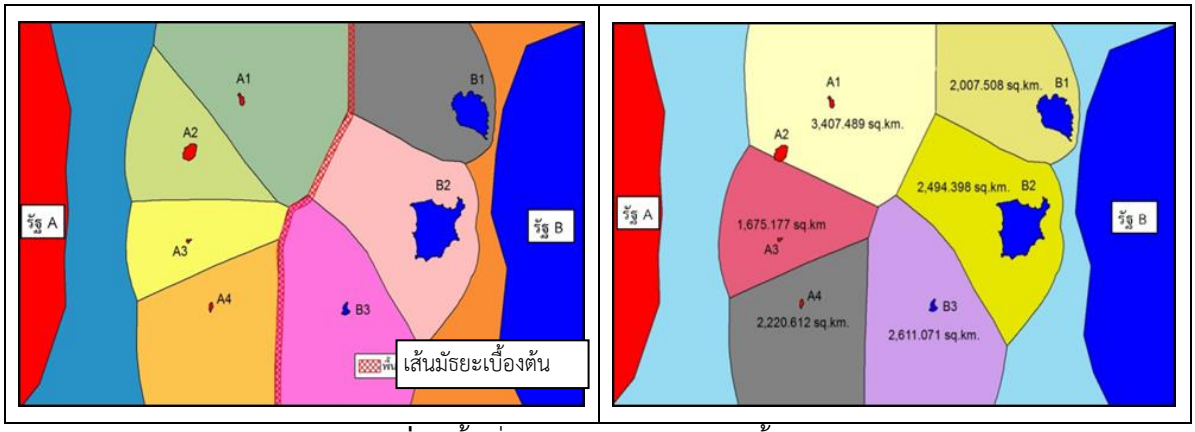
5.1 ความสัมพันธ์ทางภูมิศาสตร์ระหว่างหิน เกาะ พื้นน้ำ และระยะทางระหว่าง หิน เกาะ จากแผ่นดิน คือ ปัจจัยสำคัญที่นำมาพิจารณาการแบ่งเขตแดนทางทะเลด้วยวิธี The Equi-Area/Ratio โดยความสัมพันธ์ทางภูมิศาสตร์ที่เป็นปัจจัยหลักสำหรับวิธี The Equi-Area/Ratio นั้นประกอบด้วย

5.1.1 พื้นที่สัมพันธ์และเส้นมัธยะเบื้องต้น เป็นการวิเคราะห์เพื่อพิสูจน์ว่า หินและเกาะ ที่รัฐชายฝั่งต้องการนำมาเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดเขตแดนทางทะเลระหว่างกันนั้น มีพื้นที่สัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับเส้นมัธยะเบื้องต้นหรือไม่โดยมีลำดับขั้นตอนในการวิเคราะห์ ดังนี้

ก. พื้นที่สัมพันธ์ เกิดจากการสร้างพื้นที่ออกจากเส้นรอบเกาะหรือหินออกไปรอบตัวในระยะที่เท่าๆ กันเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่เกิดจากเกาะหรือหินที่อยู่ใกล้เคียง โดยอาศัยขีดความสามารถของโปรแกรมทางภูมิศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ทางทะเลว่าพื้นที่ทางทะเลนั้นอยู่ใกล้หินหรือใกล้เกาะใดมากที่สุด โดยหากเป็นพื้นที่ทางทะเลที่อยู่ระหว่าง หินกับหิน หินกับเกาะ หรือเกาะกับเกาะ ก็จะเป็นพื้นที่สัมพันธ์ของแต่ละหินหรือเกาะพึงมีระหว่างกัน หากเป็นพื้นที่ระหว่างหินกับแผ่นดิน หรือเกาะกับแผ่นดิน ก็จะเป็นการวิเคราะห์หาพื้นที่สัมพันธ์ระหว่างหินหรือเกาะกับแผ่นดิน แต่พื้นที่สัมพันธ์ที่ในส่วนของแผ่นดินจะไม่ถูกนำมาวิเคราะห์

ข. เส้นมัธยะเบื้องต้น เกิดจากการวิเคราะห์หาพื้นที่สัมพันธ์แล้วนำด้านของพื้นที่ของหินหรือเกาะที่อยู่ตรงข้ามหรือประชิดกันของรัฐตรงข้ามมาเชื่อมต่อกันจนเกิดเป็นเส้นมัธยะเบื้องต้น โดยเส้นมัธยะเบื้องต้นนี้จะสามารถจำแนกได้ว่าหินหรือเกาะใดบ้างที่เกี่ยวข้องและไม่มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับเส้นมัธยะเบื้องต้น จากนั้นจะทำการวิเคราะห์หาพื้นที่สัมพันธ์อีกครั้งโดยจะไม่นำหินหรือเกาะที่ไม่เกี่ยวข้องกับเส้นมัธยะเบื้องต้นมาเป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์ โดยพื้นที่สัมพันธ์ของหินหรือเกาะที่ไม่เกี่ยวข้องกับเส้นมัธยะเบื้องต้นจะถูกวิเคราะห์รวมไปกับพื้นที่สัมพันธ์กับหินหรือเกาะข้างเคียงและเป็นส่วนหนึ่งของเส้นมัธยะ การวิเคราะห์เพื่อให้ได้เฉพาะหินหรือเกาะที่สัมพันธ์กับเส้นมัธยะเบื้องต้นจะเป็นการยืนยันความถูกต้องและเหมาะสมในการนำหินหรือเกาะดังกล่าวมาเป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์ในขั้นต่อไปด้วยวิธีการ The Equi-Area/Ratio ซึ่งจำนวนของหินหรือเกาะนั้นจะถูกนำมาใช้เป็นจำนวนของตัวหารเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่เท่าเทียมกันของพื้นที่ทางทะเลที่แต่ละรัฐควรจะได้รับตามชื่อของวิธี The Equi-Area/Ratio ด้วยหลักการนี้รัฐชายฝั่งที่มีจำนวน

ของตัวหาร หรือจำนวนหินหรือเกาะมาก ก็ย่อมจะได้เปรียบเนื่องจากจะทำให้ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทางทะเลที่พึงจะได้รับต่ำกว่าค่าเฉลี่ยโดยรวม ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้วิธีการนี้ไม่นำหินหรือเกาะที่ไม่เกี่ยวข้องกับเส้นมัธยะมาร่วมวิเคราะห์ เพื่อเป็นการลดความได้เปรียบดังกล่าว โดยสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 พื้นที่สัมพันธ์และเส้นมัธยะเบื้องต้น

ซ้าย พื้นที่สัมพันธ์ของหินหรือเกาะที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเขตแดนทางทะเล และเส้นมัธยะเบื้องต้น ที่แสดงให้เห็นว่า A2 ไม่เกี่ยวข้องกับเส้นมัธยะเบื้องต้น

ขวา ผลการวิเคราะห์พื้นที่สัมพันธ์โดยไม่นำ A2 มาร่วมพิจารณา

5.1.2 The Equi-Area เป็นการพิจารณาพื้นที่สัมพันธ์โดยจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ พื้นที่สัมพันธ์ที่พิจารณาเฉพาะพื้นน้ำ (Sea Area) ที่ล้อมรอบหินหรือเกาะนั้นๆ และพื้นน้ำรวมพื้นที่หินหรือพื้นที่เกาะ (Total Area = Sea Area+พื้นที่ของหินหรือเกาะ) โดยพื้นที่สัมพันธ์นั้นจะพิจารณาจากพื้นที่สัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับเส้นมัธยะเบื้องต้นตามที่ได้อธิบายไว้ในตอนท้ายของข้อ 5.1.1

5.1.3 The Equi-Ratio เป็นการพิจารณาอัตราส่วนสัมพันธ์โดยจำแนกได้ 2 ประเภท คือ อัตราส่วนระหว่าง พื้นน้ำที่ล้อมรอบหินหรือเกาะนั้น ๆ ต่อพื้นที่หินหรือเกาะ (Sea Area ÷ พื้นที่หินหรือเกาะ) และอัตราส่วนระหว่าง พื้นน้ำที่ล้อมรอบหินหรือเกาะรวมกับพื้นที่หินหรือเกาะนั้น ๆ ต่อพื้นที่หินหรือเกาะ (Total Area ÷ พื้นที่หินหรือเกาะ) โดย Total Area จะมีค่าเท่ากับ Sea Area + พื้นน้ำที่ล้อมรอบเกาะหรือหินนั้น ๆ

5.2 ผลการตัดสินของ ICJ ที่นำเกาะมาพิจารณาการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐในลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น ผลการตัดสินระหว่างโรมาเนียและยูเครน ที่ ICJ มิได้ให้อิทธิพลต่อเกาะ Serpents ที่มีขนาดพื้นที่ประมาณ 0.17 ตร.กม. และอยู่ห่างจากชายฝั่งของโรมาเนียประมาณ 20 ไมล์ทะเล [5] แต่กรณีระหว่างโคลัมเบียและนิการากัว ICJ ได้นำเกาะและหินนอกฝั่ง ที่มีขนาดเล็กกว่าเกาะ Serpents มาเป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณากำหนดเขตแดนทางทะเลระหว่างประเทศทั้งสอง แสดงให้เห็นถึงความไม่ชัดเจนในการใช้หินหรือเกาะประกอบการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐ ตามที่รัฐชายฝั่งมักจะตีความที่เป็นคุณต่อฝ่ายตนในการนำหินหรือเกาะมาเป็นส่วนหนึ่งของการกำหนดเขตแดนทางทะเลระหว่างกัน เนื่องจาก

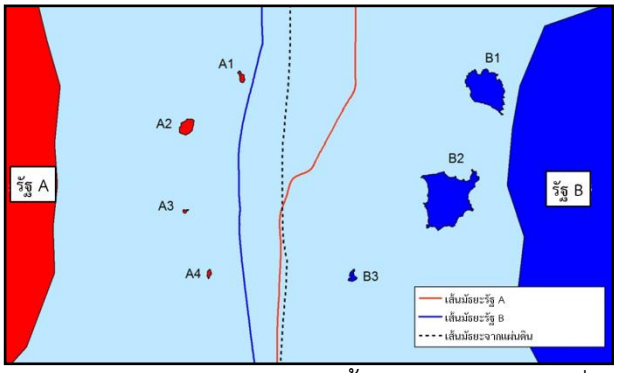
นิยามของเกาะ การให้ผลบางส่วนกับเกาะ บริเวณใกล้เคียง หลักฐานทางประวัติศาสตร์ สภาวะแวดล้อมพิเศษอื่น ๆ ตามที่ได้ระบุไว้ใน UNCLOS 1982 นั้น เมื่อนำปัจจัยต่าง ๆ มาพิจารณาร่วมกันยังมีความคลุมเครือไม่สามารถนำไปสู่การแบ่งเขตแดนทางทะเลที่ควรจะบรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรม [2] ได้อย่างชัดเจน

5.3 The Equi-Area/Ratio แนวคิดที่เป็นวิธีการใหม่ในการแบ่งเขตแดนทางทะเล เนื่องจากนิยามและขนาดพื้นที่ของหินหรือเกาะ ระยะทางระหว่างหินหรือเกาะกับแผ่นดิน ที่เป็นปัจจัยต่อการพิจารณาและให้ผลต่อบริเวณใกล้เคียงและสภาวะแวดล้อมพิเศษ [1] คือปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเจรจาเรื่องเขตแดนทางทะเลไม่มีการให้คำจำกัดความที่ชัดเจน ต้องอาศัยการตีความ จึงส่งผลให้การแบ่งเขตแดนทางทะเลในพื้นที่เดียวกันของแต่ละฝ่ายมีความแตกต่างกัน UNCLOS 1982 ได้ระบุหลักการวิธีแบ่งเขตแดนทางทะเลไว้ว่าการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐหากยังไม่มีข้อตกลงใดๆ ให้ยึดถือเส้นมัธยะเป็นเส้นเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐ โดยการแบ่งเขตแดนระหว่างรัฐนั้นจะต้องบรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรม ทั้งนี้ “ผลแห่งความเที่ยงธรรม” [1] ไม่มีคำจำกัดความที่ชัดเจนเช่นกัน ส่งผลให้เกิดความไม่แน่นอนในการแบ่งเขตแดนทางทะเล หินและเกาะที่ถูกนำมาเป็นส่วนหนึ่งในการแบ่งเขตแดนทางทะเลเป็นตัวอย่างที่เห็นได้ชัดของปัญหาข้อขัดแย้งที่จะทำให้ได้มาซึ่งผลแห่งความเที่ยงธรรม ดังนั้น The Equi-Area/Ratio จึงเป็นวิธีการแบ่งเขตแดนทางทะเลแนวทางใหม่ ที่พยายามลดความเป็นนามธรรมและเพิ่มความเป็นรูปธรรมในการนำหินหรือเกาะมาเป็นส่วนหนึ่งของการแบ่งเขตแดนทางทะเล ทั้งนี้ผลการแบ่งเขตแดนทางทะเลโดยวิธี The Equi-Area/Ratio จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นสัดส่วนตัวเลขที่ชัดเจนเป็นข้อมูลสนับสนุนให้การพิจารณาแบ่งเขตแดนทางทะเลเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น ทำให้คู่กรณี มีหลักการทางภูมิศาสตร์เป็นหลักฐานอ้างอิงในการนำหิน เกาะต่าง ๆ ทั้งที่อยู่ใกล้และไกลฝั่ง ทั้งที่เป็นและไม่เป็นไปตามลักษณะของ Immediate Vicinity [2] เพื่อการแบ่งเขตแดนทางทะเล

5.4 The Equi-Area/Ratio สามารถแบ่งได้เป็นสองวิธีย่อย คือ The Equi-Area (พื้นที่เท่า) กับ The Equi-Ratio (อัตราส่วนเท่า) โดยพื้นที่ที่นำมาวิเคราะห์และคำนวณนั้นสามารถจำแนกย่อยได้อีก 2 กรณี คือ Sea Area และ Total Area โดย The Equi-Area เป็นการพิจารณา Sea Area หรือ Total Area ที่รัฐชายฝั่งที่มีหินหรือเกาะนอกฝั่ง และต้องการนำมาใช้เป็นจุดของเส้นฐานเพื่อกำหนดเส้นเขตแดนทางทะเล โดยเมื่อพิจารณาด้วยวิธีการนี้แล้วพื้นที่ที่รัฐชายฝั่งได้รับต่อจำนวนหินหรือจำนวนเกาะที่นำมาวิเคราะห์และคำนวณจะมีพื้นที่เท่ากันจึงเรียกวิธีดังกล่าวว่า The Equi-Area ผลการคำนวณและวิเคราะห์นั้นเบื้องต้นจะได้พื้นที่ทางทะเลที่สัมพันธ์กับหินหรือเกาะที่ถูกนำมาพิจารณาในการแบ่งเขตแดนทางทะเล และนำพื้นที่สัมพันธ์ดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อทำการชดเชยหรือปรับลดพื้นที่ทางทะเลให้เกิดความเท่าเทียมกันในเชิงของพื้นที่ที่แต่ละฝ่ายพึงได้รับ วิธี The Equi-Ratio เป็นการนำอัตราส่วนตามที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 5.1.3 มาวิเคราะห์หาอัตราส่วนเฉลี่ย จากนั้นจะทำการปรับแต่งเส้นมัธยะเบื้องต้นเพื่อให้ได้การชดเชยหรือปรับลดพื้นที่ของแต่ละฝ่ายให้เป็นไปตามอัตราส่วนเฉลี่ย

5.5 การทดสอบวิธี The Equi-Area

5.5.1 กรณี Sea Area ด้วยการจำลองเหตุการณ์จากภูมิประเทศจริง โดยกำหนดให้ รัฐ A และ รัฐ B เป็นรัฐตรงข้ามกัน รัฐ A มีหินและเกาะนอกฝั่ง ได้แก่ เกาะ A1 A2 A3 และ A4 มี A2 ใกล้ฝั่งที่สุดระยะ 23 ไมล์ทะเล และ A1 ห่างฝั่งมากที่สุดมีระยะ 32 ไมล์ทะเล สำหรับ รัฐ B มีหินและเกาะนอกฝั่ง ได้แก่ B1 B2 และ B3 โดย B1 ใกล้ฝั่งที่สุดมีระยะ 5 ไมล์ทะเล และ B3 ไกลฝั่งที่สุดมีระยะ 27 ไมล์ทะเล รัฐ A และ รัฐ B มีพื้นที่ทับซ้อนทางทะเลเนื่องจาก รัฐ A สร้างเส้นเขตแดนทางทะเลโดยใช้เกาะทุกเกาะของตนเองกับแผ่นดินของรัฐ B ด้านรัฐ B ก็กำหนดเส้นเขตแดนโดยใช้เงื่อนไขเดียวกัน คือ ใช้เกาะทุกเกาะของตนเองกับแผ่นดินใหญ่ของรัฐ A จากเงื่อนไขของทั้งสองรัฐสามารถกำหนดเส้นมัธยะได้สามลักษณะตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 เปรียบเทียบเส้นมัธยะของ รัฐ A (สีแดง) รัฐ B (สีน้ำเงิน) และเส้นมัธยะที่สร้างจากขอบฝั่ง (เส้นประ)

จากผลการวิเคราะห์เบื้องต้นผลการหาพื้นที่สัมพันธ์และเส้นมัธยะเบื้องต้นจากรูปที่ 1 (ซ้าย) พบว่า เกาะ A2 ไม่เกี่ยวข้องกับเส้นมัธยะเบื้องต้น ทำการวิเคราะห์ซ้ำจนได้พื้นที่สัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หินหรือเกาะและพื้นน้ำสัมพันธ์ของหินหรือเกาะแต่ละแห่ง (Sea Area) ตามรูปที่ 1 (ขวา) ผลการวิเคราะห์และประมวลผลด้วยระบบ GIS พบว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่คือ 2,341.764 ตร.กม. รัฐ A จะต้องทำการชดเชยพื้นที่ทางทะเลให้กับรัฐ B เป็นพื้นที่ 269.37 ตร.กม. โดยมีผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่เพื่อการชดเชยและปรับลดพื้นที่ทางทะเลด้วยวิธี The Equi-Area

หินหรือเกาะ	Sea Area (ตร.กม.)	พื้นที่ปรับลด/ชดเชย (ตร.กม.)	หินหรือเกาะ	Sea Area (ตร.กม.)	พื้นที่ปรับลด/ชดเชย (ตร.กม.)
A1	3,402.915	-1,061.151	B1	1,887.925	+453.839
A3	1,673.854	+667.910	B2	2,262.924	+78.839
A4	2,217.898	+123.865	B3	2,605.067	-263.303
รัฐ A ดำเนินการปรับลด -269.37			รัฐ B ได้รับการชดเชย +269.37		

5.5.2 กรณี Total area ค่าเฉลี่ยของพื้นที่จากผลการวิเคราะห์ด้วยระบบ GIS คือ 2,402.709 ตร.กม. มีผลการวิเคราะห์และประมวลผลที่สอดคล้องกับการใช้ Sea Area คือ รัฐ A มีพื้นที่สูงกว่าค่าเฉลี่ย ในขณะที่รัฐ B มีพื้นที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย พื้นที่ในการปรับลดและชดเชยมีพื้นที่ประมาณ 95.151 ตร.กม.

5.5.3 ค่าของการชดเชยหรือปรับลดพื้นที่จะมีความแตกต่างกันตามการเลือกพื้นที่สำหรับการวิเคราะห์และประมวลผลว่าจะใช้ Sea Area หรือ Total Area ซึ่งทางเลือกของรัฐชายฝั่งย่อมต้องเลือกใช้วิธีการที่ส่งผลให้รัฐตนเองหากต้องทำการปรับลดพื้นที่ก็ต้องทำการปรับลดน้อยที่สุด แต่ในขณะที่รัฐที่ได้รับการชดเชยพื้นที่ก็ย่อมที่จะต้องเลือกวิธีการที่รัฐตนเองได้รับพื้นที่มากที่สุด ดังนั้นเพื่อเป็นการลดความแตกต่างดังกล่าววิธี The Equi-Area นอกจากจะสามารถหาพื้นที่สำหรับการชดเชยและปรับลดด้วยวิธีการย่อย 2 วิธีคือ การเลือกใช้ Sea Area หรือ Total Area แล้วยังสามารถนำผลลัพธ์จากทั้ง 2 วิธี มาหาค่าเฉลี่ยได้อีกวิธีหนึ่งเพื่อให้ผลการปรับลดและชดเชยพื้นที่ทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันและเป็นที่ยอมรับของรัฐชายฝั่งคู่กรณี

5.6 การทดสอบวิธี The Equi-Ratio ในเบื้องต้นเป็นการหาอัตราส่วนระหว่าง พื้นที่ Sea Area และพื้นที่ Total Area ต่อ พื้นที่หินหรือเกาะ โดยมีผลการหาอัตราส่วนตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนระหว่างพื้นที่เกาะต่อ Sea Area และอัตราส่วนระหว่างพื้นที่เกาะต่อ Total Area

หินหรือเกาะ	พื้นที่เกาะ (ตร.กม.)	Sea Area (ตร.กม.)	อัตราส่วนระหว่าง (Sea Area)÷(พื้นที่เกาะ)	อัตราส่วนระหว่าง (Total Area)÷(พื้นที่เกาะ)
A1	4.574	3,402.915	743.969	744.969
A3	1.323	1,673.854	1,265.196	1,266.196
A4	2.713	2,217.898	817.227	818.227
B1	119.583	1,887.925	15.787	16.787
B2	231.473	2,262.924	9.776	10.776
B3	6.004	2,605.067	433.889	434.852
ค่าเฉลี่ย	60.945	2,341.764	547.687	548.687

5.6.1 ทดสอบกรณี Total Area การวิเคราะห์เป็นการนำข้อมูลในคอลัมน์ที่ 4 (อัตราส่วนระหว่าง Sea Area ต่อ พื้นที่เกาะ) ของตารางที่ 2 มาพิจารณา โดยผลการวิเคราะห์พบว่าขนาดพื้นที่ของเกาะหรือหินที่นำมาวิเคราะห์มีส่วนสำคัญเป็นอย่ายิ่ง เนื่องจากหินหรือเกาะที่มีพื้นที่มากย่อมจะมีอัตราส่วนระหว่าง พื้นที่ Sea Area หรือพื้นที่ Total Area ต่อ พื้นที่เกาะ ต่ำกว่าอัตราส่วนเฉลี่ยและทำให้ได้รับการชดเชยพื้นที่เสมอ จากผลการทดสอบพบว่าการชดเชยจะเกิดขึ้นกับ รัฐ B เนื่องจากเกาะของรัฐ B มีขนาดใหญ่กว่าของรัฐ A มาก ในขณะเดียวกันอัตราส่วนของรัฐ A ก็จะสูงกว่าอัตราส่วนเฉลี่ย เนื่องจากพื้นที่ของหินหรือเกาะมีขนาด

เล็กกว่าของรัฐ B หากใช้ขนาดพื้นที่ตามจริงในการหาอัตราส่วนจะทำให้พื้นที่ทางทะเลเกือบทั้งหมดตกเป็นของรัฐชายฝั่งที่มีเกาะนอกฝั่งซึ่งมีพื้นที่มากกว่า เพื่อเป็นการลดความไม่เท่าเทียมดังกล่าวจึงใช้ค่าเฉลี่ยของพื้นที่หินหรือเกาะที่เกี่ยวข้องมาวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยของพื้นที่หินและพื้นที่เกาะของพื้นที่ A1 A3 A4 B1 B2 และ B3 คือ 60.945 ตร.กม. เมื่อนำ Total Area ของแต่ละเกาะหารด้วยพื้นที่เฉลี่ย หินและเกาะแต่ละแห่งจะมีอัตราส่วนใหม่ คือ A1= 55.911 A2=27.487 A3=36.436 B1=32.940 B2=40.929 และ B3=43.843 ก่อนการปรับใช้ค่าเฉลี่ย ความต่างของอัตราส่วนสูงสุดและอัตราส่วนต่ำสุด คือ 1,255.42 แต่เมื่อใช้ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ ทำให้ค่าความต่างของอัตราส่วนสูงสุดและอัตราส่วนต่ำสุด คือ 28.424 อัตราส่วนใหม่ที่ใช้เป็นค่าเฉลี่ยของพื้นที่ หินหรือเกาะเป็นตัวหาร จะมีอัตราส่วนสัมพันธ์ใหม่ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยใหม่คือ 39.424 ค่าการชดเชยเชิงอัตราส่วนเป็นไปตามตารางที่ 3 โดยรัฐ A ทำการปรับลดพื้นที่ในขณะที่รัฐ B จะได้รับพื้นที่เพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วน +/-1.561

ตารางที่ 3 การชดเชยพื้นที่เชิงอัตราส่วน

หินหรือเกาะ	Total Area (ตร.กม.)	อัตราส่วน (Total Area)÷(60.945)	ต่างจากค่าเฉลี่ย (+/- 39.424)
A1	3,407.489	55.911	-16.487
A3	1,675.177	27.487	+11.937
A4	2,220.612	36.436	+2.988
B1	2,007.508	32.940	6.484
B2	2,494.397	40.929	-1.505
B3	2,611.071	42.843	-3.419
รัฐ B ได้รับการชดเชยพื้นที่/รัฐ A ปรับลดพื้นที่			+/-1.561

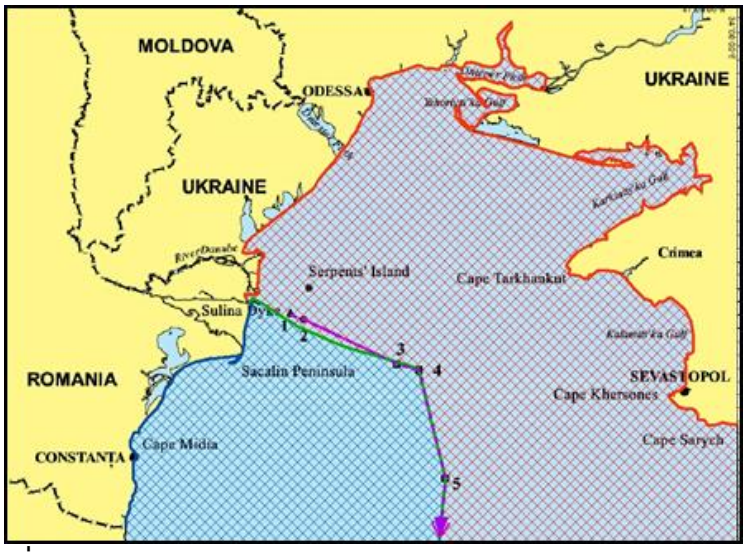
การชดเชยและปรับลดเชิงอัตราส่วน 1.561 สามารถอธิบายโดยละเอียดได้ดังนี้ พื้นที่รวมทั้งหมด (Total Area) คือ 14,416.255 ตร.กม. และค่าเฉลี่ยของพื้นที่หินและเกาะ คือ 60.945 ดังนั้น 14,416.255 ÷ 60.945 = 236.545 ตร.กม. การชดเชยและปรับลดพื้นที่จึงเป็น 236.545 × 1.561 = 369.247 ตร.กม.

5.6.2 ทดสอบโดยใช้ Sea Area การทดสอบคล้ายคลึงกับการทดสอบก่อนหน้านี้ตามข้อ 6.1 เพียงแต่พื้นที่ที่นำมาวิเคราะห์คือ Sea Area โดยมีผลการคำนวณค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนใหม่ คือ 38.425 มีการชดเชยและปรับลดพื้นที่ในอัตราส่วน +/-4.42

5.6.3 การใช้ Total Area (+/- 1.561) จะให้ผลการชดเชยพื้นที่ในเชิงอัตราส่วนแตกต่างจากการใช้ Sea Area (+/- 4.42) ซึ่งผลการชดเชยที่แตกต่างกันย่อมนำมาซึ่งทางเลือกในการปรับลดและชดเชยพื้นที่ตามที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 5.3 เพื่อเป็นทางเลือกในการปรับลดและชดเชยพื้นที่ ก็สามารถใช้อัตราส่วน 2.991 ซึ่งเป็นอัตราส่วนเฉลี่ยของอัตราส่วนที่ได้จาก Total Area และ Sea Area อีกทางเลือกหนึ่ง

5.7. การทดสอบวิธี The Equi-Area/Ratio กับผลการตัดสินของศาล เพื่อพิสูจน์ว่า The Equi-Area/Ratio เป็นวิธีการที่สามารถใช้งานได้จริง โดยทดสอบกับผลการตัดสินที่เกี่ยวกับเขตแดนทางทะเลระหว่างโรมาเนียกับยูเครน และระหว่างโคลัมเบียกับนิการากัว

5.7.1 กรณีระหว่างโรมาเนียและยูเครน นำข้อมูลแผนที่ที่ใช้ในการทดสอบมาจาก ICJ [6] มูลฐานทางราบ WGS84 Mercator Projection ที่ละติจูด 30 องศา 45 ลิปดา เหนือ ทำการโยงยึดด้วยโปรแกรม GIS จากนั้นทำการสร้างเส้นขอบฝั่งทั้งของโรมาเนียและยูเครน ดำเนินการวิเคราะห์ด้วยวิธี The Equi-Area/Ratio เพื่อทดสอบว่าเส้นมัธยะสามารถสร้างได้จากการประมวลผลด้วยวิธี The Equi-Area/Ratio เส้นขอบฝั่ง หรือแนวน้ำลงต่ำสุดทั้งหมดของโรมาเนียและยูเครนจะถูกนำมาประมวลผล และในขั้นตอนนี้ขอบฝั่งของเกาะ Serpents มิได้นำเข้ามาร่วมพิจารณา ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าพื้นที่สีฟ้าเป็นของโรมาเนีย ส่วนพื้นที่สีแดงเป็นของยูเครนโดยมีเส้นแบ่งคือเส้นสีเขียว รายละเอียดตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลการแบ่งเขตแดนทางทะเลด้วยวิธี The Equi-Area/Ratio [6]

5.7.2 ทดสอบวิธี The Equi-Area/Ratio กับผลการตัดสินกรณีเขตแดนทางทะเลระหว่านิการากัวและโคลัมเบียของ ICJ [6] เมื่อ 19 พฤศจิกายน 2555 แผนที่ที่นำมาประกอบการพิจารณามีมูลฐานทางราบ WGS84 Mercator Projection ที่ละติจูด 12 องศา30 ลิปดา เหนือ โดยมีผลการทดสอบและเปรียบเทียบการแบ่งเขตแดนทางทะเลด้วยวิธี The Equi-Area/Ratio กับผลการตัดสินดังนี้

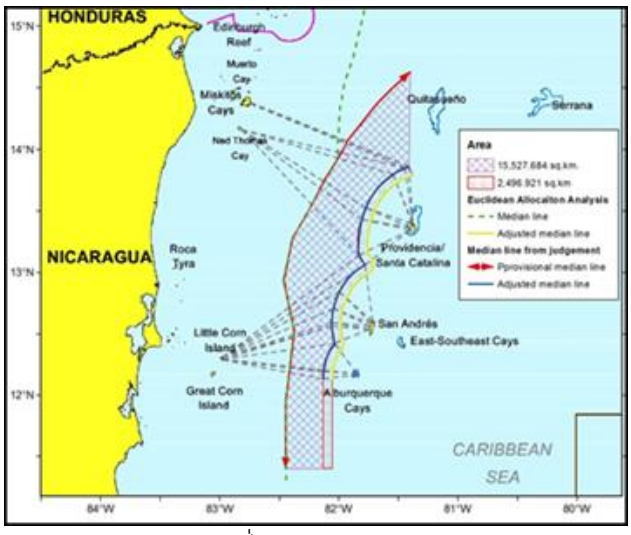
ก. ICJ สร้างเส้นมัธยะเบื้องต้น (Provisional Median Line) [6] โดยใช้หินทุกก้อน และเกาะทุกเกาะของนิการากัว ยกเว้นหินและเกาะที่อยู่ใกล้ฝั่งแต่อยู่ในทิศทางเดียวกับหินและเกาะนอกฝั่งที่เป็นส่วนหนึ่งในการสร้างเส้นมัธยะเบื้องต้น ส่วนของโคลัมเบีย ICJ ใช้หินหรือเกาะรวมแล้วเพียง 3 แห่งเท่านั้นคือ Santa Cataline San Andrés และ Alburquerque Cays เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นมัธยะเบื้องต้นที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี The Equi-Area/Ratio ที่ใช้หินทุกก้อน และเกาะทุกเกาะทั้งของนิการากัวและโคลัมเบีย พบว่าเส้นมัธยะเบื้องต้นเป็นเส้นเดียวกันยกเว้นในบริเวณตอนเหนือที่เส้นมัธยะเบื้องต้นของ ICJ จะโค้งเข้าหาหิน Quitasueño ของโคลัมเบีย ตามที่แสดงผลการเปรียบเทียบเส้นในรูปที่ 4 เนื่องจาก ICJ มิได้นำหิน Quitasueño มาเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างเส้นมัธยะเบื้องต้น

ข. ICJ พิจารณาความยาวชายฝั่งที่เกี่ยวข้องในส่วนของนิการากัวคือความยาวชายฝั่งทั้งหมด แต่ในขณะที่ ICJ ใช้ความยาวชายฝั่งของโคลัมเบียเฉพาะหินหรือเกาะบางส่วนเท่านั้น โดยอัตราส่วนความยาวชายฝั่งที่เกี่ยวข้องคือ 1:8.2 ICJ ทำการปรับแต่งเส้นมัธยะเบื้องต้นโดยให้น้ำหนักในการปรับแต่งระหว่างโคลัมเบียและนิการากัวคือ 1:3 การปรับแต่งเส้นมัธยะส่งผลให้อัตราส่วนพื้นที่ที่แต่ละฝ่ายได้รับตามผลการตัดสินและผลการปรับแต่งเส้นมัธยะคือ 1:3.44 [6] จากตัวเลขที่เกี่ยวข้องกับผลการพิจารณาและตัดสินทั้งหมด จะพบว่าตัวเลขอัตราส่วนทั้ง 3 ชุด มีความสัมพันธ์ในลักษณะเพียงนิการากัวมีอัตราส่วนความยาวชายฝั่ง อัตราส่วนการปรับแต่งเส้นมัธยะ และอัตราส่วนพื้นที่หลังการปรับแต่งเส้นมัธยะ ที่มากกว่าโคลัมเบียเท่านั้น ซึ่งหากทำการปรับแต่งเส้นมัธยะเบื้องต้นอย่างเคร่งครัดตามอัตราส่วนความยาวชายฝั่งจะทำให้เส้นมัธยะที่ทำการปรับแต่งอยู่ห่างจากเกาะของโคลัมเบียเพียง 10 ไมล์ทะเล ซึ่งมีระยะน้อยกว่าระยะของทะเลอาณาเขตคือ 12 ไมล์ทะเลที่เกาะของโคลัมเบียพึงมีตามบทบัญญัติใน UNCLOS 1982 และเส้นมัธยะที่ทำการปรับแต่งจะอยู่ห่างจากเกาะของนิการากัวประมาณ 80 ไมล์ทะเล เมื่อพิจารณาจากระยะห่างระหว่างเกาะที่ใกล้ที่สุดของทั้งสองประเทศ ทั้งนี้ ICJ สรุปตอนท้ายของผลการพิจารณาเพียงว่าผลการตัดสินบรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรม [6]



รูปที่ 4 พื้นที่สัมพันธ์และเส้นมัธยะเบื้องต้นจากวิธี The Equi-Area/Ratio และเส้นมัธยะเบื้องต้นของ ICJ

ค. ผลวิเคราะห์ด้วยวิธี The Equi-Area จะมีพื้นที่ชดเชยและปรับลดคือ 18,024.605 ตร.กม. เมื่อนำพื้นที่ดังกล่าวมาสร้างเป็นเส้นมัธยะแบบปรับแต่งตามพื้นที่ชดเชยและปรับลด จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับเส้นมัธยะที่ ICJ ปรับแต่งพบว่าเส้นทั้งสองห่างกัน 4.541 ไมล์ทะเล โดยพื้นที่ระหว่างเส้นทั้งสองคือ 2,496.921 ตร.กม. ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบเส้นมัธยะระหว่างเส้นที่ได้จากวิธี The Equi-Area/Ratio กับเส้นมัธยะของ ICJ

6. สรุปผลการศึกษา

6.1 จากผลการทดสอบวิธี The Equi-Area/Ratio ซึ่งเป็นแนวคิดวิธีการใหม่ในการแบ่งเขตแดนทางทะเล พบว่าสามารถใช้งานได้จริงโดยสามารถลดความเห็นต่างเกี่ยวกับการนำ หินหรือเกาะ ที่อยู่เหนือน้ำตามธรรมชาติทุกชนิดที่ทราบขนาดพื้นที่ ทำให้สามารถใช้หินทุกก้อน หรือเกาะทุกเกาะ โดยไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับขนาดพื้นที่และระยะทางจากแผ่นดินมาเป็นส่วนหนึ่งในการแบ่งเขตแดนทางทะเลได้อย่างเป็นรูปธรรม สามารถทำให้บรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรม (Equitable Solution) ด้วยหลักการทางภูมิศาสตร์ของระบบ GIS และข้อมูลเชิงตัวเลขเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และประมวลผลหาพื้นที่สัมพันธ์เบื้องต้นนำไปสู่การวิเคราะห์หาพื้นที่ทางทะเลที่แต่ละฝ่ายพึงมีตามวิธีการของ The Equi-Area หรือ The Equi-Ratio โดยผลที่ได้สามารถนำไปปรับแต่งเส้นมัธยะให้สอดคล้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่อยู่ในลักษณะของ 2 มิติ แตกต่างจากการสร้างเส้นมัธยะในรูปแบบเดิมที่มีเพียงทิศทางในลักษณะของ 1 มิติเท่านั้น ทั้งนี้ The Equi-Area/Ratio สามารถลดความคลุมเครือเกี่ยวกับขนาดของพื้นที่ของ หินหรือเกาะ และระยะทางระหว่าง หินหรือเกาะ นั้นๆ กับแผ่นดิน ที่ถูกนำมาพิจารณาในการกำหนดเขตแดนทางทะเลระหว่างกันดังนี้คือ

6.1.1 ขนาดของพื้นที่ ที่จะไม่ใช่ข้อจำกัดในการพิจารณา หินหรือเกาะ ต้องมีขนาดพื้นที่เท่าใดที่จะสามารถนำมาเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างเส้นมัธยะ กรณีที่ หินหรือเกาะ ของรัฐหนึ่งมีพื้นที่น้อยแต่ต้องการนำมาเป็นส่วนหนึ่งในการแบ่งเขตแดนทางทะเล รัฐตรงข้ามย่อมไม่เห็นด้วยเนื่องจากหินหรือเกาะดังกล่าว

มีขนาดพื้นที่น้อยมากจึงไม่มีความเหมาะสม ในทางกลับกัน ฝ่ายตนมีแต่เกาะขนาดใหญ่และมีความต้องการนำเกาะดังกล่าวมาเป็นส่วนหนึ่งในการแบ่งเขตแดนทางทะเล แต่ถ้าหากนำเกาะของตนเองมาเป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาเพียงฝ่ายเดียว การที่จะไม่นำหินหรือเกาะของรัฐตรงข้ามมาร่วมพิจารณาก็จะขาดเหตุผลสนับสนุนที่เพียงพอ The Equi-Area/Ratio สามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับขนาดของพื้นที่ของหินหรือเกาะได้ดังนี้คือ

ก. สามารถวิเคราะห์เบื้องต้นเชิงประจักษ์ได้ว่า หินหรือเกาะ ใดบ้าง ที่ไม่เกี่ยวข้องซึ่งแสดงให้เห็นว่า หินหรือเกาะ ทุกแห่ง ไม่สามารถนำมาพิจารณาได้หาก หินหรือเกาะ นั้นๆ ไม่เกี่ยวข้องกับการสร้างเส้นมัธยะเบื้องต้น

ข. The Equi-Area จะช่วยวิเคราะห์หาพื้นที่สัมพันธ์ของ หินหรือเกาะ แต่ละแห่ง ว่าแต่ละแห่งมีพื้นที่สัมพันธ์เท่าใด โดยพื้นที่สัมพันธ์ที่ หินหรือเกาะ แต่ละแห่งพึงมีนั้นสามารถหาได้ 3 วิธีคือ Sea Area หรือTotal Area หรือค่าเฉลี่ยของทั้งสองวิธี

ค. The Equi-Ratio เป็นวิธีการที่ช่วยลดความไม่เท่าเทียมในกรณีของพื้นที่ของ หินหรือเกาะ ได้อย่างชัดเจน เนื่องจากหาก หินหรือเกาะ ที่ถูกนำมาเป็นปัจจัยในการพิจารณาเขตแดนทางทะเลมีขนาดพื้นที่น้อยมาก แต่กลับมีพื้นที่สัมพันธ์มาก ก็จะทำให้อัตราส่วนระหว่างขนาดพื้นที่สูงตาม ซึ่งย่อมเกินจากค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนเฉลี่ย ในขณะเดียวกัน หินหรือเกาะ ที่มีขนาดพื้นที่มากแต่มีพื้นที่สัมพันธ์น้อย ก็จะส่งผลให้อัตราส่วนต่ำกว่าอัตราส่วนเฉลี่ย ดังนั้นก็ต้องมีการปรับแต่งพื้นที่สัมพันธ์ของแต่ละ หินหรือเกาะ ให้มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของ หินหรือเกาะ กับพื้นที่สัมพันธ์เท่ากัน ซึ่งเป็นการเพิ่มความเท่าเทียมในเชิงพื้นที่ได้

6.1.2 ระยะทางระหว่าง หินหรือเกาะ กับแผ่นดินใหญ่ เป็นประเด็นสำคัญประการหนึ่งที่ UNCLOS 1982 มิได้ระบุไว้อย่างชัดเจนว่า Immediately Vicinity (บริเวณใกล้เคียง) ต้องมีระยะเท่าไร รัฐชายฝั่งคู่กรณีก็จะตีความในด้านที่เป็นประโยชน์กับฝ่ายตน เช่น หินหรือเกาะ ที่ระยะประมาณ 10 – 12 ไมล์ทะเล จะสามารถตีความว่าเป็นบริเวณใกล้เคียงได้เนื่องจากอยู่ในระยะทะเลอาณาเขตคือ 12 ไมล์ทะเล และรัฐชายฝั่งที่ใช้ หินหรือเกาะ ดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดเขตแดนทางทะเลก็ย่อมจะไม่ได้เปรียบมากสักเท่าใด อีกทั้งรัฐตรงข้ามก็ย่อมที่จะไม่สามารถหาเหตุผลใดๆ มาแย้งได้ สำหรับ หินหรือเกาะ ที่อยู่ห่างฝั่งออกไปมากกว่า 100 ไมล์ทะเล ย่อมไม่ถือว่าเป็นบริเวณใกล้เคียงได้อย่างชัดเจน ซึ่งหากรัฐชายฝั่งจะใช้ หินหรือเกาะ ดังกล่าวมาเป็นส่วนหนึ่งในการแบ่งเขตแดนทางทะเลย่อมส่งผลต่อความได้เปรียบเป็นอย่างมากแต่ก็ไม่มั่นใจเสียทีเดียวว่าจะเหมาะสมหรือไม่เนื่องจากระยะระหว่าง หินหรือเกาะ กับแผ่นดินมีมากจนชัดเจน แต่หาก หินหรือเกาะ ที่มีระยะจากฝั่งอยู่ระหว่าง 20 – 60 ไมล์ทะเล เป็นระยะที่ต้องใช้การตีความเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นระยะที่ก้ำกึ่งว่าใกล้หรือห่างจากฝั่ง สามารถนำมาเป็นส่วนหนึ่งของเส้นฐานตรงหรือการขยายระยะของอาณาเขตทางทะเลตาม “Immediately Vicinity” ได้หรือไม่ รัฐชายฝั่งเจ้าของ หินหรือเกาะก็ย่อมที่จะนำมาประกอบการพิจารณา แต่ในทางตรงข้ามรัฐคู่กรณีก็ย่อมที่จะแย้งกว่า หินหรือเกาะดังกล่าวมีระยะห่างจากแผ่นดินไม่สอดคล้องตามเงื่อนไขของบริเวณใกล้เคียง The Equi-Area/Ratio จึงเป็นวิธีการที่สามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ไม่ว่า หินหรือเกาะ นั้นจะอยู่ห่างจากฝั่งเท่าใดก็ตามคือ

ก. หินหรือเกาะ ที่อยู่นอกฝั่งมาก เมื่อพิจารณาพื้นที่สัมพันธ์ของ หินหรือเกาะ นั้นๆ พื้นที่สัมพันธ์ดังกล่าวก็จะมีมากตามระยะทางที่อยู่ห่างจากฝั่ง ทำให้พื้นที่ที่จะต้องนำมาวิเคราะห์นั้นมีมากตามไปด้วย แต่ในขณะที่รัฐชายฝั่งคู่กรณีมีแต่เพียง หินหรือเกาะ ที่อยู่เรียงรายตามแนวชายฝั่ง พื้นที่สัมพันธ์ที่ต้องนำมาวิเคราะห์ร่วมกับรัฐคู่กรณีก็จะมีน้อยกว่า ดังนั้น หินหรือเกาะ ยิ่งอยู่ห่างฝั่งจะยิ่งส่งผลให้พื้นที่สัมพันธ์ที่ต้องนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการ The Equi-Area/Ratio มากตามไปด้วย ส่งผลให้มีขนาดพื้นที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่สัมพันธ์ทั้งหมด

ข. เส้นมัธยะเบื้องต้นจะจำแนกได้ว่า หินหรือเกาะ ใดบ้างที่ไม่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเขตแดนทางทะเล เมื่อ หินหรือเกาะ บางแห่งถูกตัดออกไปก็จะยิ่งส่งผลให้พื้นที่สัมพันธ์กับ หินหรือเกาะ ที่ยังคงเกี่ยวข้องกับการแบ่งเขตแดนทางทะเลมีเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้พื้นที่สัมพันธ์สูงกว่าค่าเฉลี่ย ดังนั้นหากมี หินหรือเกาะ มาก แต่ไม่เกี่ยวข้องกับการแบ่งเขตแดนทางทะเลก็จะถูกตัดออกจากวิเคราะห์ในเบื้องต้น

6.1.3 The Equi-Area กับวิธี The Equi-Ratio ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันในเชิงของตัวเลขที่เป็นพื้นที่ เนื่องจากปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ ขนาดของพื้นที่ หินหรือเกาะ และพื้นที่ที่นำมาพิจารณาว่าจะพิจารณาเฉพาะพื้นน้ำ (Sea Area) เท่านั้น หรือพิจารณาพื้นน้ำร่วมกับพื้นที่ของ หินหรือเกาะ (Total Area) ซึ่งส่งผลต่อขนาดพื้นที่ในการปรับลดและชดเชยพื้นที่ระหว่างกัน

6.2 ความเที่ยงธรรม (Equitable Solution) ที่เป็นจุดประสงค์หลักของการแบ่งเขตแดนทางทะเลของ UNCLOS 1982 มีความเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้นจากการใช้วิธี The Equi-Area/Ratio เพื่อการแบ่งเขตแดนทางทะเล สิ่งที่เห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบเหตุผลและปัจจัยในการปรับแต่งเส้นมัธยะระหว่างผลการปรับแต่งเส้นมัธยะระหว่างคำตัดสินของ ICJ กับผลการปรับแต่งเส้นมัธยะด้วยวิธี The Equi-Area/Ratio คือ

6.2.1 สภาวะแวดล้อมพิเศษ (Special Circumstance) ที่ ICJ นำมาทำการปรับแต่งเส้นมัธยะระหว่างนิการากัวกับโคลัมเบียคือ หินหรือเกาะ ของประเทศโคลัมเบียในพื้นที่ทับซ้อนทางทะเลระหว่างนิการากัวกับโคลัมเบีย ที่อยู่ใกล้กับแผ่นดินของโคลัมเบียมากที่สุดมีระยะห่างประมาณ 300 ไมล์ทะเล แต่อยู่ไกลจากชายฝั่งของนิการากัวเพียงประมาณ 50 ไมล์ทะเล หินหรือเกาะ ในพื้นที่ทับซ้อนของนิการากัวอยู่ห่างจากชายฝั่งนิการากัวประมาณ 20 ไมล์ทะเล เมื่อ ICJ ได้พิจารณาสร้างเส้นมัธยะแบบเคร่งครัดแล้วได้นำปัจจัยความยาวของชายฝั่งในพื้นที่ทับซ้อนที่เกี่ยวข้องมาประกอบการพิจารณาโดยใช้ความยาวของ หินหรือเกาะ ของโคลัมเบียเฉพาะในพื้นที่ทับซ้อนเท่านั้น แต่ไม่ใช้ความยาวชายฝั่งของแผ่นดินใหญ่ แต่ใช้ความยาวชายฝั่งของแผ่นดินใหญ่ทั้งหมดของนิการากัว สำหรับอัตราส่วนความยาวของชายฝั่งที่ ICJ นำมาพิจารณาในการปรับแต่งเส้นมัธยะคือ 1:8.2 โดยเมื่อทำการปรับแต่งเส้นมัธยะแล้วปรากฏว่าอัตราส่วนพื้นที่ที่โคลัมเบียได้รับต่อพื้นที่ที่นิการากัวได้รับคือ 1:3.44 แม้อัตราส่วนเชิงความยาวชายฝั่งที่ ICJ นำมาพิจารณาไม่สอดคล้องกับอัตราส่วนเชิงพื้นที่ ICJ ก็ยังยืนยันว่าผลการตัดสินบรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรมโดยให้เหตุผลว่า **“The result achieved by the maritime delimitation does not entail such a disproportionality at to create an inequitable result.” [6]** ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

แม้การปรับแต่งเส้นมัธยะจะไม่เป็นไปตามสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตามการปรับแต่งบรรลุผลแห่งการแบ่งเขตแดนทางทะเล โดยไม่ส่งผลให้เกิดความไม่ได้สัดส่วนและความไม่เที่ยงธรรมแต่อย่างใด แม้ผลการตัดสินของ ICJ จะบรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรม แต่เหตุผลในผลการตัดสินก็ยังมีความเป็นนามธรรม

6.2.2 การปรับแต่งเส้นมัธยะกรณีระหว่างนิการากัวกับโคลัมเบียด้วยวิธีการของ The Equi-Area/Ratio จะพิจารณาเฉพาะ หินหรือเกาะ ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ซึ่งมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้นเนื่องจากมิได้นำความยาวชายฝั่งของคู่กรณีมาประกอบการพิจารณา ซึ่งแตกต่างจาก ICJ ที่นำเฉพาะความยาวของ หินหรือเกาะ ของโคลัมเบีย แต่ใช้ความยาวชายฝั่งทั้งหมดของนิการากัวมาประกอบการพิจารณา ส่งผลให้อัตราส่วนความยาวชายฝั่งแตกต่างกันมากคือ 1:8.2 แต่ผลการตัดสินปรากฏว่าอัตราส่วนพื้นที่ที่แต่ละประเทศได้รับคือ 1:3.44 [6] ซึ่งแตกต่างกันเกือบร้อยละ 50 แม้ว่าสุดท้ายแล้ว ICJ จะพิจารณาว่าผลการตัดสินดังกล่าวบรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรมก็ตาม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากใช้วิธี The Equi-Area/Ratio ซึ่งมีผลการปรับแต่งเส้นมัธยะตามอัตราส่วนพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง ได้แสดงถึงผลการปรับแต่งเส้นมัธยะได้ใกล้เคียงกัน แต่สามารถใช้หลักฐานเชิงตัวเลขตามผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี The Equi-Area/Ratio สนับสนุนผลการปรับแต่งได้ชัดเจนมากกว่า

7. ข้อแนะนำ

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์พบว่า The Equi-Area/Ratio วิธีการใหม่ในการแบ่งเขตแดนทางทะเลสามารถนำมาใช้ในการแบ่งเขตแดนทางทะเลได้จริง แต่จำเป็นต้องมีโปรแกรม GIS ประกอบในการวิเคราะห์และประมวลผล อีกทั้งวิธีดังกล่าวยังไม่เคยนำไปใช้จริงในการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐ เพื่อเป็นการพัฒนางานด้านเทคนิคกฎหมายทะเลในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานด้านอุทกศาสตร์เห็นควรมีการผลักดันบรรจุวิธี The Equi-Area/Ratio ไว้ในคู่มือเทคนิคกฎหมายทะเล (TALOS) โดย กรมอุทกศาสตร์สามารถเสนอให้ที่ประชุมสมัชชาอุทกศาสตร์ที่กรมอุทกศาสตร์เป็นสมาชิกพิจารณาเพื่อแจ้งต่อคณะที่ปรึกษาด้านกฎหมายทะเลต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] International Hydrographic Organization. A Manual on Technical Aspect of the United Nations Convention on the Law of the Sea – 1982. 5th ed. Monaco: International Hydrographic Bureau; 2014.

[2] Division for Ocean Affairs and the Law of the Sea. The Law of the Sea. New York: United Nations; 2001.

[3] Division for Ocean Affairs and the Law of the Sea. Handbook on the Delimitation of Maritime Boundaries. New York: United Nations; 2000.

[4] Dispute concerning delimitation of the maritime boundary between Bangladesh and Myanmar in the Bay of Bengal, ITLOS. (Mar. 14, 2012)

[5] Maritime Delimitation in the Black Sea Romania v. Ukraine, ICJ. (Feb. 3,2009)

[6] Territorial and maritime dispute Nicaragua v. Columbia, ICJ. (Dec. 13, 2007)

การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการหาปริมาณสัมพันธ์ของไอออนเชิงซ้อนระหว่างออกโซวานาเดียม (IV) กับกรด 1-ไฮดรอกซี-2-ไพริดิโนน-6-คาร์บอกซิลิกในสารละลายกรดอะซิติกโดยวิธีทางสเปกโทรโฟโตเมตริก

Preliminary Study on Stoichiometric Determination of The Complex Ion between Oxovanadium (IV) and 1-Hydroxy-2-Pyridinone-6-Carboxylic Acid in Acetic Acid Solution Using Spectrophotometric Methods

สมศักดิ์ ศิริไชย[1] ไมโค ซีกเลอร์[2] และ ขจัดภัย ทิพยผ่อง[3]
Somsak Sirichai[1] Maiko Ziegler[2] And Khajadpai Thipyapong[3]

Received : May 20, 2021
Revised : June13, 2021
Accepted : June 24, 2021

บทคัดย่อ

การหาปริมาณสัมพันธ์และการศึกษาความเป็นไปได้ในการเกิดไอออนเชิงซ้อนระหว่างออกโซวานาเดียม (IV) กับกรด 1-ไฮดรอกซี-2-ไพริดิโนน-6-คาร์บอกซิลิก (1,2-HOPO-6-carboxylic acid) ในสารละลายกรดอะซิติก 0.5 โมลาร์ ด้วยวิธีทางสเปกโทรโฟโตเมตริกเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาเป็นอินซูลินเทียมชนิดใหม่ พบว่า ลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนกับออกโซวานาเดียม (IV) ไอออนได้สารละลายสีเหลืองอมเขียว ปริมาณสัมพันธ์ของไอออนเชิงซ้อนประเมินโดยวิธีทางสเปกโทรโฟโตเมตริก 3 วิธี ได้แก่ วิธีความแปรผันต่อเนื่อง วิธีอัตราส่วนโมล และวิธีอัตราส่วนความชัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนปริมาณสัมพันธ์ของไอออนโลหะต่อลิแกนด์ในไอออนเชิงซ้อนนี้เท่ากับ 1:2

คำสำคัญ: ปริมาณสัมพันธ์ ไอออนเชิงซ้อน ออกโซวานาเดียม (IV) กรด 1-ไฮดรอกซี-2-ไพริดิโนน-6-คาร์บอกซิลิก วิธีทางสเปกโทรโฟโตเมตริก

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University
E-Mail: sirichai@go.buu.ac.th
[2] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University
E-Mail: maiko.z@hotmail.com
[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University
E-Mail: khajadpa@go.buu.ac.th

Abstract

Stoichiometry and feasibility study of complex ion between oxovanadium (IV) and 1-hydroxy-2-pyridinone-6-caboxylic acid (1,2-HOPO-6-carboxylic acid) in 0.5 M acetic acid was determined by spectrophotometric methods to use as preliminary information for development of a new insulin-mimetric compound. It was found that 1,2-HOPO-6-carboxylic acid ligand coordinated to oxovadadium (IV) ion resulting in a greenish yellow solution. Stoichiometric ratio of the complex ion was estimated using 3 spectrophotometric methods, namely continuous variation, mole ratio and slope ratio methods. Experimental results showed that the stoichiometric ratio of metal ion and ligand in the complex ion was 1:2.

Keywords: Stoichiometry, Complex ion, Oxovanadium (IV), 1-hydroxy-2-pyridinone-6-carboxylic acid, Spectrophotometric methods

1. บทนำ

ธาตุวานาเดียมเป็นโลหะทรานสิชันมีเลขออกซิเดชันได้ตั้งแต่ +2 ถึง +5 วานาเดียมนอกจากนำมาใช้ประโยชน์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทางอุตสาหกรรมแล้วยังเป็นธาตุที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในกระบวนการฟอสโฟรีเลชันของเอนไซม์ [1] โดยมีแหล่งที่มาจากธรรมชาติ เช่น ปลา มะกอก เมล็ดธัญพืชต่าง ๆ ที่ไม่ขัดสี และพบว่ามีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้เกลือวานาดิลซัลเฟต (Vanadyl Sulfate) เพื่อออกฤทธิ์เลียนแบบฮอร์โมนอินซูลินได้ในการรักษาโรคเบาหวาน [2] แต่ข้อควรระวังคือ วานาเดียมอาจทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงเร็วเกินไป ซึ่งทำให้เกิดปัญหาตามมา สารประกอบของวานาเดียมเมื่อเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากอาจก่อให้เกิดโรคได้ ฤทธิ์ก่อโรคที่สำคัญที่สุดเกิดจากการระคายเคืองเยื่อบุเป็นหลัก เช่น เยื่อบุตาและเยื่อบุทางเดินหายใจ นอกจากนี้ยังดูดซึมเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาอินซูลินเทียมชนิดใหม่

2.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการเกิดไอออนเชิงซ้อนของ VO^{2+} ไอออนกับลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid จากปริมาณสัมพันธ์ภายในโครงสร้างของไอออนเชิงซ้อนโดยการเปรียบเทียบผลจากวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรี 3 วิธี ได้แก่ วิธีความแปรผันต่อเนื่อง วิธีอัตราส่วนโดยโมล และวิธีอัตราส่วนความชัน

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมาได้เตรียมเกลือวานาดิลซัลเฟตเป็นสารประกอบโคออร์ดิเนชันหรือไอออนเชิงซ้อนกับลิแกนด์หลายชนิดแล้วพบว่าไอออนเชิงซ้อนของวานาดิลออกฤทธิ์เป็นอินซูลินเทียมได้ เช่น bis(maltolato)oxovanadium(IV) [3] bis(kojato)oxovanadium(IV) [3,4] bis(picolinato) oxovanadium(IV) [5] และ bis(acetylacetonato) oxovanadium(IV) [6] ไอออนเชิงซ้อนเหล่านี้ออกฤทธิ์ได้ยาวนานกว่าวานาดิลซัลเฟต เนื่องจากไอออนเชิงซ้อนมีขั้วน้อยกว่าวานาดิลไอออนจึงดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้ดีกว่าไอออนวานาดิลอิสระ โดยสารประกอบนี้เข้าสู่เซลล์เป้าหมายโดยการรับประทานแล้วผ่านไปยังระบบย่อยอาหารเมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดแล้วกระจายตัวไปถึงอวัยวะเป้าหมายจึงปลดปล่อยวานาดิลไอออนโดยการสลายตัวอย่างช้าๆ การใช้อินซูลินเทียมแบบรับประทานนี้มีข้อดีคือสะดวกและปลอดภัยจากการติดเชื้อมากกว่าวิธีฉีดอินซูลินแบบดั้งเดิม และเหมาะกับผู้เดินทางไกลต้องใช้เวลานาน เช่น ผู้เดินทางทางเรือชาวประมง หรือผู้ป่วยเบาหวานทั่วไป ตามที่สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทยฯ รายงานการพบผู้ป่วยเบาหวาน 3.5 ล้านคนในประเทศไทย และมีมูลค่าการรักษา 47,596 ล้านบาทต่อปี [7] การพัฒนาอินซูลินเทียมจึงเป็นประโยชน์ต่อผู้ป่วยโรคเบาหวานและช่วยในการประหยัดงบประมาณในการดูแลผู้ป่วยเหล่านี้

วานาเดียมที่มีเลขออกซิเดชัน +4 หรือออกโซวานาเดียม (IV) ไอออน และ +5 หรือวานาเดต (V) ไอออน เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนได้กับแอนไอออนิกลิแกนด์ที่มีออกซิเจนเป็นอะตอมผู้ให้อิเล็กตรอน จากหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิเลท [8] ไฮดรอกซาเมท [9] ฟีนอลเลท ฟอสเฟต [10] ฟอสโฟเนท [11] และแคทีคอลเลท [12,13] ส่วนลิแกนด์ที่มีอะตอมผู้ให้อิเล็กตรอนเป็นไนโตรเจนและซัลเฟอร์นั้น มีความเสถียรน้อยกว่าลิแกนด์ที่มีออกซิเจนเป็นอะตอมผู้ให้อิเล็กตรอน แต่กรดพิโคลินิกหรือกรดไพริดีน-2-คาร์บอกซิลิก ที่มีหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิลิกและไนโตรเจนของไพริดีน เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนได้ดีกับออกโซวานาเดียม (IV) ไอออน หรือ VO^{2+} ไอออน เนื่องจากเกิดวงคีเลตที่ตำแหน่งอะตอมของไนโตรเจนและออกซิเจนได้ไอออนเชิงซ้อนที่เสถียร [14-15] เร็วๆ นี้มีการศึกษาโครงสร้างของไอออนเชิงซ้อนที่เตรียมได้จาก VO^{2+} ไอออน กับลิแกนด์ที่เป็นอะดีโนซีนโมโนฟอสเฟต โดยมีการทำนายโครงสร้างว่าลิแกนด์อะดีโนซีนโมโนฟอสเฟตเกิดเป็นวงคีเลตแบบสี่เหลี่ยมที่มีอะตอมของออกซิเจนในหมู่ฟอสเฟตเป็นอะตอมผู้ให้อิเล็กตรอน จากการใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงและหายาก เช่น เทอร์โมกราวิเมตริก (TGA) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (TEM) และแบบการสแกน (SEM) เป็นต้น [16] แต่ก่อนหน้านี้มีการพิสูจน์โครงสร้างของไอออนเชิงซ้อนที่เตรียมจากไดออกโซวานาเดียม (V) กับไตรเดนเทตลิแกนด์ของไพราโซโลนหลายชนิด นอกจากการพิสูจน์โครงสร้างด้วยวิธีทางสเปกโทรสโกปีแล้วยังมีการนำการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์มาช่วยในการทำนายโครงสร้างที่เป็นไอโซเมอร์ของสารประกอบได้ละเอียดมากยิ่งขึ้นด้วย [17] ข้อมูลสำคัญในการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์คือปริมาณสัมพันธ์ของ VO^{2+} ไอออนกับลิแกนด์ที่รวมกันเป็นไอออนเชิงซ้อน โครงสร้างที่ทำนายได้จากการคำนวณทางคอมพิวเตอร์นั้นสามารถให้ข้อมูลในการคัดเลือกโมเลกุลหรือไอโซเมอร์ที่มีฤทธิ์ทางยาได้ เช่น ค่าความมีขั้วของโมเลกุลบอกถึงความสามารถในการละลายของยาในตัวทำละลายน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ ค่าคงที่สมดุลหรือค่าคงที่ความเสถียรทางเทอร์โมไดนามิกใช้บอกถึงความเสถียรของตัวยานั้น

ข้อมูลจากการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ยังนำไปใช้ในการออกแบบการสังเคราะห์โมเลกุลหรือไอโซเมอร์ที่ต้องการได้ [18]

สารกลุ่มกรดไพริดีนคาร์บอกซิลิกและอนุพันธ์เป็นที่สนใจของนักเคมียา เนื่องจากสมบัติทางยาที่หลากหลาย และสังเคราะห์เป็นอนุพันธ์อื่นได้เป็นจำนวนมาก [14] ลิแกนด์กรด 1-ไฮดรอกซี-2-ไพริดิโนน-6-คาร์บอกซิลิก (1-hydroxy-2-pyridinone-6-carboxylic acid; 1,2-HOPO-6-carboxylic acid) เป็นอนุพันธ์ของกรดไพริดีนคาร์บอกซิลิกที่มีออกซิเจนเป็นอะตอมผู้ให้อิเล็กตรอนและเกิดเป็นวงคีเลตได้ [21] น่าจะเกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนกับวานาเดียม (IV) ในรูปฟอร์ม VO^{2+} ไอออนที่นำไปใช้เป็นอินซูลินเทียมได้ การวิจัยเริ่มต้นโดยการหาปริมาณสัมพันธ์ของไอออนเชิงซ้อน ซึ่งอาจหาได้จากโครงสร้างผลึกและวิธีทางสเปกโทรสโกปี เช่น แมสสเปกโทรสโกปี และยูวี - วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและใช้เครื่องมือราคาถูกและมีใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป วิธีทางสเปกโทรโฟโตเมตริกที่นิยมมี 3 วิธี [19,20] ดังนี้ วิธีที่ 1: วิธีความแปรผันต่อเนื่อง (Job's Method) วิธีนี้ Job เป็นผู้นำมาใช้ ภายหลังได้ปรับปรุงให้ดีขึ้นโดย Vosburgh และ Cooper ซึ่งใช้ได้ดีกับการหาปริมาณสัมพันธ์โมลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน และเหมาะสมในการหาปริมาณสัมพันธ์ของไอออนเชิงซ้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างโลหะกับลิแกนด์ต่าง ๆ ที่สภาวะสมดุล วิธีที่ 2: วิธีอัตราส่วนโดยโมล (Mole - Ratio Method) วิธีนี้ได้พัฒนาขึ้นโดย Yoe และ Jones เป็นวิธีที่สามารถใช้ทดแทนหรือใช้ร่วมกับวิธีความแปรผันต่อเนื่อง เพื่อยืนยันปริมาณสัมพันธ์ของไอออนเชิงซ้อน และวิธีที่ 3: วิธีอัตราส่วนความชัน (Slope - Ratio Method) วิธีนี้ Harvey และ Manning เป็นผู้เสนอขึ้นมาใช้ในปี ค.ศ.1950 เป็นวิธีที่เหมาะสมในการศึกษาไอออนเชิงซ้อนที่มีความเสถียรต่ำและเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดไอออนเชิงซ้อนเพียงชนิดเดียว โดยถือว่าถ้าใช้ลิแกนด์หรือไอออนโลหะมากเกินพอ ไอออนเชิงซ้อนเกิดได้สมบูรณ์และการดูดกลืนแสงเป็นไปตามกฎของเบียร์ (Beer's Law) ในปฏิกิริยาที่มีผลิตผลเกิดขึ้นเพียงชนิดเดียว ผลการทดลองการหาปริมาณสัมพันธ์โดยวิธีทางสเปกโทรโฟโตเมตริกทั้งสามวิธีนี้มักสอดคล้องกัน

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาอินซูลินเทียมชนิดใหม่และศึกษาความเป็นไปได้ในการเกิดไอออนเชิงซ้อนของ VO^{2+} ไอออนกับลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid จากปริมาณสัมพันธ์ภายในโครงสร้างของไอออนเชิงซ้อน โดยการเปรียบเทียบผลจากวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรี 3 วิธี ได้แก่ วิธีความแปรผันต่อเนื่อง วิธีอัตราส่วนโดยโมล และวิธีอัตราส่วนความชัน

4. การทดลอง

4.1 เครื่องมือและสารเคมี

เครื่องยูวี - วิสิเบิล ไดโอด อาเรย์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV - Vis Diode Array Spectrophotometer) รุ่น 8453 UV - Vis ของบริษัท Agilent Technologies ประเทศสหรัฐอเมริกา เครื่องวัดพีเอช รุ่น PHI 34 ของบริษัท Beckman ประเทศสหรัฐอเมริกา วานาเดียมออกไซด์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต (Vanadium(IV) oxide sulfate pentahydrate, $VOSO_4 \cdot 5H_2O$, มวลโมเลกุล 253.08) ของบริษัท Riedel - Deltaen ประเทศเยอรมัน และกรด 1-ไฮดรอกซี-2-ไพริดิโนน-6-คาร์บอกซิลิก (1-hydroxy-2-pyridinone-6-carboxylic acid, $C_6H_5NO_4$ มวลโมเลกุล 155.02) สารสังเคราะห์ตามวิธีของ Yasarawan และคณะ [21]

4.2 การหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมของไอออนเชิงซ้อน

เตรียมสารละลาย 3 ชนิด ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน โดยสารละลาย**ชนิดที่ 1** คือสารละลายไอออนเชิงซ้อน เตรียมโดยผสมสารละลาย VO^{2+} ไอออน ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ 2 มิลลิลิตรกับสารละลายลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ 2 มิลลิลิตร และกรดอะซิติก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น สารละลาย**ชนิดที่ 2** คือสารละลาย VO^{2+} เตรียมโดยผสมสารละลาย VO^{2+} ไอออน ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ 2 มิลลิลิตรและกรดอะซิติก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น สารละลาย**ชนิดที่ 3** คือ สารละลายลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid เตรียมเช่นเดียวกับสารละลาย VO^{2+} จากนั้นนำสารละลายทั้ง 3 ชนิดไปวัดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 190 - 900 นาโนเมตร

4.3 การหาปริมาณสัมพันธ์ของไอออนเชิงซ้อนโดยวิธีความแปรผันต่อเนื่อง

วัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 190 - 900 นาโนเมตร ของสารละลายผสม VO^{2+} ไอออน ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์กับลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่มีเศษส่วนโมลในช่วง 0 ถึง 1 จำนวน 25 ตัวอย่าง โดยมีเศษส่วนโมลของ VO^{2+} ไอออนต่างกันครั้งละ 0.05 - 0.1 แล้วทำให้ค่าเศษส่วนโมลรวมเท่ากับ 1 โดยการเติมสารละลายลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid แล้วเติมกรดอะซิติก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นำข้อมูลที่ได้จากค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมมาเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน y) กับเศษส่วนโมล (แกน x) แล้วลากเส้นสัมผัสกราฟจากทั้งสองด้านไปตัดกัน ค่าบนแกน x ของจุดตัดคือเศษส่วนโมลของโลหะกับลิแกนด์ที่เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อน

4.4 การหาปริมาณสัมพันธ์ของไอออนเชิงซ้อนโดยวิธีอัตราส่วนโมล

เตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นของลิแกนด์คงที่และมีความเข้มข้นของไอออนโลหะต่างกัน โดยปิเปตสารละลายลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในคิวเวท แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 190 - 900 นาโนเมตร จากนั้นปิเปตสารละลาย VO^{2+} ไอออน ความเข้มข้น 0.125 โมลาร์ ใส่ในคิวเวทครั้งละ 5 ไมโครลิตรต่อการวัด 1 ครั้ง บันทึกค่าดูดกลืนแสงทำซ้ำจนค่าดูดกลืนแสงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากหรือคงที่แล้วจึงหยุดทำการทดลอง นำข้อมูลที่ได้จากความยาวคลื่นที่เหมาะสมเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน y) กับค่าเศษส่วนโมล (แกน x) จากนั้นลากเส้นสัมผัสกราฟ ค่าบนแกน x ของจุดตัดคือเศษส่วนโมลของโลหะกับลิแกนด์ที่เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อน เช่นเดียวกับวิธีความแปรผันต่อเนื่อง

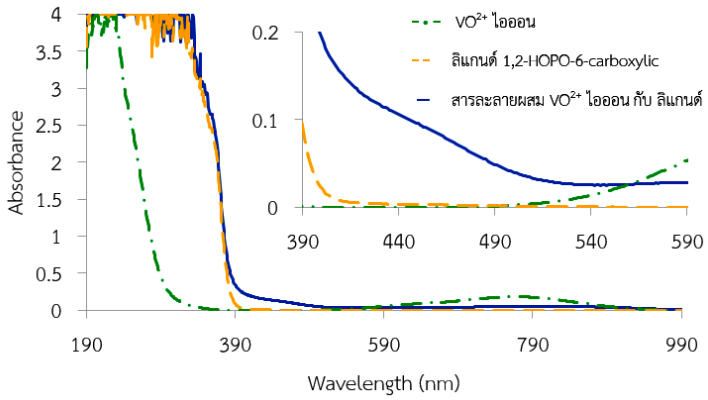
4.5 การหาปริมาณสัมพันธ์ของไอออนเชิงซ้อนโดยวิธีอัตราส่วนความชัน

เตรียมสารละลาย 2 ชุดที่มีปริมาตรเท่ากัน ดังนี้ **สารละลายชุดที่ 1** เป็นของไอออนโลหะที่มีปริมาณคงที่และมากเกินพอที่เติมสารละลายลิแกนด์ปริมาณเล็กน้อยเพื่อให้มีความเข้มข้นต่ำๆ โดยปิเปตสารละลาย VO^{2+} ไอออน ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 6 ขวด จากนั้นปิเปตสารละลายลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid ความเข้มข้น

0.05 โมลาร์ ปริมาตร 0, 200, 300, 400, 500 และ 600 ไมโครลิตรตามลำดับ ปิเปตกรดอะซิติก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ส่วน**สารละลายชุดที่ 2** ทำเช่นเดียวกับสารละลายชุดที่ 1 แต่ใช้ลิแกนด์ที่มีปริมาณมากเกินพอและไอออนโลหะมีความเข้มข้นต่ำๆ โดยปิเปตสารละลายลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 6 ขวด จากนั้นปิเปตสารละลาย VO^{2+} ไอออน ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 0, 200, 300, 400, 500 และ 600 ไมโครลิตรตามลำดับ เติมกรดอะซิติก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น นำสารละลายทั้งสองชุดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400, 440 และ 460 นาโนเมตร ตามลำดับ นำข้อมูลที่ได้จากความยาวคลื่นที่เหมาะสมมาเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน y) กับปริมาตรของไอออน (แกน x) อัตราส่วนของความชันที่แปรตามความเข้มข้นโลหะ (S_M) ต่อความชันที่แปรตามความเข้มข้นลิแกนด์ (S_L) คือปริมาณสัมพันธ์ของลิแกนด์ต่อโลหะ (M:L)

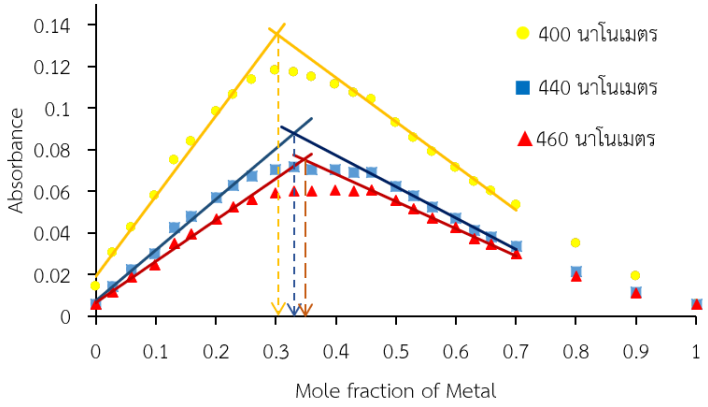
5. ผลและอภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าสารละลายผสมของ VO^{2+} ไอออนกับลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid มีสีเหลืองอมเขียวซึ่งแตกต่างจากสีของสารละลาย VO^{2+} ไอออนที่มีสีฟ้าอมน้ำเงินและสารละลายใสไม่มีสีของลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid สารละลายสีเหลืองอมเขียวนี้มีสมบัติเป็นไอออนเชิงซ้อนประกอบด้วยไอออนของโลหะทรานสิชันที่เกิดพันธะโคออร์ดิเนชันกับลิแกนด์ และพบว่ามีความเสถียรพอสมควรเนื่องจากไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานาน เมื่อวัดค่าดูดกลืนแสงสารละลายสีฟ้าอมน้ำเงินของ VO^{2+} ไอออน สารละลายไม่มีสีของลิแกนด์ และสารละลายสีเหลืองอมเขียวของไอออนเชิงซ้อนในช่วงความยาวคลื่น 190 – 900 นาโนเมตร ได้สเปกตรัมแสดงในรูปที่ 1 พบว่าสเปกตรัมของสารละลาย VO^{2+} ไอออนมีการดูดกลืนแสงในช่วง 590 - 800 นาโนเมตร และมีการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) ที่ 787 นาโนเมตร สารละลายลิแกนด์มีการดูดกลืนแสงสูงในช่วง 190 - 390 นาโนเมตร และไม่ดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่มองเห็นได้ตั้งแต่ความยาวคลื่นมากกว่า 390 นาโนเมตรเป็นต้นไป สารละลายของไอออนเชิงซ้อน สีเหลืองอมเขียวพบว่าดูดกลืนแสงได้ 2 ช่วง ในช่วง 590 - 800 นาโนเมตรมีการดูดกลืนแสงต่ำๆ ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับการดูดกลืนแสงของสารละลาย VO^{2+} ไอออน แต่ไอออนเชิงซ้อนมีการดูดกลืนแสงต่ำกว่ามาก พบการดูดกลืนแสงอีกช่วงของไอออนเชิงซ้อนที่ 390-490 นาโนเมตร ในช่วงความยาวคลื่นนี้พบว่าไม่มีการดูดกลืนแสงของสารละลาย VO^{2+} ไอออนและสารละลายลิแกนด์ ช่วงความยาวคลื่นนี้จึงมีความสัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของไอออนเชิงซ้อนเท่านั้นเพราะไม่ถูกรบกวนจากสารตั้งต้นทั้งสองชนิดหรือมีการรบกวนน้อยมาก อย่างไรก็ตามจากสเปกตรัมไม่พบค่าการดูดกลืนสูงสุด (λ_{max}) ของสารละลายไอออนเชิงซ้อนในช่วงความยาวคลื่น 390 - 490 นาโนเมตร ในการทำการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400, 440 และ 460 นาโนเมตร



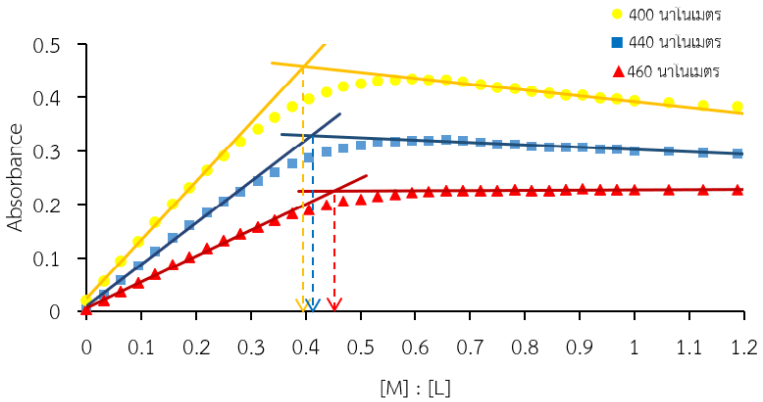
รูปที่ 1 การดูดกลืนแสงของสารละลาย VO^{2+} ไอออน (- • -) ลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid (- -) และ สารละลายผสม VO^{2+} ไอออน กับ ลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid (━) ในสารละลายกรดอะซิติก

การหาปริมาณสัมพันธ์ของไอออนเชิงซ้อนโดยวิธีความแปรผันต่อเนื่องแสดงในรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400, 440 และ 460 นาโนเมตรกับค่าเศษส่วนโมลของ VO^{2+} ไอออนระหว่าง 0.0 - 1.0 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงเกิดการเปลี่ยนแปลงแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ช่วงที่ 1 อยู่ระหว่างค่าเศษส่วนโมล 0 ถึง 0.25 ที่มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นโดยมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง แล้วเปลี่ยนเป็นค่อนข้างคงที่ในช่วงที่ 2 ที่ค่าเศษส่วนโมลระหว่าง 0.3 - 0.45 หลังจากนั้นค่าการดูดกลืนแสงจึงมีแนวโน้มลดลงเป็นเชิงเส้นตรงในช่วงที่ 3 ตั้งแต่เศษส่วนโมลระหว่าง 0.45 - 0.7 ค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่ 1 แปรตามปริมาณ VO^{2+} ไอออนที่เติมลงไป เนื่องจากในช่วงนี้เศษส่วนโมลของไอออนโลหะมีน้อยกว่าเศษส่วนโมลลิแกนด์ ปริมาณลิแกนด์ที่มากเกินพอช่วยให้ไอออนเชิงซ้อนเกิดได้ดีโดยรบกวนสมดุลให้เคลื่อนไปในทิศทางที่ทำให้เกิดไอออนเชิงซ้อนมากขึ้น จึงมีแนวโน้มการเพิ่มเป็นเส้นตรงตามเศษส่วนโมลของ VO^{2+} ไอออนที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าการดูดกลืนแสงในช่วงที่ 2 มีค่าค่อนข้างคงที่เนื่องจากเศษส่วนโมลของไอออนโลหะและลิแกนด์มีค่าพอดีที่ทำให้เกิดไอออนเชิงซ้อนจำนวนมากจึงมีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด แต่ไม่เพิ่มขึ้นตามแนวโน้มในช่วงที่ 1 เพราะไอออนเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นนี้เข้าสู่สมดุลและเกิดการแตกตัวย้อนกลับเป็นสารตั้งต้นทำให้ความเข้มข้นของไอออนเชิงซ้อนค่อนข้างคงที่ค่าการดูดกลืนแสงจึงเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ช่วงที่ 3 เศษส่วนโมลไอออนโลหะระหว่าง 0.45 - 0.7 ขณะที่เศษส่วนโมลของลิแกนด์ลดลงเป็น 0.55 - 0.3 ความเข้มข้นของลิแกนด์จึงต่ำกว่าไอออนโลหะ ทำให้การเกิดไอออนเชิงซ้อนขึ้นกับเศษส่วนโมลของลิแกนด์ที่มีน้อยกว่า ค่าการดูดกลืนแสงจึงลดลงและมีแนวโน้มลดลงเป็นเส้นตรงโดยขึ้นกับเศษส่วนโมลของลิแกนด์ที่ลดลง เมื่อลากเส้นสัมผัสกราฟช่วงที่ 1 ไปตัดกับเส้นสัมผัสอีกเส้นจากช่วงที่ 3 ค่าที่อ่านได้บนแกน x ของจุดตัดแสดงถึงค่าเศษส่วนโมลของไอออนโลหะที่ทำให้เกิดไอออนเชิงซ้อนได้มากที่สุดซึ่งมีความสัมพันธ์กับเศษส่วนโมลของลิแกนด์ที่พอดีกับไอออนโลหะ จุดตัดบนแกน x ของยาวคลื่น 400, 440 และ 460 นาโนเมตร มีค่าเศษส่วนโมลของไอออนโลหะต่อเศษส่วนโมลของลิแกนด์เท่ากับ 0.30:0.70, 0.33:0.67 และ 0.35:0.65 ตามลำดับ เมื่อปรับเป็นอัตราส่วนที่เป็นเลขลงตัวน้อยที่สุด พบว่าปริมาณสัมพันธ์ของ VO^{2+} ไอออนต่อลิแกนด์ (M:L) ที่เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนมีค่าเท่ากับ 1:2



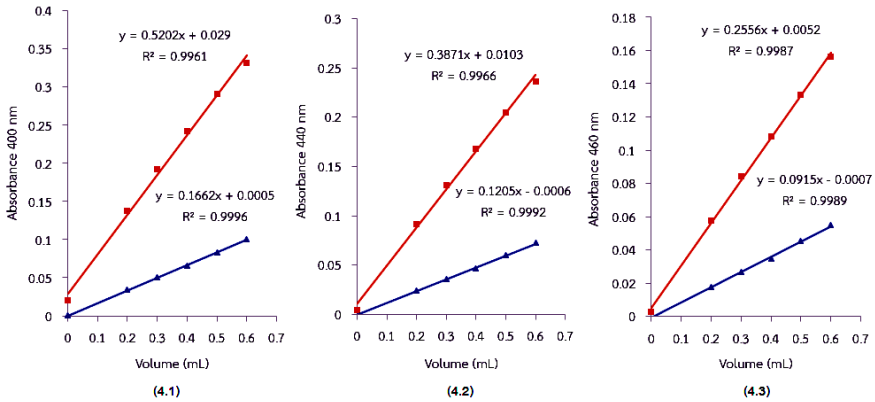
รูปที่ 2 การหาปริมาณสัมพันธ์ระหว่าง VO^{2+} ไอออน กับ ลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid ที่ความยาวคลื่น 400 (●) 440 (■) และ 460 (▲) นาโนเมตร ในสารละลายกรดอะซิติกโดยวิธีความแปรผันต่อเนื่อง

ผลการทดลองการหาปริมาณสัมพันธ์ระหว่าง VO^{2+} ไอออนกับลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid โดยวิธีอัตราส่วนโมลแสดงในรูปที่ 3 พบว่ากราฟระหว่างการดูดกลืนแสง (แกน y) ที่ได้จากความยาวคลื่น 400, 440 และ 460 นาโนเมตรกับอัตราส่วนความเข้มข้นของ VO^{2+} ไอออนต่อความเข้มข้นของลิแกนด์ที่แสดงด้วย [M]:[L] (แกน x) แตกต่างจากการวิจัยของ Sarma และคณะ [20] ซึ่งแกน x เป็นค่า [L]:[M] เนื่องจากลิแกนด์ละลายน้ำได้น้อยจึงไม่สามารถเตรียมเป็นสารละลายเข้มข้นได้ จำเป็นต้องใช้การเติมสารละลาย VO^{2+} ไอออนลงในสารละลายลิแกนด์ ดังนั้น ค่าแกน x จึงเป็น [M]:[L] จากรูปที่ 3 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของการดูดกลืนแสง 3 ช่วงคล้ายกับวิธีความแปรผันต่อเนื่อง ช่วงที่ 1 เกิดขึ้นเมื่อเติมสารละลาย VO^{2+} ไอออนลงไปในสารละลายลิแกนด์ พบว่ากราฟของทั้ง 3 ความยาวคลื่นมีการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงเมื่อค่า [M]:[L] อยู่ระหว่าง 0 - 0.3 ช่วงที่ 2 พบการเบี่ยงเบนของเส้นกราฟเข้าสู่แนวแกน x ที่ [M]:[L] มากกว่า 0.3 ถึง 0.6 และช่วงที่ 3 พบการดูดกลืนแสงมีค่าค่อนข้างคงที่และมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงอีกแนวหนึ่ง ที่ [M]:[L] มีค่ามากกว่า 0.6 แนวโน้มของกราฟในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 ที่พบอธิบายได้เช่นเดียวกันกับวิธีความแปรผันต่อเนื่อง แต่ในช่วงที่ 3 ของวิธีอัตราส่วนโมลค่าการดูดกลืนแสงมีค่าค่อนข้างคงที่เนื่องจากปริมาณ VO^{2+} ไอออนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและมีมากเกินพอ ขณะที่ลิแกนด์มีปริมาณคงที่ค่าการดูดกลืนแสงจึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ค่า [M]:[L] ที่อ่านได้จากแกน x ที่จุดตัดของเส้นสัมผัสกราฟช่วงที่ 1 และช่วงที่ 3 แสดง [M]:[L] ที่ไอออนโลหะทำปฏิกิริยาพอดีกับลิแกนด์ ค่า [M]:[L] ที่ได้จากความยาวคลื่น 400, 440 และ 460 นาโนเมตรมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.40:1, 0.41:1 และ 0.45:1 เมื่อปรับให้ไอออนโลหะเป็นเลขลงตัวน้อยที่สุด พบว่า M:L เท่ากับ 1:2.5, 1:2.4 และ 1:2.2 และเมื่อปรับให้ลิแกนด์เป็นเลขลงตัวน้อยที่สุด พบว่ามีปริมาณสัมพันธ์ M:L เท่ากับ 1:2 ซึ่งสอดคล้องกับวิธีความแปรผันต่อเนื่อง



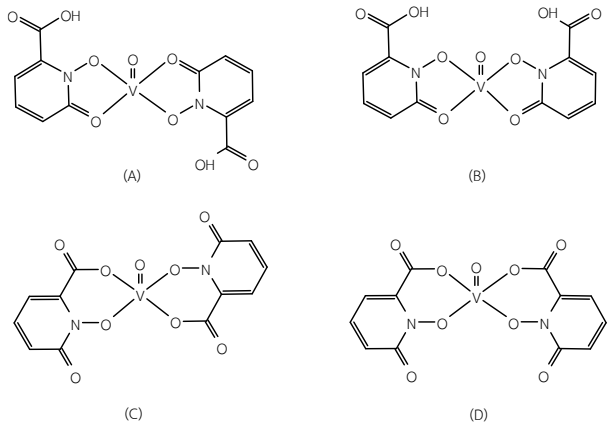
รูปที่ 3 การหาปริมาณสัมพันธ์ระหว่าง VO^{2+} ไอออนกับลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid ที่ความยาวคลื่น 400 (●) 440 (■) และ 460 (▲) นาโนเมตร ในสารละลายกรดอะซิติกโดยวิธีอัตราส่วนโมล

ผลการหาปริมาณสัมพันธ์ของไอออนเชิงซ้อนระหว่าง VO^{2+} ไอออนกับลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid ในสารละลายกรดอะซิติกโดยวิธีอัตราส่วนความชันที่ความยาวคลื่น 400, 440 และ 460 นาโนเมตร แสดงในรูปที่ 4 พบว่า ความชันที่ได้จากระบบที่มี VO^{2+} มากเกินพอ (S_M) ที่ความยาวคลื่น 400, 440 และ 460 นาโนเมตร เท่ากับ 0.1662, 0.1205 และ 0.0915 ตามลำดับ และความชันที่ได้จากระบบที่มีลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid ที่มากเกินพอ (S_L) ที่ความยาวคลื่น 400, 440 และ 460 นาโนเมตร เท่ากับ 0.5202, 0.3871 และ 0.2556 ตามลำดับ เมื่อหาอัตราส่วนความชัน (S_L/S_M) ระหว่างเส้นตรงทั้ง 2 ที่ความยาวคลื่น 400, 440 และ 460 นาโนเมตร ได้ค่าอัตราส่วนความชันเท่ากับ 3.13, 3.12 และ 2.79 แสดงค่าปริมาณสัมพันธ์ของไอออนโลหะต่อลิแกนด์ (M:L) มีค่าใกล้เคียงกับ 1:3 ซึ่งค่าที่ได้แตกต่างจากวิธีความแปรผันต่อเนื่องและวิธีอัตราส่วนโมลที่มีปริมาณสัมพันธ์เท่ากับ 1:2



รูปที่ 4 การหาปริมาณสัมพันธ์ระหว่าง VO^{2+} ไอออนกับลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid ในสารละลายกรดอะซิติกโดยวิธีอัตราส่วนของความชัน **(4.1)** ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร **(4.2)** ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร **(4.3)** ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ▲ VO^{2+} มากเกินพอ ■ ลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid มากเกินพอ

ปริมาณสัมพันธ์ของไอออนโลหะต่อลิแกนด์ตามวิธีอัตราส่วนความชันที่แตกต่างจากสองวิธีแรกอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดไอออนเชิงซ้อนนี้มีผลผลิตมากกว่า 1 ชนิด จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ [19] เมื่อพิจารณาการเกิดพันธะโคออร์ดิเนชันจากหมู่ฟังก์ชัน HO-N COOH และ C=O ของลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid กับ VO^{2+} ไอออนแล้ว อาจเกิดไอออนเชิงซ้อนได้หลายแบบ โครงสร้างที่เป็นไปได้แสดงในรูปที่ 5 พันธะโคออร์ดิเนชันในโครงสร้าง 5A และ 5B เกิดจากหมู่ฟังก์ชัน HO-N และ C=O ปิดเป็นวงคีเลตห้าเหลี่ยมที่เป็นไอโซเมอร์กัน รูป 5A มีโครงสร้างแบบทราน รูป 5B มีโครงสร้างแบบซิส ส่วนอีก 2 โครงสร้างแสดงการเกิดเป็นวงคีเลตหกเหลี่ยมในรูป 5C และ 5D ที่เป็นทรานและซิสไอโซเมอร์เช่นกัน แต่เกิดจากหมู่ฟังก์ชัน HO-N และ COOH นอกจากนั้นในชุดสารละลายที่มีความเข้มข้นของ VO^{2+} ไอออนมากเกินพอ VO^{2+} ไอออนอาจเกิดการสลายตัวบางส่วน โดยเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์กับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในตัวทำละลายที่เป็นน้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนเลขออกซิเดชันเป็นค่าอื่น [22] จึงเกิดการเบี่ยงเบนของผลการทดลองในวิธีอัตราส่วนความชันนี้



รูปที่ 5 โครงสร้างที่อาจเป็นไปได้ของไอออนเชิงซ้อนของ VO^{2+} กับลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid

6. สรุปผลการทดลอง

ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาอินซูลินเทียมชนิดใหม่ของไอออนเชิงซ้อนระหว่าง VO^{2+} ไอออนกับลิแกนด์ 1,2-HOPO-6-carboxylic acid ในสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ โดยการหาปริมาณสัมพันธ์ด้วยวิธีทางสเปกโทรโฟโตเมตริก พบปริมาณสัมพันธ์จากวิธีความแปรผันต่อเนื่องและอัตราส่วนโมลมีค่า 1:2 เท่ากันทั้งสองวิธี ต่างจากวิธีอัตราส่วนความชันที่มีค่า 1:3 เนื่องจากวิธีอัตราส่วนความชันมีข้อจำกัดและใช้ได้ผลดีกับปฏิกิริยาที่มีผลิตผลเป็นสารเพียงชนิดเดียว และจากปริมาณสัมพันธ์ 1:2 พบว่าไอออนเชิงซ้อนนี้อาจมีได้หลายไอโซเมอร์ ดังนั้นวิธีอัตราส่วนความชันจึงไม่เหมาะสมในการหาปริมาณสัมพันธ์ ในงานวิจัยนี้ ไอออนเชิงซ้อนที่มีปริมาณสัมพันธ์เท่ากับ 1:2 เป็นสารละลายสีเหลืองอมเขียวแตกต่างไปจากสีของสารตั้งต้นทั้งสองชนิด สารละลายสีเหลืองอมเขียวนี้มีความเสถียรดี เนื่องจากไม่พบการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อตั้งทิ้งไว้จึงเหมาะสมในการนำไปพัฒนาหาวิธีการสังเคราะห์เป็นสารบริสุทธิ์แล้วศึกษาการ ออกฤทธิ์เลียนแบบฮอร์โมนอินซูลินต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Rehder, D. (1991). The Bioinorganic Chemistry of Vanadium. Angewandte Chemie International Edition in English, 30(2), 148–167.
2. Ramanadham, S., Mongold, J. J., Brownsey, R. W., Cros, G. H., & McNeill, J. H. (1989). Oral vanadyl sulfate in treatment of diabetes mellitus in rats. Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, 257(3), H904–H911.
3. Yuen, V., Caravan, P., Gelmini, L., Glover, N., McNeill, J., Setyawati, I. and Orvig, C., (1997). Glucose-lowering properties of vanadium compounds: Comparison of coordination complexes with maltol or kojic acid as ligands. Journal of Inorganic Biochemistry, 68(2), pp.109–16.
4. Dabroś, W., Nikiforuk, A. and Kordowiak, A., (2004). Morphology and biochemical activity of rat liver golgi complexes after pretreatment with bis(kojato)oxovanadium(IV) or kojic acid alone. Polish Journal of Pathology: Official Journal of the Polish Society of Pathologists, 55(3), pp.15-21.
5. Sakurai, H., Fujii, K., Watanabe, H. and Tamura, H., (1995). Orally Active and Long-Term Acting Insulin-Mimetic Vanadyl Complex: Bis(Picolinato)oxovanadium(IV). Biochemical and Biophysical Research Communications, 214(3), pp.1095–1101.
6. Makinen, M., and Brady, M., (2002). Structural Origins of the Insulin-mimetic Activity of Bis(acetylacetonato)oxovanadium(IV). Journal of Biological Chemistry, 277(14), pp.12215–12220.
7. สมาคมโรคเบาหวานอบรม ‘ทางเลือกใหม่รักษาเบาหวานชนิด 2’ เน้นผู้ป่วยเป็นศูนย์กลาง [Internet]. Hfocus.org เจาะลึกระบบสุขภาพ. 2021 [cited 13 June 2021]. Available from: https://www.hfocus.org/content/2019/11/18016
8. Kiss, T., Buglyó, P., Sanna, D., Micera, G., Decock, P. and Dewaele, D. (1995). Oxovanadium(IV) complexes of citric and tartaric acids in aqueous solution. Inorganica Chimica Acta, 239(1-2), pp.145–153.
9. Costa, J., Luz, S. and Gillard, R., (1995). Oxovanadium(IV) and amino acids—VIII. l-histidine derivatives and related ligands: A spectroscopic study. Polyhedron, 14(11), pp.1495–1515.
10. Messerschmidt, A. and Wever, R., (1996). X-ray structure of a vanadium-containing enzyme: chloroperoxidase from the fungus Curvularia inaequalis. Proceedings of the National Academy of Sciences, 93(1), pp.392–396.

11. Sanna, D., Micera, G., Buglyó, P. and Kiss, T., (1996). Oxovanadium(IV) complexes of ligands containing phosphonic acid moieties. Journal of the Chemical Society, Dalton Trans., (1), pp.87–92.
12. Buglyó, P, Dessì, A, Kiss, T., Micera, G. and Sanna, D., (1993). Formation of tris-chelated vanadium(IV) complexes by interaction of oxovanadium(IV) with catecholamines, 3-(3,4-dihydroxyphenyl)alanine and related ligands in aqueous solution. Journal of the Chemical Society, Dalton Trans., (13), pp.2057–2063.
13. Buglyó, P., Culeddu, N., Kiss, T. pp.and Sanna, D., (1995). Vanadium (IV) and vanadium (V) complexes of deferoxamine B in aqueous solution. Journal of Inorganic Biochemistry, 60(1), pp.45–59.
14. Idriss, K., Saleh, M., Sedaira, H., Seleim, M. and Hashem, E., (1991). Solution equilibria and stability of the complexes of pyridinecarboxylic acids: Complexation reaction of mercury(II) with 2-hydroxynicotinic acid. Monatshefte Fur Chemie Chemical Monthly, 122(6-7), pp.507–520.
15. Kiss, E., Petrohán, K., Sanna, D., Garribba, E., Micera, G. and Kiss, T. (2000). Solution speciation and spectral studies on oxovanadium(IV) complexes of pyridinecarboxylic acids. Polyhedron, 19(1), pp.55–61.
16. Naglah, A., Al-Omar, M., Bhat, M., Al-Wasidi, A., Alsuhaibani, A., El-Didamony, A. and Refat, M., (2019). Synthesis and Biological Evaluations of a Novel Oxidovanadium(IV) Adenosine Monophosphate Complex as Anti-Diabetic Agent. Crystals, 9(4), pp.208.
17. Mohammad, M., Maurya, R., Vishwakarma, P., Rajak, D., Malik, B., Jaget, P. and Bohre, P., (2017). Synthesis and Conjoint Experimental-DFT Characterization of Some Pyrazolone Functionalized Dioxovanadium (V) Schiff Base Complexes. Journal of Theoretical and Computational Science, 4(01), pp.152-164.
18. Lu W, Zhang R, Jiang H, Zhang H, Luo C., (2018). Computer-Aided Drug Design in Epigenetics. Frontiers in Chemistry.
19. Skoog DA., West DM, Holler FJ, Crouch SR., (2014) Fundamentals of Analytical Chemistry. 9th ed. New York: Cengage Learning;.
20. Sarma, L., Kumar, J., Reddy, K., Thriveni, T. and Reddy, A., (2006). Studies of zinc(II) in pharmaceutical and biological samples by extractive spectrophotometry: Using pyridoxal-4-phenyl-3-thiosemicarbazone as chelating reagent. Journal of the Brazilian Chemical Society, 17(3); pp.463-472.

21. Yasarawan, N., Thipyapong, K., Sirichai, S. and Ruangpornvisuti, V., (2013). Synthesis of chromium(III) complex with 1-hydroxy-2-pyridinone-6-carboxylic acid as insulin-mimetic agent and its spectroscopic and computational studies. Journal of Molecular Structure, 1031, pp.144–151.
22. Badawy, W., Al-Kharafi, F., (1997). Electrochemical behaviour of vanadium in aqueous solutions of different pH. Electrochimica Acta. 42 (4): pp.579–586.

ความแม่นยำของการใช้แบบจำลองการถดถอยพหุคูณในการวิเคราะห์ฐานข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบมีเงื่อนไขเพื่อการคาดการณ์ผลการเรียนของนักเรียนนายเรือ

The Accuracy of Multiple Regression Models in Conditional Randomized Database Analysis to Predict Academic Performance of Naval Cadets.

ศศิธร คงอุดมทรัพย์[1] และ พงศิษฏ์ ทวิชพงศ์ธร[2]
Sasithorn Kongudomthrap[1] and Pongsit Twichpongtorn[2]

Received : February 10, 2021
Revised : March 15, 2021
Accepted : March 16, 2021

บทคัดย่อ

บทความเชิงวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการตรวจสอบความแม่นยำของการใช้แบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณในการวิเคราะห์ฐานข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบมีเงื่อนไขด้วยคอมพิวเตอร์ โดยฐานข้อมูลดังกล่าวสร้างขึ้นจากต้นแบบข้อมูลผลการศึกษาจริงในรายวิชาความน่าจะเป็นและสถิติสำหรับวิศวกรรมของนักเรียนนายเรือ โรงเรียนนายเรือ ประจำปีการศึกษา 2562 ฐานข้อมูลสุ่มนี้จะบรรจุข้อมูลตัวแปรต้นคือ ปัจจัยที่มีผลต่อผลการเรียนรายวิชาประกอบด้วย ปัจจัยตัวบุคคล และปัจจัยการเรียนการสอน และตัวแปรตามคือ ผลการเรียนรายวิชา (เกรด) เขียนโปรแกรมสร้างฐานข้อมูลสุ่มย้อนหลังจำนวน 30 ปีการศึกษา แล้วทำการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากฐานข้อมูลที่สร้างขึ้น เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ผลการเรียนในรายวิชา นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับผลการศึกษาจริงพบว่า ผลทดสอบความแม่นยำใน 1 ปีการศึกษาใดๆ โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 84% ถ้าทดสอบกับฐานข้อมูลสุ่มสะสม 3 ปีการศึกษา จะมีความแม่นยำเฉลี่ย 88.4% เมื่อเพิ่มจำนวนฐานข้อมูล

[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาคณิตศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
Assistant Professor Department of Mathematics, Education Branch, Royal Thai Naval Academy
E-mail : puicumath@gmail.com
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
Assistant Professor Department of Engineering, Education Branch, Royal Thai Naval Academy
E-mail : s@pongsit.com

สุ่มสะสมเป็น 5, 10, 15 และ 20 ปีการศึกษา จะพบว่า ความแม่นยำในการทำนายเฉลี่ยจะอยู่ที่ 90%, 91.67%, 91.67% และ 93% ตามลำดับ และเมื่อใช้ฐานข้อมูลสุ่มทั้ง 30 ปีการศึกษา จะได้สมการพยากรณ์คือ

$$y = -2.47317 + (0.13134)a + (0.00209)b$$

เมื่อ a แทน ค่าเฉลี่ยในส่วนของปัจจัยตัวบุคคล

b แทน ค่าเฉลี่ยในส่วนของปัจจัยการเรียนการสอน

ซึ่งผลการทดสอบความแม่นยำของสมการพยากรณ์นี้พบว่า สามารถทำนายได้ถูกต้องถึง 96% จากผลการทดสอบความแม่นยำในการทำนายผลการเรียนรายวิชาความน่าจะเป็นและสถิติของนักเรียนนายเรือโรงเรียนนายเรือ ด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้หลักการของแบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณนี้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มจำนวนฐานข้อมูลสุ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ความแม่นยำในการทำนายก็จะเพิ่มสูงมากขึ้นด้วย

คำสำคัญ: การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ, ฐานข้อมูลสุ่มด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์, การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

Abstract

The objective of this academic articles is to show the accuracy of multiple linear regression models as a tool for analyzing randomized databases based on specified conditions. A computer program was designed to create a database using conditional randomization with correlation between academic performance and the factors affecting the performance - personal factors and teaching factors. It is based on the actual study results in a course, probability and statistics for engineering in 2019 Royal Thai Naval Academy. After constructing this randomized databases and getting 30 academic year data out of the designed computer program, the data were analyzed by multiple linear regression models to find the equation used to predict the academic performances. The accuracy of the prediction when using one academic year from the created database to build the predicting equation is approximately 84%. When three years were used, the average accuracy was approximately 88.4%. When the data were used more from 5, 10, 15 and 20 academic years, the forecast accuracy is approximately 90%, 91.67%, 91.67% and 93% respectively. When tested with 30 year randomized databases, the forecast equation is

$$y = -2.47317 + (0.13134)a + (0.00209)b$$

when a is an average of the personal factors and b is an average of teaching factors.

This was able to accurately predict 96% of the students' academic performances. The multiple linear regression models is gaining more predicting accuracy as the databases used to create predicting equation grow.

Keywords: multiple regression, conditional randomized databases, computer program design

1. บทนำ

โลกในยุคปัจจุบันเป็นโลกดิจิทัลที่มีข้อมูลข่าวสารเกิดขึ้นมากมายในชีวิตประจำวัน ข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบของดิจิทัล ข้อดีของดิจิทัลคือสามารถนำไปประมวลผลด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ได้อย่างง่ายดายและรวดเร็ว จึงทำให้หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนนำระบบดิจิทัลไปใช้ในการดำเนินงานกันอย่างกว้างขวาง สามารถสังเกตได้จากการที่รัฐบาลให้ความสำคัญกับข้อมูลข่าวสารด้วยการพัฒนาขยายโครงข่ายอินเตอร์เน็ตความเร็วสูงทั้งภายในและระหว่างประเทศ เพื่อเพิ่มศักยภาพ และรองรับการสื่อสารที่เพิ่มมากขึ้น [1] แต่ในทางกลับกันจะพบว่าปริมาณข้อมูลข่าวสารที่มีจำนวนมหาศาลและเพิ่มมากขึ้นในทุก ๆ วันนั้น

ได้รับการวิเคราะห์หรือการหาความรู้ใหม่ ๆ จากข้อมูลเหล่านี้มีน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูล หรือระบบฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา ซึ่งมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นจำนวนมาก หากมีการนำข้อมูลต่าง ๆ มาสำรวจ และนำเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล ก็จะพบความรู้ใหม่ที่มีค่า ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อระบบการศึกษาต่อไป

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรตาม (Dependent Variable) จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearity) ถ้าศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัวเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยว หรือการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ถ้าตัวแปรอิสระมีมากกว่าหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัวเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) วัตถุประสงค์ของการใช้การวิเคราะห์การถดถอยคือ นำไปใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม และศึกษาปัจจัยหรือตัวแปรอิสระที่ร่วมกันทำนาย หรือพยากรณ์ตัวแปรตาม ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ที่มีการใช้การวิเคราะห์การถดถอยจะใช้การวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม SPSS หรือ Excel ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้งานง่าย

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการเรียนรายวิชา หรือผลสัมฤทธิ์ของการเรียนในรายวิชา ในด้านของความหมายและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง พบว่า ในส่วนของความหมายผลการเรียนรายวิชา และปัจจัยที่มีผลต่อผลการเรียนรายวิชานั้น กรมวิชาการกระทรวงศึกษาธิการ [2] และนักวิชาการ เช่น ไพศาล หวังพาณิชย์ [3], นงลักษณ์ วิรัชชัย [4], ธวัลพร มะรินทร์ [5], กฤษฎา บุญวัฒน์ [6] เป็นต้น ได้ให้ข้อมูลไว้ทำให้สรุปได้ว่าผลการเรียนรายวิชาหรือผลการสอบก็คือ ระดับของความรู้ หรือความสามารถที่ได้รับมาจากการเรียนการสอน ซึ่งต้องอาศัยความพยายาม หรือความสามารถเฉพาะตัวของบุคคล ส่วนปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการเรียนรายวิชาหรือผลสอบประกอบด้วย ปัจจัยภายในตัวบุคคล และปัจจัยด้านการเรียนการสอน ในการวัดผลการศึกษารายวิชานั้นสามารถวัดได้จากเกรดเฉลี่ย หรือผลคะแนนจากการบ้าน หรืองานที่ครูมอบหมายให้

บทความเชิงวิชาการนี้จะนำเสนอการนำการวิเคราะห์การถดถอยมาใช้หาความสัมพันธ์ของตัวแปรปัจจัยที่มีผลต่อผลการเรียนกับผลการเรียนในอีกรูปแบบหนึ่งที่สอดคล้องกับโลกในยุคดิจิตัล มีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้นั่นคือ ใช้การเขียนโปรแกรมวิเคราะห์การถดถอยแทนการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป และทดสอบความแม่นยำของการใช้แบบจำลองการถดถอยพหุคูณในการวิเคราะห์ฐานข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบมีเงื่อนไขเพื่อการคาดการณ์ผลการเรียนของนักเรียนนายเรือ โดยจะกล่าวถึง แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กรอบแนวคิด วัตถุประสงค์ของการนำเสนอ ประชากรกลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล บทสรุป และข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ประโยชน์

2. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และนิยามคำศัพท์

2.1 การวัดและประเมินผลการศึกษาภาควิทยาการของโรงเรียนนายเรือ [7] ซึ่งได้ทำการระบุเกณฑ์เพื่อใช้เป็นระเบียบในการวัดและประเมินผลการศึกษา ดังนี้ ระหว่างภาคการศึกษา อาจารย์ผู้สอนประจำวิชาเป็นผู้ดำเนินการตามวิธีที่เห็นว่าเหมาะสมในแต่ละกระบวนวิชาตามหลักการวัดผลการศึกษา และให้มีการวัดผลในแต่ละภาคการศึกษาไม่น้อยกว่า 2 ครั้ง ส่วนปลายภาคการศึกษาเป็นการวัดผลด้วยวิธีการสอบปลายภาคการศึกษา และคิดคะแนนรายบุคคล ดำเนินการโดยคณะกรรมการสอบความรู้ที่โรงเรียนนายเรือแต่งตั้ง การประเมินผลการศึกษาแต่ละวิชาในระบบอักษร แสดงระดับคะแนนโดยมีอักษรประกอบระดับคะแนนต่อ 1 หน่วย ดังนี้

ตารางที่ 1 การวัดและการประเมินผลการสอบความรู้ ใช้ระบบอักษรแสดงระดับคะแนน (Grading System) [7]

อักษรระดับคะแนน	ระดับคะแนนต่อหน่วยกิต	ความเหมาะสม
A	4.0	ดีมาก
B+, B	3.5, 3.0	ดี
C+, C	2.5, 2.0	พอใช้
D+, D	1.5, 1.0	ผ่าน
F	0	ไม่ผ่าน
P	ไม่คิดระดับคะแนน	ผ่านกระบวนวิชาที่ไม่คิดคะแนนเฉลี่ยสะสม
N	ไม่คิดระดับคะแนน	ไม่ผ่านกระบวนวิชาที่ไม่คิดคะแนนเฉลี่ยสะสม

2.2 การวิเคราะห์การถดถอย [8] เป็นสถิติที่นิยมใช้ในการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงเป็นเหตุเป็นผล ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะสามารถบอกขนาดและทิศทางอิทธิพลของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่มีต่อตัวแปรตาม และสร้างสมการพยากรณ์ตัวแปรตามได้เมื่อรู้ค่าตัวแปรต้น คำถามวิจัยที่เหมาะสมกับการใช้สถิติวิเคราะห์การถดถอย จะเป็นคำถามวิจัยเชิงสำรวจขนาดใหญ่ที่มีตัวแปรจำนวนมากทั้งตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรแทรกซ้อน เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านครอบครัว ปัจจัยด้านนักเรียน และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน, การพยากรณ์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนด้วยตัวแปรปัจจัยด้านครอบครัวและปัจจัยด้านนักเรียน, ผลการเปรียบเทียบขนาดอิทธิพลของตัวแปรปัจจัยด้านครอบครัวและปัจจัยด้านนักเรียนที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน เป็นต้น การวิเคราะห์การถดถอย [9] หรือโมเดลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis Model) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตาม

มีหลายรูปแบบ เช่น โมเดลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis Model), โมเดลการวิเคราะห์การถดถอยโพลีโนเมียล (Polynomial Regression Analysis Model), โมเดลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณที่มีตัวแปรดัมมี่ (Multiple Regression Analysis Model with Dummy Variables) เป็นต้น สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โมเดลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น กับตัวแปรตาม เมื่อตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง โดยจะได้สมการพยากรณ์ คือ

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + ... + b_kX_k$$

เมื่อ Y คือ ค่าของตัวแปรตาม

$X_1, X_2, ..., X_k$ คือ ค่าของตัวแปรอิสระแต่ละตัว

k คือ จำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอย

b_0 คือ ค่าคงที่ (Constant) ของสมการถดถอย

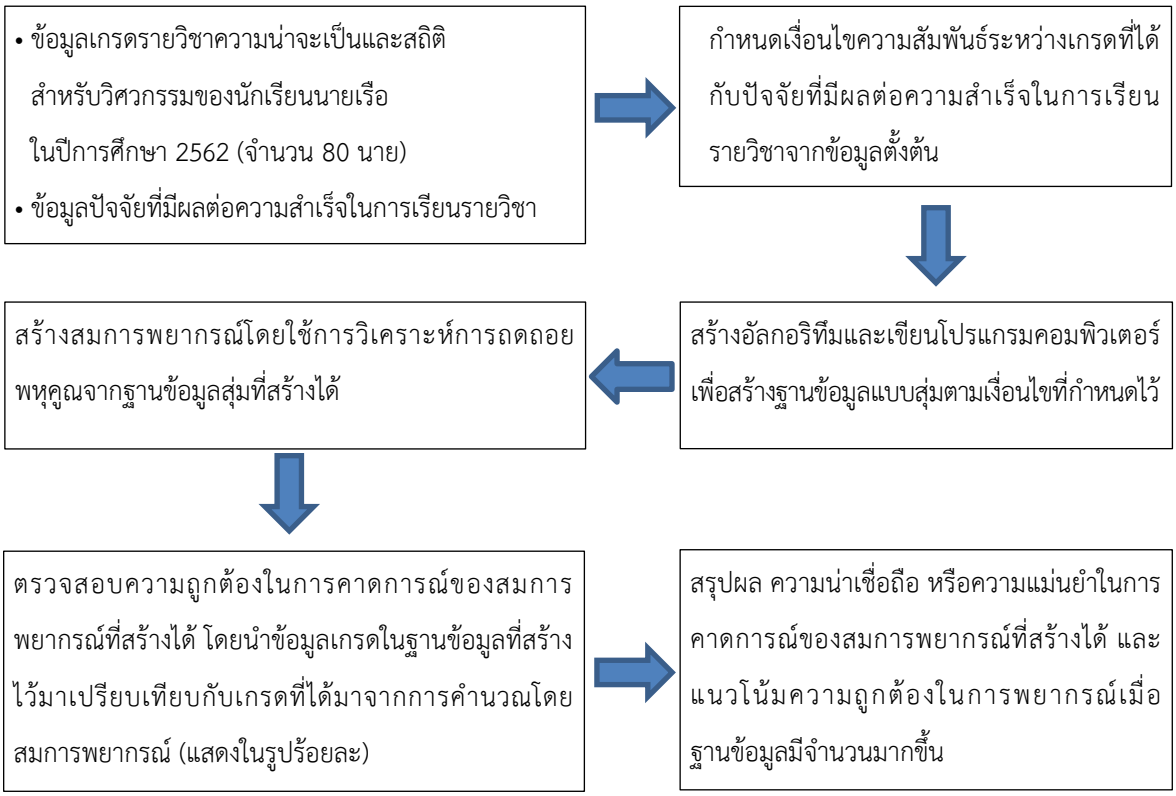
และ $b_1, b_2, ..., b_k$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ของตัวแปรอิสระแต่ละตัว โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยนี้จะแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีต่อค่าตัวแปรตาม

2.3 โปรแกรมที่นิยมนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดคือ SPSS [10] ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยให้ค้นหาความสัมพันธ์ใหม่ๆ ของข้อมูล และสามารถคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นต่อไปได้ ทำให้สามารถสร้าง จัดการ และเผยแพร่ข้อมูลเชิงลึกเพื่อการตัดสินใจได้อย่างรวดเร็ว เหมาะในการนำไปใช้งานในองค์กรที่มีข้อมูลเยอะมากๆ แต่ก็มีข้อเสียตรงที่มีความยุ่งยากในการเตรียมข้อมูล และการใช้งาน ประกอบกับในปัจจุบันมีโปรแกรมภาษาต่างๆ มากมายที่มีคำสั่งวิเคราะห์ข้อมูลได้เช่นเดียวกันกับ SPSS ทำให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น ในบทความนี้จึงเลือกนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบความแม่นยำของการใช้แบบจำลองการถดถอยพหุคูณในการวิเคราะห์ฐานข้อมูลที่ได้จากการสุ่มแบบมีเงื่อนไขเพื่อการคาดการณ์ผลการเรียนของนักเรียนนายเรือ โดยใช้ OOP (Object – Oriented Programming) สำหรับรูปแบบในการพัฒนาโปรแกรม Visual Studio Code สำหรับการเขียนโปรแกรม PHP สำหรับการประมวลผลโปรแกรม HTML CSS และ JavaScript สำหรับการแสดงผลข้อมูล และ MySQL สำหรับการจัดการฐานข้อมูลต่าง ๆ

2.4 นิยามคำศัพท์ “การสุ่มแบบมีเงื่อนไข” ในบทความนี้คือ การตั้งคำตอบเป็นความสัมพันธ์ของข้อมูล แล้วหาคำตอบของข้อมูลโดยใช้แบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

3. กรอบแนวคิดของการศึกษา

ลำดับขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ



รูปที่ 1 ลำดับขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล

4. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อนำเสนอการทดสอบความแม่นยำของหลักการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยใช้การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ฐานข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข

4.1 ประชากร และกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่นำมาใช้ในการศึกษาคือ ฐานข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขจำนวน 30 ปีการศึกษาเป็นตัวแทนของข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อผลการเรียนรายวิชา และผลการเรียนรายวิชาของนักเรียนนายเรือ จำนวน 2,480 นาย ที่สร้างขึ้นจากต้นแบบข้อมูลผลการศึกษาจริงของนักเรียนนายเรือในรายวิชาความน่าจะเป็นและสถิติสำหรับวิศวกรรม ประจำปีการศึกษา 2562 โรงเรียนนายเรือ

4.2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

4.2.1 ตัวแปรต้น คือ ปัจจัยที่มีผลต่อผลการเรียนรายวิชา ได้แก่ ปัจจัยภายในด้านตัวนักเรียนนายเรือและปัจจัยด้านการศึกษา

4.2.2 ตัวแปรตาม คือ ผลการเรียนรายวิชา (A, B+, B, C+, C, D+, D, F)

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

4.3.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนโดยใช้โปรแกรมภาษา PHP สำหรับการประมวลผลโปรแกรม HTML CSS และ JavaScript สำหรับการแสดงผลข้อมูล และ MySQL สำหรับการจัดการฐานข้อมูลต่าง ๆ สำหรับการสร้างฐานข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไข

4.3.2 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และสถิติเชิงอนุมาน ประกอบด้วย การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

4.4 ลำดับขั้นตอนการศึกษา

ในบทความนี้จะนำเสนอการใช้แบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ฐานข้อมูลสุ่มเพื่อทำนายผลการศึกษารายวิชาของนักเรียนนายเรือโดยมีลำดับของศึกษาดังนี้

4.4.1 นำข้อมูลผลการศึกษาจริงของนักเรียนนายเรือในรายวิชาความน่าจะเป็นและสถิติสำหรับวิศวกรรม ปีการศึกษา 2562 มาเป็นข้อมูลต้นแบบในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างฐานข้อมูลสุ่ม โดยให้ข้อมูลที่สุ่มได้มีจำนวนนักเรียนที่ได้เกรดเฉลี่ยในแต่ละระดับสอดคล้องกับข้อมูลจริง เช่น ให้แต่ละปีมีนักเรียนที่ได้เกรด A จำนวน 7 คน ได้ C จำนวน 16 คน เป็นต้น

4.4.2 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างฐานข้อมูลสุ่มในส่วนของปัจจัยที่มีผลต่อผลการศึกษาในรายวิชา โดยกำหนดเงื่อนไขของการสุ่มข้อมูลให้มีความสัมพันธ์กันกับผลการเรียนรายวิชาอย่างชัดเจน เช่น ให้ผู้ที่ได้ A มีคะแนนเฉลี่ยของปัจจัยภายในด้านตัวนักเรียนนายเรือตั้งแต่ร้อยละ 80 ขึ้นไปและด้านการศึกษาตั้งแต่ร้อยละ 60 ขึ้นไป และให้ผู้ที่ได้ C มีคะแนนเฉลี่ยของปัจจัยภายในด้านตัวนักเรียนนายเรือตั้งแต่ร้อยละ 40 แต่น้อยกว่าร้อยละ 50 และด้านการศึกษา ตั้งแต่ร้อยละ 40 แต่น้อยกว่าร้อยละ 50 เป็นต้น

4.4.3 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างสมการทำนายผลด้วยหลักการของแบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจากฐานข้อมูลสุ่มในข้อ 4.4.2

4.4.4 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์คาดการณ์เกรดของนักเรียนนายเรือจากสมการทำนายผล และเปรียบเทียบผลการทำนายที่ได้กับผลการเรียนรายวิชาที่แท้จริงในฐานข้อมูลสุ่ม

4.4.5 เขียนโปรแกรมคำนวณร้อยละความถูกต้องของผลการทำนายที่ได้

4.4.6 ทำการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัยโดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทดสอบความถูกต้องของผลการทำนายซ้ำๆ กันในแต่ละเซตข้อมูลหลายๆ รอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยของความถูกต้องในการทำนาย

4.5 ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ข้อมูล

การทดสอบความแม่นยำของสมการพยากรณ์ที่ได้กับฐานข้อมูลสุ่มที่มีอยู่ โดยสุ่มข้อมูลในฐานข้อมูลมาทดสอบครั้งละ 1 ปีการศึกษา

เมื่อกำหนดให้ a แทน ค่าเฉลี่ยในส่วนของปัจจัยตัวบุคคล

b แทน ค่าเฉลี่ยในส่วนของปัจจัยการเรียนการสอน

จะได้สมการพยากรณ์ และผลการทดสอบความแม่นยำในการทำนายได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมการพยากรณ์ และร้อยละความถูกต้องในแต่ละปีการศึกษา

ปีการศึกษา	สมการพยากรณ์ที่สร้างได้	ร้อยละของความถูกต้อง
2539	$y = -0.67845 + 0.12721a - 0.03293b$	86%
2542	$y = -0.85054 + 0.12509a - 0.02623b$	79%
2546	$y = -0.76448 + 0.12603a - 0.02909b$	85%
2555	$y = -0.73162 + 0.12574a - 0.02996b$	81%
2558	$y = -0.74877 + 0.125517a - 0.02846b$	84%

จากผลการทดสอบที่ได้จะพบว่า เมื่อทดสอบสมการพยากรณ์ที่ได้กับฐานข้อมูลสุ่ม สามารถทำนายเกรดนักเรียนนายเรือได้ถูกต้องประมาณ 83%

ถ้าทำการทดสอบสมการพยากรณ์กับฐานข้อมูลที่มีอยู่ โดยสุ่มข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลมาทดสอบครั้งละ 3 ปีการศึกษา จะได้สมการพยากรณ์ และผลการทดสอบความแม่นยำในการทำนายได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมการพยากรณ์ และร้อยละความถูกต้องใน 3 ปีการศึกษาใดๆ

3 ปีการศึกษาใดๆ	สมการพยากรณ์ที่สร้างได้	ร้อยละของความถูกต้อง
2530 - 2532	$y = -1.56740 + 0.12771a - 0.01306b$	88%
2535 - 2537	$y = -1.37215 + 0.12709a - 0.01667b$	90%
2542 - 2544	$y = -1.54329 + 0.12875a - 0.01551b$	88%
2548 - 2550	$y = -1.39028 + 0.12727a - 0.01674b$	88%
2557 - 2559	$y = -1.41287 + 0.12707a - 0.01617b$	88%

จากผลการทดสอบที่ได้จะพบว่า เมื่อทดสอบสมการพยากรณ์ที่ได้กับฐานข้อมูลสุ่ม สามารถทำนายเกรดนักเรียนนายเรือได้ถูกต้องประมาณ 88.4%

ถ้าทำการทดสอบสมการพยากรณ์กับฐานข้อมูลที่มีอยู่ โดยสุ่มข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลมาทดสอบครั้งละ 5, 10, 15 และ 20 ปีการศึกษา จะได้สมการพยากรณ์ และผลการทดสอบความแม่นยำในการทำนายได้ดังตารางที่ 4 – 7

ตารางที่ 4 สมการพยากรณ์ และร้อยละความถูกต้องใน 5 ปีการศึกษาใดๆ

5 ปีการศึกษาใดๆ	สมการพยากรณ์ที่สร้างได้	ร้อยละของความถูกต้อง
2534 - 2538	$y = -1.71596 + 0.12857a - 0.01106b$	89%
2543 - 2547	$y = -1.83444 + 0.12923a - 0.00949b$	90%
2537 - 2541	$y = -1.68711 + 0.12919a - 0.01277b$	89%

ตารางที่ 5 สมการพยากรณ์ และร้อยละความถูกต้องใน 10 ปีการศึกษาใดๆ

10 ปีการศึกษาใดๆ	สมการพยากรณ์ที่สร้างได้	ร้อยละของความถูกต้อง
2530 - 2539	$y = -2.12154 + 0.13018a - 0.00414b$	92%
2541 - 2550	$y = -2.16439 + 0.13060a - 0.00397b$	92%
2549 - 2558	$y = -2.13381 + 0.12991a - 0.00365b$	91%

ตารางที่ 6 สมการพยากรณ์ และร้อยละความถูกต้องใน 15 ปีการศึกษาใดๆ

15 ปีการศึกษาใดๆ	สมการพยากรณ์ที่สร้างได้	ร้อยละของความถูกต้อง
2534 - 2548	$y = -2.26682 + 0.13090a - 0.00202b$	92%
2539 - 2553	$y = -2.31671 + 0.13101a - 0.00103b$	91%
2543 - 2557	$y = -2.30317 + 0.13062a - 0.00079b$	92%

ตารางที่ 7 สมการพยากรณ์ และร้อยละความถูกต้องใน 20 ปีการศึกษาใดๆ

20 ปีการศึกษาใดๆ	สมการพยากรณ์ที่สร้างได้	ร้อยละของความถูกต้อง
2535 - 2554	$y = -2.38109 + 0.13119a + 0.00020b$	95%
2536 - 2555	$y = -2.37500 + 0.13124a - 0.00005b$	92%
2540 - 2559	$y = -2.37895 + 0.13101a + 0.00033b$	92%

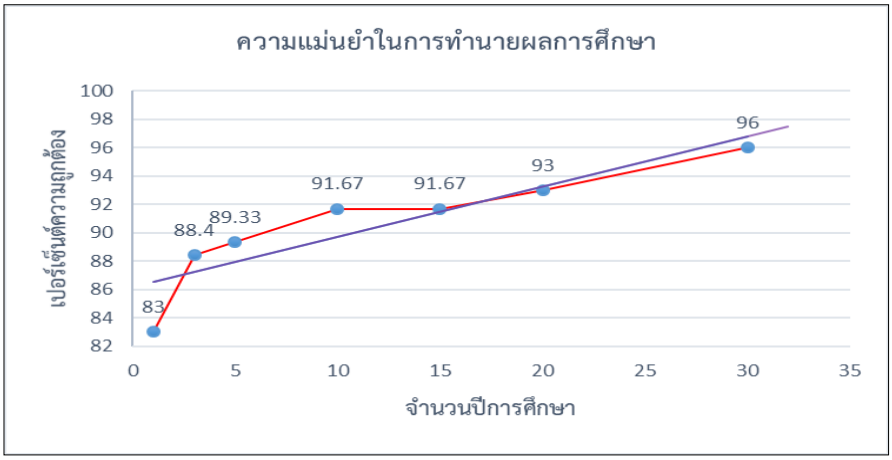
จากผลการทดสอบที่ได้จะพบว่า เมื่อทดสอบสมการพยากรณ์ที่ได้กับฐานข้อมูลสุ่มจำนวน 5, 10 และ 20 ปีการศึกษา จะสามารถทำนายเกรดนักเรียนนายเรือได้ถูกต้องโดยเฉลี่ยประมาณ 89.33%, 91.67%, 91.67% และ 93% ตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบสมการพยากรณ์กับฐานข้อมูลที่มีอยู่ โดยสุ่มข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลทั้งหมดมาทดสอบ (จำนวน 30 ปีการศึกษา มีข้อมูลทั้งหมด 2,480 ตัวอย่าง) จะได้สมการพยากรณ์ คือ

$$y = -2.45872 + 0.13137a + 0.00169b$$

ซึ่งเมื่อทำการทดสอบความแม่นยำของสมการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณสามารถทำนายผลการเรียนรายวิชาของนักเรียนนายเรือได้ถูกต้องถึง 96%

5. บทสรุป

เมื่อนำผลการทดสอบความแม่นยำในการทำนายผลการศึกษารายวิชาของนักเรียนนายเรือในฐานข้อมูลสุ่มด้วยสมการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปีการศึกษา หรือจำนวนฐานข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นกับเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายผลการศึกษา จะได้กราฟ ดังนี้



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปีการศึกษากับเปอร์เซ็นต์ของการทำนายผลการศึกษาได้ถูกต้อง

จากกราฟที่ได้จะพบว่า เมื่อฐานข้อมูลที่ใช้ในการทำนายมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนาย หรือความแม่นยำในการทำนายผลการศึกษารายวิชาของนักเรียนนายเรือก็จะสูงมากขึ้นตามไปด้วย จึงสรุปได้ว่า สมการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเป็นเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้ในวิเคราะห์ผลการศึกษารายวิชาของนักเรียนนายเรือได้อย่างแม่นยำ และมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริง

6. การอภิปรายผลการศึกษา

ผลที่ได้จากการทดลองที่นำเสนอพบว่า แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการทำนายผลการศึกษาในฐานข้อมูลสุ่มแบบมีเงื่อนไขได้ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของการวิเคราะห์การถดถอย กล่าวคือ เมื่อฐานข้อมูลสุ่มมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณก็จะมีความแม่นยำในการทำนายเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเกิดขึ้น หรือมีการกำหนดเกณฑ์เงื่อนไขช่วงคะแนนของความสัมพันธ์ระหว่างผลการศึกษากับปัจจัยที่มีผลต่อผลการศึกษาแตกต่างไปจากในบทความนี้ ก็จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายเปลี่ยนไปด้วย การทดลองที่นำเสนอในบทความนี้เป็นการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือในการวิจัยก่อนการนำไปใช้งานในงานวิจัยอื่นๆ ต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยของ จิตติรัตน์ แสงเลิศอุทัย [11] และเรื่อง การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัยของอารยา องค์เอี่ยม และพงศ์ธารา วิจิตเวชไพศาล [12]

7. ข้อเสนอแนะ

บทความนี้เป็นการนำเสนอรูปแบบวิธีการในการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวิจัยแบบจำลองการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณเพื่อให้มั่นใจว่าสามารถนำเครื่องนี้ไปใช้ต่อในบริบทของการศึกษาของโรงเรียนนายเรือได้ ซึ่งในการทดสอบเครื่องมือวิจัยนี้จำเป็นต้องใช้ฐานข้อมูลที่มีปริมาณมาก หากเก็บข้อมูล

จากนักเรียนนายเรือโดยตรงอาจต้องใช้เวลานาน เนื่องจากจำนวนนักเรียนนายเรือในแต่ละปีมีจำนวนไม่มาก จึงได้นำฐานข้อมูลที่สร้างจากการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบสุ่มค่ามาใช้ จึงอาจทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนในการทำนายผลการเรียนจริง หากได้ใช้ฐานข้อมูลจริงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างหรือประชากรก็จะได้ผลการวิจัยที่น่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการใช้ผลการศึกษาในรูปของเกรดรายวิชาอาจจะมีข้อเสียคือคือ เกรดที่ใช้จะมีช่วงกว้าง ผลการวิเคราะห์ที่ได้อาจจะไม่ชัดเจน หากปรับการใช้ผลการเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์ อาจจะทำให้สามารถประเมินความแม่นยำของการใช้เครื่องมือได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ศราวุธ แดงมาก. โลกแห่งดิจิทัล ยุคแห่งข้อมูลข่าวสาร ความมหาศาลของข้อมูลทางการแพทย์สู่การค้นพบความรู้ที่มีค่าด้วยการทำเหมืองข้อมูล. เวชบันทึกศิริราช. ม.ค.-เม.ย. 2560;10(1):29-33.

[2] กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ. ประมวลคำศัพท์ทางการศึกษา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์คุรุสภา; 2515.

[3] ไพศาล หวังพาณิชย์. หลักและวิธีการประเมินโครงการ. วารสารวัดผลการศึกษา. ม.ค.-เม.ย. 2533:23–38.

[4] นงลักษณ์ วิรัชชัย. การวิจัยหลักสูตรและการเรียนการสอน [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช; 2553.

[5] ธวัลพร มะรินทร์. ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนโรงเรียนนายเรือ [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์; 2559.

[6] กฤษฎา บุญวัฒน์. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนโรงเรียนเตรียมทหาร [ภาคนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์; 2541.

[7] ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ. หลักสูตรการศึกษาโรงเรียนนายเรือ พ.ศ. 2563 (ฉบับปรับปรุง 2558) [อินเทอร์เน็ต]. สมุทรปราการ: โรงเรียนนายเรือ; 2563. [สืบค้นเมื่อวันที่ 26 ต.ค. 2563]. จาก: www.rtna.ac.th

[8] ฐณัฐ วงศ์สายเชื้อ. การวิเคราะห์การถดถอยพหุ (Multiple Regression analysis) [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2558. [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 พ.ย. 2563]. จาก: http://pirun.ku.ac.th/~fedutnw/pubs/da7010_multiple%20regression19.pdf

[9] สุทิน ชนะบุญ. การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) [อินเทอร์เน็ต]. ขอนแก่น: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดขอนแก่น; 2563. [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 พ.ย. 2563]. จาก: http://www.kkpho.go.th/i/index.php/component/attachments/download/1933#

[10] 6 โปรแกรม สำหรับใช้วิเคราะห์ข้อมูลในการทำการวิจัย [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: Advanced Research Group; 2561. [สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พ.ย. 2563]. จาก https://www.arresearch.com/a/44271

[11] กัลยา วาณิชย์บัญชา. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย SPSS for Windows. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2542.

[12] จิตติรัตน์ แสงเลิศอุทัย. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย. วารสารบัณฑิตศึกษา. ก.ค.-ก.ย. 2558;12 (58):13-24.

[13] อารยา องค์เอี่ยม, พงศ์ธารา วิจิตเวชไพศาล. การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย. Thai J Anesthesiol. 2561;44(1):36-42.

แนวทางการควบคุมอัคคีภัยและความเสียหายขั้นสูงในเรือรบ

Approaches to Advanced Fire and Damage Control on Battleship

วีระ บุญผุด[1]
Weera Boonphud[1]

Received : November 2, 2020
Revised : January 26, 2021
Accepted : March 18, 2021

บทคัดย่อ

เรือรบเป็นอาวุธยุทโธปกรณ์ที่มีความเป็นเอกลักษณ์พิเศษเฉพาะตัว ทุกส่วนของเรือรบถูกออกแบบให้ปฏิบัติการทางทหารเพื่อรักษาความมั่นคงและรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเลสูงสุด ดังนั้นกระบวนการสร้างและออกแบบตัวเรือจึงเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีทางวิศวกรรมหลายสาขา เรือรบถูกออกแบบให้มีความซับซ้อนเชิงโครงสร้าง ออกแบบเป็นบล็อกหลาย ๆ บล็อกมาประกอบกัน โดยมีห้องต่าง ๆ ในเรือจำนวนมากตามภารกิจทางทหารและหลักการทรงตัวของเรือในทะเล จำนวนห้องต่าง ๆ มีผลต่อระบบการป้องกันความเสียหายทางเรือ (Damage Control) ซึ่งแต่ละห้องนั้นถูกออกแบบเป็นพิเศษ เช่น ห้องเครื่องจักรใหญ่ ห้องไฟฟ้า ห้องเก็บคลังกระสุน ห้องควบคุมการยิง ห้องครัว และห้องพักทหาร ลักษณะความซับซ้อนและไม่เหมือนกันในแต่ละห้องนี้สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือความปลอดภัยจากเพลิงไหม้และชนิดสารดับเพลิง

เทคโนโลยีด้านการป้องกันและดับเพลิง ประกอบด้วยอุปกรณ์สัญญาณแจ้งเตือนอัคคีภัยต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์ตรวจจับควันไฟ (Smoke Detector) อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat Detector) และอุปกรณ์ดับเพลิงขนาดใหญ่ เช่น อุปกรณ์หัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ (Water Mist High Pressure) อุปกรณ์ดับเพลิงชนิดก๊าซ (Gas Suppression System) และระบบโฟมอัดน้ำแรงดันสูง (Foam Suppression System) เทคโนโลยีต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยเพิ่มขีดความสามารถด้านการดับเพลิง ซึ่งที่กล่าวมานี้อยู่ในขั้นตอนทดลองและพัฒนาไปสู่เรือต้นแบบในอนาคตเท่านั้น ปัจจุบันเรือเดินสมุทรได้เริ่มนำเทคโนโลยีป้องกันความเสียหายและดับเพลิงลักษณะแบบนี้มาใช้งานบ้างแล้ว โดยรวมทุกอุปกรณ์ตรวจจับและดับเพลิงเข้าด้วยกันที่เรียกว่า อุปกรณ์ตรวจจับแบบองค์รวม (Volume Sensors and Volume Sensing Systems) แต่สำหรับกรณีเรือรบแล้วปัญหาจำนวนห้องกับอาวุธยุทโธปกรณ์จำนวนมาก รวมทั้งระเบียบข้อกำหนดต่าง ๆ ของกองทัพเรือล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยสิ่งท้าทายที่รอการทดสอบ

[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
Assistant Professor, Department of Physics and Chemistry, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy
E-mail: baankhawhom@hotmail.com

นอกจากการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับและดับเพลิงแล้ว แนวทางการลดเชื้อเพลิงของวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ (Polymeric) ก็มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่ออัตราการเกิดไฟไหม้ หากเลือกใช้วัสดุพอลิเมอร์ (Polymer) ที่มีคุณสมบัติทนไฟ และเลือกใช้สารเคลือบผิวโลหะทนไฟระดับนาโน (Nano - Coating) บนอาวุธยุทโธปกรณ์แล้วจะเป็นอีกทางเลือกสำคัญหนึ่งในการป้องกันความเสียหายทางเรือ

คำสำคัญ: ป้องกันความเสียหายทางเรือ อุปกรณ์ตรวจจับควันไฟ อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน อุปกรณ์ดับเพลิงชนิดก๊าซ ระบบโฟมอัดน้ำแรงดันสูง วัสดุที่ไม่ใช่โลหะ วัสดุพอลิเมอร์ และสารเคลือบผิวโลหะทนไฟระดับนาโน

Abstract

Warships are unique type of military armaments. Almost every part of a warship is designed to maintain maximum maritime capabilities to ensure the maritime national Interests and security. The design of the hull structure is therefore complex. The number of rooms in the ship is large according to the mission and stability of the ship during battle. The complexity of the hull has a huge effect on the ship's damage control system. Special designs of each room suck as the engine room, generator room, ammunition chamber, fire control room and kitchen require a different fire prevention and extinguishing method. Therefore, the hull is built into several blocks put together.

The technology of fire prevention and extinguishing systems consists of smoke detectors, heat detectors as well as some advanced fire-fighting equipment like automatic fire sprinkler, gas suppression system and high-pressure compressed-foam suppression system. These technologies could improve the ability to prevent damage on the warships. However, they are still only in their experimental and prototype stage before the actual installation on the warships, although, in some ocean liners, damage control technologies as a combination of the tow systems have been adopted. As for the case of warships, the problems are more delicate, completely different and more challenging due to the large number of rooms, maritime equipment, the naval requirements and etc.

In addition to detecting and suppressing damages, reduction of the flammability rate of polymeric materials also plays a very important role as a mean of reducing fuel to the fire.

Selections of a polymer material with flame resistance properties and a Nano-level fire-resistant coating metal on the ship's munitions is one of the main ways of reducing the amount of fuel to the fire and therefore could prevent / eliminate damage to the inside of the warships.

Keywords: Damage prevention in ship, smoke detection, heat detection, gas suppression system, high-pressure compressed foam system, Polymeric, Polymer and Nano-level fire-resistance coating materials.

1. บทนำ

ความสามารถในการลอยลำขณะปฏิบัติการทางทะเลอย่างต่อเนื่องเป็นหัวใจหลักของยุทธนาวี ความสามารถของเรือกับภารกิจเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ "การรบภายใน" [1] การรบภายใน หมายถึงทุกกิจกรรมบนเรือรบที่จะต้องตรวจสอบและปฏิบัติจนมั่นใจว่าเรือรบจะไม่จมทะเลในระหว่างภารกิจ การบำรุงรักษาเครื่องจักรกลและรักษาระบบควบคุมการยิงต่อเนื่องให้เรือกลับมาในภารกิจได้อย่างรวดเร็ว ชิงความได้เปรียบทางยุทธวิธีในห้วงที่เรือได้รับความเสียหายอย่างหนักกลับมาได้ [2-5]

เพลิงไหม้เป็นภัยคุกคามที่สำคัญต่อเรือรบในระหว่างภารกิจ ลูกเรือต้องใช้ทักษะความสามารถดับเพลิง การประสานงานที่ชัดเจนในการปฏิบัติในทันที [6] เพื่อลดความเสียหายภายในเรือลงให้น้อยและในเวลาที่สั้นที่สุด ในทางกลับกันหากลูกเรือไม่สามารถควบคุมเพลิงได้ เรืออาจตกอยู่ในสถานการณ์เลวร้ายมีความเสี่ยงสูงที่จะระเบิดและถอนตัวจากภารกิจ ด้วยเหตุสำคัญนี้ความต้องการเทคโนโลยีด้านการป้องกันความเสียหายทางเรือจึงเข้ามามีบทบาททันทีในขณะที่เรือกำลังปฏิบัติภารกิจ ส่วนแรกคือเทคโนโลยีด้านเครื่องตรวจจับควัน ตรวจจับเปลวไฟและอุปกรณ์ดับเพลิงรวมถึงเทคนิคการดับเพลิงขั้นสูง สิ่งเหล่านี้จะช่วยลูกเรือควบคุมความเสียหายบนเรือได้ นอกจากนี้ยังมีอีกหลายเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการดับเพลิงบนเรือ เช่น เทคโนโลยีควบคุมระบบระบายอากาศเพื่อแยกพื้นที่เพลิงไหม้และลดการกระจายของควันพิษไปยังพื้นที่อื่นของเรือ อีกทั้งเทคโนโลยีระบบกำจัดควันและการมองเห็นจะช่วยให้นักดับเพลิงสามารถค้นหาตำแหน่งต้นเพลิงและดับเพลิงไหม้ ส่วนที่สองคือ เทคโนโลยีวัสดุไม่ใช่โลหะทนไฟ วัสดุเหล่านี้จะช่วยลดอัตราการติดไฟ เชื้อเพลิง ปริมาณความร้อนและควันพิษในเรือ

2. เทคโนโลยี

2.1 เครื่องตรวจจับไฟไหม้ (Fire Detector System)

ระบบเครื่องตรวจจับความเสียหายและเปลวไฟที่ดีที่สุดบนเรือคือลูกเรือ อย่างไรก็ตามบนเรือมิได้มีลูกเรือเฝ้าระวังอยู่ตลอดทุกที่ทุกเวลา ดังนั้นความจำเป็นที่ต้องมีระบบตรวจจับเพลิงไหม้ที่มีประสิทธิภาพที่ตอบสนองในเวลาอันสั้นและรวดเร็วเพื่อยุติเหตุก่อนจะเกิดอัคคีภัยหรือการลุกลาม (Fire Development Stages) “ระยะเวลาในการค้นหาที่ลดลง นั่นหมายถึงโอกาสรอดชีวิตที่เพิ่มมากขึ้น” ดังนั้นเรือจึงจำเป็นที่ต้องมีสิ่งเหล่านี้ในระหว่างภารกิจ

ปัจจุบันอุปกรณ์ตรวจจับไฟไหม้ที่นิยมใช้ในเรือสินค้าและเรือรบนั้นเป็นชนิดตรวจจับเฉพาะจุด (Point) หรือระบุตำแหน่ง (Addressable) อุปกรณ์ตรวจจับเฉพาะจุดจะใช้เทคนิคทางกลตรวจจับความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นช่วงการลุกไหม้แล้วส่งสัญญาณเตือนแจ้งภัยในลำเรือ สัญญาณเตือนนี้จะนำเข้าสู่ขั้นตอนการปฏิบัติของเรือ พื้นที่รับผิดชอบ ขั้นตอนการสั่งการและขั้นตอนการดับไฟอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อควบคุมสถานการณ์ก่อนจะเกิดไฟไหม้และลุกลาม จุดประสงค์หลักของอุปกรณ์ตรวจจับอัคคีภัยคือการกระตุ้นให้มีการตอบสนองของสัญญาณเตือนต่อปัจจัยสิ่งเร้าที่มาจากไฟ ตัวอย่างเช่น ควัน อุณหภูมิสูงหรือความหนาแน่นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ ตำแหน่งเกิดเหตุในเรือรอบพื้นที่ตรวจจับ ข้อจำกัดนี้ในกรณี

พื้นที่ขนาดใหญ่อาจต้องใช้เวลานานในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของอุปกรณ์ตรวจจับไฟไหม้ ในข้อจำกัดเวลานี้ไฟสามารถลุกลามอย่างรวดเร็วไปยังพื้นที่ใกล้เคียง ทำให้การดับไฟเป็นงานที่ยากและท้าทาย

แนวทางแก้ปัญหาที่ชัดเจนที่สุดคือการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ตรวจจับในบริเวณพื้นที่อับและมีความเสี่ยง หากเกิดเพลิงไหม้โอกาสที่อุปกรณ์ตรวจจับอยู่ใกล้พื้นที่ไฟไหม้ก็จะมากขึ้นและเวลาก่อนที่อุปกรณ์ตรวจจับจะตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสิ่งบ่งชี้ว่าเกิดไฟไหม้ก็จะลดลง ข้อจำกัดของอุปกรณ์ตรวจจับเฉพาะจุดใดๆ คือไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันมาจากเพลิงไหม้และอุณหภูมิที่เพิ่มอันมาจากการทำงานปกติได้ เช่น การเชื่อมหรือตัดโลหะที่ลูกเรือทำงานอยู่ใกล้ๆ กับอุปกรณ์ตรวจจับ ในทำนองเดียวกันอุปกรณ์ตรวจจับควันไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างควันที่เกิดจากการทำอาหารประจำวันกับควันที่เกิดจากไฟไหม้ได้ การเตือนที่ผิดพลาดบ่อยๆ นี้จะนำมาซึ่งการถูกยกเลิกอุปกรณ์ตรวจจับเหล่านี้ หรือไม่ก็ลูกเรืออาจเพิกเฉยต่อสัญญาณแจ้งเตือน ซึ่งสิ่งเหล่านี้ไม่ควรเกิดขึ้นภายในเรืออย่างเด็ดขาด

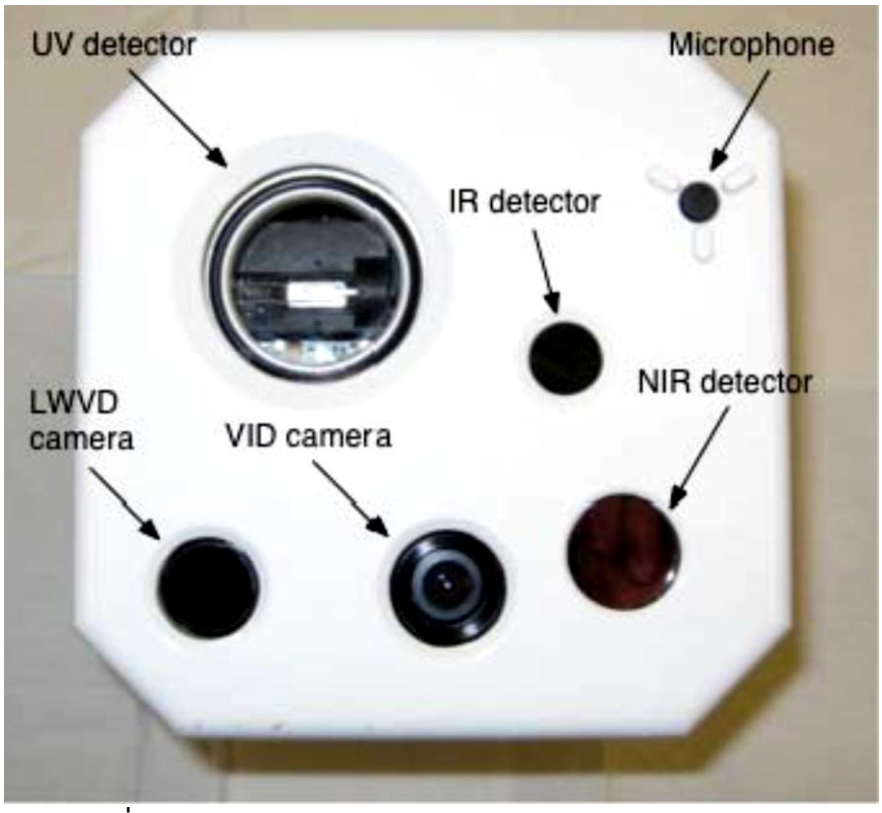
แนวคิดใหม่

รวมทุกอุปกรณ์ตรวจจับไว้ในเครื่องเดียวกัน ควบคุมและประมวลผลโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และโปรแกรมควบคุม เรียกว่า **อุปกรณ์ตรวจจับแบบองค์รวมและระบบตรวจจับ** เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับและแก้ไขจุดบกพร่องของอุปกรณ์ตรวจจับเฉพาะจุดที่ไม่สามารถแยกเหตุการณ์ปกติกับไฟไหม้ได้

อุปกรณ์ตรวจจับองค์รวมแตกต่างจากอุปกรณ์ตรวจจับเฉพาะจุด ตรงที่มีความสามารถในการตรวจจับเพลิงไหม้ได้จากหลายปัจจัยสิ่งเร้า ครอบคลุมพื้นที่กว้างกว่าแม้ว่าต้นเพลิงจะอยู่ห่างจากอุปกรณ์ตรวจจับ ลักษณะเด่นที่เพิ่มขึ้นนี้จะช่วยให้ลูกเรือตัดสินใจได้อย่างถูกต้องบนข้อมูลที่แม่นยำเพื่อระงับเหตุในทันที

จุดประสงค์การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับแบบองค์รวมนี้เพื่อลดการแจ้งเตือนที่ผิดพลาดอันมาจากการทำงานปกติในเรือ เช่น การประกอบอาหาร การเชื่อมเหล็ก ตัดเหล็ก การทำงานของยานพาหนะบางชนิดที่ใช้น้ำมันดีเซลบนเรือ แสงแฟลชจากกล้องถ่ายรูป และละอองน้ำทะเลที่ใกล้กับเครื่องตรวจจับ โดยประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจจับนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของการพัฒนาชุดอุปกรณ์ซอฟต์แวร์ควบคุมทุกอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อประมวลผล ตัดสินใจ แยกความแตกต่างระหว่างเหตุไฟไหม้และการทำงานปกติออกจากกัน แจ้งเตือนเหตุไฟไหม้ได้ถูกต้อง เพื่อลดข้อบกพร่องของอุปกรณ์ตรวจจับเฉพาะจุดแบบเดิม

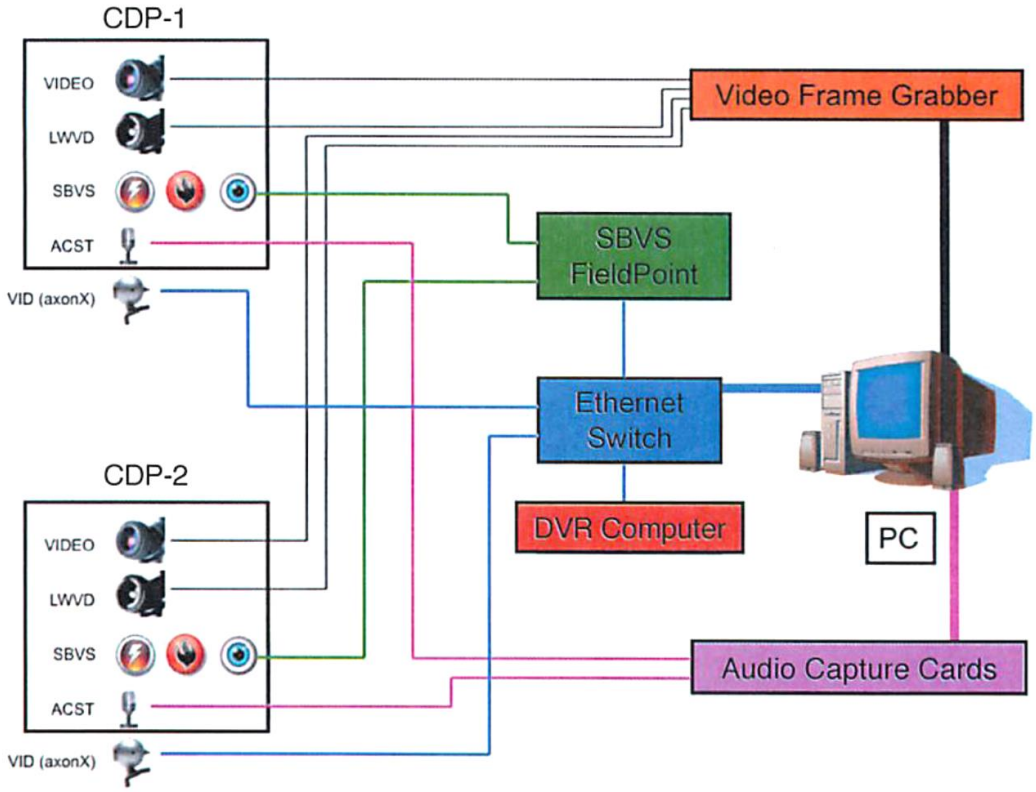
ห้องปฏิบัติการวิจัยกองทัพเรือ (The Naval Research Laboratory, NRL) กรุงวอชิงตันดีซีได้พัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับแบบองค์รวม (Volume Sensor System, VSS) [7-13] เพื่อบูรณาการทุกอุปกรณ์ตรวจจับมาไว้ที่เดียวกันและทำงานร่วมกัน เช่น อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงแบบอินฟราเรด (Infrared Spectral Sensors) อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงแบบอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Spectral Sensors) อุปกรณ์ตรวจจับแสดงภาพวิดีโอแบบอินฟราเรด (Infrared Video and Video Recorders) อุปกรณ์ตรวจจับเสียง (Acoustic Detector) และอุปกรณ์ตรวจจับควันแสดงภาพวิดีโอ (Video Image Smoke Detection, VISD) ซอฟต์แวร์กลางจะทำหน้าที่รับข้อมูล รวบรวมข้อมูลและประมวลผลข้อมูลจากทุกอุปกรณ์ตรวจจับแล้วตัดสินใจแยกชนิดของเหตุการณ์ว่าเหตุการณ์ใดเป็นเพลิงไหม้หรือเหตุการณ์ใดเป็นการทำงานปกติในเรือ



รูปที่ 1 มุมมองด้านหน้าของอุปกรณ์ตรวจจับใหม่แบบองค์รวม [7]



รูปที่ 2 อุปกรณ์ตรวจจับควันแสดงภาพวิดีโอ (Video Image Smoke Detection, VISD) [3]



รูปที่ 3 ผังแสดงระบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์องค์รวมในเรือ USS SHADWELL [10]

ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับแบบองค์รวมบนเรือหลวง USS SHADWELL ในเดือนกันยายน 2010 [14] เพื่อตรวจจับเพลิงไหม้จริงกับกิจกรรมอื่นๆ ในเรือ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระบบแบบองค์รวมบนเรือหลวง USS SHADWELL ต่อเพลิงไหม้ [10]

สถานที่	ประเภท	จำนวนครั้งการทดสอบ/จำนวนครั้งที่ตอบสนองต่อเหตุเพลิงไหม้จริง	เวลาที่ตอบสนองแจ้งเตือน(วินาที)
พื้นที่เฉพาะตำแหน่ง	ควัน	4/4	50
	เปลวไฟ	6/6	34
พื้นที่รอบด้าน	เปลวไฟ	6/6	109

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบระบบแบบองค์รวมบนเรือหลวง USS SHADWELL ต่อเหตุจากงานปกติ[10]

สถานที่	ประเภท	จำนวนครั้งการทดสอบ/จำนวนครั้งที่ตอบสนองต่อกิจกรรมอื่นๆในเรือ	เวลาที่ตอบสนองแจ้งเตือน(วินาที)
พื้นที่เฉพาะตำแหน่ง	ควัน	4/0	ไม่แจ้งเตือน
	เปลวไฟ	6/1	137
พื้นที่รอบด้าน	เปลวไฟ	6/0	ไม่แจ้งเตือน

ผลการทดสอบอุปกรณ์เครื่องตรวจจับแบบองค์รวมต่อเหตุจำลองเหตุเพลิงไหม้และงานปกติในเรือแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจจับแบบองค์รวมทำงาน 100% ต่อเหตุเพลิงไหม้จริง ส่วนเหตุจากงานปกติอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวกับเพลิงไหม้อุปกรณ์ตรวจจับไม่แจ้งเตือนจึงสรุปได้ว่ามีประสิทธิภาพ 100%

2.2 Smoke Control

ควันไฟจากเพลิงไหม้ถือเป็นปัญหาใหญ่อันหนึ่งในเรื่องการมองเห็นของลูกเรือ บนเรือรบถูกออกแบบให้มีห้องจำนวนมากในเรื่องหลักการทรงตัวเรือ ระยะระหว่างช่องทางเดินแคบ และพื้นที่ปิดทึบ ปัญหาที่เกิดจากควันนี้จะส่งผลต่อการทำงานของลูกเรือที่พยายามจะเข้าระงับเหตุในทันที ทั้งการอพยพคนและสิ่งอุปกรณ์ออกจากพื้นที่เกิดเหตุ การค้นหาลูกเรือที่ติดค้างในพื้นที่เสี่ยง การดับไฟและปัญหาสูดดมควันพิษ ทั้งหมดนี้ทำให้เรือและลูกเรือตกอยู่ในสถานการณ์เสี่ยง

Klote [15] ให้คำจำกัดความของการจัดการควันว่า“การประยุกต์ใช้วิธีการทั้งหมดในการปรับเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของควันเพื่อประโยชน์ของผู้อยู่อาศัยและนักดับเพลิงตลอดจนการลดความเสียหายต่อทรัพย์สิน” การจัดการหรือควบคุมควันบนเรือทำได้โดยสร้างแรงดันสูง (High Pressure Air, HPA) หรือการไหลของอากาศที่สูงขึ้น

ระบบควบคุมควันในเรือมี 2 ระบบ คือ ระบบเฉพาะกับไม่เฉพาะ ระบบเฉพาะประกอบด้วยระบบย้ายมวลอากาศและระบบกระจายอากาศที่แยกจากกันและใช้เฉพาะในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ ระบบที่ไม่เฉพาะเจาะจงใช้ส่วนประกอบของระบบระบายความร้อนและระบบปรับอากาศ (HVAC) ระบบเฉพาะต้องใช้พื้นที่มากขึ้นและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าระบบที่ไม่เฉพาะ อย่างไรก็ตามการควบคุมของระบบที่ไม่เฉพาะเจาะจงนั้นซับซ้อนกว่าระบบเฉพาะ

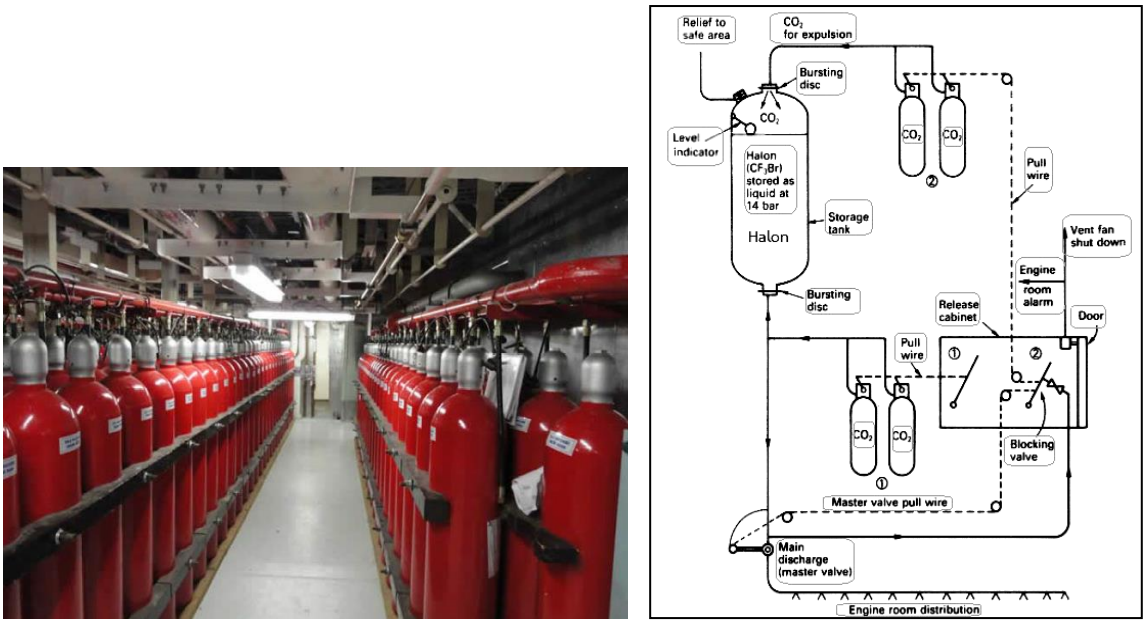
แนวคิดใหม่

1. สร้างแรงดันบวก (Positive Pressure Ventilation, PPV) เพื่อควบคุมควันไม่ให้ไหลย้อนกลับเข้าในตัวเรือหรือพื้นที่ควบคุม โดยวิธีการอัดอากาศเพิ่มแรงดันบวกในตัวเรือ จุดประสงค์หลักคือควบคุมควันให้ควันไหลไปในทิศทางที่กำหนด โดยใช้ระบบ HVAC ของเรือหรือพัดลม แรงดันบวกสามารถใช้เพื่อบังคับให้ควันและก๊าซพิษออกจากออกจากเรือ สิ่งนี้กำหนดให้สามารถกำหนดเส้นทางจากพื้นที่ที่ไฟกำลังลุกไหม้ไปยังด้านนอกของเรือได้ เทคนิคนี้ยังสามารถใช้เพื่อสร้างแรงดันเชิงบวกในช่องทางเดินในเรือ เช่น ป้องกันหรือหน่วงการไหลเข้าของควันพิษเข้าไปในตัวเรือ

2. เพิ่มระบบระบายควัน (Smoke Ejection System, SES) เพื่อเร่งระบายควันออกจากตัวเรือให้ในปริมาณมากๆ ในเวลาอันสั้น มีงานวิจัยที่ทดสอบกับเรือ USS SHADWELL ซึ่งตั้งอยู่ใน Mobile Bay เป็นเรือทดสอบควบคุมไฟและความเสียหายที่ดำเนินการโดย US NRL วอชิงตันดีซีใช้ระบบการควบคุมอากาศที่เรียกว่า The Collective Protection System (CPS) โดยเรือถูกออกแบบให้มีโครงสร้างรองรับระบบระบายควันสำหรับระบายควัน (A Smoke Ejection System ,SES) จะมีพัดลมดูดอากาศจำนวนมากสำหรับผลักดันและควบคุมการไหลมวลอากาศจำนวน 31 ตัว เพื่อควบคุมทิศทางการไหลของมวลอากาศ ระบบดูดอากาศมีสองประเภทคือระบบควบคุมควัน (Smoke Control Dampers, SCD) และระบบดูดกำจัดควัน (SPD) ภายใต้สภาวะปกติระบบจะถูกกำหนดค่าในโหมด CPS ซึ่ง SCD จำนวน 17 ตัว กำลังทำงานและ SPD 14 ตัว ถูกปิด เมื่อตรวจพบเพลิงไหม้ระบบจะกำหนดค่าใหม่เพื่อควบคุมควัน ในเรือทำได้โดยการเลือกโหมดสวิตช์ปิด SCD และเปิด SPD ทั้งสองระบบนี้จะมีประสิทธิภาพแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับความแม่นยำของชุดอุปกรณ์ตรวจจับแบบองค์รวมนั่นเอง

2.3 สารดับเพลิง (Fire Agent)

ปัจจุบันระบบดับเพลิงขนาดใหญ่ในเรือประจำการมี 2 ระบบที่มีใช้งานในเรือคือระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide Agent System) และระบบของเหลวระเหยเฮลอน (Halon Agent System) มีใช้ทั้งบนเรือเดินสมุทรและเรือรบ เรือแต่ละลำจะเลือกติดตั้งแต่ละระบบอย่างใดอย่างหนึ่งตามประเภทเชื้อเพลิงและงบประมาณ ทั้งสองระบบมีประสิทธิภาพในการดับไฟโดยเฉพาะไฟประเภท ข (Class B) จำพวกของเหลวติดไฟและไฟประเภท ค (Class D) จำพวกอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ ข้อดี คือ ลดความร้อนของเปลวไฟ และไม่ทิ้งเศษขยะหลังการดับเพลิง ตัวสารทั้งสองจะระเหยไปในอากาศในเวลาอันรวดเร็วจึงนิยมที่จะนำมาติดตั้งในเรือทุกชนิด โดยเฉพาะในเรือรบที่มีระบบสื่อสาร ระบบเดินเรือ และระบบควบคุมการยิง ทุกระบบต้องเสียหายน้อยสุดหลังเพลิงสงบลง สารดับเพลิงชนิด คาร์บอนไดออกไซด์ และเฮลอน จึงตอบโจทย์และถูกนำมาใช้ แต่ ณ ปัจจุบันความเป็นพิษของสารทั้งสองมีอันตรายถึงชีวิตหากเกิดการรั่วไหลในตัวเรือ ด้วยคุณสมบัติไร้กลิ่นของตัวสารเอง อีกทั้งเฮลอนมีสารส่วนประกอบทำลายชั้นบรรยากาศ CFC-113, CFC-114 และ CFC-115 เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมด้วยเหตุที่สารสามารถอยู่ (ตกค้าง) ในบรรยากาศโลกเป็นเวลานาน และบางส่วนจะเข้าไปในชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere) แล้วสร้างความเสียหายต่อชั้นโอโซนส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนจึงเป็นแรงกระตุ้น ให้มีการเลิกใช้สารกลุ่มฮาโลเจน

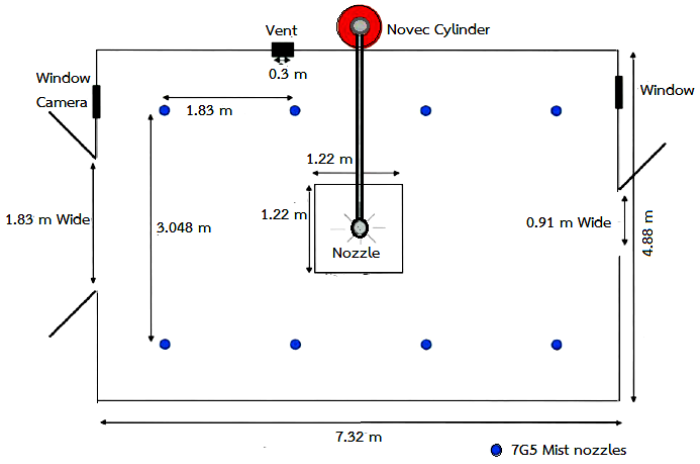


รูปที่ 4 แสดงการติดตั้งระบบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารเฮลอนในเรือ [3]

แนวคิดใหม่

ระบบลูกผสม (Dual system or hybrid system)

1. Dual Systems – Water Mist/Novec 1230 เป็นการผสมระหว่างน้ำและสารสะอาดกลุ่มสารฮาโลคาร์บอน (Halocarbon Agent) คือ ฟลูโอรีน คลอรีน โบรมีน หรือ ไอโอดีน เช่น FM-200, FE25, Novec 1230 มีการทดสอบในห้องเครื่องจักรบนเรือดำน้ำ HMC [16] ของระบบลูกผสมระหว่างน้ำและสารดับเพลิง Novec 1230 ที่อัตราการปล่อยน้ำแบบละอองฝอยที่อัตรา288 ลิตร/นาที (1.92 L/min/m^3) ร่วมกับสารดับเพลิง Novec 1230 อัตรา 1.56 นาที/ลิตร ผ่านหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ (Automatic Sprinkler System) บนเพดานห้องเครื่องเรือจำนวน 3.7 จุด ห้องขนาด 82 m × 4.88 m ตามรูปที่ 5 ใช้เวลาดับไฟ 105 วินาที ค่า ph ความเป็นกรดด่างของน้ำบนพื้น เท่ากับ 7 และไม่พบคราบสกปรกในเรือ



รูปที่ 5 ผังแสดงการใช้ระบบดับเพลิงคู่ ระหว่างน้ำและสารดับเพลิงสังเคราะห์รุ่น Novec 1230 [12]

2. Dual Systems – Water Mist/Nitrogen เป็นการผสมระหว่างน้ำและสารสะอาดกลุ่ม ก๊าซเฉื่อย (Inert Gas Agent) เป็นสารสะอาดดับเพลิงที่มีองค์ประกอบหลักของก๊าซเหล่านี้อย่างน้อยหนึ่งสารหรือมากกว่า คือ ฮีเลียม นีออน อาร์กอน ไนโตรเจน โดยสามารถใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซผสม เพื่อเป็นสารองค์ประกอบรองได้ เช่น Inergen, Argonite และ N100

ระบบนี้สามารถฉีดสารดับเพลิงลูกผสมเข้าไปในพื้นที่ต้องการปกป้องซึ่งสามารถดับไฟได้ ลักษณะเป็นฝอยละเอียดเหมือนกลุ่มเมฆ เป็นเทคโนโลยีสีเขียวผสมผสานกันระหว่างไนโตรเจนกับเม็ดน้ำขนาดเล็กมาก (ขนาด 1 ใน 100 ส่วนของเม็ดน้ำในระบบหมอกน้ำ (Water Mist)) กลไกการดับเพลิงด้วยสารสองชนิดนี้เกิดขึ้นพร้อมกันทำความเย็นและเจือจางออกซิเจน ทำให้บรรยากาศบริเวณนั้นไม่เอื้อให้เกิดการสันดาป เม็ดน้ำขนาดเล็กระดับอะตอมไม่เพียงปกคลุมผิวหน้าเพลิงไหม้อย่างทั่วถึงเท่านั้นแต่ยังสามารถดูดซับความร้อนได้อีกด้วย อนุภาคของทั้งน้ำและไนโตรเจนเข้าไปยังเพลิงไหม้พร้อมกับอากาศที่ใช้ในการลุกไหม้ ดังนั้นสารดับเพลิงทั้งสองชนิดนี้จึงดับไฟได้ลึกจนถึงแก่นกลางเชื้อเพลิง



รูปที่ 6 แสดงการทำงานใช้ระบบดับเพลิงคู่ ระหว่างน้ำและไนโตรเจน[3]

2.4 ระบบฟองทางกล (Foam System)

โฟม (Foam) หมายถึง โฟมใช้ดับเพลิงเป็นฟองอากาศขนาดเล็ก มีความคงทน ไม่สลายตัวง่าย ความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันเชื้อเพลิงหรือน้ำ โฟมเกิดจากส่วนผสมของน้ำยาโฟม (อัตราส่วนผสมโฟม) น้ำ และอากาศ โดยน้ำยาโฟมกับน้ำผสมกันแล้วจะได้ส่วนผสมโฟมหรือโฟมละลายน้ำเป็นของเหลวและเมื่อเติมอากาศเข้าไป ส่วนผสมโฟมจะเป็นฟองเหมือนลูกโป่งเล็กๆ อัดแน่นรวมตัวกัน ใช้คลุมพื้นที่เพลิงไหม้ต่อเนื่องเป็นบริเวณกว้างลักษณะเป็นผ้าห่มคลุมไฟเพื่อไม่ให้ลุกลามและดับลงไปในที่สุด เหมาะสำหรับดับไฟประเภท ก (Class A) จำพวกอินทรีย์วัตถุและไฟประเภท ข (Class B) โฟมมีหลายชนิด แบ่งตามการขยายตัวของโฟม 3 ประเภทคือ โฟมขยายตัวต่ำมีการขยายตัวมากถึง 20 เท่า โฟมขยายตัวปานกลางมีการขยายตัวจาก 20 ถึง 200 เท่าและโฟมขยายตัวสูงมีการขยายตัวจาก 200 ถึง 1000 เท่า เช่น โฟมสร้างฟิล์มน้ำ (Aqueous Film Forming Concentrate,AFFF) และ โฟมสร้างฟิล์มน้ำต้านทานแอลกอฮอล์ (Alcohol Resistant-Aqueous Film Forming Foam, AR-AFFF) เป็นต้น ในเรือเดินสมุทรและเรือรบมีบางลำที่ใช้ระบบนี้ โดยเฉพาะเรือขนส่งเชื้อเพลิง ก๊าซและน้ำมัน ข้อจำกัดคือ แรงดันน้ำจากปั๊มมอเตอร์ต่ำส่งผลต่ออัตราการขยายตัวของโฟมต่ำ (Low Expansion Rate) การดับไฟจึงไม่มีประสิทธิภาพ

แนวคิดใหม่

โฟมดับเพลิงแบบบีบอัดอากาศ (Compressed Air Foam Systems, CAFS) เป็นการผสมระหว่างน้ำและโฟมดับเพลิง (Foam Agent) หลักการ CAFS ประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ชนิดคือ ปั๊มน้ำ (Water Pump) เครื่องอัดอากาศ (Air Compresso และ โฟมเข้มข้น (Foam Concentrae) โดยปล่อยโฟมด้วยแรงดันอากาศที่เชื่อมต่อกับห้องผสมโฟมโดยตรงเพื่อฉีดหรือปล่อยโฟมลงบนพื้นเป้าหมาย บังคับการทำงานด้วยระบบตรวจจับอัตโนมัติหรือบังคับด้วยมือ โฟมจะถูกฉีดออกมาด้วยแรงดันอากาศทำให้คลุมผิวหน้าเชื้อเพลิงได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึง ใช้ดับไฟเกิดจากของเหลวติดไฟได้และของเหลวไวไฟ

CAFS มีประสิทธิภาพมากสุดกับไฟประเภทประเภท ก (Class A) และไฟประเภท ข (Class B) แต่ไม่สามารถใช้ดับไฟประเภท ค (Class C) ไฟประเภท ง (Class D) และไฟที่เกิดภายในถังบรรจุความดัน (Pressure Tank) ได้ผลการทดสอบ CAFS กับโฟมเข้มข้น 2 ชนิดคือ โฟมแบบฟิล์มน้ำ (Aqueous Film-Forming Foam, AFFF) กับโฟมชนิดทนแอลกอฮอล์แบบฟิล์มน้ำ (Alcohol-Resistant Aqueous Film-Forming Foam, AR-AFFF) อย่างหลังนี้จะมีอัตราการดับไฟที่เชื้อเพลิงผสมกับน้ำได้และเชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอนได้ดีที่สุด [17]



รูปที่ 7 แสดงการใช้ CAFS กับโฟมชนิดขยายตัวสูง AR-AFFF ดับไฟประเภท ข (Class B) ในเรือฝึกจำลองที่แผนกอุปกรณ์ดับเพลิง กองการฝึกกองเรือยุทธการ อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี (ภาพถ่ายปี พ.ศ.2562)

3. วัสดุทนไฟ (Materials)

วัสดุทนไฟ หมายถึง วัสดุที่มีอัตราค่าความต้านทานไฟ (Fire-Resistance Rating) หรือค่าการป้องกันไฟ (Fire Protection Rating) สำหรับหน่วงการลุกไหม้ของไฟ เช่น ประตูทางเดินในเรือ ระบบท่อต่าง ๆ ในเรือ ส่วนกั้น (ผนังห้อง) เอกสารสิ่งพิมพ์ เป็นต้น โดยเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของระบบป้องกันอัคคีภัยภายในเรือ (Passive Fire Protection) เพื่อลดการลุกลามของเปลวไฟหรือต้านทานความร้อนไม่ให้เข้าไปในพื้นที่ปิดหรือเส้นทางเดินมากเกินไปพร้อมกับป้องกันการแพร่กระจายของควันและควันพิษเพื่อไม่ให้ชีวิตและยุทโธปกรณ์ที่อยู่ข้างในพื้นที่ปิดได้รับอันตรายหรือเกิดความสูญเสีย นักวัสดุวิศวกรรมได้เข้ามามีบทบาทอย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุทนไฟ โดยปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีวัสดุด้วยกระบวนการใส่สารเติมแต่งบางตัวลงไปในวัสดุ เช่น สารหน่วงไฟเพื่อช่วยลดอัตราการลุกไหม้ กล่าวคือไม่ไวต่อการเกิดไฟ

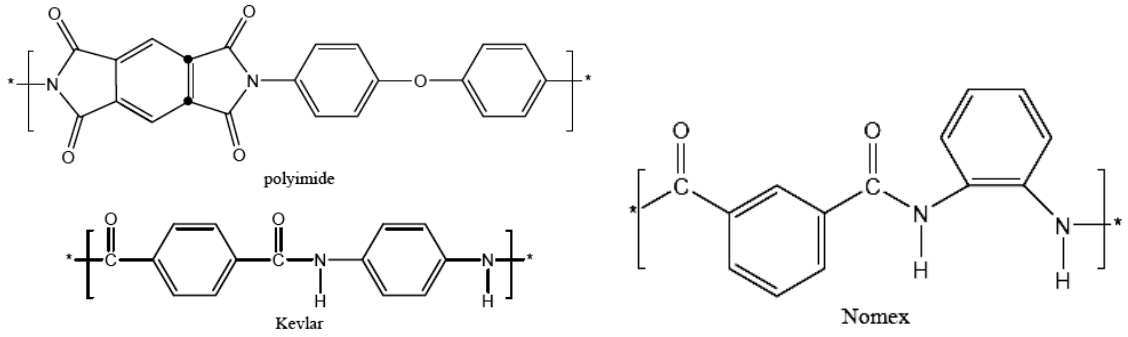
สถาบันวิจัยการก่อสร้างประเทศแคนาดา (Research in Construction) ซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของสภาวิจัยแห่งชาติและผู้จัดทำมาตรฐานอาคารแห่งแคนาดา (NBC) กำหนดให้มีการทดสอบวัสดุป้องกันการลามไฟ (Fire Stop) ของประตูทนไฟ (Fire Doors) ในการทดสอบจะต้องทำในเตาเผาแรงดันบวก 50 ปาสกาล (Pascal) อัตราการทนไฟที่ได้จากการทดสอบ (Fire Resistance Test Rating) ตามมาตรฐาน UL 72 Standard for Tests for Fire Resistance of Record Protection Equipment สำหรับประตูทนไฟและ

วัสดุทนไฟอื่นๆ ทุกชนิด สามารถแยกประเภทการทนไฟของประตูออกเป็น ระดับคือ 3อัตราการทนไฟ Class 100 (125) เวลาหน่วงไฟ 2 ชั่วโมง ทดสอบที่อุณหภูมิภายนอกห้องสูงถึง 2,000˚ F (1,090˚ C) อุณหภูมิในห้องเมื่อวัดที่ผิวนอกสุดของประตูทนไฟด้านที่อยู่ข้างในต้องต่ำกว่า 125˚ F (52˚ C) อัตราการทนไฟ Class 150 เวลาหน่วงไฟ 2 ชั่วโมง ทดสอบที่อุณหภูมิภายนอกห้องสูงถึง 2,000˚ F (1,090˚ C) อุณหภูมิในห้องเมื่อวัดที่ผิวนอกสุดของประตูทนไฟด้านที่อยู่ข้างในต้องต่ำกว่า 150˚ F (65.5˚ C) อัตราการทนไฟ Class 350 เวลาหน่วงไฟ 4 ชั่วโมง ทดสอบที่อุณหภูมิภายนอกห้องสูงถึง 2,000˚ F (1,090˚ C) อุณหภูมิในห้องเมื่อวัดที่ผิวนอกสุดของประตูทนไฟด้านที่อยู่ข้างในต้องต่ำกว่า 350˚ F (7.176˚ C) [18]

แนวคิดใหม่

1. วัสดุอินทรีย์ทนไฟ (Inherently Fire Retardant Organic Materials) “อะรามีด (Aramid)” ได้ถูกกำหนดขึ้น โดย The Federal Trade Commission ของประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ.2517 เนื่องจากเป็นเส้นใยที่ได้มาจากอะโรเมติกพอลิเอไมด์) Polyimides (อย่างน้อย 85% ต่อด้วยเบนซีนริงทั้งสองด้าน (แทนที่จะเป็นโมเลกุลโซ่ตรงๆ – คล้ายเบนซีนริงในพอลิเอสเตอร์) แทนที่จะเป็นเส้นใยที่มาจากโซ่โมเลกุลตรงๆ แบบไนล่อน บริษัทดูปองท์ (Dupont) เริ่มออกวางตลาดในปี พ.ศ.2508 โดยมีชื่อว่า “นอเม็กซ์ (Nomex)” ในตลาดปัจจุบัน พบว่ามีเส้นใยอะรามีดอยู่ 2 ชนิด ซึ่งทั้ง 2 ชนิดถือว่าเป็นเส้นใยสมรรถนะสูง โดยที่ชนิดแรก มีสมบัติในการทนทานความร้อน ซึ่งมีหมู่เมต้า - อะรามีดอยู่ Poly (*m*-phenylenediamine isophthalamide) แต่มีสมบัติความเหนียวปานกลาง และมีค่าโมดูลัสต่ำ อย่างไรก็ตามทนทานต่อความร้อนดีเลิศ (ทนได้ 600 - 800°C) ใช้สำหรับเป็นเสื้อผ้าทนความร้อน และสมบัติเป็นฉนวนกันกระแสไฟฟ้า ตัวอย่าง เช่น เส้นใยนอเม็กซ์ (บริษัท ดูปองท์) และเส้นใยโคเน็กซ์ (บริษัท เทยิน)

ในช่วง 2513-2523 บริษัทดูปองท์ได้ออกเส้นใยชนิดที่สองในตระกูลนี้ โดยมีชื่อว่า “เคฟล่าร์ (Kevlar)” Poly (*p* - phenylene terephthalamide) เส้นใยใหม่นี้มีหมู่พาร่า - อะรามีด ทำให้เกิดสมบัติที่ดีขึ้นหลายประการ เช่น ความแข็งแรงสูง ค่าโมดูลัสสูง มีความคงทนต่อความร้อนสูงในเรือใช้กับชุดดับเพลิง (Gear Suit) โดยโพลีเมอร์เหล่านี้แสดงตามรูปข้างล่าง [19-20]



รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างโพลิเมอร์ทางเคมีต่าง ๆ ของวัสดุทนไฟ [21]

ตารางที่ 3 แสดงสมบัติต่างของเส้นใย Aramid [21]

สมบัติ	Kevlar (Dupont)	Twaron (AKZO)	Technora (Teijin)
ความแข็งแรง (gpd/GPa)	21-25/5.65-3.2	21-23/2.6-2.85	24-28/3.0-3.4
โมดูลัส (gpd/GPa)	450-1000/57-127	440-800/54-99	450-850/55-104
ความยาวเมื่อดึงยืด (%)	2-4	3.2-3.8	4.4-4.6
Tg(°C)	**360**	**โ-**	**-**
Tm(°C) เริ่มสลายตัว	**560**	**-**	**>500**
ความถ่วงจาเพาะ	1.44	1.4	1.39
ความเป็นผลึก (%)	72	71	73
การจัดเรียงตัว (%)	91	91	92
ขนาดของผลึก (nO)	91	-	23



รูปที่ 9 แสดงนักดับเพลิงในเรือ (Fire Fighter) สวมชุดดับเพลิงที่ทำจากวัสดุอินทรีย์ทนไฟ Kevlar [21]

2. เส้นใยสังเคราะห์ทนไฟ (Chemically Modified Polymers) เซรามิกไฟเบอร์ (Ceramic Fiber) เซรามิกไฟเบอร์หมายถึงเส้นใยที่ทำมาจากวัตถุเซรามิกทนความร้อนสูง บางชนิดก็อาจเป็นวัตถุสารประกอบเดี่ยวหรือผสมกัน เช่น $Al_2O_3 + SiO_2$ >97% (Al_2O_3 47%) หรือ Fe_2O_3 < 1% ทำการหลอมแล้วพ่นกระจายในบรรยากาศที่มีความเย็น กลายเป็นเส้นใย นำไปรวมอัดเป็นก้อน แท่ง หรือทำรูปแบบต่างๆ เซรามิกส์ไฟเบอร์ วัสดุชนิดนี้ทำได้หลายรูปแบบเป็นแผ่นคล้ายผ้าห่ม ทำเป็นชิ้นใหญ่ๆ เป็นก้อนหรือท่อได้ ส่วนมากทำจากอะลูมิเนียมซิลิเกตบริสุทธิ์ซึ่งหลอมในที่อุณหภูมิสูง และผ่านด้วยไอน้ำที่มีแรงกดสูงไปที่ส่วนผสมเหลวของอลูมินา ซิลิก้า และเกาลิน ทำให้ส่วนประกอบนี้แยกกันเป็นลักษณะไฟเบอร์ที่มีเส้นยาวขนาดต่าง ๆ กัน (4"- 12") และมีค่าความทนไฟตั้งแต่ 1,200 °C - 1,400 °C ไฟเบอร์ที่คุณภาพดีมากสามารถทนไฟได้สูงถึง 1,800 °C ไฟเบอร์มีน้ำหนักเบาสามารถทนต่อความร้อนอย่างรวดเร็วได้ ทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงในการเผา เพราะความร้อนจะขึ้นเร็ว ในเรือใช้ทำฉนวนกันความร้อน สายสูบดับเพลิง และวัสดุฉนวนหุ้มท่อทางต่าง ๆ ในเรือ



รูปที่ 10 โครงสร้างทางเคมีและตัวอย่างวัสดุเซรามิกไฟเบอร์ เช่น สายสูบดับเพลิงในเรือและฉนวนบุผนังเรือ [3]

4. บทสรุป

การรวมเทคโนโลยีของทุกอุปกรณ์ดับเพลิงที่เกี่ยวข้องกันเข้ามาไว้ในที่เดียวกันในงานป้องกันและดับเพลิงในเรือนั้นเป็นสิ่งที่ท้าทายและควรมีของเรือแต่ละลำ โดยอาศัยการเชื่อมต่อทุกอุปกรณ์ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ทั้งอุปกรณ์ตรวจจับเพลิงแบบอินฟราเรด อุปกรณ์ตรวจจับเพลิงแบบอัลตราไวโอเลต อุปกรณ์ตรวจจับแสดงภาพวิดีโอแบบอินฟราเรด อุปกรณ์ตรวจจับเสียง และอุปกรณ์ตรวจจับควันแสดงภาพวิดีโอ อย่างไรก็ตามการรวมส่วนประกอบเหล่านี้เข้ากับระบบเรือเดินสมุทรที่ช่วยเพิ่มการป้องกันความเสียหายและความสามารถในการควบคุมยังรอการทดสอบ การพิสูจน์ในเรือเดินสมุทรและเรือรบ ในบางกรณีนี้เป็นเพราะข้อกำหนดเฉพาะของเรือรบ ระบบละอองน้ำแรงดันสูง ระบบพ่นละอองน้ำแรงดันสูงนี้ไม่สามารถใช้ได้กับท่อในเรือตามข้อกำหนดของกองทัพเรือ [3]

วัสดุทนไฟชนิดวัสดุอินทรีย์และพอลิเมอร์โดยส่วนมากพบการใช้งานในเรือเดินสมุทรมานานแต่ในเรือรบมีไม่มาก ตัววัสดุทนไฟมีทดสอบและปรับปรุงคุณสมบัติตลอดเวลาจนถึงวันนี้จนเป็นนวัตกรรมของเหล่าบรรดานักวัสดุศาสตร์โดยเฉพาะงานก่อสร้างอาคารทั้งหลาย มีบางข้อสรุปที่น่าสนใจเช่น การใช้โพลีเมอร์ทนไฟได้ดีกว่าการรวมตัวกันของสารหน่วงไฟ เทคโนโลยีการเคลือบสารป้องกันไฟบนพื้นผิววัสดุ ทั้งหมดเหล่านี้เป็นแนวทางที่จะป้องการความเสียหายในเรือ บนความท้าทายที่รอการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] กองทัพเรือ .ยุทธศาสตร์กองทัพเรือ 2558 – 2567 [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กองทัพเรือ; .2558 [สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ม .ค.2564]. จาก :http://www.navy.mi.th › upload › pdf › strategic

[2] ไกรสุเนตร เห็มสุข. การพัฒนาการต่อเรือรบไทยภายใต้ความร่วมมือระหว่างกรมอู่ทหารเรือกับภาคเอกชน. วารสารกรมอู่ทหารเรือ .2563:84-76.

[3] ความรู้พื้นฐานงานดับเพลิง .นิตยสารเซฟตี้ไลฟ์2564 .ม.ค-2563 .ธ.ค .;)152(.

[4] ศูนย์ศึกษายุทธศาสตร์ทหารเรือ .ความรู้เบื้องต้นงาน ปคส [อินเทอร์เน็ต] .กรุงเทพฯ: ศูนย์ศึกษายุทธศาสตร์ทหารเรือ; 2550. [สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ม.ค .2564]. จาก: http://110.49.60.146/thinktank/?p=2597

[5] ศูนย์ศึกษายุทธศาสตร์ทหารเรือ .หลักนิยมทางทะเลของกองทัพเรือ [อินเทอร์เน็ต] .กรุงเทพฯ: ศูนย์ศึกษายุทธศาสตร์ทหารเรือ; 2550. [สืบค้นเมื่อวันที่ 28 ม.ค .2564]. จาก: http://110.49.60.146/ thinktank/?p=2597

[6] John FG Wade. Navy tactics doctrine and training requirements for littoral warfare [dissertation]. California: Naval Postgraduate School; 1996.

[7] Pehrsson SL Rose, Minor CP, Steinhurst DA, Owrutsky J., Lynch JA, Gottuk DT, et al. Phase I: FY01 Investigative Study of the Advanced Volume Sensor. NRL Memorandum Report. 2003 Jun.

[8] Owrutsky J, Nelson HH, Steinhurst DA, Williams FW. Spectral-Based Component of the Volume Sensor Program. NRL Memorandum Report. 2003 Jul.

[9] Gottuk DT, Harrison M, Scheffey JL, Williams FW, Farley JP, Pehrsson SL Rose. An Initial Evaluation of Video-based Fire Detection Technologies. NRL Memorandum Report. 2004 Jan.

[10] Lynch JA, Gottuk DT, Pehrsson SL Rose, Owrutsky J, Steinhurst DA, Minor CP, et al. Volume Sensor Development Test Series 2- Lighting Conditions, Camera Settings, and Spectral and Acoustic Signatures. NRL Memorandum Report. 2004 Nov.

[11] Steinhurst DA, Lynch JA, Gottuk DT, Owrutsky J, Nelson HH. Spectral-Based Volume Sensor Testbed Algorithm Development, Test Series VS2. NRL Memorandum Report. 2005 Jan.

[12] Lynch JA, Gottuk DT, Owrutsky J, Steinhurst DA, Minor CP, Wales SC, et al. Volume Sensor Development Test Series 5- Multi-Component System. NRL Memorandum Report. 2005 Dec.

[13] Steinhurst DA, Owrutsky J, Steinhurst DA, Minor CP, Wales SC, et al. Spectral-Based Volume Sensor Prototype, Post-VS4 Test Series Algorithm Development. NRL Memorandum Report. 2009 Apr.

[14] Steinhurst DA, Minor CP, Wales SC, Burchfield T, Pehrsson SL Rose. Volume Sensor - Canadian Demonstrator Prototype - User's Guide. NRL Memorandum Report. 2011 Mar.

[15] Klote JH. Smoke Control in The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. National Fire Protection Association. 1988.

[16] Kim A, Crampton G, Bijloos M. Fire Protection of Submarine's Machinery Space and Electronic Equipment Cabinets. National Research Council of Canada. 2011 Feb.

การกำเนิดเสียงของโซนาร์ที่ส่งผลต่อการตรวจจับวัตถุใต้น้ำ

Sonar Sound Generation that Affects Underwater Object Detection

อัศนัย ไทรบุญจันทร์[1]
Atsanai Saibuchan[1]

Received : January 28, 2021
Revised : May 3,2021
Accepted : May 5,2021

บทคัดย่อ

อุปกรณ์โซนาร์แบบ Active เครื่องแรกถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Alexander Behm ในปี ค.ศ.1913 ตั้งแต่นั้นมาการใช้งานเสียงใต้น้ำมีความแพร่หลายและมีความสำคัญมากขึ้นโดยเฉพาะด้านการสำรวจและการสงคราม จากนั้นก็มีการพัฒนาต่อยอดเพื่อจุดประสงค์การใช้งานที่หลากหลาย เช่น Sidescan Sonar, Sub- bottom Profiler, MultiBeam Echo Sounder, Forward Looking Sonar, Single-Beam Echo Sounder ฯลฯ การใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดต้องคำนึงถึงปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ตัวกลางการเดินทางของเสียง และคุณลักษณะของเป้าหมายที่เสียงสะท้อนกลับมา บทความนี้จะกล่าวถึงการกำเนิดเสียงของโซนาร์ที่ส่งผลต่อการตรวจจับวัตถุใต้น้ำ โดยจะเน้นให้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยแรก คือ เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นในการใช้งานเสียงในโซนาร์ คุณสมบัติต่าง ๆ ของเสียงจากแหล่งกำเนิด เช่น ความถี่ ความแรง รูปร่าง และความยาวช่วงเสียง ต่างส่งผลต่อคุณสมบัติในการตรวจจับรูปลักษณ์ใต้น้ำโซนาร์ เช่น ขนาด ระยะทาง จำนวน และรูปร่างของวัตถุ ความเข้าใจเกี่ยวกับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ปรากฏในบทความนี้สามารถนำมาประยุกต์กับการใช้งานอุปกรณ์โซนาร์ทุกประเภทที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันได้

คำสำคัญ: การตรวจจับด้วยเสียง, การตรวจจับใต้น้ำ, เสียงใต้น้ำ

[1]กองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
Department of Hydrographic Engineering, Education Branch, Royal Thai Naval Academy
Email: ianasta@hotmail.com

Abstract

The first active sonar was invented by Alexander Behm, a German physicist in 1913, since then this equipment influences the practical and importance of underwater acoustic usability especially in survey and military purpose. After that, many types of sonar were developed for different purposes such as Sidescan Sonar, Sub-bottom Profiler, MultiBeam Echo sounder, Forward Looking Sonar, Single-Beam Echo Sounder. To use these sonar systems with the fullest capability, there are 3 main factors that have to be concerned which are sound wave generated from Transducer, sound medium and target characteristics. This article will focus on the sonar acoustic generation that effects underwater object detection which emphasis on the first factor, the sound wave from Transducer, which is the basis of using the sonar sound. The characteristics of the sound produced by sonar such as frequency, amplitude, shape and pulse can determine the sonar object detection capabilities such as size, distance, number and shape. The understanding of underwater sound in this article can be applied for any type of the sonar system used in the present.

Keywords: sound detection, underwater detection, underwater acoustic

1. บทนำ

การใช้งานเสียงใต้น้ำมีการบันทึกมาตั้งแต่สมัย ค.ศ.1490 แต่การใช้งานเสียงใต้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพโดยอุปกรณ์โซนาร์แบบ Active นั้นเริ่มในปี ค.ศ.1913 อุปกรณ์โซนาร์แบบ Active เครื่องแรกถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Alexander Behm เพื่อใช้หยั่งความลึกน้ำเป็นหลัก นับแต่นั้นมาอุปกรณ์เสียงใต้น้ำถูกพัฒนาขึ้นเป็นลำดับเพื่อตอบสนองความต้องการการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น โซนาร์เพื่อใช้งานทางทหารแบบต่าง ๆ ทั้งที่ติดตั้งในเรือผิวน้ำและเรือดำน้ำ, โซนาร์ที่ใช้ในการประมง, โซนาร์สำหรับการสำรวจทั้ง MultiBeam Echo Sounder, Sidescan Sonar, Sub-bottom Profiler หรือโซนาร์ที่ใช้เพื่อความปลอดภัยในการเดินเรือ เช่น Forward Looking Sonar, Single-Beam Echo Sounder เป็นต้น แม้จะมีจุดประสงค์ในการใช้งานที่หลากหลายแต่จุดประสงค์หลักในการใช้งานโซนาร์คือการตรวจจับเป้าหมายอย่างใดอย่างหนึ่งและต่างก็ใช้คลื่นเสียงเพื่อการตรวจจับเป้าหมายนั้นๆ การตรวจจับวัตถุใต้น้ำนั้นมีปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณา 3 ปัจจัยคือ การกำเนิดเสียง, การเคลื่อนที่ของเสียงในตัวกลาง, และการสะท้อนเสียงของเป้าหมาย เนื้อหาในบทความนี้เน้นเรื่องการกำเนิดเสียงว่าเสียงที่ถูกผลิตออกมามีคุณสมบัติอย่างไรและคุณสมบัติแต่ละอย่างจะส่งผลอย่างไรกับการตรวจจับวัตถุใต้น้ำ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้อ่านมีความเข้าใจว่าค่าคุณสมบัติต่างๆ ของเสียงโซนาร์นั้นจะส่งผลอย่างไรกับการตรวจจับวัตถุใต้น้ำเพื่อจะได้นำไปประยุกต์ใช้

กับระบบโซนาร์ที่ตนใช้งานอยู่ ทั้งนี้การที่จะตั้งค่าการใช้งานโซนาร์ให้สามารถตรวจจับวัตถุใต้น้ำได้ทุกประเภท ทุกขนาด ทุกทิศทาง ทุกระยะ ในปัจจุบันยังไม่มีโซนาร์ระบบใดสามารถทำได้ ดังนั้นการใช้งานโซนาร์ให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจึงต้องเรียนรู้เกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบโซนาร์ที่ตนมีและทำการปรับแต่งการตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับเป้าหมายที่ต้องการตรวจจับ

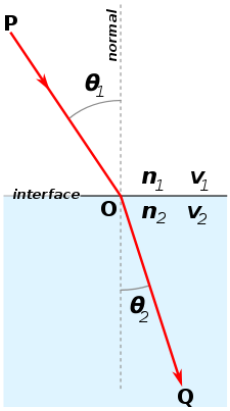
2. คุณลักษณะของเสียงใต้น้ำ

ในการเรียนรู้เกี่ยวกับเสียงใต้น้ำสิ่งแรกที่เราควรทำความเข้าใจคือ คุณลักษณะพื้นฐานของเสียงใต้น้ำ ซึ่งมีดังนี้

2.1 เสียงเป็นคลื่นไหวสะเทือน (Seismic Wave) ประเภท P-Wave (Pressure Wave หรือ Primary Wave) คลื่นเสียงมีการถ่ายทอดพลังงานผ่านการบีบอัดและคลายตัวของโมเลกุลในตัวกลางในทิศทางที่คลื่นเคลื่อนที่ไป ดังนั้นเสียงจึงต้องใช้ตัวกลาง เช่น อากาศ น้ำ หรือพื้นดิน ในการเคลื่อนที่ [1]

2.2 เมื่อเสียงเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดจะมีการกระจายตัว (กระจายพลังงาน) ออกไปในทุกทิศทาง[1] ถึงแม้สามารถใช้อุปกรณ์เพื่อกำหนดทิศทาง (Project) เสียงได้ แต่ไม่สามารถทำให้เป็นลำคลื่นเช่นเดียวกับแสงได้ อีกทั้งเมื่อเสียงเดินทางผ่านตัวกลางจะเกิดการสูญเสียพลังงานให้กับอนุภาคต่าง ๆ ในตัวกลางทำให้พลังงานเสียงลดลงตามระยะทางที่เสียงเดินทางออกจากแหล่งกำเนิด

2.3 เมื่อเสียงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการ หักเห (Refraction) หรือสะท้อนกลับ (Reflection) ตามกฎของ Snell's Law คือ $\frac{\sin\theta_1}{V_1} = \frac{\sin\theta_2}{V_2}$ เมื่อ θ_1, θ_2 คือ มุมตกกระทบของเสียงที่ทำกับเส้นปกติในตัวกลางที่ 1 และ 2 และ V_1, V_2 คือ ความเร็วเสียงในตัวกลางที่ 1 และ 2 [2]



รูปที่ 1 การหักเหของเสียงตามกฎของ Snell's Law [5]

2.4 เมื่อมีแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า 1 แหล่ง เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่ต่างกันเมื่อมาบรรจบกันจะเกิดการแทรกสอดของคลื่น (Interference) ทำให้เกิดการเสริม (บัพ หรือ Node) หรือหักล้าง (ปฏิบัพ หรือ Antinode) พลังงานของคลื่นเสียงได้ [2]

2.5 คุณสมบัติหลักของคลื่นเสียงขึ้นอยู่กับค่า ความถี่ (Frequency) ความยาวคลื่น (Wave Length) และ ความเข้ม (Amplitude) ของเสียง

2.6 ความเร็วเสียงใต้น้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับตัวกลางที่เสียงเดินทางผ่าน ซึ่งมีปัจจัยขึ้นอยู่กับความเค็ม อุณหภูมิ และความกดอากาศ จากข้อมูลที่ตรวจวัดโดยอุปกรณ์ CTD (Conductivity, Temperature, and Depth Sensor) ทำให้สามารถทำการคำนวณค่าความเร็วเสียงในน้ำได้ โดยใช้สมการของ Coppens (Kinsler et al., 1982) [2] คือ

$$C(Z,T,S) = 1449.05+T[4.57-T(0.0521-0.00023*T)]+[1.333-T(0.0126-0.00009*T)](S-35)+\Delta Z$$

เมื่อค่า T คือ อุณหภูมิในหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

S คือ ค่าความเค็มในหน่วย Parts per thousand (ppt)

Z คือ ค่าความลึกในหน่วย กม.

และ $\Delta(Z)$ มีค่า $\approx 16.3Z+ 0.18Z^2$

สมการนี้มีความถูกต้องเมื่อละติจูดมีค่าเท่ากับ 45° สำหรับละติจูดอื่นๆ ค่า Z จะถูกแทนที่โดย $Z \times (1 - 0.0026 \times \cos(2\varphi))$ เมื่อ φ คือค่าละติจูด

2.7 เมื่อเสียงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดไปกระทบวัตถุและเกิดการสะท้อนกลับ คุณสมบัติการสะท้อนของเสียงใต้น้ำสามารถคำนวณได้โดยสมการโซนาร์ (Sonar Equation)

$$SNR = SL - 2TL + TS - (NL - AG)$$

เมื่อ SNR คือ อัตราสัญญาณต่อเสียงรบกวน (Signal to Noise Ratio)

SL คือ พลังงานของคลื่นเสียงที่ส่งออกไป (Source Level)

TL คือ การสูญเสียพลังงานคลื่นเสียงผ่านตัวกลาง (Transmission Loss)

TS คือ ค่าการสะท้อนของเป้า (Target Strength)

NL คือ เสียงรบกวน (Noise Level)

AG คือ การกรองเสียงรบกวน (Array Gain หรือ Directivity Index, DI)

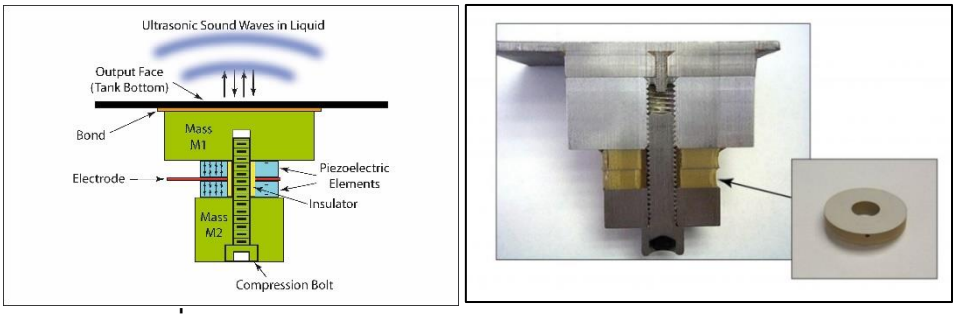
2.8 การใช้งานโซนาร์แบบ Active ตัว Transducer จะทำการส่งเสียงออกไปเป็น ห้วง (Pulse) แต่ละห้วงจะมีความยาว 1 ช่วงเวลา (τ ,Pulse Duration) เสียงจะเดินทางไปกระทบเป้าหมายและสะท้อนเป้าหมายกลับมายังส่วนที่รับเสียง (Receiver) ระยะเวลาที่เสียงใช้เดินทางไป - กลับ (t) จะบ่งบอกระยะจากแหล่งกำเนิดเสียงถึงเป้าหมาย ส่วนเสียงที่สะท้อนกลับมาจากเป้าหมายจะมีการนำไปใช้งานที่แตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของโซนาร์

3. การสร้างคลื่นเสียงโซนาร์

โซนาร์แบบ Active จะมีการสร้างและส่งคลื่นเสียงออกไปเป็น ห้วง (Pulse) เพื่อให้กระทบเป้าหมายและสะท้อนกลับมายังเครื่องรับ เสียงในแต่ละห้วงจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสร้างคลื่นเสียง ดังนี้

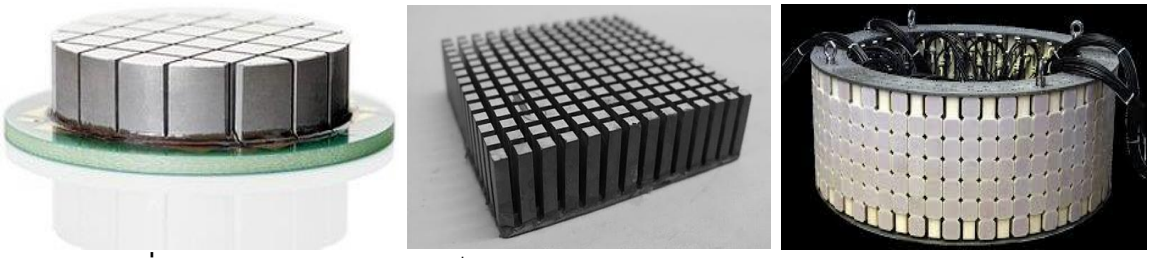
3.1 แหล่งกำเนิดเสียง

โดยปกติแล้วเสียงของอุปกรณ์โซนาร์จะถูกสร้างและส่งจากส่วนของอุปกรณ์ที่เรียกว่า Transducer ซึ่งภายในของ Transducer นั้นจะถูกบรรจุไว้ด้วยวัตถุที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดเสียง แบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก คือ Magnetostrictive, Piezoelectric และ Electrostrictive [2] วัตถุเหล่านี้ใช้หลักการเดียวกันในการกำเนิดเสียง คือ การส่งผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังวัตถุที่มีคุณลักษณะเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าหรือแม่เหล็ก ทำให้วัตถุนั้นเกิดการหดและขยายตัว เกิดความสั่นสะเทือนเป็นเสียงตามความถี่ที่ต้องการ อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับเสียงใช้หลักการเดียวกันกับการส่งเสียง คือ วัตถุจะทำการรับเสียงและเกิดการสั่นสะเทือนตามรูปแบบของเสียงที่รับมาจากนั้นจึงเปลี่ยนแรงสั่นสะเทือนนั้นเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามความถี่และความแรงของคลื่นเสียงต่อไป



รูปที่ 2 ภาพหน้าตัดของ Transducer แบบ Piezoelectric [7]

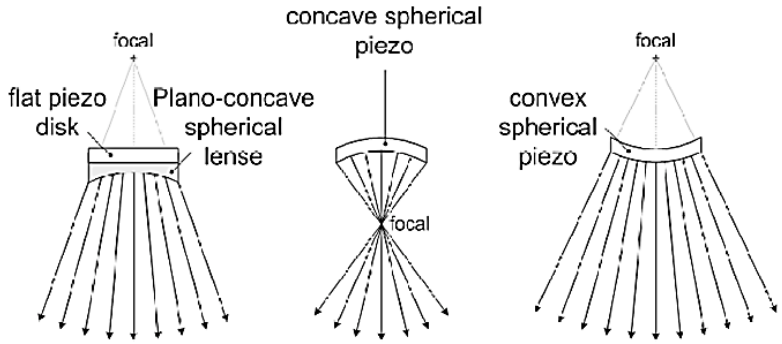
แหล่งกำเนิดเสียง 1 แหล่ง (1 Unit) ก่อให้เกิดคลื่นเสียง 1 คลื่น แหล่งกำเนิดเสียงหลาย ๆ ตัวนำมาเรียงติดต่อกันเป็นแถวเรียกว่า Array หัวส่งสัญญาณเสียง Transducer 1 หัว สามารถประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดเสียงเพียง 1 Unit, 1 Array หรือ หลายๆ Array ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบการใช้งาน (ดังรูปที่ 3) โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์โซนาร์ จะมีแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า 1 แหล่ง เนื่องจากสามารถทำการควบคุมคุณลักษณะ (Characteristics) และทิศทาง (Projection) ของเสียงได้ดีกว่าการใช้แหล่งกำเนิดเสียงเพียงแหล่งเดียว



รูปที่ 3 การเรียงตัวของ Unit เป็น Array ภายในหัว Transducer แบบต่าง ๆ [7] [8]

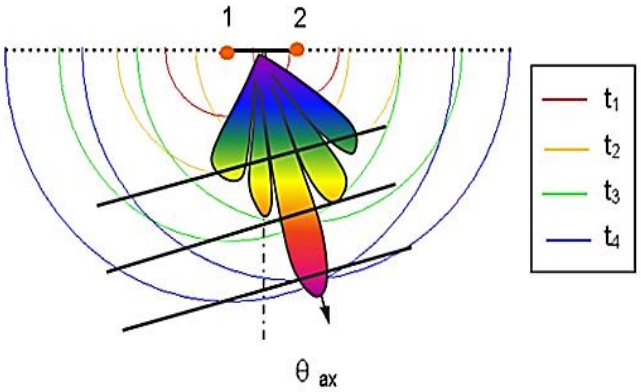
3.2 รูปร่างของเสียง

สำหรับรูปร่าง (รูปทรงและทิศทาง) ของเสียงที่เคลื่อนที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงนั้น โดยปกติแล้วเสียงจะกระจายตัวออกในทุกทิศทางแบบ 3 มิติจากแหล่งกำเนิดเสียง รูปแบบและทิศทางของเสียงขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้งทางกายภาพ (Mechanic) และปัจจัยทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic) ของ Transducer ในทางกายภาพรูปทรงของเสียงที่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดเสียงสามารถกำหนดได้โดยมุมและระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงแต่ละ Unit ใน Array ของ Transducer ในทางอิเล็กทรอนิกส์จะควบคุมการส่งสัญญาณไฟฟ้าให้แหล่งกำเนิดเสียงแต่ละ Unit ใน Transducer ส่งเสียงออกมาเป็นจังหวะไม่พร้อมกันโดยการหน่วงเวลา ซึ่งจะทำให้เสียงที่ออกมาเกิดการ บัพ (Node) และ ปฏิบัพ (Antinode) ที่มุมต่างกันตามการหน่วงของเวลา ทำให้สามารถกำหนดทิศทางคลื่นเสียงได้ การสร้างหรือการควบคุมรูปแบบ (รูปทรง) ของเสียงเรียกว่า Beam Forming และการควบคุมทิศทางของเสียงนี้เรียกว่าเทคนิค Beam Steering



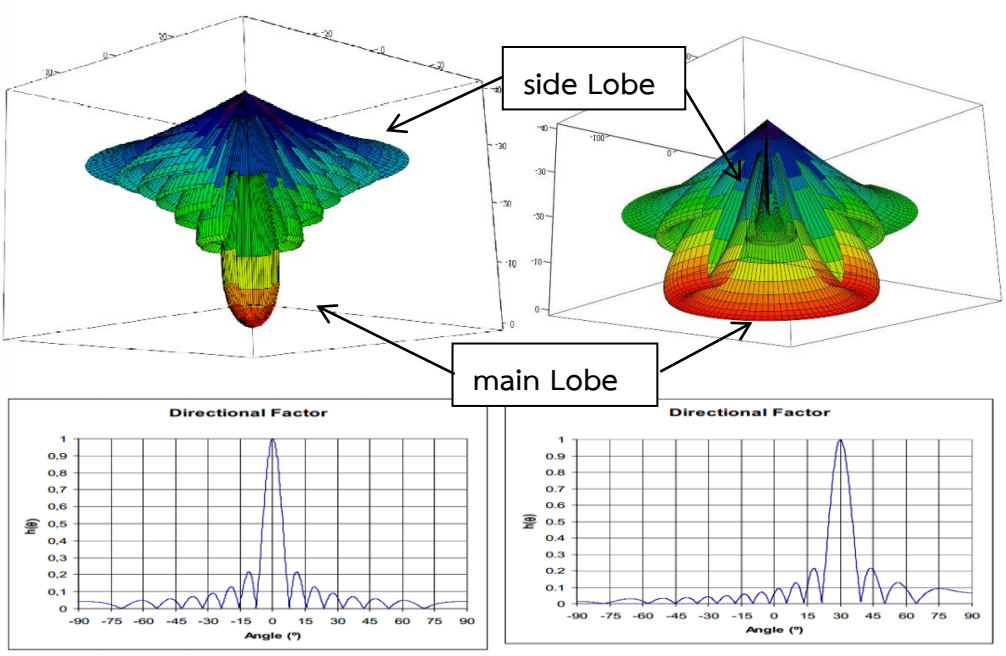
ก) แบบราบ+เลนส์เว้า ข) แบบเว้า ค) แบบนูน

รูปที่ 4 รูปแบบและทิศทางของเสียงของ Transducer จากปัจจัยทางกายภาพ [9]



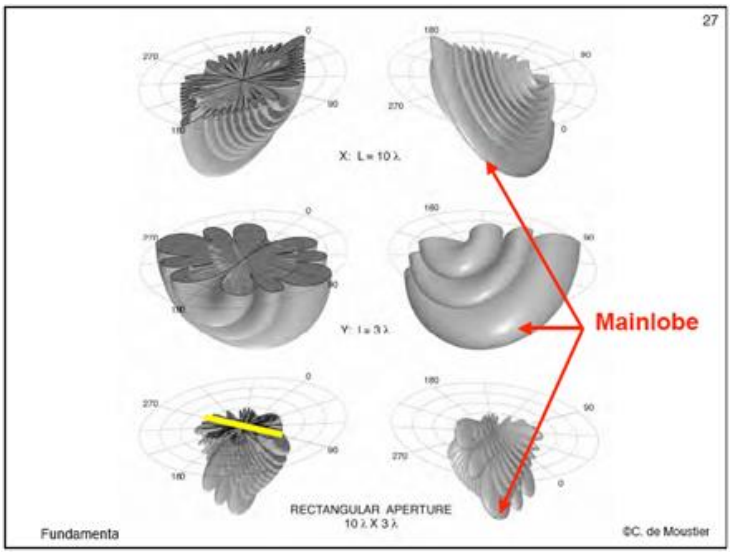
รูปที่ 5 รูปแบบและทิศทางของเสียงของ Transducer จากปัจจัยทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic) (โดยการหน่วงเวลากำเนิดเสียงที่เวลา t_1 t_2 t_3 t_4) [2]

ในการสร้างคลื่นเสียง แหล่งกำเนิดเสียง 1 ตัว (1 Unit) สร้างเสียง 1 ครั้ง จะก่อให้เกิดคลื่นเสียง 1 กลีบ (1 Lobe) หากมีแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่า 1 ตัว และโดยการใช้เทคนิค Beam Forming และ Beam Steering ก็จะก่อให้เกิดคลื่นเสียงที่มีจำนวนหลาย Lobe ได้ จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่ามี Lobe หลาย Lobe อันเนื่องมาจากมีแหล่งกำเนิดเสียงหลาย Unit ใน Transducer โดย Lobe ที่มีลักษณะใหญ่กว่า Lobe อื่นๆ เรียกว่า Main Lobe ส่วน Lobe เล็ก ๆ ด้านข้างเรียกว่า Side Lobe (หรือ Secondary Lobe) ในการใช้งานนั้น Transducer อันหนึ่งๆ อาจสามารถสร้าง Main Lobe มากกว่า 1 Lobe ก็ได้ ส่วนที่เป็น Main Lobe นั้นคือ ส่วนที่เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงแต่ละแหล่งใน Transducer เกิดการเสริม (บัพ หรือ node) กันมากที่สุด ทำให้สัญญาณเสียงมีความเข้มสูง คุณลักษณะที่สำคัญของ Lobe คือความกว้างของ Lobe เรียกว่า Beam Width และมุมหรือทิศทางของ Lobe ซึ่งจะถูกออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ กัน จากรูปที่ 6 Transducer ตัวเดียวกันที่ใช้เทคนิค Beam Steering จะก่อให้เกิด Lobe ในลักษณะต่าง ๆ กันขึ้นมา ดังจะเห็นได้ว่า Transducer ก) พลังงานเสียงจะพุ่งไปในมุมดิ่ง ส่วน Transducer ข) พลังงานเสียงจะพุ่งไปในมุม 30° จากมุมดิ่ง



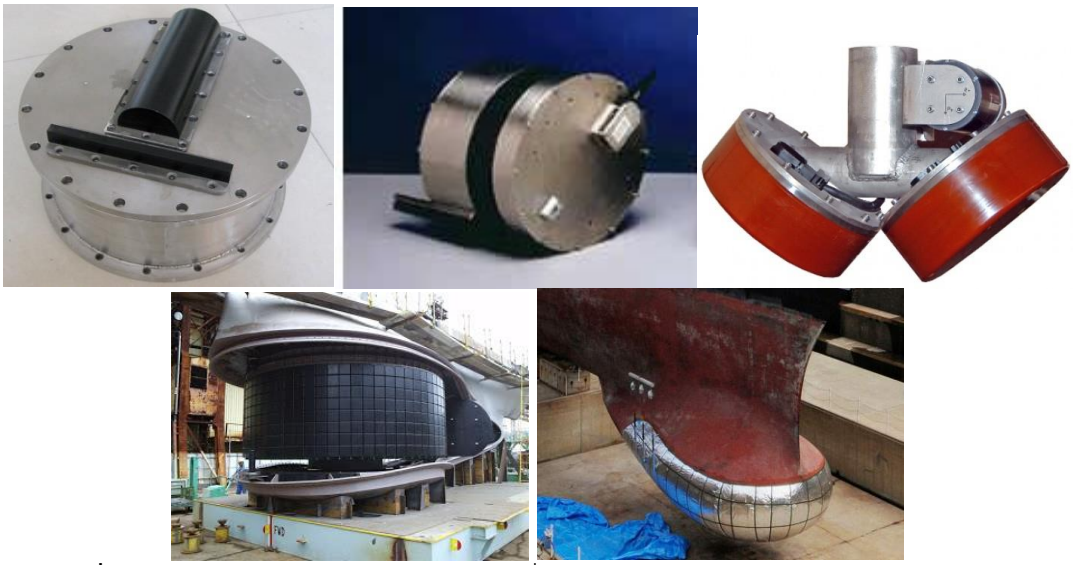
ก) แนวคลื่นเสียงตั้งฉากกับพื้นผิว Transducer ข) แนวคลื่นเสียงทำมุม 30° กับ Transducer

รูปที่ 6 รูปแบบของ Lobe ในแบบ 3 มิติ [2]



รูปที่ 7 ตัวอย่างภาพการกำเนิดเสียงเป็น Lobe แบบต่าง ๆ [2]

จากที่ได้กล่าวมาแล้วเกี่ยวกับการกำเนิดเสียงของโซนาร์ การออกแบบเสียงที่มีลักษณะแตกต่างกันเพื่อตอบสนองการใช้งานที่ต่างกันทำให้ Transducer ของโซนาร์นั้นมีความแตกต่างกันทั้งรูปทรงและขนาด เพื่อให้เหมาะสมกับประเภทการใช้งาน โดยปกติแล้ว Transducer ที่ใช้กับคลื่นความถี่ต่ำจะมีขนาดใหญ่กว่า Transducer ที่ใช้กับคลื่นความถี่สูง



รูปที่ 8 ตัวอย่าง Transducer แบบต่าง ๆ ที่มีลักษณะรูปทรงและขนาดต่างกัน [10] [11]

4. คุณสมบัติของเสียงโซนาร์

เสียงที่ถูกส่งออกมาจาก Transducer นั้นถึงแม้จะออกมาจากแหล่งเดียวกันก็มีคุณสมบัติแตกต่างกันได้ โดยคุณสมบัติของเสียงที่ถูกส่งออกมาจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

4.1 ความถี่ (Frequency, $\mathbf{f}$) และ ความยาว (Length, λ) คลื่นเสียง [1]

เสียงเป็นคลื่นกลรูปแบบหนึ่ง สำหรับเสียงใต้น้ำนั้นความเร็วเสียงจะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปร ความกดอากาศ อุณหภูมิ และความเค็ม ของน้ำ ดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้แล้ว นอกจากนี้ความเร็วเสียงใต้น้ำยังมีความสัมพันธ์กับค่าของ ความถี่ และ ความยาวคลื่นเสียง ดังสมการ

$$\mathbf{v} = \mathbf{f}\lambda$$

เมื่อ $\mathbf{v}$ คือ ค่าความเร็วเสียงใต้น้ำในหน่วย เมตร/วินาที

$\mathbf{f}$ คือ ค่าความถี่เสียงหรือจำนวนลูกคลื่นต่อ 1 วินาที มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์

λ คือ ค่าความยาวคลื่นเสียงมีหน่วยเป็นเมตร

จากสมการจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วเสียงเท่ากัน คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงความยาวคลื่นจะน้อย และคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำความยาวคลื่นจะมาก ความถี่หรือความยาวคลื่นของเสียงนี้คือตัวแปรสำคัญที่บ่งบอกถึงความสามารถในการตรวจจับวัตถุของโซนาร์ คุณสมบัติของคลื่นเสียงที่เป็นผลมาจากความถี่และความยาวคลื่นมีดังนี้

4.1.1 คลื่นเสียงความถี่สูงจะถูกดูดซับพลังงานจากอนุภาคต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำง่ายกว่าความถี่ต่ำ [3] [4] นั่นหมายถึงที่พลังงานเท่ากัน คลื่นเสียงความถี่สูงจะเคลื่อนที่ออกห่างจากแหล่งกำเนิดได้น้อยกว่าคลื่นเสียงความถี่ต่ำ แต่คลื่นเสียงความถี่สูงจะมีความอ่อนไหว (Sensitive) กับการตรวจจับ คือสามารถสะท้อนกับวัตถุที่มีขนาดเล็กหรือมีค่าการสะท้อนน้อยๆ ได้ดี คลื่นเสียงชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานในน้ำที่ไม่ลึกมากหรือตรวจจับวัตถุที่ระยะใกล้และต้องการความละเอียดของเป้าสูง เช่น การใช้งานสำรวจหยั่งน้ำ การสำรวจหาวัตถุใต้น้ำ การสำรวจสายเคเบิลหรือระเบิดใต้น้ำ

4.1.2 คลื่นเสียงความถี่ต่ำจะสามารถเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดเสียงได้ไกล มีความสามารถในการทะลุทะลวงอานุภาคตะกอนในน้ำได้ดีกว่าคลื่นเสียงความถี่สูง แต่มีความอ่อนไหว (Sensitive) น้อยไม่สามารถตรวจจับวัตถุขนาดเล็กหรือมีค่าการสะท้อนต่ำได้ [3] [4] โดยปกติแล้วคลื่นเสียงจะมีค่าความน่าจะเป็นในการตรวจจับวัตถุน้อยลงเมื่อตรวจจับวัตถุที่มีขนาดยาวน้อยกว่าช่วงความยาวคลื่นเสียงมากขึ้น คลื่นเสียงความถี่ต่ำนี้เหมาะกับการใช้งานในน้ำลึก เช่น การสำรวจความลึกในมหาสมุทร การตรวจจับเป้าหมายในน้ำระยะไกล เป็นต้น หรือการใช้งานที่ต้องการความสามารถทะลุทะลวงสูง เช่น การสำรวจหาชนิดและความหนาชั้นตะกอนใต้น้ำ การสำรวจหาวัตถุใต้ชั้นตะกอน เป็นต้น

นอกจากนี้ปัจจัยความถี่ (ความยาว) ของคลื่นเสียงยังส่งผลโดยตรงทางกายภาพกับตัว Transducer คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูง ตัว Transducer จะมีขนาดเล็ก ส่วนคลื่นเสียงที่มีความถี่ต่ำจำเป็นต้องใช้ Transducer ที่มีขนาดใหญ่ตามไปด้วย

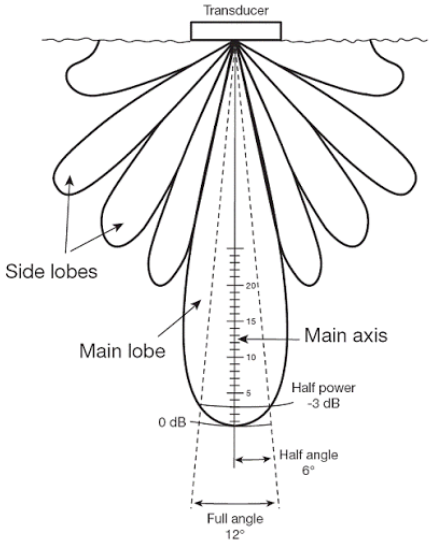
4.2 แอมพลิจูด (Amplitude)

แอมพลิจูดคือ ครึ่งหนึ่งของความสูงระหว่างยอดคลื่นและท้องคลื่นของคลื่นเสียง ที่แสดงถึงความเข้มของเสียง (Intensity) หรือความดังของเสียง (Loudness) ยิ่งแอมพลิจูดมีค่ามาก ความเข้มหรือ

ความดังของเสียงก็ยิ่งมาก ค่าแอมพลิจูดนี้ใช้บ่งบอกถึงพลังงานของคลื่นเสียง โดยปกติแล้วในเสียงที่มีความถี่เท่ากัน เสียงที่มีค่าแอมพลิจูดมากกว่าจะสามารถเดินทางได้ไกลกว่าเสียงที่มีค่าแอมพลิจูดน้อยกว่า แต่การใช้แอมพลิจูดมากๆ ก็ต้องใช้พลังงานสูงและตัวระบบโซนาร์ต้องแข็งแรงพอที่จะรองรับพลังงานได้ การใช้พลังงานเสียงที่น้อยเกินไปอาจทำให้เสียงเดินทางไปได้ไม่ไกล หรือสะท้อนกลับวัตถุบางประเภทไม่ได้ แต่การใช้พลังงานเสียงที่มากเกินไปจะก่อให้เกิดการสะท้อนเสียงแบบ Reverberation ทำให้แยกแยะเป้าได้ยาก

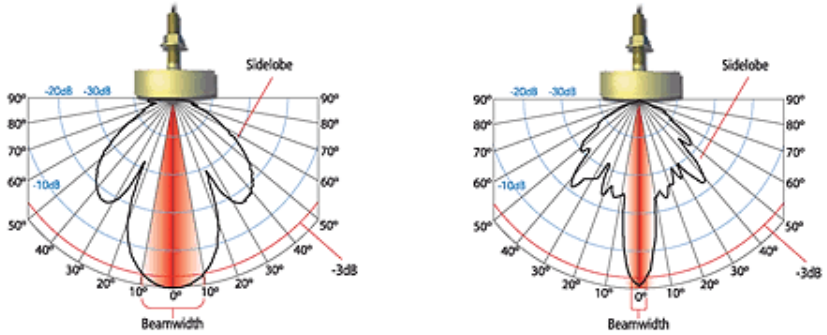
4.3 ความกว้างของคลื่นเสียง (Beam Width)

ค่า Beam Width ของคลื่นเสียง โดยปกติแล้วคือความกว้างทางมุมของคลื่นเสียงที่มีระดับเสียงสัมพันธ์กับค่า Half Power (ค่ากำลังงานครึ่งหนึ่ง (-3dB) ของพลังงานที่แพร่ออกตามทิศทางของกำลังงานสูงสุด) โดยอ้างอิงกับแกนของคลื่นเสียง (Beam Axis) โดยที่ค่าของ Beam Width นั้นจะมีหน่วยเป็น องศา หรือเรเดียน (Radian) [2]



รูปที่ 9 ค่า Beam Width ของคลื่นเสียง [12]

จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าหากค่า Beam Width ต่างกันจะส่งผลให้ลักษณะของ Main Lobe ต่างกัน คลื่นเสียงที่มี Beam Width กว้างจะให้มุมคลื่นเสียงที่ส่งออกไปกว้าง ทำให้มีพื้นที่ที่คลื่นเสียงตกกระทบ (Beam Footprint หรือ Ensonified Area) กว้าง สามารถตรวจจับครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ คลื่นเสียงที่มี Beam Width น้อยจะทำให้คลื่นเสียงที่ส่งออกไปมีมุมแคบ ทำให้มีพื้นที่ที่คลื่นเสียงตกกระทบน้อย สามารถตรวจจับครอบคลุมพื้นที่ได้น้อย แต่ที่พลังงานและความถี่เท่ากันคลื่นเสียงที่มี Beam Width น้อยจะมีระยะตรวจจับไกลกว่าคลื่นเสียงที่มี Beam Width กว้าง เนื่องจากมีการกระจายและสูญเสียพลังงานเสียงน้อยกว่า อีกทั้งยังให้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากกว่า



รูปที่ 10 ลักษณะของ main Lobe ที่มีค่า Beam Width ต่างกัน [13]

4.4 ความกว้างช่วงความถี่คลื่น (Band Width)

ความกว้างช่วงความถี่คลื่น คือ ช่วงหรือช่องความถี่เสียงที่ Transducer (ทั้งภาคส่งและภาครับ) ของโซนาร์สามารถใช้งานได้ โดย เมื่อให้ f_0 คือค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonance Frequency) และ f_1 และ f_2 คือค่าความถี่ที่มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุด ค่า Band Width คือค่าช่องความถี่ระหว่างความถี่เหล่านี้ (ดูรูปที่ 11 ประกอบ) โดยมีค่า $w = f_2 - f_1$ (หน่วยเป็น Hz) [2]

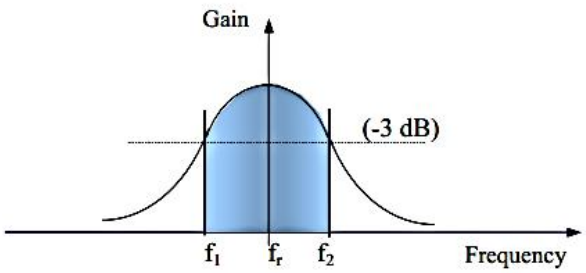
ค่าปัจจัยคุณภาพของ Transducer (Transducer's Quality Factor, Q) คือ

$$Q = \frac{f_0}{w}$$

จากสมการ ค่า Q และ w จะแปรผกผันกัน ดังนั้นเพื่อให้การส่งคลื่นเสียงมีประสิทธิภาพ ตัวTransducer ควรจะส่งสัญญาณที่มีค่าใกล้กับ Resonance Frequency มากที่สุด และมีค่า Band Width น้อยที่สุดเพื่อให้ได้ค่า Quality Factor สูง

ในการรับสัญญาณเสียง Transducer จะต้องมีความสามารถที่ดีในการแยกแยะสัญญาณเสียงที่ต้องการออกจากเสียงอื่นๆ และรับค่าความถี่เสียงตามที่กำหนดได้ ค่า Band Width ของ Transducer (w) ควรจะ มีค่า $w \geq 1/\tau$ เมื่อ τ คือค่าความยาวช่วงสัญญาณ (Pulse Duration)

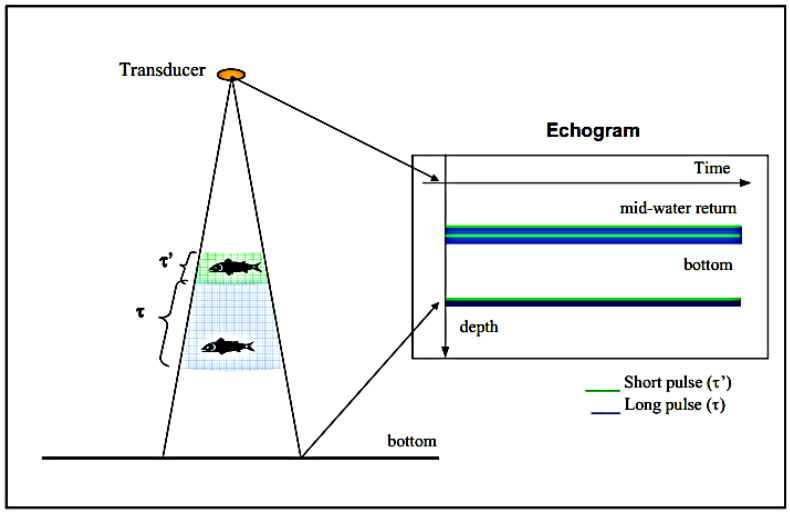
ผลคือ Transducer สำหรับส่งคลื่นเสียงที่ดีจะต้องมีค่า Q สูง เพื่อให้สามารถส่งเสียงที่มีความถี่ตรงตามที่ต้องการได้มากที่สุด และ Transducer ที่รับสัญญาณเสียงจะต้องมีค่า Q ต่ำ เพื่อให้สามารถรับเสียงในช่วงความถี่ที่กว้างได้



รูปที่ 11 ช่องความถี่ของ Transducer [2]

4.5 ความยาวช่วงสัญญาณ (Pulse Length)

ความยาวช่วงสัญญาณเป็นตัวแปรที่ระบุปริมาณพลังงานของสัญญาณเสียงที่ส่งออกไปในน้ำ เมื่อใช้กำลังส่งเท่ากัน (ค่าแอมพลิจูดเท่ากัน) เสียงที่มี Pulse Length ยาวมากกว่าจะมีพลังงานสูงกว่าและจะเคลื่อนที่ไปในน้ำได้ระยะทางไกลกว่า เพื่อให้การส่งสัญญาณเสียงจาก Transducer ในช่วงความถี่เรโซแนนซ์เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ค่าความยาวช่วงสัญญาณควรจะมีค่าอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของค่าช่วงเวลาธรรมชาติ (Natural Period) [2] เพื่อให้เสียงมีพลังงานเพียงพอที่จะส่งไปได้ไกล แต่หากใช้ช่วงสัญญาณที่ยาวเกินไปก็จะทำให้ไม่สามารถทำการแยกแยะวัตถุที่ตรวจจับออกจากกันได้ วัตถุ 2 ชิ้นที่อยู่ในแนวเดินทางของคลื่นเสียงจะถูกตรวจพบว่าเป็นวัตถุชิ้นเดียวกันหากวัตถุนั้นมีขนาดน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของค่า Pulse Length วัตถุทั้ง 2 ชิ้นจะถูกตรวจพบแยกจากกันก็ต่อเมื่อวัตถุนั้นมีขนาดใหญ่กว่าค่าครึ่งหนึ่งของ Pulse Length จากรูปที่ 12 สัญญาณโซนาร์สะท้อนกลับจากเป้าหมาย 2 ประเภท คือ ปลา 2 ตัวและพื้นน้ำ จากภาพ Echogram เส้นสีเขียวเกิดจากการสะท้อนเสียงที่มีความยาวช่วงสัญญาณ τ' และเส้นสีน้ำเงินเกิดจากการสะท้อนเสียงที่มีความยาวช่วงสัญญาณ τ จะเห็นได้ว่าแถบเส้นสีน้ำเงินสะท้อนกลับมา 3 เส้น คือ สะท้อนปลา 2 ตัวและพื้น ส่วนเส้นสีเขียวมีแถบเส้นเพียง 2 แถบคือสะท้อนจากปลาทั้ง 2 ตัวที่รวมกันเป็นวัตถุ 1 ชิ้น และพื้น เนื่องจากความยาวช่วงสัญญาณที่ยาวทำให้สัญญาณเสียงไม่สามารถแยกแยะปลาทั้ง 2 ตัวออกจากกันได้



รูปที่ 12 ความละเอียดของการตรวจจับที่เป็นผลมาจากค่าความยาวช่วงสัญญาณ [2]

4.6 ความครอบคลุม (Coverage)

ความครอบคลุม คือ ขนาดของพื้นที่ที่ถูกตรวจจับได้โดยคลื่นเสียงจาก Transducer ซึ่งก็คือพื้นที่ที่อยู่ภายในคลื่นเสียงรูปทรงต่าง ๆ ที่ถูกส่งออกมา โดยพื้นที่ที่สะท้อนสัญญาณเสียงเรียกว่า Footprint และมีขนาดเท่ากับ

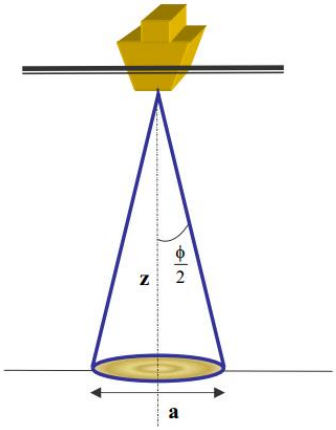
$$a = 2 * z * \tan\frac{\emptyset}{2}$$; เมื่อคลื่นเสียงเป็นรูปทรงกรวย

เมื่อ a คือ ค่าของพื้นที่ที่สะท้อนสัญญาณเสียง มีหน่วยเป็นตารางเมตร

z คือ ค่าความลึก หรือระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียง มีหน่วยเป็นเมตร

$\emptyset$ คือ ค่า Beam Width ของคลื่นเสียง มีหน่วยเป็นเรเดียน

สมการข้างต้นนี้สามารถใช้ได้กับการกำเนิดเสียงที่เป็นทรงกรวย แต่หากเสียงนั้นไม่เป็นรูปทรงกรวย แต่เป็นรูปทรงอื่นเช่น รูปพัด (รูปที่ 7) ก็สามารถทำการปรับสมการให้เหมาะสมได้โดยพิจารณาจากมุม $\emptyset$ ในด้านกว้างและยาวที่จุดกำเนิดของเสียง จากสมการจะสังเกตได้ว่าเมื่อเสียงมีระยะห่างจากจุดกำเนิดเสียงมากขึ้นจะครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น



รูปที่ 13 พื้นที่ความครอบคลุมของสัญญาณเสียง [2]

5. คุณสมบัติของเสียงกับการตรวจจับวัตถุใต้น้ำ

คุณสมบัติต่าง ๆ ของเสียงส่งผลต่อความสามารถในการตรวจจับวัตถุใต้น้ำของโซนาร์ ดังนี้

5.1 ขนาดของวัตถุที่ตรวจจับได้

ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตรวจจับวัตถุขนาดต่าง ๆ กันคือ ความถี่หรือความยาวคลื่นเสียง เสียงที่มีความถี่สูง (ความยาวคลื่นน้อย) จะมีความอ่อนไหวสูง สามารถตรวจจับวัตถุที่ความหนาแน่นต่ำมีขนาดเล็กหรือมีความละเอียดได้แต่ก็ทำให้เสียงเกิดการกระจายพลังงานได้ง่ายกว่าทำให้สามรถเดินทางได้ไกล ในขณะที่เสียงที่มีความถี่ต่ำ (ความยาวคลื่นมาก) สามารถเดินทางได้ไกลกว่าแต่มีความละเอียดในการตรวจจับวัตถุน้อย นอกเหนือจากความสามารถในการเดินทางแล้วคลื่นเสียงที่มีความยาวคลื่นมากจะมีความสามารถในการทะลุทะลวงสูง สามารถส่งสัญญาณเสียงผ่านชั้นตะกอนที่มีความหนาแน่นต่ำเพื่อสำรวจวัตถุที่อยู่ภายใต้ตะกอนได้ โดยข้อพิจารณาสำคัญคือปกติแล้วคลื่นเสียงจะมีความเป็นไปได้ในการตรวจจับวัตถุน้อยหากวัตถุนั้นมีขนาดน้อยกว่าความยาวคลื่นเสียง

5.2 ทิศทางในการตรวจจับ

ทิศทางในการตรวจจับวัตถุของโซนาร์ขึ้นอยู่กับรูปทรงและมุมของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไป คลื่นเสียงที่ถูกส่งออกจาก Transducer อาจมีรูปทรงแบบทรงกรวย ทรงพัดหรือรูปทรงอื่นใดก็ได้ แต่ไม่ว่าคลื่นเสียงที่ใช้จะเป็นรูปทรงใด แนวเส้นทางในการเดินทางของเสียงนั้นจะเกิดการเบี่ยงเบนไปตามกฎการเคลื่อนที่ของ Snell's Law เสียงที่ถูกส่งออกในจาก Transducer ในแนวดิ่งหรือแนวระนาบมักจะมีการเบี่ยงเบนน้อย แต่เสียงที่ทำมุมเฉียงจากมุมดิ่งหรือแนวระนาบจะได้รับผลกระทบจากกฎของ Snell's Law มากกว่า ดังนั้นในการใช้งานเสียง เมื่อเราทราบระยะและทิศทางคร่าวๆ ของเป้าหมาย (รวมถึงทราบความเร็วเสียงใต้น้ำที่ความลึกต่าง ๆ) เราสามารถกำหนดมุมของเสียงจาก Transducer ให้เหมาะสมเพื่อให้ส่งเสียงไปยังตำบลที่ที่เป็นเป้าหมายได้ใกล้เคียงที่สุด โซนาร์สามารถทราบมุมแบริงและความลึกของวัตถุที่เป็นเป้าหมายได้โดยอาศัยมุมที่เสียงสะท้อนกลับมายังตัว Receiver ของโซนาร์ ส่วนที่เป็น Receiver ของโซนาร์นั้นถูกออกแบบมาให้สามารถรับเสียงที่สะท้อนกลับมาจากเป้าหมายที่มุมต่าง ๆ กันเพื่อให้สามารถแยกแยะทิศทางที่เสียงสะท้อนกลับมาและคำนวณทิศทางของเป้าหมายได้

5.3 ระยะทางในการตรวจจับ

ระยะทางที่เสียงสามารถเคลื่อนที่ไปในน้ำได้เกิดจากปัจจัยหลักๆ 3 อย่างคือ ความแรง (ดัง) ของเสียง ความยาวคลื่นเสียง และค่าความยาวช่วงสัญญาณของเสียง กล่าวคือ เสียงที่มีพลังงานมากกว่า (ดังกว่า) จะสามารถเดินทางไปได้ไกลกว่าเสียงที่มีพลังงานน้อยกว่า หากเสียงจากแหล่งกำเนิดมีพลังงานเท่ากัน เสียงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่า และหากเสียงมีพลังงานและความยาวคลื่นเท่ากัน เสียงที่มีค่าความยาวช่วงสัญญาณมากกว่าจะสามารถเดินทางไปได้ไกลกว่า การคำนวณระยะโดยโซนาร์นั้นใช้สมการทั่วไปคือ $s = v*(t/2)$ เมื่อ s คือระยะทางจาก Transducer ถึงเป้าหมายในหน่วยเมตร v คือค่าความเร็วเสียงมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที และ t คือเวลาที่เสียงใช้เดินทางออกจากแหล่งกำเนิดจนถึงเวลาที่สะท้อนวัตถุกลับมายังตัวรับเสียง ในการใช้งานโซนาร์ต้องมีการประมาณระยะของเป้าหมายเพื่อนำมาพิจารณาความถี่ในการปล่อยคลื่นเสียง (จำนวน Pulse ต่อวินาที) การปล่อยคลื่นเสียงที่ใช้ความถี่มากเกินไปจะทำให้คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมายังเป้าหมายเกิดความสับสนเนื่องจากการสะท้อนกลับไปมาของเสียง (เกิด Reverberation) และไม่สามารถแยกแยะได้ว่าเสียงที่สะท้อนกลับมาถูกปล่อยออกไปในเวลาใด

5.4 การแยกแยะเป้าหมาย

การตรวจจับวัตถุขนาดต่าง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นเสียงเป็นสำคัญ แต่การแยกแยะวัตถุหลายชิ้นที่อยู่ใกล้กันออกจากกันนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัย ความยาวช่วงสัญญาณ (Pulse Length) เป็นหลักการใช้คลื่นเสียงที่มีช่วงสัญญาณยาวมากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถแยกแยะเป้าหมาย ออกจากกันได้ คือโซนาร์จะตรวจจับเป้าหมายหลายเป้าที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มได้เป็นเป้าหมายเดียว ความสามารถในการแยกแยะวัตถุออกจากกันนั้นมีความสำคัญกับการใช้งานบางประเภทที่ต้องการความละเอียดทางปริมาณ เช่น การแยกแยะจำนวนของวัตถุใต้น้ำ การประมาณจำนวนสัตว์น้ำ เป็นต้น ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้า

คลื่นเสียงที่มีความยาวช่วงสัญญาณมากจะสามารถเดินทางไปได้ไกลกว่าคลื่นเสียงที่มีความยาวช่วงสัญญาณน้อย แต่ความสามารถในการแยกแยะวัตถุก็น้อยด้วยเช่นกัน

5.5 ความครอบคลุมพื้นที่ในการตรวจจับด้วยเสียง

ขนาดพื้นที่ในการตรวจจับโดยใช้โซนาร์จะขึ้นอยู่กับค่าความครอบคลุม (Coverage) ของเสียง ซึ่งค่าความครอบคลุมนี้เป็นผลมาจากรูปทรงของเสียง (Beam Shape) และระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียง จากหัวข้อที่กล่าวถึงในหัวข้อความครอบคลุมเมื่อเสียงเดินทางไกลจากแหล่งกำเนิดมากขึ้นจะเกิดการขยายครอบคลุมพื้นที่มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้หากให้พลังงานกับการกำเนิดเสียงเท่ากัน เสียงที่มีค่าความกว้างของคลื่นเสียง (Beam Width) น้อย จะเดินทางได้ไกลกว่าเสียงที่มีค่า Beam Width มาก เพราะเกิดการกระจายตัวและสูญเสียพลังงานในการเดินทางน้อยกว่า แต่ค่า Beam Width ที่น้อยก็จะทำให้ขนาดพื้นที่ในการตรวจจับน้อยลงเช่นเดียวกัน

6. การประยุกต์ใช้

ความรู้เกี่ยวกับการกำเนิดเสียงของโซนาร์นี้มีประโยชน์กับผู้ใช้งานโซนาร์ทุกประเภท และหากนำมาประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมจะช่วยให้สามารถใช้งานโซนาร์ให้มีประสิทธิภาพได้มากยิ่งขึ้น โซนาร์ที่ถูกผลิตออกมาเพื่อการใช้งานบางชนิดผู้ใช้งานไม่สามารถปรับแต่งการตั้งค่าการใช้งานได้ แต่บางชนิดผู้ใช้งานสามารถปรับแต่งการตั้งค่าการใช้งานได้หลายแบบตามความต้องการ ดังนั้นหากผู้ใช้งานมีความเข้าใจในหลักการพื้นฐานจะช่วยให้ผู้ใช้เกิดความเข้าใจในการตั้งค่าต่าง ๆ ของอุปกรณ์โซนาร์ว่าตัวแปรต่าง ๆ จะส่งผลอย่างไรต่อการใช้งาน สำหรับการใช้งานโซนาร์ของกองทัพเรือนั้นมีทั้งการใช้เพื่อการจับเป้าหมายทั้งบนพื้นท้องทะเลและเป้าหมายที่อยู่กลางน้ำ ยกตัวอย่างในการตรวจจับเป้าหมายที่อยู่บนพื้นท้องทะเล เช่น การใช้ Sidescan Sonar การค้นหากับระเบิด หิน หรือวัตถุต่าง ๆ ที่วางอยู่บนพื้นท้องทะเล เหมาะกับการใช้โซนาร์ซึ่งใช้ความถี่สูง มีมุมกวาดรูปแบบพัดขวางทิศทางเคลื่อนที่ของเรือ สามารถตรวจจับพื้นที่ทางข้างได้กว้าง ให้ภาพพื้นผิวทะเลที่ชัดเจน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการใช้งานคือความเร็วของเรือและความลึกของน้ำซึ่งต้องมีความสัมพันธ์กับความถี่การส่งสัญญาณ เพราะถ้าหากเรือเร็วเกินไปรูปที่ได้ก็จะขาดความต่อเนื่อง (เกิด GAP) อีกส่วนที่ต้องคำนึงถึงคือ Beam Width หากค่า Beam Width มากก็จะครอบคลุมพื้นที่มากทำให้สำรวจเต็มพื้นที่ได้เร็วแต่ก็ลดความละเอียดของข้อมูลลง หากเป้าหมายที่วางอยู่บนพื้นน้ำนั้นจมตัวลงไปอยู่ใต้พื้นโคลนหรือพื้นทราย การใช้งาน Sidescan Sonar แบบ High Frequency จะไม่สามารถตรวจจับเป้าหมายเหล่านี้ได้ จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนไปใช้โหมด Low Frequency ซึ่งสามารทะลุทะลวงชั้นตะกอนได้แต่ก็ให้ความละเอียดของภาพน้อย เป็นต้น ในส่วนของการใช้งานโซนาร์เพื่อตรวจจับวัตถุที่อยู่กลางน้ำนั้น เช่น โซนาร์ตรวจจับเรือดำน้ำ ในเบื้องต้นหากผู้ใช้ไม่สามารถประมาณตำบลที่เป้าหมายได้เลยก็ต้องใช้การส่งสัญญาณออกไปแบบสุ่ม กระจายหรือกวาดออกไปรอบตัวซึ่งก็ขาดทั้งความแม่นยำและระยะตรวจจับ แต่หากสามารถประมาณว่าเป้าหมายที่ต้องการตรวจจับคืออะไร มีขนาดเท่าไหร่ อยู่ในทิศทางและ

ความลึกเท่าใด ก็สามารถเลือกตั้งค่าการใช้งานโซนาร์ให้เหมาะสมกับเป้าหมายได้ โดยการเลือกใช้ความถี่, Beam Width, Pulse Length, Beam Shape รวมถึงมุมและความลึกที่ส่งเสียงออกไป เป็นต้น

7. สรุป

การใช้งานเสียงใต้น้ำโดยอุปกรณ์โซนาร์นั้นมีการออกแบบเพื่อใช้งานในหลากหลายจุดประสงค์ เช่น การหยั่งความลึกน้ำ การค้นหาเป้าหมายใต้น้ำ การสื่อสารใต้น้ำ หรือการสำรวจเป้าหมายใต้ชั้นตะกอนใต้น้ำ แต่ไม่ว่าเป้าหมายในการใช้งานจะเป็นอย่างไร เสียงจากอุปกรณ์โซนาร์ต่างก็มีคุณสมบัติเบื้องต้นเช่นเดียวกัน การที่ผู้ใช้งานมีความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยให้สามารถใช้งานอุปกรณ์โซนาร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากมีความเข้าใจถึงข้อดี ข้อเสีย ในการเลือกใช้คุณสมบัติคลื่นเสียงแบบต่าง ๆ กัน โดยเมื่อผู้ใช้งานมีการประมาณลักษณะของเป้าหมายที่ต้องการตรวจจับด้วยโซนาร์ เช่น ขนาด จำนวน ความลึกและทิศทางของเป้า รวมถึงขนาดพื้นที่ตรวจจับ ก็สามารถเลือกใช้ชนิดของโซนาร์และการตั้งค่าการใช้งานที่เหมาะสมได้ อย่างไรก็ตามเนื้อหาในบทความนี้เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของเสียงของโซนาร์ หากต้องการทำความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์โซนาร์อย่างถี่ถ้วนจำเป็นต้องศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม เนื่องจากระบบโซนาร์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในรูปแบบของ Hardware และ Software เพื่อให้การใช้งานโซนาร์เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น การออกแบบเสียงให้มีหลายความถี่ใน 1 Pulse การส่งเสียงแต่ละ Pulse ให้มีความถี่แตกต่างกันต่อเนื่องกัน หรือการส่งคลื่นเสียงออกเป็นหลายรูปทรง เป็นต้น อีกทั้งยังต้องทำความเข้าใจกับปัจจัยสำคัญอีก 2 ปัจจัยคือ การเดินทางของเสียงในตัวกลางและคุณลักษณะของวัตถุที่สะท้อนเสียงกลับมา ซึ่งก็มีความสำคัญต่อการตรวจจับวัตถุใต้น้ำไม่แพ้ปัจจัยการกำเนิดเสียง

รายการอ้างอิง

[1] Fahy F, Walker J. Fundamentals of noise and vibration. 1st ed. London: CRC Press; 1998.

[2] International Hydrographic Department. Manual on Hydrography: Publication C-13. 1st ed. Monaco: International Hydrographic Bureau; 2005.

[3] Hydrographic Office. General Instructions for Hydrographic Surveys. 17th ed. [Taunton]: Hydrographer of the Navy; 1996.

[4] U.S. Army Corps of Engineers. Hydrographic Surveying: EM-1110-2-1003. Washington: Department of the Army; 2002.

[5] Snell's_law [Internet]. [place unknown]: [publisher unknown]; 2020 [updated 2021 Mar 7; cited 2020 Dec 10]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Snell's_law

[6] Fuchs J. Ultrasonics – Transducers – Piezoelectric Hardware [Internet]. Ohio: Cleaning Technologies Group; 2012 [cited 2020 Dec 10]. Available from: https://techblog.ctgclean.com/2012/01/ultrasonics-transducers-piezoelectric-hardware/.

[7] Atlas Elektronik. ASO – 713/723 Hull-Mounted Active Sonar [Internet]. Bremen: Atlas Elektronik; 2020 [cited 2020 Dec 11]. Available from: https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user_upload/01_Images/Solutions/Datenblaetter_zum_Download/011_ASO.pdf

[8] Sonar Technology and Hydroacustics with Piezo Transducers [Internet]. Lederhose: PIEZO TECHNOLOGY; 2020 [cited 2020 Dec 11]. Available from: https://www.piceramic.com/en/ applications/high-power-ultrasound/sonar-technology-hydroacoustics/.

[9] Toal DJF, Nolan S. A low directivity ultrasonic sensor for collision avoidance and station keeping on inspection-class AUVs. Journal of marine engineering and technology [Internet]. 2008 [cited 2020 Dec 12];2008(11):35-45. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Using-geometric-de-focusing-to-increase-transducer-beam-width-at-higher-frequencies_fig2_233508675

[10] HZ SONIC. DBS300 Multi-beam depth-sounding transducer array [Internet]. Wuxi Jiangsu: HZ SONIC; 2015 [cited 2020 Dec 13]. Available from: http://www.hzsonic.com/products/acoustic-emissionreceiving-array/dbs300-multi-beam-depth-sounding-transducer-array/.

[11] Comrade Misfit. Ping Time [Internet]. [place unknown]: [publisher unknown]; 2008 [cited 2020 Dec 13]. Available from: http://www.shipbucket.com/forums/viewtopic.php?t=20&start=420

[12] Cornell University. A General Guide for Deriving Abundance Estimates from Hydroacoustic Data [Internet]. [place unknown]: Cornell University; 2020 [cited 2020 Dec 10]. Available from: http://www.acousticsunpacked.org/AcousticBackground/AcousticTransducers.html

[13] Raymarine. Choosing a Transducer [Internet]. [place unknown]: Raymarine; 2020 [cited 2020 Dec 11]. Available from: https://www.raymarine.com/view/index-id=197.html

สัมประสิทธิ์ดิวิเอชั่นและการคำนวณหาค่าดิวิเอชั่นเข็มทิศแม่เหล็ก

Coefficient of Deviation and Magnetic Compass Deviation Calculation

พีรศิลป์ อนันยวราคม[1]
Peerasin Ananyawarakom[1]

Received : October 6, 2020
Revised : January 4, 2021
Accepted : March 18, 2021

บทคัดย่อ

การหาค่าดิวิเอชั่นของเข็มทิศแม่เหล็กเป็นสิ่งที่มีความจำเป็น เนื่องจากเข็มทิศแม่เหล็กเป็นอุปกรณ์สำคัญที่เรือทุกลำต้องติดตั้งเป็นพื้นฐาน ถึงแม้ว่าจะมีเข็มทิศไยโรที่มีความทันสมัยกว่าเข้ามาแทนที่ แต่ข้อจำกัดของเข็มทิศไยโรที่สำคัญคือยังต้องพึ่งพิงระบบไฟฟ้า หากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเกิดขัดข้องจะไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากการชี้ทิศเหนือของเข็มทิศแม่เหล็กและเข็มทิศไยโรมีความแตกต่างกัน ทำให้ทิศเหนือแม่เหล็กและทิศเหนือจริงอยู่กันคนละตำบลที่ผลต่างระหว่างทิศเหนือแม่เหล็กและทิศเหนือจริงทำให้เกิดค่าวาริเอชั่นขึ้น อีกทั้งโครงสร้างหลักและส่วนประกอบของตัวเรือที่ทำมาจากเหล็กสร้างแรงแม่เหล็กรวมอันเนื่องมาจากแม่เหล็กในตัวเรือจึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อเข็มทิศแม่เหล็กทำให้การชี้ทิศเหนือแม่เหล็กผิดไปจากเดิม สิ่งที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ดิวิเอชั่น ซึ่งค่าดิวิเอชั่นมีทุกทิศที่เรือหันไป สามารถดำเนินการหาได้ด้วยวิธีการคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์ดิวิเอชั่นและทิศหัวเรือที่ต้องการ

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์ดิวิเอชั่น, เข็มทิศแม่เหล็ก

[1] นักศึกษาวิทยาลัยการทัพเรือ
Naval War College, Naval Education Department
Email : prabparapak_311@hotmail.com

Abstract

Determination of the deviation is imperative because the magnetic compass is an essential device that all ships have to be equipped with as a basis. Although there is a more modern gyro compass replaced but the major limitation of the Gyro compass is that it still has to rely on the electrical system. If the power source fails, it cannot be used. Due to the difference in the direction of the magnetic compass and the Gyro compass, the magnetic north, and the true north are in different places with the difference Magnetic north and true north create variations. Also, the main structure and hull components are made of iron to create a combined magnetic force. Since the magnetism inside the ship directly affects the magnetic compass, causing the direction of the magnetic north to be misaligned. This phenomenon, called deviation, occurs in every direction the ship is facing. This can be obtained by calculating the desired deviation coefficient and the ship heading.

***Keywords*:** coefficient of deviation, magnetic compass

1. บทนำ

ในยุคปัจจุบันการเดินเรือมีความสะดวกสบายมากกว่าแต่ก่อน เนื่องจากเทคโนโลยีมีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว อุปกรณ์เครื่องช่วยในการเดินเรือก็เช่นเดียวกัน ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นเข็มทิศไยโร เรดาร์ ARPA ระบบ ECDIS ระบบ AIS เป็นต้น ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีจะเจริญก้าวหน้า แต่อุปกรณ์เครื่องช่วยในการเดินเรือบางอย่างก็ไม่สามารถละทิ้งได้ ยังมีเหตุผลความจำเป็นที่ยังต้องบังคับใช้และติดตั้งไว้บนเรือเพื่อใช้งานอยู่ ตัวอย่างเช่น เข็มทิศแม่เหล็ก โดยมีข้อกำหนดและแนวทางสำหรับเข็มทิศแม่เหล็กตามบทที่ 5 ข้อบังคับที่ 19 ของอนุสัญญาความปลอดภัยในชีวิตในทะเล (Safety of Life At Sea : SOLAS) ภายใต้การควบคุมขององค์การทางทะเลระหว่างประเทศ (International Maritime Organization : IMO) บังคับให้เรือทุกลำจะต้องติดตั้งเข็มทิศแม่เหล็ก [1] ในส่วนของโรงเรียนนายเรือนั้น มีการสอนเกี่ยวกับเข็มทิศแม่เหล็กมานานถือเป็นวิชาพื้นฐานที่สำคัญในการเรียนเกี่ยวกับวิชาชีพทหารเรือในภาคทฤษฎี และจะนำเอาเนื้อหาที่ได้เรียนไปใช้ในการฝึกภาคปฏิบัติในทะเล เช่น การหมุนเรือเพื่อหาค่าดิวิเอชั่นด้วยวิธีการต่าง ๆ ตามสถานการณ์และความเหมาะสมของพื้นที่ การจัดทำบัญชีดิวิเอชั่นและนำค่าดิวิเอชั่นมาสร้างเป็นกราฟเพื่อนำไปใช้งานบนสะพานเดินเรือต่อไป

2. อัตราผิดเข็มทิศ

เมื่อกล่าวถึงเข็มทิศเรือนเอกหรือเข็มทิศแม่เหล็กแล้ว จำเป็นที่จะต้องอธิบายศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราผิดเข็มทิศแม่เหล็ก ซึ่งจะมีค่าที่สำคัญอยู่ 2 ค่า คือ

วาริเอชั่น (Variation) เป็นมุมระหว่างเมอริเดียนจริงและเมอริเดียนแม่เหล็ก ถ้าทิศเหนือ แม่เหล็กอยู่ทางตะวันออกของทิศเหนือจริง เรียกว่า “วาริเอชั่นตะวันออก” ใช้เครื่องหมาย “+” ถ้าอยู่ทางตะวันตก เรียกว่า “วาริเอชั่นตะวันตก” ใช้เครื่องหมาย “-” ค่าวาริเอชั่นมีหน่วยวัดเป็น องศาและลิปดา ในทางปฏิบัตินั้น นักเดินเรือจะหาค่าวาริเอชั่นได้จากแผนที่ที่ใช้งานอยู่ หรือได้จากแผนที่ Isogonic พิเศษ ค่าวาริเอชั่นนั้นจะให้มาเฉพาะปีใดปีหนึ่ง หากนำแผนที่เก่ามาใช้จึงต้องคิดอัตราเปลี่ยนของวาริเอชั่นด้วยเสมอ

ดิวิเอชั่น (Deviation) เมื่อเอาแผ่นเข็มทิศไปติดตั้งในเรือไม้ซึ่งไม่มีอำนาจแม่เหล็กตัวเรือ ทิศเหนือของแผ่นเข็มทิศนี้จะชี้ตรงไปยังทิศเหนือแม่เหล็ก และทิศที่แผ่นเข็มทิศนี้ชี้จะเป็นทิศเหนือแม่เหล็ก ส่วนเรือที่ทำด้วยเหล็กหรือเหล็กกล้า จะมีอำนาจแม่เหล็กตัวเรือมากระทำต่อเข็มทิศ ทำให้แกนของแผ่นเข็มทิศ (Axis of the compass card) ชี้ผิดไปจากเมอริเดียนแม่เหล็ก มุมในระหว่างเมอริเดียนแม่เหล็ก และแกนของแผ่นเข็มทิศ (ทิศซึ่งเข็มทิศชี้ไปจริง) เรียกว่า “ดิวิเอชั่น” นักเดินเรือต้องจำใส่ใจเสมอว่า เมื่อใช้เข็มทิศแม่เหล็กในเรือวัดหาแบริ่งจะได้เป็นแบริ่งเข็มเรือเสมอ และเมื่อเอาดิวิเอชั่นแก้จะได้แบริ่งแม่เหล็ก และถ้าเอาวาริเอชั่นแก้อีกทีหนึ่งก็จะได้แบริ่งจริง การหาดิวิเอชั่นสามารถหาได้ 5 วิธีดังนี้ [2]

1. แอซิมัธวัตถุท้องฟ้า (Azimuth of a Celestial Body)
2. เปรียบเทียบกับเข็มทิศไยโร (Comparison with a Gyro Compass)
3. เทียบกับเข็มทิศแม่เหล็กที่รู้ดิวิเอชั่น (Comparison with a Compensated Compass)
4. แบริ่งวัตถุที่อยู่ไกล (Bearing on a Distant Object)
5. แบริ่งวัตถุซึ่งรู้แบริ่งจริงหรือแนวนำ (By Using Ranges)

เมื่อนำการหาดิวิเอชั่นในแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบกันแล้วจะสรุปข้อดี ข้อเสีย ข้อจำกัด และในแต่ละกรณีใดควรใช้เมื่อไหร่ดังตาราง

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ข้อจำกัด และกรณีแนะนำของการหาดิวิเอชั่นทั้ง 5 กรณี

วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อจำกัด	กรณีแนะนำ
แอซิมัธวัตถุท้องฟ้า	- สามารถกระทำได้ทุกเวลา - นอกจากดวงอาทิตย์ยังสามารถใช้ดวงดาวในการแบริ่งได้	- ต้องหาแบริ่งจากการคำนวณหรือเปิดมาตรา - การแบริ่งดวงอาทิตย์ควรทำขณะขึ้นหรือตก	- หากสภาพอากาศไม่อำนวยจะไม่สามารถกระทำได้	- เรือแล่นในทะเลเปิด ไม่มีเครื่องหมายทางเรือ
เปรียบเทียบกับเข็มทิศไยโร	- หากเข็มทิศไยโรไม่มีความคลาดเคลื่อนจะมีความน่าเชื่อถือ	- ต้องหาความคลาดเคลื่อนของเข็มทิศไยโร - ต้องหาค่าวาริเอชั่น	- หากระบบไฟฟ้าของเรือหรือไยโรขัดข้องไม่สามารถกระทำได้	- เมื่อทราบอัตราผิดเข็มทิศไยโร
เทียบกับเข็มทิศแม่เหล็กที่รู้ดิวิเอชั่น	- ใช้กับเรือที่ไม่มีเข็มทิศไยโร - ไม่ต้องหาค่าวาริเอชั่น	- จะต้องทราบค่าดิวิเอชั่นของเข็มทิศแม่เหล็กเรือนหลัก	- ต้องหาค่าดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนหลักจากวิธีอื่นก่อน	- เมื่อทราบดิวิเอชั่นของเข็มทิศเรือนหลัก
แบริ่งวัตถุที่อยู่ไกล	- สามารถกระทำได้ขณะเรือจอดและเรือเดิน	- ต้องหมุนเรือให้เป็นวงกลมขนาดเล็กที่สุดเท่าที่ทำได้ - วัตถุต้องอยู่ไม่น้อยกว่า 6 ไมล์ขณะเรือทอดสมอ และไม่น้อยกว่า 10 ไมล์ขณะเรือเดิน	- โครงสร้างตัวเรืออาจจะบดบังที่หมายขณะแบริ่งได้	- มีวัตถุที่หมายที่เด่นชัดอยู่ตามชายฝั่ง
แบริ่งวัตถุซึ่งรู้แบริ่งจริงหรือแนวนำ	- มีความน่าเชื่อถือสูง	- ใช้เวลาในการหาดิวิเอชั่นนาน - ต้องทราบแบริ่งจริงของแนวนำ	- พื้นที่ส่วนใหญ่ที่มีแนวนำจะมีเขตอันตรายในการเดินเรือ เช่น ในร่องน้ำหรือเขตที่ตื้น	- เมื่อมีแนวนำในพื้นที่และไม่มีอันตรายในการเดินเรือ

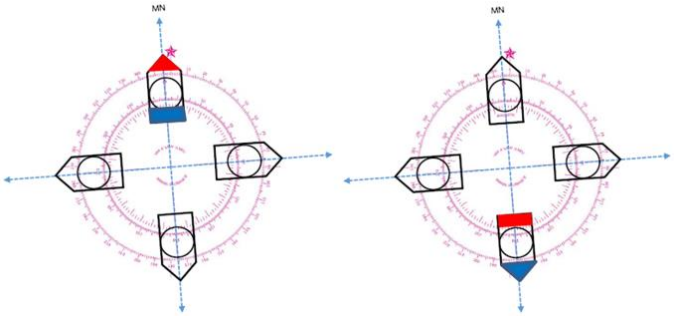
การแบ่งประเภทแม่เหล็กในตัวเรือที่ทำให้เกิดดิวิเอชั่นเกิดจากแรงรวมของอำนาจแม่เหล็กในตัวเรือเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดดิวิเอชั่นรบกวนเข็มทิศแม่เหล็กในเรือ แรงรวมของแม่เหล็กเหล่านี้สามารถที่จำแนกออกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ได้ ซึ่งจะเรียกว่า “สัมประสิทธิ์” มีการกำหนดตั้งชื่อให้เป็นตัวอักษรตายตัวดังต่อไปนี้ [3]

สัมประสิทธิ์ A เป็นดิวิเอชั่นที่มีค่าเท่ากันทุกทิศหัวเรือ เกิดจากการสร้างเข็มทิศ เช่น แกนแท่งแม่เหล็กไม่ขนานกับทิศเหนือใต้ ของแผ่นเข็มจุดศูนย์กลางจริง การแบ่งขีดองศาของแผ่นเข็มทิศคลาดเคลื่อน การขีดเส้นหัวเรือคลาดเคลื่อน สัมประสิทธิ์ A เป็นดิวิเอชั่นเฉลี่ยของทิศหลักทั้ง 4 ทิศ คือ N S E W ตามเครื่องหมาย นอกจากความคลาดเคลื่อนดังกล่าว ยังเกิดจากความคล่องตัวของแผ่นเข็ม คือ ระหว่างหมวกกับเดือยที่รองรับแผ่นเข็มอีกด้วย อย่างไรก็ตามสัมประสิทธิ์ A นี้มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในทางปฏิบัติจึงมิได้คำนึงถึงความผิดอันนี้เมื่อเข็มทิศแม่เหล็กตั้งอยู่ในแนวกระดูกงู

สัมประสิทธิ์ B เป็นดิวิเอชั่นที่สนามแม่เหล็กโลกชักนำให้เหล็กต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นตัวเรือตามความยาวของลำเรือซึ่งแบ่งออกเป็น 2 อย่าง คือ

สัมประสิทธิ์ -B เมื่อหัวเรือหันไปทางทิศเหนือแม่เหล็กเมื่อต่อในอู่ เหล็กตัวเรือส่วนหัวจะมีอำนาจแม่เหล็กประจำเป็นเหนือ (แดง) ส่วนเหล็กตัวเรือนส่วนท้ายเรือจะมีอำนาจแม่เหล็กประจำเป็นใต้ (น้ำเงิน)

สัมประสิทธิ์ +B เมื่อหัวเรือหันไปทางทิศใต้แม่เหล็กเมื่อต่อในอู่ เหล็กตัวเรือส่วนหัวจะมีอำนาจแม่เหล็กประจำเป็นใต้ (น้ำเงิน) ส่วนเหล็กตัวเรือส่วนท้ายจะมีอำนาจแม่เหล็กประจำเป็นเหนือ (แดง)

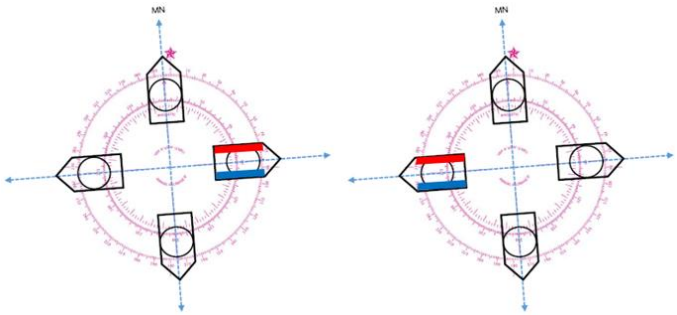


รูปที่ 1 หัวเรือทิศเหนือแม่เหล็ก (ซ้าย) หัวเรือทิศใต้แม่เหล็ก (ขวา)

สัมประสิทธิ์ C เป็นดิวิเอชั่นที่สนามแม่เหล็กโลกชักนำให้เหล็กต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นตัวเรือในขณะที่ต่ออยู่ในอู่เป็นระยะเวลานานมีอำนาจแม่เหล็กเป็นแม่เหล็กประจำในทางกราบเรือทั้ง 2 ข้างตามขวางลำเรือซึ่งแบ่งออกเป็น 2 อย่าง คือ

สัมประสิทธิ์ +C เมื่อหัวเรือหันไปทางทิศตะวันออกแม่เหล็กเมื่อต่อในอู่ เหล็กตัวเรือทางกราบซ้ายจะมีอำนาจแม่เหล็กประจำเป็นเหนือ (แดง) ส่วนเหล็กตัวเรือทางกราบขวาจะมีอำนาจแม่เหล็กประจำเป็นใต้ (น้ำเงิน)

สัมประสิทธิ์ -C เมื่อหัวเรือหันไปทางทิศตะวันตกแม่เหล็กเมื่อต่อในอู่เหล็กตัวเรือทางกราบขวาจะมีอำนาจแม่เหล็กประจำเป็นเหนือ (แดง) ส่วนเหล็กตัวเรือทางกราบซ้ายจะมีอำนาจแม่เหล็กประจำเป็นใต้ (น้ำเงิน)



รูปที่ 2 หัวเรือทิศตะวันออกแม่เหล็ก (ซ้าย) หัวเรือทิศตะวันตกแม่เหล็ก (ขวา)

สัมประสิทธิ์ +D ดิวิเอชั่นนี้เกิดจากอำนาจแม่เหล็กจรในขื่อเหล็กอ่อนแนวนอนตามขวางลำเรือ ซึ่งต่อเป็นแผ่นเดียวกันกับขื่อเหล็กอ่อนแนวนอนตามความยาวลำเรือแต่ขาดตอนกัน เมื่อเรือแล่นในทิศ NE และ SW จะมีดิวิเอชั่นตะวันออกมากที่สุด และเมื่อเรือแล่นในทิศ SE และ NW จะมีดิวิเอชั่นตะวันตกมากที่สุด แต่เมื่อเรือแล่นใน ทิศ N ทิศ S ทิศ E ทิศ W จะไม่มีดิวิเอชั่น

สัมประสิทธิ์ -D ดิวิเอชั่นนี้เกิดจากอำนาจแม่เหล็กจรในขื่อเหล็กอ่อนแนวนอนตามขวางลำเรือแต่ขาดตอนกัน กับขื่อเหล็กอ่อนแนวนอนวางตามยาวลำเรือที่ต่อเป็นแผ่นเดียวกัน เมื่อเรือแล่นทิศ NE และ SW จะมีดิวิเอชั่นตะวันตกมากที่สุด และเมื่อเรือแล่นในทิศ SE และ NW จะมีดิวิเอชั่นตะวันออกมากที่สุด แต่เมื่อเรือแล่นใน ทิศ N ทิศ S ทิศ E ทิศ W จะไม่มีดิวิเอชั่น

สัมประสิทธิ์ -E ดิวิเอชั่นนี้เกิดจากอำนาจแม่เหล็กจรในขื่อเหล็กอ่อนแนวนอนที่ติดต่อกันเป็นแผ่นเดียวกันซึ่งวางทแยงจากหัวเรือขวาไปท้ายเรือซ้าย และขื่อเหล็กอ่อนแนวนอนที่ขาดตอนกันซึ่งวางทแยงจากหัวเรือซ้ายไปท้ายเรือขวา เมื่อเรือแล่นในทิศ N หรือ S จะมีดิวิเอชั่นตะวันตกมากที่สุด และเมื่อเรือแล่นในทิศ E หรือทิศ W จะมีดิวิเอชั่นตะวันออกมากที่สุด แต่ถ้าเรือแล่นในทิศ NE SE SW NW จะไม่มีดิวิเอชั่น

สัมประสิทธิ์บวก +E ดิวิเอชั่นนี้เกิดจากอำนาจแม่เหล็กจรในขื่อคือเหล็กอ่อนแนวนอนที่ติดต่อเป็นแผ่นเดียวกันซึ่งวางทแยงจากหัวเรือซ้ายไปท้ายเรือขวาและขื่อเหล็กอ่อนแนวนอนที่ขาดตอนกันซึ่งวางทแยงจากหัวเรือขวาไปท้ายเรือซ้าย เมื่อเรือแล่นในทิศ N หรือ S จะมีดิวิเอชั่นตะวันออกมากที่สุด และเมื่อเรือแล่นในทิศ E หรือทิศ W จะมีดิวิเอชั่นตะวันตกมากที่สุด แต่ถ้าเรือแล่นในทิศ NE SE SW NW จะไม่มีดิวิเอชั่น

หลังจากที่ทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ดิวิเอชั่นในแต่ละตัวแล้ว จะแสดงตัวอย่างการคำนวณการหาค่าสัมประสิทธิ์ดิวิเอชั่น จากตารางบัญชีดิวิเอชั่นของ ร.ล.เจ้าพระยา ซึ่งได้ดำเนินการหมุนเรือเพื่อหาดิวิเอชั่นด้วยวิธีการสอบเทียบกับเข็มทิศไยโร ดังนี้

3. การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ A, B, C, D, E ของเข็มทิศเรือนเอก

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ A, B, C, D, E ของเข็มทิศเรือนเอกจากข้อมูลตารางบัญชีดิวิเอชั่น ร.ล. เจ้าพระยาที่กำหนดให้

ตารางที่ 2 แสดงค่าดิวิเอชั่นจากทิศหลักและทิศรอง

ทิศหัวเรือ	ดิวิเอชั่น	ทิศหัวเรือ	ดิวิเอชั่น
N (000°)	2.5° W	S (180°)	2.5° E
NE (045°)	0.5° E	SW (225°)	2.5° E
E (090°)	0.5° W	W (270°)	2.5° W
SE (135°)	0.5° W	NW (315°)	5.5° W

สัมประสิทธิ์ A

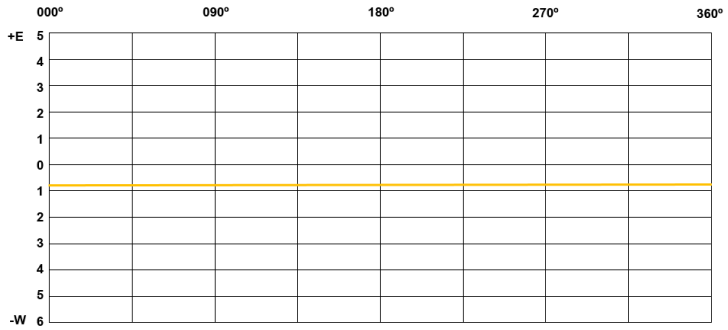
เนื่องจาก A เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของค่าเบี่ยงเบนคงที่ ค่าโดยประมาณจึงได้มาจากข้อมูลจากตารางข้างต้น โดยการประมาณค่าเฉลี่ยของผลรวมพีชคณิตของส่วนเบี่ยงเบนทั้งหมดทุกทิศหัวเรือ ตลอดการคำนวณเหล่านี้สัญลักษณ์ของการเบี่ยงเบนทางทิศ E ถือเป็นบวก (+) และส่วนเบี่ยงเบนทางทิศ W ถือเป็นลบ (-)

8A = (-2.5°) + (0.5°) + (-0.5°) + (-0.5°) + (2.5°) + (2.5°) + (-2.5°) + (-5.5°)

8A = +5.5° – 11.5°

8A = - 6.0°

A = - 0.75° (0.75° W)



รูปที่ 3 กราฟของสัมประสิทธิ์ A

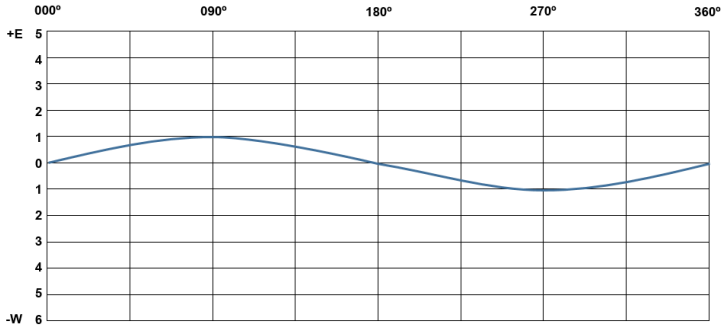
สัมประสิทธิ์ B

เนื่องจาก B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการเบี่ยงเบนตามกราฟครึ่งวงกลมของฟังก์ชัน sin ทำให้มีค่าสูงสุดเมื่อหัวเรือหันไปทางทิศ 090° และทิศ 270° และมีค่าต่ำสุดที่เมื่อหัวเรือหันไปทางทิศ 000° และ 180° โดยมีการกลับเครื่องหมายจากที่ทิศ 270°

2B = (-0.5°) + (+2.5°)

2B = + 2.0°

B = + 1.0° (1.0° E)



รูปที่ 4 กราฟของสัมประสิทธิ์ B

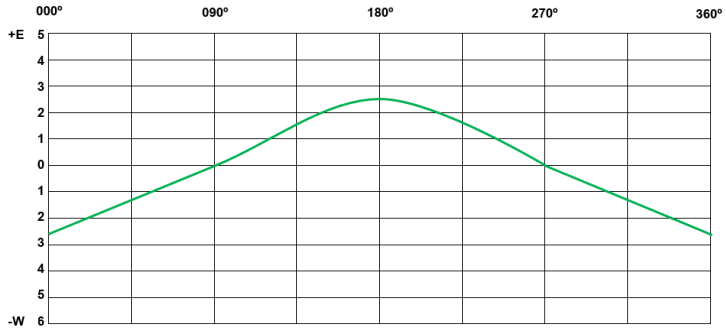
สัมประสิทธิ์ C

ในทำนองเดียวกันเนื่องจาก C เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการเบี่ยงเบนตามกราฟครึ่งวงกลมของฟังก์ชัน cos ทำให้มีค่าสูงสุดเมื่อหัวเรือหันไปทางทิศ 000° และทิศ 180° และมีค่าต่ำสุดที่เมื่อหัวเรือหันไปทางทิศ 090° และ 270° โดยมีการกลับเครื่องหมายที่ทิศ 180°

2C = (-2.5°) + (-2.5°)

2C = -5.0°

C = -2.5° (2.5° W)



รูปที่ 5 กราฟของสัมประสิทธิ์ C

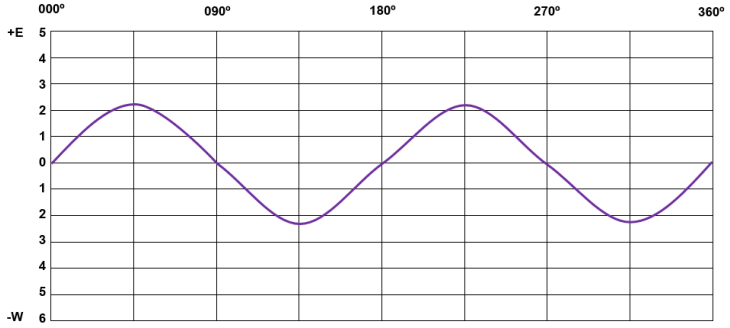
สัมประสิทธิ์ D

ด้าน D เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการเบี่ยงเบนเป็นฟังก์ชัน sin (2x) ทำให้มีค่าสูงสุดเมื่อหัวเรือหันไปทางทิศ 045° 135° 225° และทิศ 315° และมีค่าต่ำสุดที่เมื่อหัวเรือหันไปทางทิศ 000° 090° 180° และ 270° โดยมีการกลับเครื่องหมายที่ทิศ 135° และทิศ 315°

4D = (+0.5°) + (+0.5°) + (+2.5°) + (+5.5°)

4D = +9.0°

D = +2.25° (2.25° E)



รูปที่ 6 กราฟของสัมประสิทธิ์ D

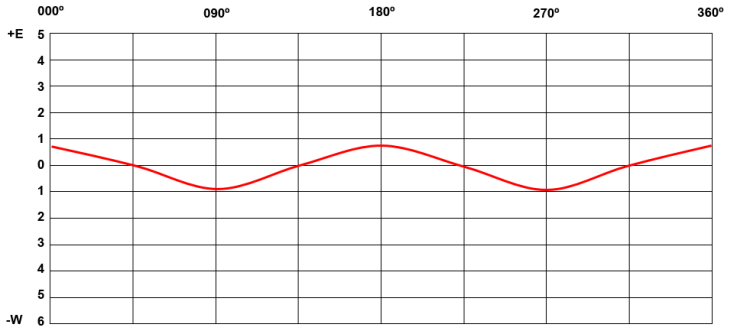
สัมประสิทธิ์ E

ด้าน E เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการเบี่ยงเบนเป็นฟังก์ชัน cos (2x) ทำให้มีค่าสูงสุดเมื่อหัวเรือหันไปทางทิศ 000° 090° 180° และ 270° และมีค่าต่ำสุดที่เมื่อหัวเรือหันไปทาง 045° 135° 225° และทิศ 315° โดยมีการกลับเครื่องหมายที่ทิศ 090° และทิศ 270°

4E = (-2.5°) + (+0.5°) + (+2.5°) + (+2.5°)

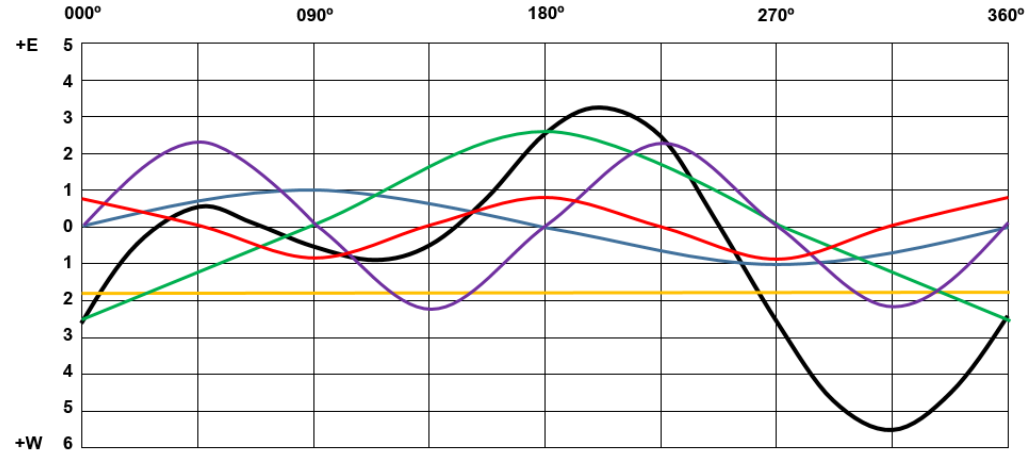
4E = +3.0°

E = + 0.75° (0.75° E)

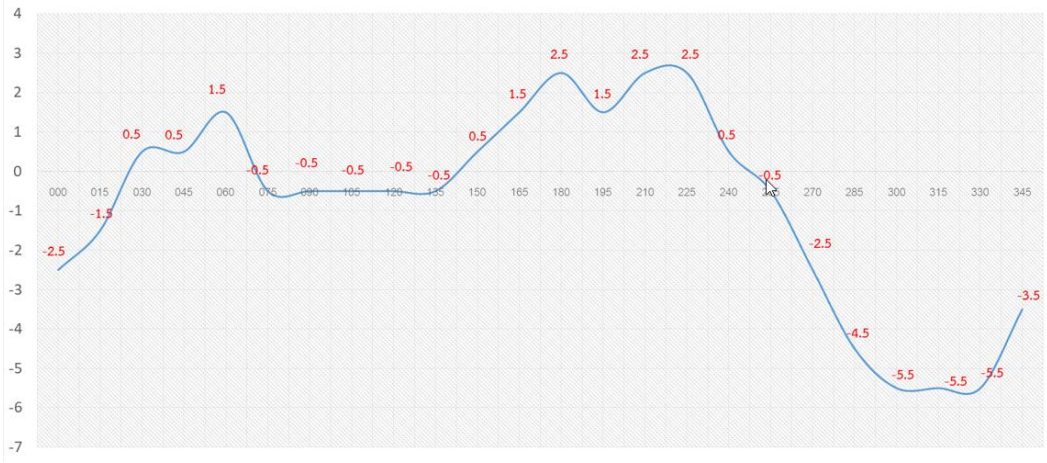


รูปที่ 7 กราฟของสัมประสิทธิ์ E

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ A B C D E ตามต้องการแล้วให้นำค่าสัมประสิทธิ์เหล่านั้น และทิศหัวเรือที่ต้องการหาค่าดิวิเอชั่นแทนค่าลงในสมการ Deviation = A + B sin ø + C cos ø + D sin 2ø + E cos 2ø [5] สามารถคำนวณหาค่าสมการดิวิเอชั่นได้ทุกมุมที่ต้องการ ในตัวอย่างจะแสดงการคำนวณหาค่าดิวิเอชั่นที่มุม 22.5°, 67.5°, 112.5°, 157.5°, 202.5°, 247.5°, 292.5°, 337.5° และสร้างกราฟ Total Curve Deviation



รูปที่ 8 Total Curve Deviation ร.ล.เจ้าพระยา ด้วยวิธีการคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์ดิวิเอชั่น (สีดำ)



รูปที่ 9 Total Curve Deviation ร.ล.เจ้าพระยา ด้วยวิธีการสอบเทียบกับเข็มทิศไยโร

4. สรุป

การหาค่าดิวิเอชั่นของเรือสามารถกระทำได้หลายวิธีตามที่กล่าวมาข้างต้น ตามความสะดวกของต้นหนที่สามารถกระทำได้ ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อจำกัดแตกต่างกันไป ส่วนใหญ่ค่าดิวิเอชั่นที่ได้เป็นผลสืบเนื่องมาจากการต่อเรือตั้งแต่แรกเริ่มตั้งแต่การวางกระดูกงูสร้างตัวเรือ เนื่องจากเหล็กที่ประกอบเป็นตัวเรือถูกสนามแม่เหล็กโลกชักนำ หลังจากการหมุนเรือเพื่อหาค่าดิวิเอชั่นจากทิศหลักและทิศรอง จำนวน 8 ทิศ สามารถนำค่าดิวิเอชั่นเหล่านี้ไปหาค่าตัวเลขสัมประสิทธิ์ดิวิเอชั่น แล้วแทนค่าตัวเลขสัมประสิทธิ์ในสูตรคำนวณ เพื่อดำเนินการหาดิวิเอชั่นของทิศหัวเรือต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ ซึ่งจะเห็นว่า Curve Deviation ของการคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์ และวิธีการสอบเทียบกับเข็มทิศไยโร เป็นไปในลักษณะใกล้เคียงกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] International Maritime Organization. SOLAS chapter V 2002. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.imo.org/en/OurWork/facilitation/documents/solas%20v%20on%20safety%20of%20navigation.pdf [สืบค้นเมื่อ: 14 กันยายน 2563].

[2] จรินทร์ บุญเหมาะ. เดินเรือ. สมุทรปราการ. หน้า 213-221, 2543.

[3] เจียม อัมระปาล. ดิวิเอชั่นและดิวิเอสะโคป. กรุงเทพมหานคร. หน้า 56-79, 2496.

[4] วรุณ งานขยัน (สัมภาษณ์, 13 สิงหาคม 2563)

[5] F.G. Merrifield. Ship Magnetism and Magnetic Compass. Welsh College of Advanced and Technology, Cardiff, pp. 52-60, 1963.

แนวทางการบริหารจัดการระบบสารสนเทศเพื่อการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของหน่วยงานรัฐ

Guidelines for Information Systems Management to Protect Personal Information of Government Agencies

ดร.อรรถพล ป้อมสถิตย์[1]
Auttapon Pomsathit[1]

Received : May 16, 2020
Revised : July 9, 2020
Accepted : July 12, 2020

บทคัดย่อ

ตามที่รัฐบาลเห็นความสำคัญของการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล จึงได้ผลักดันพระราชบัญญัติการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลจนสามารถประกาศใช้ในเดือนพฤษภาคมปี 2562 ซึ่งหน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่กำกับดูแลการให้บริการต่างๆ ผ่านระบบสารสนเทศต้องมีการกำหนดแนวทางและระเบียบในการจัดระบบการสำรวจ การจัดเก็บ การประมวล การใช้ประโยชน์ การพัฒนาระบบข้อมูลสารสนเทศ บริการสื่อสารของหน่วยงานในสังกัดและเป็นศูนย์ข้อมูลสารสนเทศเพื่อการบริหาร จึงทำให้การคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลจึงเป็นหนึ่งในหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้ข้อมูลส่วนบุคคลของทั้งบุคลากรภายในและผู้ใช้บริการถูกทำลาย ครอบคลุมไปถึงการกำหนดสิทธิของผู้ใช้ในระบบคอมพิวเตอร์และระบบอินเทอร์เน็ตซึ่งเป็นสื่อกลางในการสื่อสารต่อผู้ใช้บริการ

อีกทั้งในการบริหารจัดการระบบสารสนเทศเพื่อการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของหน่วยงานรัฐเป็นการดำเนินการทั้งในส่วนนโนบาย และการดำเนินการจัดการด้านสารสนเทศ ที่จะต้องให้ความสำคัญในการรักษาความปลอดภัยข้อมูลด้วยการเข้ารหัสข้อมูล และเพิ่มกระบวนการรักษาความปลอดภัยในการให้บริการสารสนเทศผ่านเว็บไซต์ หรือแอพลิเคชัน แต่เนื่องจากการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของผู้รับบริการเป็นภารกิจใหม่และมีมาตรฐานที่ซับซ้อนที่ไม่เคยปฏิบัติมาก่อนและมาตรการดังกล่าวส่งผลกระทบกว้างขวางต่อผู้ให้บริการและผู้รับบริการ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องประเมินสถานการณ์และแนวการดำเนินงานที่หน่วยงานของรัฐปฏิบัติอยู่แล้ว และหามาตรการที่เหมาะสมสอดคล้องตามกฎหมายใหม่ที่จะประกาศใช้กับหน่วยงานทั่วประเทศตามลำดับ

คำสำคัญ: ข้อมูลส่วนบุคคล ระบบสารสนเทศ นโยบายความเสี่ยง และองค์กร

[1]ผู้ช่วยศาสตรจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมหาวิทยาลัยรังสิต
Assistant Professor, College of Information and Communication Technology. Rangsit University
E-mail: auttapon.p@rsu.ac.th

Abstract

As the government consider importance of protecting personal information Therefore pushing the Personal Data Protection Act until it can be promulgated in May 2019, in which government agencies responsible for overseeing services through information systems, guidelines and regulations for establishing surveying systems, storing, processing and utilization must be established. Information system development communication service of the agency under and the information center for administration. Therefore, protection of personal information is one of the duties to prevent personal information of both internal personnel and service users. Covers the determination of user rights in computer systems and internet systems, which is a medium of communication to clients.

In addition, the management of information systems for the protection of personal information of government agencies is carried out both in policies and policies. And the implementation of information management ,that must give importance to data security with data encryption and increase the security process in providing information services via the website or mobile application. However, because the protection of personal information of clients is a new mission and has a complex standard that has never been implemented before, such measures have a profound effect on service providers and clients. Therefore, it is necessary to assess the situation and operational guidelines that government agencies already practice and find appropriate measures in accordance with the new law to be announced to agencies nationwide respectively.

Keyword: personal information, information system, risk policy, and organization

1. บทนำ

ตามที่สหภาพยุโรปได้ออก GDPR (General Data Protection Regulation) เป็นกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล บังคับใช้เมื่อ 25 พฤษภาคม พ.ศ.2561 ซึ่งนอกจากมีผลบังคับใช้แก่การส่งข้อมูลภายในประเทศสมาชิกสหภาพยุโรปแล้ว ผู้ประกอบการและหน่วยงานรัฐในไทยที่ต้องติดต่อรับส่งข้อมูลส่วนบุคคลของประชาชนในประเทศที่เป็นสมาชิกสหภาพยุโรป (Cross-Border Data Transfer Issues) ก็ต้องมีมาตรการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลที่เหมาะสมและเพียงพอด้วย ที่สำคัญกว่านั้นคือความน่าเชื่อถือในมาตรการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของประเทศมีผลกระทบต่อการค้าระหว่างประเทศ และการทำธุรกิจระหว่างประเทศ หากประเทศไทยไม่มีกฎหมายเกี่ยวกับการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลย่อมทำให้เสียโอกาส

และความเชื่อมั่นจากกลุ่มประเทศในสหภาพยุโรป และอาจรวมไปถึงประชาคมโลกที่กำลังตื่นตัวเรื่องการป้องกันข้อมูลส่วนบุคคล

หน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งมีหน้าที่กำกับดูแลการให้บริการประชาชนอย่างมีประสิทธิภาพและจัดเก็บข้อมูลพื้นฐานเพื่อการบริหารและพัฒนาประเทศ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องรู้ขอบเขตของการเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคล มีระบบควบคุมการเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคล มีระบบยืนยันตัวตนของผู้ขอเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคลรวมไปถึงต้องมีการกำหนดนโยบายสำหรับบุคคลภายในองค์กรที่ต้องเกี่ยวข้องกับการใช้งานข้อมูลส่วนบุคคลที่ได้รับการยินยอมจากเจ้าของข้อมูลแล้ว เนื่องจากมีข้อบังคับต่าง ๆ ที่หากละเมิดแล้ว จะมีผลให้เกิดโทษอาญาโทษทางปกครอง ซึ่งมีโทษปรับมากถึง 5 ล้านบาท อีกทั้งในอนาคตสำนักงานคณะกรรมการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลจะออกระเบียบข้อบังคับ แนวทางด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ให้กับองค์กรต่าง ๆ ที่ต้องใช้ข้อมูลส่วนบุคคล (รวมถึงองค์กรที่ไม่ได้ใช้ข้อมูลส่วนบุคคล) ดังนั้นองค์กรควรปรับตัวและพัฒนาให้มีมาตรฐานด้านการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล

ในการจัดทำนโยบายและแนวปฏิบัติในการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลโดยอ้างอิงตามพระราชบัญญัติการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ.2562 [1-3] เพื่อเป็นการสร้างความตระหนักให้หน่วยงานในองค์กรรัฐที่มีการใช้ข้อมูลส่วนบุคคลจากประชาชน จะต้องแจ้งเหตุผลและความจำเป็นในการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคลตามพระราชบัญญัตินี้ เพื่อให้การคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลมีประสิทธิภาพและเพื่อให้มีมาตรการเยียวยาเจ้าของข้อมูลส่วนบุคคลจากการถูกละเมิดสิทธิในข้อมูลส่วนบุคคลที่มีประสิทธิภาพ อีกทั้งในการขอความยินยอมจากเจ้าของข้อมูลส่วนบุคคล หน่วยงานที่ดูแลข้อมูลส่วนบุคคลต้องแจ้งวัตถุประสงค์ของการเก็บรวบรวม ใช้ หรือเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคลไปด้วย และการขอความยินยอมนั้นต้องแยกส่วนออกจากข้อความอื่นอย่างชัดเจน มีแบบหรือข้อความที่เข้าถึงได้ง่ายและเข้าใจได้ รวมทั้งใช้ภาษาที่อ่านง่าย และไม่เป็นการหลอกลวงหรือทำให้เจ้าของข้อมูลส่วนบุคคลเข้าใจผิดในวัตถุประสงค์ ซึ่งแนวทางในการดำเนินการทั้งหมดควรมีการบังคับใช้กับหน่วยงานเพื่อให้ประชาชนผู้ใช้บริการได้รับประโยชน์สูงสุดในการใช้บริการด้านสารสนเทศ

ในการให้ความคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลในปัจจุบันจะปรากฏการให้ความคุ้มครองในสองลักษณะใหญ่ กล่าวคือ การให้ความคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลซึ่งเป็นหลักทั่วไป ซึ่งเป็นการกำหนดหลักการการให้ความคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลเป็นการทั่วไปที่สามารถนำมาปรับใช้ได้กับทุก ๆ กรณีที่เกี่ยวข้องกับการให้ความคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล และการให้ความคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลเฉพาะเรื่องหรือเฉพาะกรณี โดยจะเจาะจงเฉพาะกรณีของข้อมูลส่วนบุคคลที่ได้รับความคุ้มครอง เช่น การให้ความคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลอันเนื่องมาจากการใช้บริการด้านการสื่อสารและโทรคมนาคม หรือการให้ความคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ทำธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

การให้ความคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลในประเทศไทยนั้น [4] รัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พุทธศักราช 2550 มาตรา 35 วรรค 3 ซึ่งกำหนดให้ความคุ้มครองไว้ว่า “บุคคลย่อมมีสิทธิได้รับความคุ้มครองจากการแสวงหาประโยชน์โดยมิชอบจากข้อมูลส่วนบุคคลที่เกี่ยวกับตน อีกทั้งยังมีพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พุทธศักราช 2562 ที่ได้มีการบัญญัติให้ความคุ้มครองสิทธิข้อมูลส่วนบุคคลไว้ทั่วไป

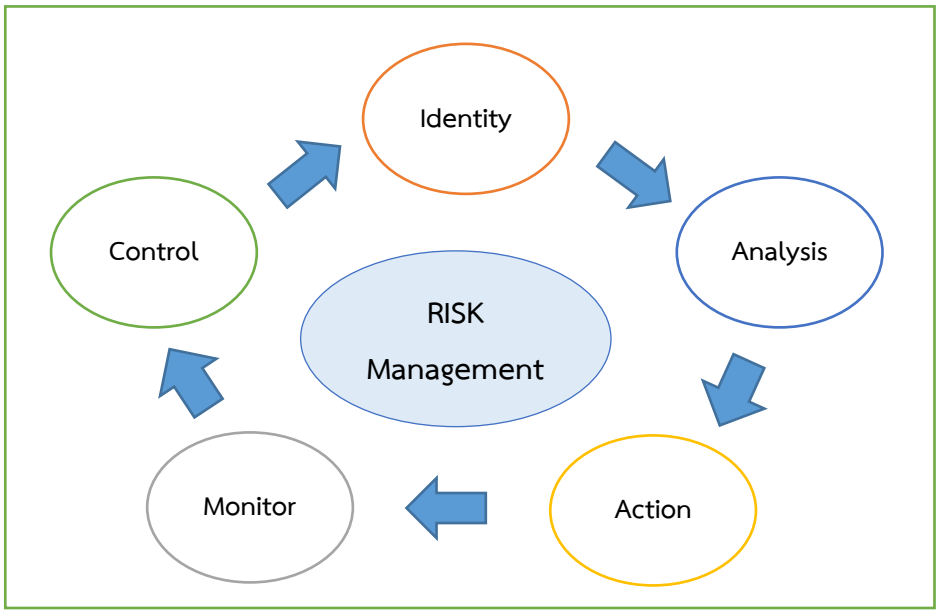
2. ข้อควรคำนึงในการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลต่อหน่วยงานให้บริการ

ข้อมูลส่วนบุคคลที่นำมาจัดเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูลนั้นอาจมีระดับของความสำคัญแตกต่างกันไป กลุ่มข้อมูลบางกลุ่มอาจเป็นความลับสุดยอดห้ามเผยแพร่เด็ดขาด แต่ข้อมูลบางกลุ่มก็เป็นความรู้ทั่วไปสามารถเปิดเผยได้ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคนิคที่นำมาใช้ในการให้ความความปลอดภัยแก่ข้อมูลในระบบฐานข้อมูลที่มีผู้ใช้หลาย ๆ คน ระบบจัดการฐานข้อมูลต้องทำหน้าที่ดูแลว่ากลุ่มผู้ใช้กลุ่มใดได้รับอนุญาตให้เข้าใช้ข้อมูลส่วนใดได้บ้าง

จากรูปที่ 1 การรักษาความปลอดภัยฐานข้อมูลไม่ใช่เพียงแค่การติดตั้งระบบรักษาความปลอดภัยเท่านั้น แต่จะรวมถึงการวิเคราะห์และบริหารความเสี่ยงที่ประกอบด้วยภัย คุกคาม (Threat) ทั้งจากคนภายในองค์กรและคนภายนอกองค์กร และช่องโหว่หรือ จุดอ่อน (Vulnerability) การกำหนด การบังคับใช้นโยบาย (Policy) และการเฝ้าระวัง เหตุการณ์อยู่ตลอดเวลา (Monitoring) นั่นคือต้องมีมาตรการหรือการควบคุมความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย นโยบาย วิธีปฏิบัติ และกระบวนการขององค์กรในการรักษาข้อมูลให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

2.1 นโยบาย

นโยบายของหน่วยงานมีผลสำคัญยิ่งต่อการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล นโยบายขององค์กรจะต้องมุ่งเน้นที่วัตถุประสงค์และการทำงานที่ดี องค์กรจำเป็นต้องมีการกำหนดนโยบายด้านความปลอดภัยให้ชัดเจน โดยมีกฎระเบียบ ข้อบังคับ และหน้าที่ความรับผิดชอบ [5] และวิธีปฏิบัติให้บุคลากรใช้เป็นหลักในการทำงาน รวมทั้งการติดตาม ตรวจสอบการปฏิบัติตามกฎระเบียบที่วางไว้อย่างเคร่งครัดและสม่ำเสมอ เช่น กำหนดให้แน่นอนว่าระบบรักษาความปลอดภัยใครเป็นผู้ปฏิบัติ ใช้กับส่วนใดบ้าง ในระบบมีวิธีการปฏิบัติอย่างไร ใครสามารถเข้าถึงข้อมูลส่วนใดได้บ้าง ใครมีสิทธิที่จะเปลี่ยนแปลงแก้ไขข้อมูลนั้น



รูปที่ 1 นโยบายการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล

2.2 สถานภาพของระบบการรักษาความปลอดภัย

จะต้องมีการตรวจสอบสถานภาพของระบบการรักษาความปลอดภัยในปัจจุบันอยู่ในระดับใด และต้องการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง ความต้องการในการใช้ข้อมูลที่ปลอดภัยและคำแนะนำจากส่วนต่าง ๆ ที่ใช้งานภายในระบบการแจกงานไปสู่เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบ มีตารางเวลาที่กำหนดว่าส่วนใดของระบบจะต้องปรับปรุงอะไรบ้าง ณ เวลาใด มีการจัดทำแผนฉุกเฉินเพื่อให้องค์กรสามารถดำเนินการต่อไปได้เมื่อมีวิกฤตการณ์เกิดขึ้น บุคลากรที่เกี่ยวข้องควรจะคุ้นเคยกับแผนเหล่านี้และมีการทดสอบให้มั่นใจว่าสามารถใช้งานได้

2.3 การจัดการความเสี่ยงของความเป็นส่วนตัวและความเสี่ยงขององค์กร

การกระทำใด ๆ ต่อข้อมูลส่วนบุคคลที่มีปัญหาจะต้องสามารถประเมินผลกระทบที่ควรจะเกิดขึ้น ซึ่งการประเมินผลกระทบที่เป็นความเสี่ยงของข้อมูลความเป็นส่วนตัวและความเสี่ยงขององค์กรร่วมกัน โดยบุคคลไม่ว่าจะเป็นคนเดียวหรือกลุ่มจะได้รับผลกระทบโดยตรงจากปัญหาอันเป็นผลมาจากปัญหาด้านความปลอดภัยข้อมูลส่วนบุคคลจากประสบการณ์ในแต่ละบุคคล โดยหน่วยงานอาจจะประสบกับผลกระทบต่าง ๆ เช่น ค่าใช้จ่ายที่ไม่ปฏิบัติตาม การยกเลิกการให้บริการ สิ่งที่อันตรายจากภายนอกของหน่วยงาน หรือวัฒนธรรมภายในซึ่งผลกระทบขององค์กร สิ่งเหล่านี้สามารถเป็นตัวขับเคลื่อนสำหรับการตัดสินใจเพิ่มงบประมาณในการจัดสรรทรัพยากรเพื่อเสริมสร้างความแข็งแกร่งทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการรักษาความเป็นส่วนตัวและเพื่อช่วยให้องค์กรนำความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัวเข้ามามีส่วนร่วมกับความเสี่ยงอื่น ๆ ที่กำลังจัดการในระดับภาพรวมขององค์กร จากรูปที่ 2 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัวและความเสี่ยงขององค์กร



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงด้านเป็นส่วนตัวและความเสี่ยงขององค์กร

การจัดการความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัวเป็นกลุ่มของกระบวนการระหว่างองค์กรที่ช่วยให้เข้าใจว่าระบบสารสนเทศและบริการ อาจจะสร้างปัญหาให้กับบุคคลและวิธีการพัฒนาระบบสารสนเทศในการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพเพื่อจัดการกับความเสี่ยงดังกล่าว โดยการประเมินความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัวเป็นกระบวนการย่อย ๆ สำหรับการระบุ การประเมิน การจัดลำดับความสำคัญ และตอบสนองต่อความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัวที่เฉพาะเจาะจง [6-7] ซึ่งการประเมินความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัวจะเป็นกระบวนการย่อย โดยทั่วไปการประเมินความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัวควรจัดทำข้อมูลที่สามารถช่วยให้หน่วยงานสามารถชั่งน้ำหนักประโยชน์ของการประมวลผลของข้อมูลกับความเสี่ยง และเพื่อกำหนดการตอบสนองต่อปัญหาที่เหมาะสม สำหรับการระบุปัญหา การประเมินผล การจัดลำดับความสำคัญ และการตอบสนองต่อความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัว โดยหน่วยงานอาจเลือกที่จะตอบสนองต่อความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัวในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับผลกระทบต่อองค์กรประกอบด้วยวิธี

- การลดความเสี่ยง (เช่น องค์กรอาจจะสามารถใช้มาตรการทางเทคนิคและ/หรือนโยบายเกี่ยวกับ ระบบหรือบริการที่ลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้)
- การโอนถ่ายหรือแบ่งปันความเสี่ยง (เช่น สัญญาเป็นวิธีการแบ่งปันหรือโอนถ่ายความเสี่ยงให้องค์กรอื่น ๆ การประกาศความเป็นส่วนตัว และกลไกการยินยอมจากผู้ใช้บริการเป็นวิธีการแบ่งปันความเสี่ยงด้วยตัวบุคคล)
- การหลีกเลี่ยงความเสี่ยง (เช่น หน่วยงานอาจกำหนดว่าความเสี่ยงนั้นมีมากกว่าผลประโยชน์และการสละสิทธิ์หรือยกเลิกการประมวลผลข้อมูล) หรือ
- การยอมรับความเสี่ยง (เช่น องค์กรอาจจะพิจารณาว่าปัญหาของแต่ละบุคคลมีน้อยหรือไม่ที่น่าจะเกิดขึ้น ดังนั้นถ้าผลประโยชน์มีมากกว่าความเสี่ยงและไม่จำเป็นต้องลงทุนทรัพยากรเพื่อลดผลกระทบ)

3. การควบคุมความปลอดภัยข้อมูล

ปัจจุบันภัยคุกคามฐานข้อมูลมาจากหลายทางและยังส่งผลต่อระบบคอมพิวเตอร์ร้ายแรงขึ้น การควบคุมความปลอดภัยจึงถูกนำมาพิจารณาตั้งแต่ช่วงแรกของการพัฒนาระบบ เช่น การควบคุมการเข้าถึง (Access Control) การยืนยันตัวบุคคล (Authentication) และการให้อำนาจหน้าที่ (Authorization) เพื่อระบุตัวบุคคลที่ติดต่อหรือทำธุรกรรมร่วมด้วย การตรวจสอบ (Auditing) การสร้างข้อมูลให้เป็นความลับหรือการเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) การควบคุมความถูกต้องสมบูรณ์ (Integrity Controls) การสำรองข้อมูล (Backups) และ ความปลอดภัยแอพลิเคชัน (Application Security) เป็นต้น

3.1 การควบคุมการเข้าถึง (Access Control) ข้อมูล

สิ่งสำคัญในการสร้างระบบรักษาความปลอดภัยในระบบฐานข้อมูล คือการควบคุมการเข้าถึงข้อมูล เป็นการกำหนดสิทธิในการเข้าถึงฐานข้อมูล การกำหนดการใช้ข้อมูลโดยกำหนดสิทธิหรือการยืนยันตัวบุคคล ในการเข้าถึงฐานข้อมูลเฉพาะผู้ที่เกี่ยวข้อง หรือ ทำการเข้ารหัสฐานข้อมูลโดยใช้อัลกอริธึมที่มีความปลอดภัยสูง กำหนดว่าใครบ้างที่สามารถเข้าไปใช้ได้ ผู้ที่จะเข้ามาใช้ระบบฐานข้อมูลได้จะต้องได้รับการอนุญาตก่อน และเมื่อเข้าระบบได้แล้วผู้ใช้งานนั้นจะสามารถทำอะไรกับข้อมูลได้บ้างก็จะขึ้นอยู่กับการให้สิทธิ (Authorization) ของผู้บริหารฐานข้อมูล

3.2 การยืนยันตัวบุคคล [8] และการให้อำนาจหน้าที่เป็นระบบรักษาความปลอดภัยขั้นแรกที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน เช่น

3.2.1 การกำหนดรหัสผ่านและรหัสการเข้าใช้ (User Name and Password) การเข้ารหัสข้อมูลเป็นพื้นฐานสำคัญในการรักษาความปลอดภัยฐานข้อมูล ผู้ใช้จะมีรหัสเฉพาะของตนควรกำหนดรหัสที่ยากต่อการถอดรหัส หลักการพื้นฐานควรกำหนดรหัสให้มีความยาวไม่น้อยกว่า 8 ตัวอักษร และควรให้มีการผสมระหว่างตัวอักขระพิเศษและตัวเลข ไม่ควรนำเอาคำศัพท์ในพจนานุกรมหรือใช้ชื่อ วัน เดือน ปีเกิด หมายเลขโทรศัพท์เพราะรหัสเหล่านี้ง่ายต่อการถอดรหัสหรือทำการเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้อัลกอริธึมที่มีความปลอดภัยสูงและควรเปลี่ยนรหัสเมื่อใช้ไปได้ระยะเวลาหนึ่งรหัสผ่าน

3.2.2 การใช้บัตรสมาร์ทการ์ด (Smart Card) ผู้ใช้จะต้องมีบัตรสำหรับเข้าระบบคอมพิวเตอร์ บัตรนี้จะคล้ายกับบัตร ATM (Automatic Teller Machine) และต้องป้อนรหัสส่วนตัว (Personnel Identification Number หรือ PIN) หรือการใช้บัตรกุญแจ (Key Card) หรือบัตรผ่านทาง (Badge) ซึ่งเป็นวัตถุครอบครอง (Possessed Object) เพื่อผ่านทางเข้าไปใช้ระบบหรือข้อมูลที่เก็บในคอมพิวเตอร์เป็นรูปแบบที่นิยมกันมากในปัจจุบัน

3.2.3 การใช้การตรวจสอบจากร่างกายมนุษย์ (Biometric) เช่น ม่านตา หรือเรตินา (Retina) เสียง หรือ ลายนิ้วมือ ตรวจสอบผู้มีสิทธิก่อนเข้าสู่ระบบ การตรวจสอบในลักษณะนี้จะต้องนำลักษณะของผู้ที่ต้องการเข้าไปใช้ฐานข้อมูลไปเปรียบเทียบกับลักษณะข้อมูลของผู้ใช้ที่มีอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ถ้าตรงกันจึงจะมีสิทธิเข้าไปใช้ข้อมูลได้

3.3 การตรวจสอบ (Auditing)

เป็นการตรวจสอบผู้ที่เข้ามาติดต่อกับระบบ โดยใช้ซอฟต์แวร์ในการตรวจสอบ โดยบันทึกข้อมูลของการเข้ามาใช้งานทุกครั้งไว้ใน Log Files โปรแกรมจะทำการบันทึกทั้งวันที่ เวลา บุคคลที่เข้ามาใช้งาน สามารถทำการตรวจสอบข้อมูลย้อยหลังได้ ปัจจุบันมีซอฟท์แวร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือรักษาความปลอดภัยในระบบที่กำลังเริ่มใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ ระบบไฟร์วอลล์ (Firewall) ซึ่งเป็นซอฟท์แวร์ทำหน้าที่เสมือนกับกำแพงกันไฟไม่ให้ลุกลามขยายตัวหากมีไฟไหม้เกิดขึ้น

การติดตามตรวจสอบและสรุปการใช้งานฐานข้อมูลอยู่เสมอ อย่างน้อยเดือนละครั้ง โดยเน้นส่วนข้อมูลสำคัญ เช่น ผู้ใช้เป็นใคร หมายเลข IP เข้าบ่อยแค่ไหน และทำอะไรไปบ้าง ทำสำเร็จหรือไม่ เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมที่อาจจะผิดปกติไปจากเดิม ไม่ว่าระบบเครือข่ายจะมีฮาร์ดแวร์หรือซอฟท์แวร์ที่ดีเพียงใดในการปกป้องระบบเครือข่าย สิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งก็คือผู้ใช้งานในระบบจะต้องคอยช่วยสอดส่องดูแลและป้องกันไม่ให้ตนเองเป็นช่องทางผ่านของแครกเกอร์ ทั้งนี้ไม่มีระบบเครือข่ายใดที่ปลอดภัยร้อยเปอร์เซ็นต์จากแครกเกอร์

3.4 การสร้างข้อมูลให้เป็นความลับ (Encryption)

การเข้ารหัสข้อมูลโดยพื้นฐานแล้วจะเกี่ยวข้องกับวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการป้องกันข้อมูลหรือข้อความตั้งต้นที่ต้องการส่งไปถึงผู้รับ ข้อมูลตั้งต้นจะถูกแปรเปลี่ยนไปสู่ข้อมูลหรือข้อความอีกรูปแบบหนึ่งที่ไม่สามารถอ่านเข้าใจได้โดยใครก็ตามที่ไม่มี Key สำหรับเปิดดูข้อมูลนั้น เรียกกระบวนการในการแปรรูปของข้อมูลตั้งต้นว่า "การเข้ารหัสข้อมูล" (Encryption) และกระบวนการในการแปลงข้อความที่ไม่สามารถอ่าน และทำความเข้าใจให้กลับไปสู่ข้อความดั้งเดิมว่าการถอดรหัสข้อมูล (Decryption) โดยมีอัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้างรหัสลับต่าง ๆ ดังรูปที่ 3

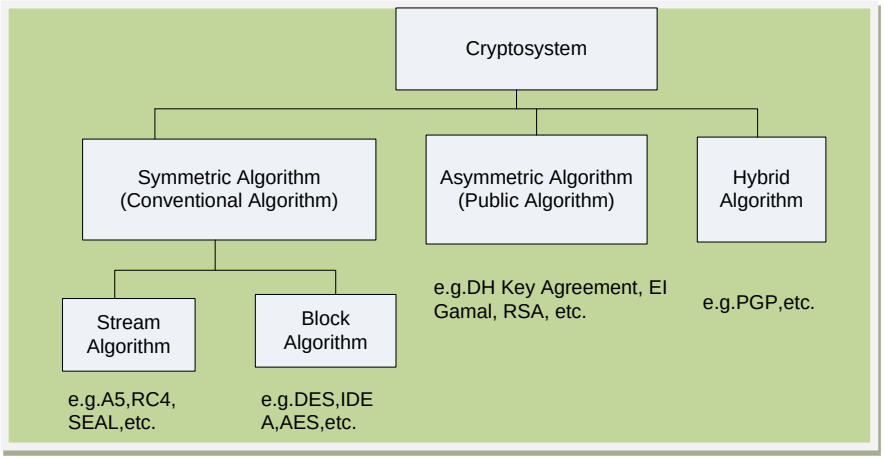
ข้อกำหนดทั่วไปของระบบการเข้ารหัส

ระบบการเข้ารหัสลับใด ๆ จะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดทั่วไปของระบบการเข้ารหัสลับ 3 ข้อ เพื่อที่จะเป็นที่ยอมรับในการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติ ข้อกำหนดเหล่านั้นคือ

1. อัลกอริทึมที่ใช้ในการเข้าและถอดรหัสลับต้องมีประสิทธิภาพในทุก ๆ รูปแบบของ Key ที่เป็นไปได้ เช่น ถ้า Key ที่ใช้ในการเข้าและถอดรหัสลับมีขนาด 8 บิต จำนวนรูปแบบของ Key ที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะเท่ากับ 28 หรือ 256 รูปแบบ ในการใช้งานอัลกอริทึมในระบบการเข้ารหัสลับไม่ว่าจะใช้ Key รูปแบบใด ระดับความปลอดภัยของข้อความรหัสที่ได้จากการใช้ Key รูปแบบนั้นต้องคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับระดับความปลอดภัยของข้อความรหัสที่ได้จากการใช้ Key รูปแบบอื่น ๆ

2. ระบบต้องมีความง่ายต่อการนำไปใช้งาน ข้อกำหนดนี้บ่งชี้ถึงความสามัญ (Simple) ในการคำนวณหา Key โดยวิธีการแปลงแบบผกผันได้ (Invertible Transformation) ซึ่งจะมีประโยชน์เมื่อนำมาใช้ในกระบวนการถอดรหัสลับ นอกจากนี้ความหมายของข้อกำหนดนี้ยังครอบคลุมไปถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเข้าและถอดรหัสลับ กล่าวคือ อัลกอริทึมที่ใช้ในการเข้าและถอดรหัสลับ ไม่ควรมีความซับซ้อนและใช้เวลาในการประมวลผลมากเกินไป เนื่องจากในทางปฏิบัติผู้ใช้งานมักทำการเข้าและถอดรหัสลับข้อมูลในเวลาที่ทำการส่งหรือรับข้อมูลนั้น ๆ ส่งผลให้ระบบที่มีความซับซ้อนสูงจะทำให้มีการติดต่อสื่อสารแบบเวลาจริง (Real-Time Communication) ไม่ได้

3. ความปลอดภัยของระบบควรขึ้นอยู่กับการเป็นความลับของ Key เท่านั้น ไม่ขึ้นกับการเป็นความลับของอัลกอริทึมที่ใช้ในการเข้าและถอดรหัสลับ ข้อกำหนดนี้บ่งชี้ว่าระบบการเข้ารหัสลับที่ดีไม่ควรเกิดจุดอ่อนเพียงเพราะว่าผู้โจมตีรู้และเข้าใจถึงวิธีการหรืออัลกอริทึมที่ใช้ในการเข้าและถอดรหัสลับ



รูปที่ 3 ประเภทอัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้างรหัสลับ

3.5 การทำสำเนาข้อมูล (Data Copy Setting)

กรณีที่ข้อมูลอยู่ในแผ่นบันทึกอาจทำสำเนาข้อมูลทั้งแผ่นโดยใช้คำสั่ง Copy แต่ถ้าข้อมูลอยู่ในจานแม่เหล็กชนิดแข็งหรือกรณีที่มีข้อมูลเป็นจำนวนมากจะทำสำเนาโดยการใช้คำสั่ง Backup ลงบนแผ่นบันทึกหรือในเทปแม่เหล็ก ทั้งนี้ในการใช้งานจริงในการรักษาความปลอดภัยของฐานข้อมูลมักจะเป็นการนำเทคนิคต่าง ๆ หลายเทคนิคมาประยุกต์ใช้งานร่วมกันเพื่อให้ระบบความปลอดภัยนั้นมั่นคงและเชื่อถือได้

3.6 การควบคุมความถูกต้องหรือความคงสภาพของข้อมูล (Integrity Controls)

หมายถึง การที่ระบบจัดการฐานข้อมูลจะจัดการกับข้อมูล (เมื่อมีการใช้คำสั่งเพิ่ม ลบ หรือแก้ไขข้อมูล) เพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลในฐานข้อมูลมีความถูกต้องน่าเชื่อถือตามกฎ/เงื่อนไขและข้อตกลง (Integrity Rules) ที่ได้กำหนดไว้ตั้งแต่ต้น กฎดังกล่าวเป็นกฎระเบียบที่กำหนดขึ้นในขั้นตอนการออกแบบฐานข้อมูลเพื่อรักษาให้ข้อมูลในฐานข้อมูลมีความถูกต้อง ส่วนการควบคุมความถูกต้องของข้อมูลจะเป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเมื่อนำฐานข้อมูลไปใช้งานแล้ว

3.7 การสำรองข้อมูล (Backups)

เป็นการคัดลอกแฟ้มข้อมูลเพื่อทำสำเนาและหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น ถ้าข้อมูลเกิดการเสียหายหรือสูญหาย โดยสามารถนำข้อมูลที่สำรองไว้มาใช้งานได้ทันที การสำรองข้อมูลทำได้หลายวิธี เช่น

3.7.1 ใช้โปรแกรม System Restore ซึ่งเป็นโปรแกรมหนึ่งในการสำรองและเรียกข้อมูลกลับคืน

3.7.2 สำรองข้อมูลด้วยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ เช่น ฮาร์ดดิสก์แบบติดตั้งภายนอกผ่านพอร์ต USB เทปแบ็กอัพ ซิปไดรฟ์ (Zip Drive) และ เครื่องบันทึก DVD/CD เป็นต้น

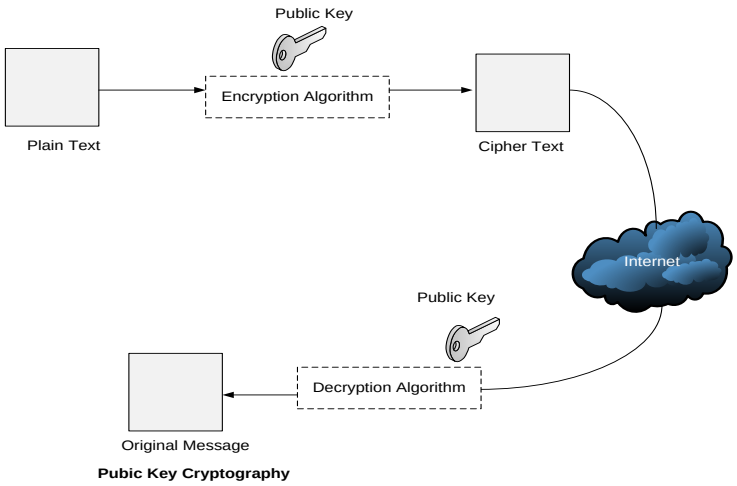
3.7.3 ใช้โปรแกรมสำรองข้อมูล (Backup Program) เช่น โปรแกรม Symantec NetBackup, Norton Ghost, Microsoft DPM เป็นต้น

3.7.4 การสำรองข้อมูลบนระบบเครือข่ายแบบคลาวด์ (Cloud) เช่น Apple iCloud, Google Drive, One Drive, Dropbox เป็นต้น

ทั้งนี้ระบบที่มีผู้ใช้เป็นจำนวนมากจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการควบคุมการเรียกใช้ข้อมูลเพื่อป้องกันผู้ที่ไม่มีอำนาจในการเรียกใช้ข้อมูลนำข้อมูลจากฐานข้อมูลมาใช้ อันอาจจะเกิดผลเสียกับระบบฐานข้อมูลได้ ระบบบริหารจัดการข้อมูลจะกำหนดสิทธิในการเข้าถึงข้อมูลและมอบอำนาจการเข้าถึงข้อมูลตลอดจนเรียกคืนอำนาจจากผู้ใช้ในระบบได้ด้วยการใช้คำสั่งภาษา SQL การยืนยันตัวบุคคลเป็นระบบรักษาความปลอดภัยขั้นแรกที่นิยมใช้กันมากที่สุด ในปัจจุบันเพื่อให้มั่นใจได้ว่าผู้ที่จะเข้าระบบได้นั้นจะต้องเป็นผู้ที่มีสิทธิจริง ๆ ผู้ใช้งานแต่ละคนจะต้องป้อนรหัสผ่านจึงจะมีสิทธิเข้าถึงข้อมูลได้ การยืนยันตัวบุคคลโดยคำสั่ง SQL เป็นการกำหนดรหัสผ่านให้แก่ผู้ใช้แต่ละคนในการจัดการข้อมูลในตารางหรือวิว

3.8 การรักษาความปลอดภัยในการให้บริการผ่านเว็บไซต์

การสื่อสารอย่างปลอดภัยในการให้บริการผ่านเว็บไซต์โดยโพรโทคอล HTTPs คือการทำงานระหว่างไคลแอนต์และเซิร์ฟเวอร์ โดยการอนุญาตให้มีกระบวนการพิสูจน์ตัวตนร่วมกับการใช้งานลายเซ็นดิจิทัลสำหรับการรักษาความถูกต้องของข้อมูลและการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อป้องกันความเป็นส่วนตัวระหว่างการสื่อสารข้อมูลโพรโทคอล SSLหรือ TLS ที่อนุญาตให้สามารถเลือกวิธีการในการเข้ารหัส วิธีสร้างไดเจสต์ และลายเซ็นดิจิทัล ได้อย่างอิสระก่อนการสื่อสารจะเริ่มต้นขึ้น โดยจากรูปที่ 4 โพรโทคอล HTTPs มีการเข้ารหัสข้อมูลแบบ Asymmetric Encryption ที่จะแบ่ง Key ออกเป็นชุดละ 2 ดอกคือ Public Key สำหรับ Encrypt ที่จะแจกให้ผู้ร้องขอ และ Private Key สำหรับการ Decrypt ข้อมูลกลับมาเป็นเหมือนเดิม ซึ่งเจ้าของไม่สามารถให้ผู้อื่น ในการเริ่มการเชื่อมต่อก็จะมีการแลกกุญแจเพื่อสร้างกุญแจดอกเดียวที่ใช้แค่ใน Session นั้น ๆ เพื่อให้มั่นใจว่าเว็บไซต์ที่เข้าเป็นของจริง ต่อจากนั้นจะมีการตรวจสอบ Certificate โดยจะอ่านไปตาม CA เพื่อยืนยันว่า Certificate นี้มีตัวตนอยู่จริง และไม่ถูกยกเลิกนั่นเอง จากทั้งหมดนี้จุดประสงค์มีเพียง 2 อย่างเท่านั้นคือ การทำให้ข้อมูลที่ส่งไปจะมีแค่ผู้รับเท่านั้นที่อ่านได้ และ มั่นใจได้ว่าผู้ที่ติดต่อด้วยคือตัวจริงไม่ใช่ตัวปลอม



รูปที่ 4 แสดงการรักษาความปลอดภัยของ HTTPs

Digital Certification คือใบรับรองว่าเว็บที่สื่อสารอยู่ด้วยนั้นคือเว็บที่ต้องการจะสื่อสาร ไม่ใช่การปลอมตัวมา ซึ่งกระบวนการออก Certificate นี้ ก็ต้องการความน่าเชื่อถือได้ นั่นคือ Certificate Authority (CA) โดยใน Certificate จะมี Digital Signature ของ CA รับรองอยู่ ซึ่ง Certificate Authority (CA) ก็คือองค์กรที่ทำหน้าที่ออก Certificate ซึ่งการจะออก Certificate ได้จะต้องตรวจสอบก่อนว่าผู้ที่ขอเป็นใครเชื่อถือได้จริงหรือไม่ เพราะถ้าข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง CA นั้นก็จะสูญเสียความน่าเชื่อถือไป

ขั้นตอนการขอใบรับรอง

1. ผู้ให้บริการ สร้าง Certificate Signing Request (CSR) และส่ง Public Key ของตัวเองไปให้ CA CA ตรวจสอบและยืนยันความถูกต้อง
2. CA ออกใบรับรองให้ โดยเนื้อหาประกอบด้วย ข้อมูลของผู้ให้บริการ, Public Key ที่ส่งมา, และรับรองด้วย Digital Signature ของ CA
3. ผู้ให้บริการเอาใบรับรองนั้นไปใช้แสดงตัวเวลามีคนสื่อสารด้วย

4. สรุปการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของหน่วยงานรัฐ

การคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของหน่วยงาน ซึ่งเข้าไปมีบทบาทมากบ้างน้อยบ้างตามแต่ศักยภาพของหน่วยงาน ด้านการบริหารงาน และการจัดกิจกรรมร่วมกับหน่วยงานภายนอกหรือหน่วยงานภายใน และข้อมูลได้แสดงให้เห็นถึงปัญหาหลักคือเนื่องจากเป็นเรื่องที่ใหม่สำหรับการป้องกันข้อมูลส่วนบุคคล ซึ่งจากการเข้าสัมภาษณ์บุคลากรส่วนภูมิภาคที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานด้านสารสนเทศนั้น [9] สิ่งสำคัญคือการสร้างความตระหนัก และรับรู้ว่าข้อมูลส่วนบุคคลใดที่หน่วยงานของรัฐได้จัดเก็บมาจากหลากหลายช่องทาง อาทิ ข้อมูลบัตรประชาชน ผู้ที่ดูแลและจัดเก็บข้อมูลจะต้องให้ความสำคัญในรักษาความลับของข้อมูล และต้องพร้อมที่จะเรียกข้อมูลนั้น ๆ เพื่อทำลายหรือเปลี่ยนแปลงตามที่เจ้าของข้อมูลต้องการ

4.1 ความสำคัญของการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของหน่วยงานรัฐ

การให้ความคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลในประเทศไทยนั้น รัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พุทธศักราช 2550 มาตรา 35 วรรค 3 ซึ่งกำหนดให้ความคุ้มครองไว้ว่า “บุคคลย่อมมีสิทธิได้รับความคุ้มครองจากการแสวงหาประโยชน์โดยมิชอบจากข้อมูลส่วนบุคคลที่เกี่ยวกับตน อีกทั้งยังมีพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พุทธศักราช 2562 ที่ได้มีการบัญญัติให้ความคุ้มครองสิทธิข้อมูลส่วนบุคคลไว้ทั่วไป

ทั้งนี้ในการให้บริการประชาชนอย่างมีประสิทธิภาพและจัดเก็บข้อมูลพื้นฐานเพื่อการบริหารและพัฒนาประเทศและยังเป็นหน้าที่และความรับผิดชอบของหน่วยงานคือการกำหนดแนวทางและระเบียบในการจัดระบบ การสำรวจ การจัดเก็บ การประมวล การใช้ประโยชน์ การพัฒนาระบบข้อมูลสารสนเทศบริการสื่อสารของหน่วยงานในสังกัด จึงทำให้การเก็บรวบรวม การใช้และการเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคลสามารถทำได้โดยง่าย สะดวก และรวดเร็ว อันจะลดโอกาสซึ่งความเดือดร้อน รำคาญ หรือความเสียหายในกรณีที่มีการนำไปแสวงหาประโยชน์หรือเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคลโดยไม่ได้รับความยินยอมหรือแจ้งล่วงหน้า หรืออย่างน้อยการให้บริการประชาชนในรูปแบบต่างๆ ผ่านเว็บไซต์ ควรมีการทำ Digital Certification

เพื่อรับรองตัวตน และมีตราประทับยืนยันความถูกต้อง จากองค์กรที่สังคมเชื่อถือ และมีการใช้ HTTPs เพื่อความปลอดภัยในการสื่อสารข้อมูล

4.2 ข้อเสนอแนะ

หน่วยงานรัฐที่มีการจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ใช้บริการ ไม่ว่าจะเป็นทางเว็บไซต์ App สื่อ Social Media หรือ สื่อดิจิทัลอื่น ๆ ควรเตรียมตัวและจัดทำดังนี้

4.2.1 ในกรณีที่มีการให้แจ้งการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงคหรือนโยบายการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลให้เจ้าของข้อมูล ทราบและขอความยินยอมก่อนทุกครั้งตามวิธีการและภายในกำหนดเวลาที่ประกาศ เช่น การแจ้งล่วงหน้าให้เจ้าของข้อมูลทราบก่อน 15 วัน โดยการส่งทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ หรือประกาศไว้ในหน้าแรกของ เว็บไซต์เว้นแต่กฎหมายจะกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น

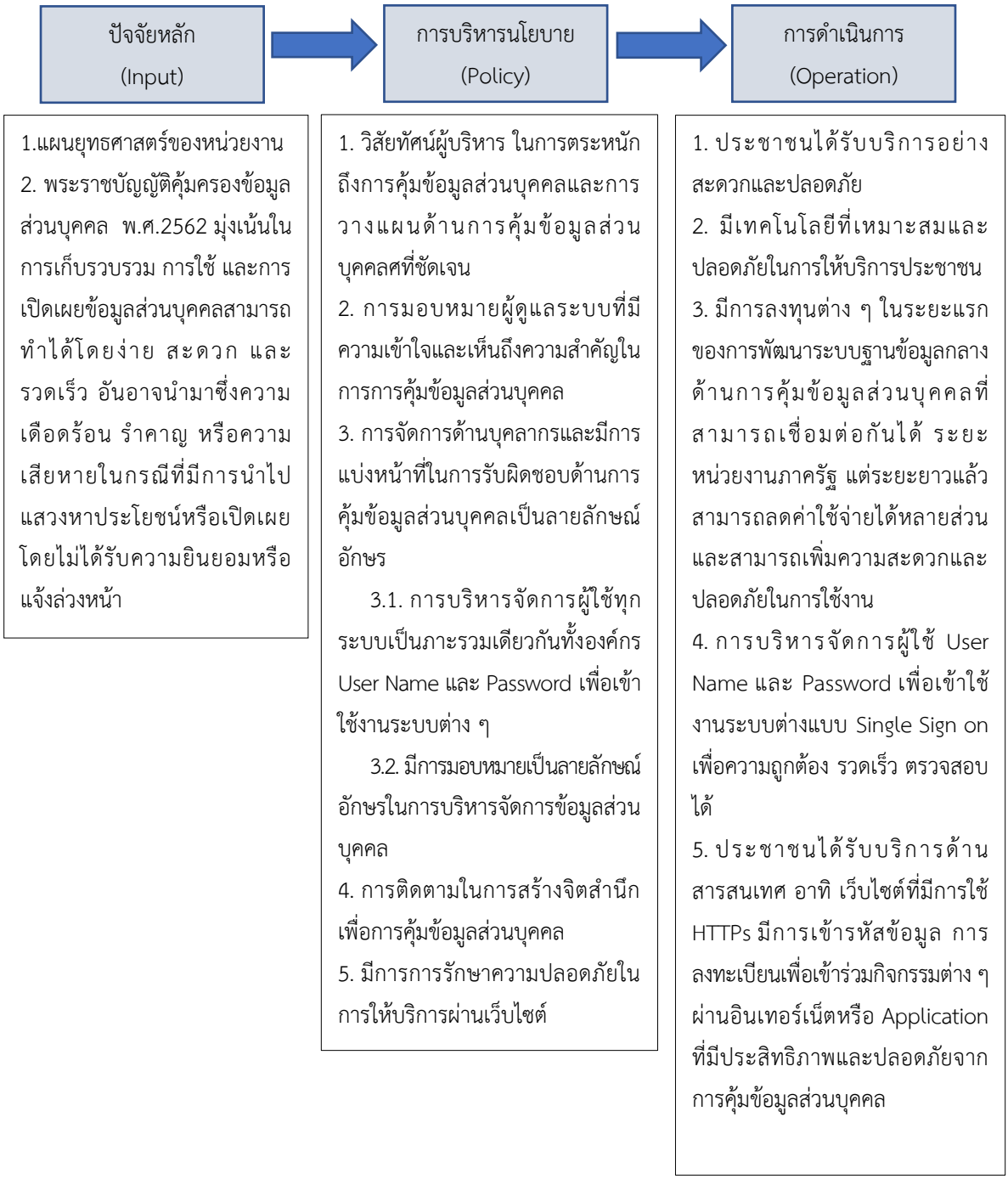
4.2.2 ให้หน่วยงานของรัฐระบุบนเว็บไซต์สำหรับการใช้คุกกี้ที่เชื่อมโยงกับข้อมูลส่วนบุคคลว่าผู้ใช้บริการจะใช้คุกกี้เพื่อวัตถุประสงค์และประโยชน์ใด และให้สิทธิที่จะไม่รับการต่อเชื่อมคุกกี้ได้

4.2.3 มีหน้าในเว็บไซต์ App หรือสื่อดิจิทัลอื่น ๆ โดยมีการเข้ารหัสข้อมูล และมีการรักษาความปลอดภัยการเข้าใช้งานด้วยโพรโทคอล HTTPs โดยจะระบุวัตถุประสงค์ของการเก็บ ใช้ หรือเปิดเผยข้อมูลส่วนตัว ในภาษาที่เข้าใจง่ายและตรงไปตรงมา สำหรับคนที่มีเว็บไซต์อยู่แล้วอาจจะคุ้นเคยกับหน้า ‘นโยบายความเป็นส่วนตัว’ (Privacy Policy) ที่จะมีเนื้อหาบางส่วนใกล้เคียงกัน สามารถนำปรับมาใช้ได้แต่ต้องใช้ข้อความที่สั้น ๆ เข้าใจง่าย ๆ มากกว่า

4.2.4 ทุกครั้งที่ให้ผู้ใช้งานลงทะเบียนหรือกรอกข้อมูลส่วนบุคคล ควรมีตัวเลือกแบบ Checkbox ให้ผู้ใช้งานกดเลือกเพื่อยืนยันความยินยอมจากเจ้าของข้อมูลและมี Link เพื่อกดเข้าดูรายละเอียดหน้าวัตถุประสงค์ของการเก็บ ใช้ หรือเปิดเผยข้อมูลส่วนตัว

4.2.5 มีช่องทางติดต่อและมีหน้ารายละเอียดระบุว่า หากผู้ใช้งานต้องการที่จะติดต่อเพื่อขอตรวจสอบหรือขอรับสำเนาข้อมูลส่วนบุคคลเกี่ยวกับตน ต้องติดต่อหาหน่วยงานอย่างไร โดยอาจจะเพิ่มปุ่ม ‘ติดต่อเพื่อขอตรวจสอบข้อมูลส่วนบุคคล’ ใน Footer หรือหน้า Contact Us ในเว็บไซต์หรือ App

4.2.6 มีช่องทางให้ผู้ใช้งานเจ้าของข้อมูลแจ้งขอยกเลิกความยินยอมที่เคยให้ไปและลบข้อมูลส่วนบุคคลที่ตัวเองเป็นเจ้าของออกจากระบบการจัดเก็บของแบรนด์และธุรกิจ โดยอาจจะเป็น Link ‘ยกเลิกความยินยอมจัดเก็บและใช้งานข้อมูลส่วนบุคคล’ เพื่อเข้าหน้าเว็บที่มีรายละเอียดวิธีการแจ้งความต้องการดังกล่าว



รูปที่ 5 แนวทางการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของหน่วยงานรัฐ

เอกสารอ้างอิง

[1] คณาธิป ทองรวีวงศ์. การนำหลักกฎหมายลักษณะละเมิดความเป็นอยู่ส่วนตัว (Privacy tort) กรณีการเปิดเผยเรื่องราวส่วนตัวต่อสาธารณะมาปรับใช้เพื่อคุ้มครองสิทธิในความเป็นอยู่ส่วนตัวของผู้ถูกเผยแพร่ข้อมูลทางเว็บไซต์เครือข่ายสังคม. บทบัณฑิตย์. มิ.ย. 2556;69(2).

[2] คณาธิป ทองรวีวงศ์. มาตรการทางกฎหมายในการคุ้มครองสิทธิในความเป็นอยู่ส่วนตัวของผู้ถูกดักฟังการสื่อสารข้อมูล. วารสารกระบวนการยุติธรรม. ม.ค.-เม.ย. 2556;6(1).

[3] คณาธิป ทองรวีวงศ์. มาตรการทางกฎหมายในการคุ้มครองสิทธิในความเป็นอยู่ส่วนตัวของแขกที่มาพักในโรงแรม. บทบัณฑิตย์. มี.ค. 2555;68(1):53-86.

[4] ธนัท สุวรรณปริญญา. ปัญหาทางกฎหมายเกี่ยวกับ การคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลบนธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ กรณีศึกษา : การจัดทำนโยบายการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล (Privacy Policy) ของธนาคาร สถาบันการเงิน และผู้ประกอบธุรกิจบัตรเครดิตในประเทศไทย [สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยกรุงเทพ; 2550.

[5] ธาริณี มณิรอด. ปัญหาทางกฎหมายเกี่ยวกับการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์; 2559.

[6] ภาระวี ปุณเสรีพิพัฒน์. มาตรการทางกฎหมายเกี่ยวกับการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลบนธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ : ศึกษากรณีการใช้คุกกี้บนอินเทอร์เน็ต. วารสารนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. พ.ค. 2557;7(1).

[7] อธิพร สิทธิธีรรัตน์. ปัญหากฎหมายการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลในบริบทอิเล็กทรอนิกส์. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2558.

[8] ปิยะบุตร บุญอร่ามเรือง, พีรพัฒ โชคสุวัฒนสกุล, ปิติ เอี่ยมจำรูญลาภ, ชวิน อุ่นภัทร, ฐิติรัตน์ ทิพย์สัมฤทธิ์กุล. Thailand Data Protection Guidelines 2.0 แนวปฏิบัติเกี่ยวกับการคุ้มครองข้อมูล ส่วนบุคคล. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2562.

[9] NIST privacy framework: a tool for improving privacy through enterprise risk management [Internet]. Maryland: National Institute of Standards and Technology; [cited 2019 Sep 6]. Available from: https://www.nist.gov/privacy-framework

[10] กรมสรรพสามิต [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กรม; [สืบค้นเมื่อวันที่ 15 พ.ค. 2563]. จาก: https://www.excise.go.th

[11] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. [อินเทอร์เน็ต]. ปทุมธานี: สวทช.; [สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พ.ค. 2563]. จาก: http://www.nstda.or.th

สนับสนุนโดย

นายเรือ92

และ

น.อ.บรรจง เหมือนโพธิ์
รอง ผอ.กบน.สบส.กพ.ทร.





น.อ.ภิญโญ ธรรมสุวรรณ
รอง ผบ.มว.เรือที่ 2 กฟก.2 กร.

น.อ.วิลาศ เรียงแหลม
ฝสธ.ประจำ รอง เสธ.ทร.





น.อ.ฐิตินันท์ ด้วงจันทร์
รอง ผบ.ฉก.นย.ทร.

น.อ.เสกสรรค์ สุขศรี
หน.ศคท.จังหวัดตราด





น.อ.อัศนัย นรินรัตน์
หน.ทดลองเรือ กองควบคุมคุณภาพ
อจปร.อร.

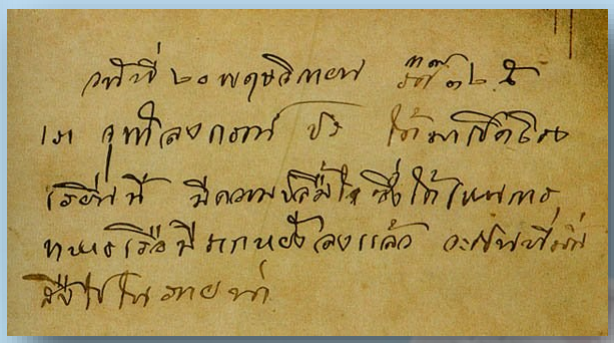
น.อ.ปฏิรูป อยู่พรหม
ผบ.ฐตร.ทรภ.๑





น.อ.ปริศฎางค์ กาศขุนทด
รองผู้จัดการ (การตลาด)
บริษัท อู่กรุงเทพ จำกัด









พระราชหัตถเลขาในสมุดเยี่ยมโรงเรียนนายเรือ เป็นข้อความประวัติศาสตร์ว่า

‘ วันที่ ๒๐ พฤศจิกายน รัตนโกสินทร์ศก ๑๒๕ เรา จุฬาลงกรณ์ ปร
ได้มาเปิดโรงเรียนนี้ มีความปลื้มใจซึ่งได้เห็นการทหารเรือมีรากหยั่งลงแล้ว
จะเป็นที่มั่นสืบไปในภายน่า’