

วารสารวิชาการ โรงเรียนนายเรือ



ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ROYAL THAI NAVAL ACADEMY
JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 มกราคม – ธันวาคม 2565
VOL.5 NO.1 JANUARY – DECEMBER 2022



ISSN : 2586-971x (Print)

ISSN : 2730-1389 (Online)

Available online at www.rtna.ac.th

พระราชกัตถา

พระที่นั่ง ๒๐ พุทธศักราช ๒๕๒๕
๑.๓๐ พระที่นั่ง ๒๐ พุทธศักราช ๒๕๒๕
พระที่นั่ง ๒๐ พุทธศักราช ๒๕๒๕
พระที่นั่ง ๒๐ พุทธศักราช ๒๕๒๕
พระที่นั่ง ๒๐ พุทธศักราช ๒๕๒๕
พระที่นั่ง ๒๐ พุทธศักราช ๒๕๒๕



คณะที่ปรึกษาวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

พลเรือโท ชาทิชาย ทองสะอาด
พลเรือตรี ประชา สว่างแจ้ง
พลเรือตรี สมรภูมิ จันทโก
พลเรือตรี ประสงค์ สังข์ทอง
พลเรือตรี กิตติพงษ์ แดงมาศ
พลเรือตรี วิสิทธิ์ กุลสมบูรณ์สินธ์

นาวาเอก กิตติพงษ์ จันทรสมบูรณ์

กองบรรณาธิการ (ภายใน)

นาวาเอก สิงหชัย ประไพสุวรรณ
นาวาเอก บาร์มี คัมภีรานนท์
นาวาเอก ชัยยศ คงขวัญ
นาวาเอกหญิง รองศาสตราจารย์ ศิริรัตน์ บุญโสภณ
นาวาเอกหญิง พรปวีณ์ ตรีนันท์วัน
นาวาเอก สมาน ได้รายรัมย์
นาวาโท พงศ์พัฒน์ อิศรกุล
นาวาโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงศิษฐ์ ทวีขพงษ์ศรี
นาวาโท ภาณุกร วัฒนจัน
เรือโทหญิง จิราพร แก้วหิรัญทรัพย์

กองบรรณาธิการ (ภายนอก)

พลเรือโท ไชยวุฒิ นาวิกัญจนะ
พลเรือตรี คมสัน กลิ่นสุคนธ์
นาวาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศุภสิทธิ์ คงดี
นาวาเอก สุขสันต์ สือสกุล
นาวาเอกหญิง ลลิตา สวัสดิชัย
นาวาอากาศเอกหญิง ศาสตราจารย์ กุศยา สุวรรณวิหก
พันเอก รองศาสตราจารย์ พเต็ม หนังสือ
พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง
พันเอกหญิง รองศาสตราจารย์ สุวิมล เสนียวงศ์ ณ อยุธยา
นาวาอากาศตรี ครองบุญ สิงหนาท
นาวาอากาศตรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปราโมทย์ สุขศิริศักดิ์
นาวาอากาศตรี จิรภัทร ลดาวัลย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ แก่งอินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศรี บัณฑิตวิไล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วันวิสา ชัชวงษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ จิรวีภากุล

ผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรือ
รองผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรือ
รองผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรือ
เสนารธิการ โรงเรียนนายเรือ
หัวหน้าฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ ฝ่ายศึกษา
โรงเรียนนายเรือ
รองหัวหน้าฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

บรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการและผู้ดูแลระบบ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ

นักวิชาการอิสระ
กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
กรมสรรพากรทหารเรือ
นักวิชาการอิสระ
โรงเรียนนายเรือพระจุลจอมเกล้า
โรงเรียนนายเรือพระจุลจอมเกล้า
โรงเรียนนายเรือพระจุลจอมเกล้า
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
มหาวิทยาลัยมหิดล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง



วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยและบทความวิชาการ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่ผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ใหม่ทั้งด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมบทความวิจัยที่น่าสนใจและมีคุณค่าทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วาระการเผยแพร่
สถานที่ติดต่อ

ปีละ 1 ฉบับ (มกราคม – ธันวาคม)
กองบรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนนายเรือ
เลขที่ 204 ถ.สุขุมวิท ต.ปากน้ำ อ.เมืองสมุทรปราการ
จ.สมุทรปราการ 10270
โทรศัพท์ : 0-2475-3986

ออกแบบ – พิมพ์ที่

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

บทความหรือข้อคิดเห็น ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นทรัพย์สินส่วนตัวของผู้เขียน โรงเรียนนายเรือและกองบรรณาธิการ
ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย



บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีฉบับนี้ ตีพิมพ์เป็น ปีที่ ๕ ฉบับที่ ๑ มกราคม - ธันวาคม ๒๕๖๕ มีจุดประสงค์สำคัญในการเผยแพร่ผลงานวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้กับผู้ที่มีความสนใจ โดยทีมงานกองบรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือได้พยายามทุ่มเทแรงกายและแรงใจสละเวลาอันมีค่ามาใช้ในการจัดทำและคัดเลือกบทความที่มีความน่าสนใจซึ่งประกอบด้วยบทความวิจัยทั้งสิ้นจำนวน ๑๓ เรื่อง

กองบรรณาธิการ ขอขอบคุณและหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือฉบับนี้ จะมีส่วนสำคัญในการส่งผ่านองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งในรูปแบบออนไลน์และแบบรูปเล่มสู่สายตาผู้อ่าน เพื่อประโยชน์ในการสร้างความรับรู้และเสริมสร้างพัฒนาการทางการด้านการศึกษา ทำยสุดนี้ขอขอบคุณทีมงานจัดทำวารสารทุกท่านที่เสียสละเวลาอันมีค่าพร้อมทั้งทุ่มเทแรงกายแรงใจให้กับกองบรรณาธิการในการผลิตวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีฉบับนี้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณครับ

นาวาเอก สิงห์ชัย ประไพสุวรรณ
บรรณาธิการ วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ
ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สารบัญ

1

การวิเคราะห์ปริมาณดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลพร้อมกัน
ในยาเม็ดโดยแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส

(Simultaneous Analysis of Tramadol Hydrochloride and
Paracetamol in Tablets by Capillary Electrophoresis)

สมศักดิ์ ศิริไชย ขจัดภัย ทิพย์พ่อง

11

การสร้างตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้กับ
ประกาศาร/กระโจมไฟของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

(Inventing Solar Energy Rotating Lantern for Lighthouses
and Light Beacons of Hydrographic Department, Royal Thai Navy)

พันธุ์นาถ นาคบุปผา สานนท์ รักหนู
อัศนัย ไทรบุญจันทร์ บุญญฤทธิ์ สุขเมือง

30

การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ
(Design and Efficiency Evaluation of Single Plane Balancing Laboratory)

ฤทธิรงค์ อริยธนพล วินัย เศรษฐโชตินันท์
วัฒนา น้อยทอง ปิจิราวุธ เวียงจันทา

44

An Experimental Comparison of SES, DES, TES, ARIMA, and LSTM
Algorithms for Short Time Series Prediction

ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง ชัญญาวัจน์ สกิตภัทรสมบัติ

61

ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียของเครื่องอบแสงยูวีที่พัฒนาโดย
คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

(Development of UV Chamber for Antibacterial Activity by the Faculty
of Engineering, Ubon Ratchathani University)

ปาริชาติ พุ่มขจร นฤมล คณะวงศ์
จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์ ผดุง กิจแสวง
พงศ์ศักดิ์ รัตนชัยกุลโสภณ

สารบัญ

72

การประมาณน้ำหนักสุกรโดยใช้การประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียม
(Pig Weight Estimation Using Image Processing and Artificial Neural Networks)

พิศณุ คูมีชัย

83

การศึกษาและสร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการบริโภค
(Study and Construction of a Solar Water Distiller for Consumption)

วิริยะ บริสุทธิ์ ปราโมทย์ สุขศิริศักดิ์

93

การออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลาและความเร่งเนื่องจาก
แรงโน้มถ่วงโลกประกอบชุดทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย
(Design and Development of Time Period and Gravitational
Acceleration Measurement Equipment for Simple Pendulum
Oscillation Apparatus)

ภาณุกร วัฒนจ้ง วีระ บุญพุด

105

การเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการหาขอบของวัตถุในภาพถ่ายทางอากาศ
(A Comparison of Edge Detection Algorithms in Aerial Images)

วิศรุต คล้ายแจ้ง ธนาบพ ลีมสุวรรณโรจน์

วีระพล วิลามาศ สมภูมิ มีชานา

สุภาวดี สีสายุทธ เกียนสิริ เหลืองวิไล

121

การหึงความลึกน้ำทะเลจากการรับรู้ระยะไกลในอ่าวไทยด้วยภาพถ่ายดาวเทียม
แลนด์แซท 8

(Remote Sensing - Derived Oceanic Bathymetry in the Gulf of
Thailand Using Landsat 8 Imageries)

ชนัตถพงษ์ เสื่องามเอี่ยม ศิริวิไล ธีระโรจนรัตน์

สารบัญ

136

เทคโนโลยีการรู้จำใบหน้ามนุษย์ด้วยการประมวลผลภาพ
(Image Recognition Technology)

พิศณุ คูมีชัย

149

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง : กรณีศึกษาหาดท้ายเหมือง
อำเภอท้ายเหมือง จังหวัดพังงา
(Coastal Change Study: A Case Study of Thai Mueang Beach
Thai Mueang District, Phang Nga Province)

รณกร ธาราเวชรักษ์

158

การพัฒนาชุดทดลองการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก
ด้วยตัวตรวจวัดเวลาแบบดิจิทัลพร้อมโปรแกรมแสดงผลอัตโนมัติด้วย IoT
บน Smartphone สำหรับห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ โรงเรียนนายเรือ
(Development of an Apparatus for Determination of Gravitational
Acceleration with Digital Timer with IoT AutoPlay Program on
a Smartphone for Physical Laboratory, Royal Thai Naval Academy)

วีระ บุญฟู

การวิเคราะห์ทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลพร้อมกันในยาเม็ดโดย แคปิลารี่อิเล็กโทรโฟรีซิส

Simultaneous Analysis of Tramadol Hydrochloride and Paracetamol in Tablets by Capillary Electrophoresis

สมศักดิ์ ศิริไชย¹ และ ขจิตภัย ทิพย์พ่อง²

Somsak Sirichai¹ and Khajadpai Thipyapong²

Received : June 4, 2021

Revised : July 20, 2021

Accepted : August 2, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีแคปิลารี่อิเล็กโทรโฟรีซิสสำหรับการวิเคราะห์ทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลพร้อมกันในตัวอย่างยาเม็ด สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยก คือ ความยาวของแคปิลารี่ 32 เซนติเมตร บอเรตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (pH 9.5) ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้แยก 12 กิโลโวลต์ และฉีดสารที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 3 วินาที ตรวจวัดสารที่ความยาวคลื่น 215 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม การวิเคราะห์สามารถทำได้น้อยกว่า 2 นาที ไม่เกรงชนไหม้ของทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลคือ 1.161 และ 1.615 นาที ตามลำดับ กราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรงในช่วง 5.0-100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยค่า R² มากกว่า 0.9996 ซิดจำกัดการตรวจวัดของทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลเท่ากับ 1.05 และ 0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซิดจำกัดการวิเคราะห์ปริมาณของทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลเท่ากับ 3.50 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วงร้อยละ 96.2-101.3 วิธีที่พัฒนานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์ ทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลพร้อมกันในยาเม็ด

คำสำคัญ: แคปิลารี่อิเล็กโทรโฟรีซิส ทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์ พาราเซตามอล การวิเคราะห์พร้อมกัน

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University

E-Mail: sirichai@go.buu.ac.th

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University

E-Mail: khajadpa@go.buu.ac.th

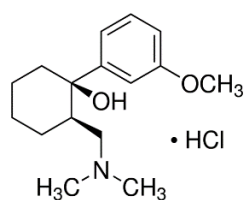
Abstract

In this paper, capillary electrophoresis method for simultaneous analysis of tramadol hydrochloride and paracetamol in tablets was developed. Optimal conditions for separation were capillary length of 32 cm, borate buffer of 10 mM (pH 9.5), applied voltage of 12 kV and injection at 50 mbar for 3 sec. Detection wavelength was set at 215 nm. Under the optimal conditions, the analysis was carried out in less than 2 min. Migration times of tramadol hydrochloride and paracetamol were 1.161 and 1.615 min, respectively. Calibration curves were linear over the concentration range 5.0-100.0 mg/L with R^2 greater than 0.9996. Limits of detection for tramadol hydrochloride and paracetamol were 1.05 and 0.60 mg/L, respectively. Limits of quantitation for tramadol hydrochloride and paracetamol were 3.50 and 2.00 mg/L, respectively. Percent recoveries were in range 96.2-101.3%. The developed method could be applied to the simultaneous analysis of tramadol hydrochloride and paracetamol in tablets.

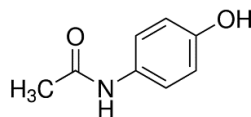
Keywords: Capillary electrophoresis, Tramadol hydrochloride, Paracetamol, Simultaneous analysis

1. บทนำ

อะเซตามิโนเฟน (Acetaminophen) ซึ่งรู้จักกันดีในชื่อพาราเซตามอล (Paracetamol) เป็นยาแก้ปวดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยเนื่องจากประชาชนสามารถหาซื้อพาราเซตามอลได้ตามร้านขายยาทั่วไปรวมถึงร้านสะดวกซื้อต่าง ๆ ไม่จำเป็นต้องมีใบสั่งแพทย์ ประกอบกับพาราเซตามอลมีราคาถูกและมีผลข้างเคียงของการใช้น้อย ประชาชนใช้พาราเซตามอลสำหรับบรรเทาอาการปวด เช่น ปวดหัว และปวดกล้ามเนื้อ การระงับปวดของพาราเซตามอลทำโดยการยับยั้งการสร้างโพรสตาแกลนดิน (Prostaglandin) ซึ่งสารนี้เป็นตัวการของอาการปวด [1] ส่วน ترامาดอลไฮโดรคลอไรด์ (Tramadol Hydrochloride) เป็นยาแก้ปวดสังเคราะห์ในกลุ่มโอปิออยด์ (Opioid) ใช้บรรเทาอาการปวดระดับปานกลางถึงระดับรุนแรง อย่างไรก็ตามการรับประทานยา ترامาดอลไฮโดรคลอไรด์อย่างต่อเนื่องหรือในปริมาณมากเกินไปอาจทำให้เกิดการติดยาได้ [2] ปัจจุบันมีการผลิตยาที่มีองค์ประกอบของพาราเซตามอลและ ترامาดอลไฮโดรคลอไรด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพลดอาการปวดในระดับปานกลางถึงรุนแรงและมีความปลอดภัยมากขึ้น [3] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวิธีวิเคราะห์สำหรับหาปริมาณพาราเซตามอลและ ترامาดอลไฮโดรคลอไรด์พร้อมกันเพื่อควบคุมคุณภาพของยา โครงสร้างของพาราเซตามอลและ ترامาดอลไฮโดรคลอไรด์แสดงดังรูปที่ 1



ทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์



พาราเซตามอล

รูปที่ 1 โครงสร้างของทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอล

ปัจจุบันได้มีการรายงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์ทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลพร้อมกันหลายวิธี ได้แก่ แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) [4-5] โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) [6-8] แคปิลารี อิเล็กโตรโฟรีซิส (Capillary Electrophoresis, CE) [9] และสเปกโตรโฟโตเมทรี (Spectrophotometry) [10-12] ซึ่งการวิเคราะห์โดยใช้วิธีแคปิลารีอิเล็กโตรโฟรีซิสมีข้อดีหลายประการ เช่น ให้การแยกดี มีความเฉพาะเจาะจง ความแม่นยำและความเที่ยงสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเทอมความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีแคปิลารีอิเล็กโตรโฟรีซิสใช้ปริมาณสารตัวอย่างและสารเคมีต่าง ๆ น้อยเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ

แคปิลารีอิเล็กโตรโฟรีซิสเป็นเทคนิคการแยกสารด้วยสนามไฟฟ้า หลักการแยกคืออาศัยความแตกต่างของความสามารถที่เคลื่อนภายใต้สนามไฟฟ้า การแยกเกิดขึ้นในแคปิลารีซึ่งทำจากฟิวส์ซิลิกา (Fused Silica) ที่ภายในบรรจุด้วยสารละลายบัฟเฟอร์หรือสารละลายอิเล็กโตรไลต์ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของสารภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าขึ้นกับอัตราส่วนของมวลต่อประจุ (Mass-to-Charge Ratio) สารประจุบวกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุดไปยังขั้วแคโทด (ขั้วลบ) ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลของอิเล็กโตรออสโมติก (Electroosmotic Flow) และแรงดึงดูดจากขั้วแคโทด สารที่เป็นกลางเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วการไหลของอิเล็กโตรออสโมติก สำหรับสารที่มีประจุลบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำสุด เนื่องจากมีแรงดึงดูดจากขั้วแอโนด (ขั้วบวก) ในทิศทางตรงข้ามกับการไหลของอิเล็กโตรออสโมติก การเคลื่อนที่ของสารภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ขนาดและประจุของสาร การแตกตัวเป็นไอออน ความหนืด อุณหภูมิ และศักย์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตามตัวแปรที่เลือกมาศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ ความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์ และศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการแยก เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สำคัญในการแยกด้วยวิธีแคปิลารีอิเล็กโตรโฟรีซิส

2. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาเทคนิคแคปิลารีอิเล็กโตรโฟรีซิสที่มีสภาพไว รวดเร็วและน่าเชื่อถือสำหรับวิเคราะห์ทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลพร้อมกันในตัวอย่งยาเม็ด

3. วิธีดำเนินการวิจัย

เริ่มจากการศึกษาสถานะที่เหมาะสม (Optimization) ในการแยกสารที่ต้องการวิเคราะห์ (Analytes) ทั้งสอง (ทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอล) โดยตัวแปรที่เลือกมาศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ pH ของสารละลายบอเรนซ์ฟเฟอร์ (pH 8.5, 9.0 และ 9.5) ความเข้มข้นของสารละลายบอเรนซ์ฟเฟอร์ (5 และ 10 มิลลิโมลาร์) และศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการแยก (10, 12 และ 14 กิโลโวลต์) แล้วทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี (Method Validation) และยืนยันความใช้ได้ของวิธีที่นำเสนอเกี่ยวกับตัวอย่างยาเม็ดที่มีองค์ประกอบของทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอล

3.1 สารเคมีและสารละลาย

สารมาตรฐานทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์ความบริสุทธิ์มากกว่า 98% จากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา สารมาตรฐานพาราเซตามอล ความบริสุทธิ์มากกว่า 98% จากบริษัท Tokyo Chemical Industry ประเทศญี่ปุ่น โซเดียมเตตระโบเรตเดคะไฮเดรตและโซเดียมไฮดรอกไซด์จากบริษัท Merck ประเทศเยอรมัน น้ำปราศจากไอออน 18 Mohm จากเครื่อง E-Pure Deionization System ของบริษัท Barnstead ประเทศเยอรมัน ใช้สำหรับเตรียมสารละลายทุกชนิด เครื่องวัด pH รุ่น ϕ 32 ของบริษัท Beckman ประเทศสหรัฐอเมริกา

สารละลายมาตรฐานเข้มข้น (Stock Standard Solution) ของทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลเตรียมในน้ำปราศจากไอออนโดยเตรียมแยกกันเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของพาราเซตามอล 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สารละลายมาตรฐานผสมของพาราเซตามอลและทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ เตรียมโดยการปิเปตปริมาตรที่เหมาะสมของแต่ละสารละลายมาตรฐานเข้มข้นลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน สารละลายที่ได้กรองผ่านไนลอนเมมเบรนขนาด 0.45 ไมครอน ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแคปิลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส

3.2 เครื่องมือ

การวิเคราะห์ทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลใช้เครื่องแคปิลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส รุ่น G1600AX ของบริษัท Agilent ประเทศเยอรมัน ตัวตรวจวัดชนิดไดโอดอาร์เรย์ (Diode Array Detector) พิวซ์ซิลิกาแคปิลารี (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 100 ไมครอน และยาว 32 เซนติเมตร) จากบริษัท Polymicro Technology ประเทศสหรัฐอเมริกา ความยาวคลื่นสำหรับการตรวจวัดคือ 215 นาโนเมตร การฉีดสารเข้าสู่แคปิลารีทำในโหมดความดัน โดยใช้ความดัน 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 3 วินาที เมื่อเริ่มการทดลองแต่ละวัน มีการปรับสภาพผิวด้านในของแคปิลารีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ เป็นเวลา 10 นาที และสารละลายบอเรนซ์ฟเฟอร์ที่ใช้เป็นเวลา 5 นาที ระหว่างการวัดแต่ละครั้ง ปรับสภาพผิวด้านในของแคปิลารีด้วยสารละลายบัฟเฟอร์เป็นเวลา 1 นาที การบันทึกและประมวลผลอิเล็กโทรโฟรีแกรมใช้โปรแกรม ChemStation ของบริษัท Agilent ประเทศเยอรมัน

3.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

นำตัวอย่างยาเม็ดยี่ห้ออัลตราเซท (Ultracet) ของบริษัท Janssen ที่ระบุว่ามีปริมาณของพาราเซตามอล 325 มิลลิกรัม และ ทรามาโดลไฮโดรคลอไรด์ 37.5 มิลลิกรัมต่อเม็ด จำนวน 10 เม็ด มาบดให้ละเอียด จากนั้นชั่งตัวอย่างยาซึ่งบดเรียบร้อยแล้วให้ได้ปริมาณยาพาราเซตามอล 325 มิลลิกรัม และ ทรามาโดลไฮโดรคลอไรด์ 37.5 มิลลิกรัม ละลายด้วยอะซิโตนไตรัล จากนั้นเทสารละลายที่ได้ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เจือจางด้วยอะซิโตนไตรัล นำไปสกัดด้วยเครื่องอัลตรา โซนิค (Ultra Sonicator) เป็นเวลา 20 นาที ปั่นเหวี่ยง 10 นาที กรองด้วยเยื่อกรอง (Membrane Filter) ขนาด 0.45 ไมครอน และเจือจาง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแคปิลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

3.4 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์

วิธีแคปิลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสที่พัฒนาขึ้นสำหรับวิเคราะห์ทรามาโดลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอล พร้อมกันในยาเม็ด ได้ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี ในเทอมของความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน (linearity of Calibration Curve) ขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) ขีดจำกัดการหาปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ) ความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

การศึกษาความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน (5.0–100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) ทำโดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของทรามาโดลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลโดยการเจือจางจากสารละลายมาตรฐานเข้มข้น LOD และ LOQ หาโดยการเจือจางสารละลายมาตรฐานจนได้อัตราส่วนสัญญาณของสารละลายมาตรฐานต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio, S/N) เท่ากับ 3 และ 10 ตามลำดับ

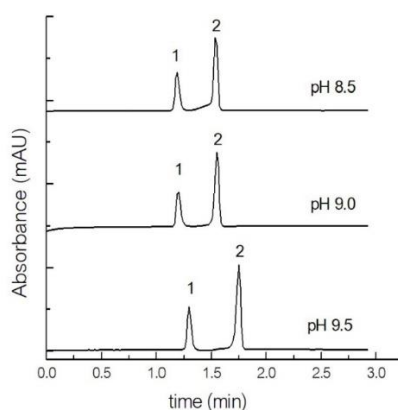
ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์บอกถึงความสามารถในการทำซ้ำแล้วได้ค่าใกล้เคียงค่าเดิมแสดงในเทอมของร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Percent Relative Standard Deviation, %RSD) ความเที่ยงภายในวันและความเที่ยงระหว่างวันทำโดยการวิเคราะห์ความเข้มข้นของทรามาโดลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลที่ความเข้มข้น 3 ระดับ (10.0, 30.0 และ 60.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) ทำซ้ำความเข้มข้นละ 5 ครั้ง ผลของการศึกษาความเที่ยงแสดงในตารางที่ 2 ความแม่นยำของวิธีแสดงในเทอมของร้อยละการได้กลับคืน (Percent Recovery) โดยศึกษาที่ 3 ระดับความเข้มข้นเช่นเดียวกับความเที่ยง

4. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 การศึกษาผลของ pH ของบัฟเฟอร์ต่อการแยกสารที่สนใจ

pH ของบัฟเฟอร์เป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีแคปิลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส เนื่องจากค่า pH ของบัฟเฟอร์มีผลกระทบต่อประจุที่ผิวด้านในของแคปิลารี อิเล็กโทรออสโมติกโฟลว์ (Electroosmotic Flow, EOF) และประจุของสารที่วิเคราะห์ เมื่อพิจารณาค่า pKa ของทรามาโดลไฮโดรคลอไรด์ (9.41) และพาราเซตามอล (9.5) สารทั้งสองชนิดนี้สามารถแยกได้ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่เป็นเบส ดังนั้นในการทดลอง

เบื้องต้น จึงทำการศึกษา pH ที่ 8.5, 9.0 และ 9.5 โดยใช้บอเรตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2 จากผลการทดลองเห็นได้ว่า เมื่อค่า pH ของบอเรตบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าไมเกรชันไทม์ (Migration Time) ของสารแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น เนื่องจากประจุมบนสารที่ต้องการวิเคราะห์ อัตราส่วนประจุต่อมวล (Mass-to-Charge Ratio) ขึ้นกับค่า pH ของบัฟเฟอร์ นอกจากนี้ยังพบว่าทุกค่า pH ของบัฟเฟอร์ที่ศึกษา ทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลแยกกันอย่างสมบูรณ์ด้วยค่าการแยก (Resolution) มากกว่า 1.5 รูปร่างพีกดีขึ้นและสภาพโวลของการวิเคราะห์โดยเฉพาะอย่างยิ่งพีกของพาราเซตามอลเพิ่มขึ้นเมื่อ pH เพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงเลือกบอเรตบัฟเฟอร์ที่ pH 9.5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมและใช้ในการศึกษาต่อไป



รูปที่ 2 ผลของ pH ของบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ต่ออิเล็กโตรเฟอโรแกรมของสารละลายมาตรฐานผสมของทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์ (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) และพาราเซตามอล (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้แยกคือ 10 กิโลโวลต์ พีก 1 คือทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์ พีก 2 คือพาราเซตามอล

4.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของบัฟเฟอร์ต่อการแยกสารที่สนใจ

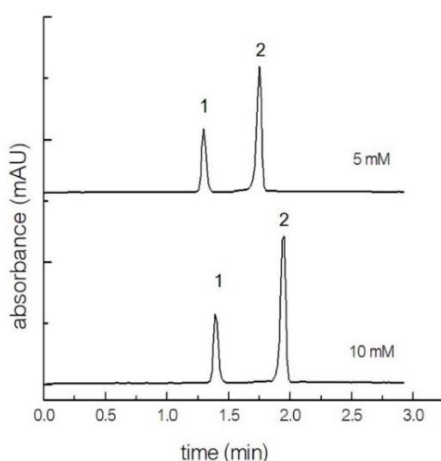
การศึกษาผลของความเข้มข้นของบัฟเฟอร์ต่อค่าไมเกรชันไทม์และการแยกทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอล เลือกศึกษาที่บอเรตบัฟเฟอร์ (pH 9.5) ความเข้มข้น 5 และ 10 มิลลิโมลาร์ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของบอเรตบัฟเฟอร์เพิ่มขึ้น ค่าไมเกรชันไทม์และค่าการแยกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของบัฟเฟอร์เป็นการเพิ่มความหนืดของบัฟเฟอร์ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสภาพโวลของการวิเคราะห์เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของบัฟเฟอร์มากขึ้น พิจารณาในเทอมค่าสภาพโวลและเวลาในการวิเคราะห์ จึงเลือกความเข้มข้นของบอเรตบัฟเฟอร์ที่ 10 มิลลิโมลาร์เป็นสภาวะที่เหมาะสมและใช้ในการศึกษาต่อไป

4.3 การศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้าต่อการแยกสารที่สนใจ

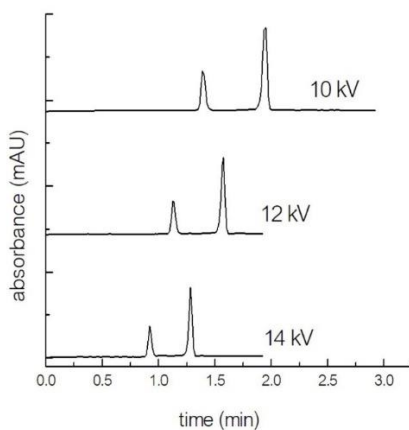
การศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้าต่อการแยกสารที่สนใจ ทำที่ศักย์ไฟฟ้า 10, 12 และ 14 กิโลโวลต์ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าที่ใช้แยก ส่งผลทำให้ค่าไมเกรชันไทม์ของสารและค่าการแยกลดลง เนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของสารภายใต้สนามไฟฟ้าเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความแรงของสนามไฟฟ้า การแยกทรามาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลเกิดอย่างสมบูรณ์ที่ทุกค่าศักย์ไฟฟ้าที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการศึกษพบว่า ที่ศักย์ไฟฟ้า 14 กิโลโวลต์ เกิดความไม่เสถียร

ของกระแสน้อยครั้ง ซึ่งอาจเนื่องจากกระแสที่เกิดขึ้นระหว่างการแยกสาร ส่งผลทำให้เกิดความร้อนและเกิดฟองอากาศขึ้น

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอล โดยเทคนิคแคปิลารีอิเล็กโทรโฟริซิส พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ บอเรตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (pH 9.5) ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้แยก 12 กิโลโวลต์ ฉีดสารที่ความดัน 50 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 3 วินาที ตรวจวัดสารที่ความยาวคลื่น 215 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ไม่เกรนซ์ไหม้ของทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลคือ 1.161 และ 1.615 นาที ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบสภาพไวของการวิเคราะห์สารที่ต้องการวิเคราะห์ทั้งสองชนิดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พบว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นมานี้มีสภาพไวมากกว่าวิธีที่ได้มีการรายงานมาก่อนหน้านี้ [9]



รูปที่ 3 ผลของความเข้มข้นของบัฟเฟอร์ต่ออิเล็กโทรเฟอโรแกรมของสารละลายมาตรฐานผสมของ ทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์ (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) และพาราเซตามอล (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้แยกคือ 10 กิโลโวลต์ พีก 1 คือทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์ พีก 2 คือพาราเซตามอล



รูปที่ 4 ผลของศักย์ไฟฟ้าที่ใช้แยกต่ออิเล็กโทรเฟอโรแกรมของสารละลายมาตรฐานผสมของ ทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์ (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) และพาราเซตามอล (20 มิลลิกรัมต่อลิตร) พีก 1 คือทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์ พีก 2 คือพาราเซตามอล

4.4 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีเป็นกระบวนการยืนยันความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ที่แสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นมานั้นให้ผลถูกต้องแม่นยำตามวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ได้อย่างน่าเชื่อถือ ผลการศึกษาความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน LOD และ LOQ ของทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลสรุปดังตารางที่ 1 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 2 และความแม่นยำของวิธีแสดงในเทอมของร้อยละการได้กลับคืน (Percent Recovery) พบว่าร้อยละการได้กลับคืนของทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลอยู่ในช่วงร้อยละ 98.7-101.3 และ 96.2-99.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สมการกราฟมาตรฐาน R2 LOD และ LOQ ของทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอล

สาร	สมการเส้นตรง ของกราฟมาตรฐาน	R ²	LOD (มิลลิกรัมต่อลิตร)	LOQ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์	$y = 1.0823x + 0.236$	0.9997	1.05	3.50
พาราเซตามอล	$y = 2.4876x + 0.701$	0.9996	0.60	2.00

ตารางที่ 2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของพื้นที่พิกภายในวันเดียวกันและระหว่างวันของทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอล

สาร	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	% RSD ภายในวันเดียวกัน	% RSD ระหว่างวัน
ทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์	10.0	1.8	2.2
	30.0	2.0	2.7
	60.0	1.7	2.9
พาราเซตามอล	10.0	1.5	3.0
	30.0	1.8	2.8
	60.0	1.9	2.6

4.5 การยืนยันความใช้ได้ของวิธี

เมื่อนำวิธีแคปิลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสที่พัฒนาขึ้นมาวิเคราะห์ทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลในตัวอย่างยาเม็ดซึ่งฉลากบนกล่องระบุปริมาณของทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอล 37.5 และ 325 มิลลิกรัมต่อเม็ด ตามลำดับ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่ศึกษาได้ คือ บอเรตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (pH 9.5) ศักย์ไฟฟ้า 12 กิโลโวลต์ ฆีตสารที่ความดัน 50 มิลลิบาร์เป็นเวลา 3 วินาที ตรวจวัดสารที่ความยาวคลื่น 215 นาโนเมตร ผลการวิเคราะห์พบปริมาณของทรามาตอลไฮโดรคลอไรด์ 37.3 ± 0.3 มิลลิกรัมต่อเม็ด และพาราเซตามอล 324.6 ± 0.5 มิลลิกรัมต่อเม็ด ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณที่รายงานไว้ในตัวอย่างยาเม็ดที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้วิธีวิเคราะห์ปริมาณ ترامาดอลไฮโดรคลอไรด์และพาราเซตามอลพร้อมกันที่มีความไวสูงขึ้น โดยการวิเคราะห์สารประกอบทั้งสองพร้อมกันสามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว มีความเฉพาะเจาะจง ความแม่นยำและความเที่ยงดี และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม การวิเคราะห์สามารถทำได้ภายใน 2 นาที และวิธีการที่ได้สามารถนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของยาสำหรับงานประจำได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่สนับสนุนทุนวิจัยและห้องปฏิบัติการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Schildknecht, S., Daiber, A., Ghisla, S., Cohen, R. A., & Bachschmid, M. M. (2008). Acetaminophen inhibits prostanoid synthesis by scavenging the PGHS-activator peroxynitrite. *The FASEB Journal*, 22, 215-224.
- [2] RajaSekhar, K. K., Shankarananth, V., SreenvisaCharan, A., NagaMallika, L., Narmada, D., & Padmavathamma, M. (2011). Kinetic spectrophotometric estimation of tramadol hydrochloride in bulk, tablet and capsule dosage forms. *Journal of Pharmacy Research*, 4(10), 3842-3844.
- [3] McClellan, K., & Scott, L. J. (2003). Tramadol/paracetamol. *Drugs*, 63(11), 1079-1086.
- [4] Belal, T., Awad, T., & Clark, C. R. (2009). Determination of paracetamol and tramadol hydrochloride in pharmaceutical mixture using HPLC and GC-MS. *Journal of Chromatographic Science*, 47, 849-854.
- [5] Sha, Y. F., Shen, S., & Duan, G. L. (2005). Rapid determination of tramadol in human plasma by headspace solid-phase microextraction and capillary gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 37, 143-147.
- [6] Hemant, K. T., Krishna, P. C. K., Varaprasad, R. K., & Srinivasa, R. Y. (2019). RP-HPLC method for estimation of tramadol hydrochloride and paracetamol in pharmaceutical formulation. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 8(1), 89-97.
- [7] Swamy, D. K., Sirisha, K., Dhanuja, G., & Adukondalu, D. (2018). New RP-HPLC method for the simultaneous estimation of paracetamol and tramadol hydrochloride in bulk and tablet dosage form. *International Research Journal of Pharmacy*, 9(6), 82-86.

- [8] Thomas, S. P., & Poomali, A. (2016). Development and validation of RP-HPLC method for simultaneous estimation of paracetamol and tramadol hydrochloride. *Indian Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 3(4), 169-172.
- [9] Ciurba, A., Hancu, G., Cojoclea, L.-M., Sipos, E., & Todoran, N. (2014). Development of new formulation and its evaluation by capillary electrophoresis of tablets containing tramadol hydrochloride and paracetamol. *Pharmaceutical Development and Technology*, 19(7), 833-838.
- [10] Zarei, A. R., Mardi, K., & Chalavi, S. (2013). Simultaneous spectrophotometric determination of tramadol and acetaminophen in pharmaceutical formulations using H-point standard addition method. *Jordan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 6, 48-55.
- [11] Shukla, R., Shivkumar, R., & Shivan, K. N. (2011). Development of UV-spectrophotometric method for the simultaneous determination of tramadol hydrochloride and paracetamol in bulk and marketed product. *Bulletin of Pharmaceutical Research*, 1, 62-66.
- [12] Sawant, R., Bhangale, L., Joshi, R., & Lanke, P. (2010). Validated spectrophotometric methods for simultaneous estimation of paracetamol, domperidone and tramadol HCl in pure and tablet dosage form. *Journal of Chemical Metrology*, 4, 21-27.

การสร้างตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้กับ

ประภาคาร/กระโจมไฟของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

Inventing Solar Energy Rotating Lantern for Lighthouses

and Light Beacons of Hydrographic Department, Royal Thai Navy

พันธ์นาค นาคบุปผา¹ สานนท์ รักหนู² อัสนัย ไทรบุญจันทร์³ และ บุญญฤทธิ์ สุขเมือง⁴

Pannart Nakbubpa¹ Sanon Ragnhu² Atsanai Saibunchan³ and Boonyarit Sukmuang⁴

Received : August 2, 2021

Revised : December 13, 2021

Accepted : December 22, 2021

บทคัดย่อ

ตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์สำคัญในการเป็นแหล่งกำเนิดแสงสว่างให้แก่ประภาคารและกระโจมไฟแต่มีราคาสูงและจะต้องจัดหาจากต่างประเทศเท่านั้น จึงเกิดความพยายามสร้างต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีราคาถูกลง เพื่อใช้ติดตั้งกับประภาคารและกระโจมไฟของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ในพื้นที่ที่มีแสงสว่างจากหลังรบกวน และมีความสำคัญในการเดินเรือ ทำให้การเดินเรือในน่านน้ำไทยเป็นไปด้วยความปลอดภัย ประหยัดงบประมาณของกองทัพเรือแทนการจัดหาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง โดยต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น

¹ผู้อำนวยการ กองอุตุนิยมวิทยา ศูนย์ข้อมูลข่าวกรองภูมิสารสนเทศอุทกศาสตร์ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

Director of Meteorological Division, Hydrographic geospatial - intelligence center, Hydrographic Department.

E-Mail: nappash6t@gmail.com

²อาจารย์ กองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Lecturer, Department of Hydrographic Engineering, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy

E-Mail: sanono@yahoo.com

³อาจารย์ กองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Lecturer, Department of Hydrographic Engineering, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy

E-Mail: ianasta@hotmail.com

⁴อาจารย์ กองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Lecturer, Department of Hydrographic Engineering, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy

E-Mail: boonyarit.tazz@gmail.com

มีความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) อยู่ระหว่าง 210,000 แกร์เทียน (Candela : cd) เมื่ออยู่ในลักษณะนิ่ง (Fixed) และ 136,000 - 206,000 แกร์เทียน เมื่อทำงานในลักษณะตะเกียงระบบเลนส์หมุน ซึ่งจะทำให้มีระยะเห็นของแสงไฟ (Luminous Range) 20 - 21.4 ไมล์ทะเล ตามความเข้มของการส่องสว่างเมื่อทำงาน มีความทนทานของการใช้งานในสภาพแวดล้อม เทียบเคียงได้กับมาตรฐาน IP 65 สามารถแยกเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ได้ 14 ชิ้น และมีน้ำหนัก 67 กิโลกรัม มีราคาต่อระบบประมาณ 400,000 บาท เมื่อคิดเฉพาะค่าวัสดุและครุภัณฑ์ แต่เมื่อประมาณการค่าใช้จ่ายทุกอย่างแล้วจะมีราคาประมาณ 600,000 – 700,000 บาทต่อระบบ ในขณะที่จัดหาจากต่างประเทศจะมีราคากระบบละ 2,500,000 - 3,400,000 บาท

คำสำคัญ: ตะเกียงพลังงานแสงอาทิตย์, ตะเกียงหมุน

Abstract

The solar energy rotating lantern is the main part of light source for lighthouses or light beacons but the lantern is expensive and has to be imported from other countries. Thus, the Hydrographic Department, Royal Thai Navy, efforts to invent a prototype of a low-cost solar energy rotating lantern for installing in the lighthouses or light beacons in the areas where are interfered with background light but important for navigation in Thai Waters. The invented lantern should save cost from importing the lantern abroad. At fixed state, the prototype of solar energy rotating lantern has luminous intensity at 210,000 candelas, and at rotating state is about 206,000 - 136,000 candelas. The Luminous Range is 20 - 21.4 nautical miles depending on operated Luminous Intensity. The lantern durability is compatible with the IP 65 standard. One unit of invented lantern is about 400,000 baht, 14 components and weight 67 kilograms, whereas the whole system is about 600,000 - 700,000 baht. It is significantly cheaper than imported solar energy rotating lantern system which is around 2,500,000 - 3,400,000 baht.

Keywords: Solar Energy Lantern, Rotating Lantern

1. บทนำ

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ เป็นหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบเครื่องหมายทางเรือในน่านน้ำไทย ซึ่งมีประภาคารและกระโจมไฟเป็นเครื่องหมายทางเรือที่ก่อสร้างถาวรบริเวณชายฝั่งและเกาะในทะเลที่สำคัญ เพื่อช่วยในการเดินเรือบริเวณชายฝั่งและเกาะในทะเลให้มีความปลอดภัย ปัจจุบันประภาคารและกระโจมไฟทั้งหมดของกรมอุทกศาสตร์ใช้ตะเกียงพลังงานแสงอาทิตย์ในการส่องสว่างเป็นหลัก โดยตะเกียงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งตามประภาคารและกระโจมไฟต้องมีประสิทธิภาพสูง เห็นได้ชัดเจนในระยะไกลและมีความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) สูง เพื่อจะได้มีระยะเห็นได้ไกลของแสงไฟ (Luminous Range) ที่ไกล [1] ซึ่งจะช่วยในการมองเห็นได้ในเวลากลางคืนแม้จะถูกรบกวนจากปัจจัยต่าง ๆ โดยเฉพาะแสงสว่างฉากหลัง (Background Light) เช่น ไฟถนน ป้ายนีออน ฯลฯ ซึ่งจะทำให้ระยะมองเห็นของไฟลดลงจากสภาวะปกติ

ตะเกียงแบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ (Rotating Lantern) ที่นำมาติดตั้งกับประภาคารหรือกระโจมไฟ จะพิจารณาติดตั้งในบริเวณประภาคาร/กระโจมไฟที่สำคัญ (Major Light) ซึ่งต้องการระยะมองเห็นไกลของแสงไฟประมาณ 20 ไมล์ทะเลขึ้นไป และมีความเข้มของการส่องสว่างประมาณ 70,000 - 100,000 แสงเทียน ขึ้นไป ซึ่งตะเกียงระบบเลนส์นิ่ง (Static Lantern) ที่ติดตั้งตามกระโจมไฟหรือ

ประการทั่วไป จะมีระยะเห็นได้ไกลประมาณ 10 – 13 ไมล์ทะเล และมีความเข้มของการส่องสว่างอยู่ระหว่าง 3,000 – 6,500 แรงเทียน อีกทั้งตะเกียงระบบเลนส์หมุนจะมีคุณลักษณะพิเศษ คือ แสงไฟจะส่องออกมาในลักษณะเป็นลำ (Pencil Beam) ดังรูปที่ 1 ประกอบกับการหมุน (Rotating) จะทำให้เกิดลักษณะไฟวาบ (Flashing) หรือ ไฟที่มีลักษณะคาบสว่างสั้นกว่าคาบมืด และไฟวาบ (Occulting) หรือไฟที่มีลักษณะคาบสว่างยาวกว่าคาบมืด อยู่ด้วยกัน รวมทั้งการมีความเข้มของการส่องสว่างที่สูงจะทำให้ดวงไฟมีขนาดใหญ่สามารถเห็นได้ชัดเจนจากระยะไกลและสามารถแยกไฟของประการหรือกระโจมไฟออกจากแสงสว่างฉากหลังได้ง่าย ในขณะที่ตะเกียงระบบเลนส์หนึ่งจะมีแสงสว่างออกรอบตัวในลักษณะรูปพัด (Fan Beam) มีจังหวะการดับ – ติดของไฟตามลักษณะของไฟ (Light Characteristic) ที่ตั้งไว้ รวมทั้งมีความเข้มของการส่องสว่างไม่สูง จึงทำให้แยกดวงไฟของกระโจมไฟหรือประการออกจากแสงสว่างฉากหลังได้ยากกว่าตะเกียงระบบเลนส์หมุน ฯ

ปัจจุบันประการหรือกระโจมไฟที่สำคัญของกรมอุทกศาสตร์ฯ มีจำนวน 24 แห่ง การติดตั้งตะเกียงระบบเลนส์หมุน ฯ ที่นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาค่อนข้างสูงโดยราคาจะอยู่ระหว่าง 2,500,000 - 3,400,000 บาทต่อชุด ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ประกอบ จึงมีความเป็นไปได้น้อยที่จะจัดหาติดตั้งใช้งานได้ทุกแห่ง อีกทั้งปัจจุบันตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ตราอักษร Tideland รุ่น TRB - 400 (รูปที่ 1) ที่กรมอุทกศาสตร์ฯ มีใช้ในราชการก็มีอายุการใช้งานยาวนานเกินกว่า 10 ปีขึ้นไป และในปัจจุบันไม่สามารถหาอะไหล่มาทำการซ่อมบำรุงได้เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตได้ยกเลิกสายการผลิตแล้ว กรมอุทกศาสตร์ฯ จึงได้ทำการวิจัยสร้างตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้กับประการ/กระโจมไฟของกรมอุทกศาสตร์ฯ โดยมีวัตถุประสงค์ในการสร้างตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นใช้งานเองในราคาถูกทดแทนตะเกียงระบบเลนส์หมุน ฯ ที่ใช้งานอยู่เดิม เพื่อเป็นการประหยัดงบประมาณของกองทัพเรือ และเพิ่มความปลอดภัยในการเดินเรือของน่านน้ำไทยบริเวณเกาะและชายฝั่ง



รูปที่ 1 แสดงลักษณะแสงไฟเป็นลำ (Pencil Beam) ของตะเกียงระบบเลนส์หมุน ฯ [2] (ซ้าย) และตะเกียงระบบเลนส์หมุน ฯ ตราอักษร Tideland รุ่น TRB - 400 ที่ กรมอุทกศาสตร์ฯ มีใช้ในราชการ [3] (ขวา)

2. วัตถุประสงค์และขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

2.1 วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งระบบ เรือนตะเกียง เลนส์ ชุดแหล่งพลังงาน แหล่งกำเนิดแสงสว่าง (Light Source) และชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน ไว้ใช้งาน เครื่องหมายทางเรือของกรมอุทกศาสตร์ฯ เพื่อเป็นการประหยัดงบประมาณของกองทัพเรือ และพัฒนาองค์ บุคคลและองค์ความรู้ของกรมอุทกศาสตร์ฯ ให้มีความก้าวหน้ายิ่งขึ้น

2.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

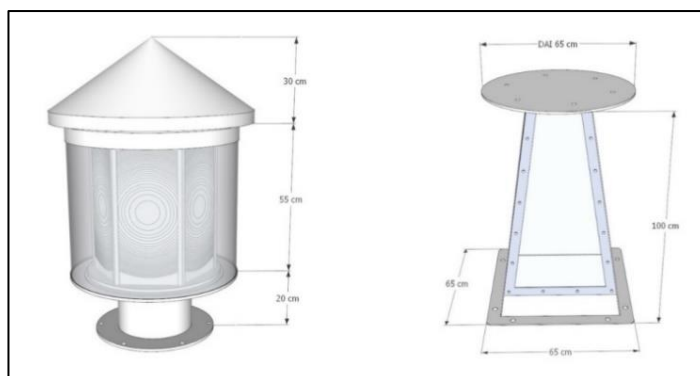
ดำเนินการวิจัยแบบวิเคราะห์ (Analytical Research) โดยการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ทั้งทาง ทฤษฎีและทางปฏิบัติ การวิเคราะห์จากทฤษฎีต่าง ๆ สูตรคำนวณ องค์ความรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้ง การศึกษาค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมจากตำราของไทยและต่างประเทศ เอกสารทางราชการ และเอกชน คู่มือต่าง ๆ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และรวบรวมข้อมูลจากตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีใช้งานจริงของกรมอุทกศาสตร์ฯ อยู่ในปัจจุบัน แล้วเปรียบเทียบหลักการและเหตุผลเพื่อนำมาสร้าง ต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ และเมื่อสร้างต้นแบบตะเกียงฯ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็ จะนำไปทดสอบการทำงานของต้นแบบตะเกียงฯ ทั้งในที่ตั้งปกติและในภูมิประเทศจริง ซึ่งจะนำไปสู่การสรุป ผลการวิจัยถึงประสิทธิภาพต้นแบบตะเกียงฯ ที่สร้างขึ้นและการนำไปใช้ประโยชน์จนถึงการนำเข้าสู่ สายการผลิต รวมทั้งจะได้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานด้านเครื่องหมายทาง เรือของกรมอุทกศาสตร์ฯ ต่อไป

3. ส่วนประกอบ องค์ความรู้ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์

3.1 ส่วนประกอบของตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ของโครงการวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

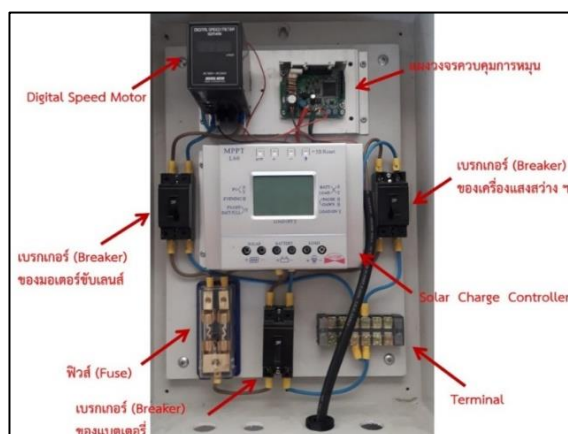
3.1.1 เรือนตะเกียง (Housing) เป็นส่วนที่บรรจุเลนส์ เครื่องแสงสว่างไดโอดเปล่งแสง มอเตอร์ขับเคลื่อน และชุดควบคุมการหมุนของเลนส์ไว้ภายใน สร้างจากโลหะสแตนเลส เกรด 304 หนา 5 มม. ลักษณะรูป ทรงกระบอกปลายยอดแหลมมน สูงจากฐานถึงยอดเรือนตะเกียง 105 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. และมี ครอบนอกอะคริลิก หนา 5 มม. ครอบปิดด้านนอกของเลนส์ รายละเอียดตามรูปที่ 2 ซึ่งส่วนเรือนตะเกียงนี้ เมื่อประกอบอุปกรณ์ทุกส่วนเข้าด้วยกันแล้วจะมีน้ำหนักทั้งสิ้น 67 กก.

3.1.2 ฐานรองรับเรือนตะเกียง ทำด้วยโลหะสแตนเลส เกรด 304 หนา 5 มม. เป็นฐานลักษณะทรง สีเหลี่ยมจัตุรัสฐานกว้างปลายบนสอบเข้า โดยมีฐานกว้างด้านละ 65 ซม. สูง 100 ซม. ด้านบนเป็นฐานรูป วงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 65 ซม. เพื่อรองรับเรือนตะเกียงฯ ที่มาติดตั้ง โดยส่วนฐานฯ นี้จะใช้ติดตั้งพร้อม เรือนตะเกียงฯ บนประภาคารหรือกระโจมไฟที่มีเนื้อที่ว่างเพียงพอ และส่วนอื่น ๆ ของประภาคารหรือ กระโจมไฟนั้นมีความแข็งแรงไม่เพียงพอที่จะติดตั้งเรือนตะเกียงได้ รายละเอียดตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงลักษณะเรือนตะเกียง (Housing) (ซ้าย) และฐานรองรับเรือนตะเกียง (ขวา) [4]

3.1.3 ตู้ควบคุมการทำงาน (Control Box) เป็นที่บรรจุอุปกรณ์ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขับเคลื่อน (Digital Speed Motor) แผงวงจรควบคุมการหมุน อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของโซลาร์เซลล์ (Solar Charge Controller) เบรกเกอร์ (Breaker) และ ฟิวส์ (Fuse) รายละเอียดตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงภายในตู้ควบคุมการทำงาน (Control Box) ของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ฯ [4]

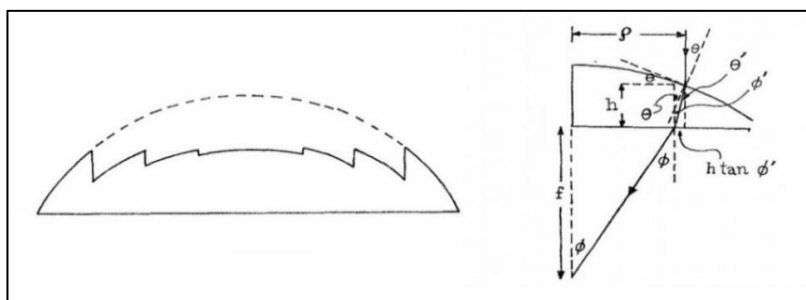
3.1.4 แหล่งกำเนิดแสงสว่าง (Light Source) เป็นอุปกรณ์ให้กำเนิดแสงสว่างแก่ตะเกียงระบบเลนส์หมุน ฯ ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องแสงสว่าง LED (LED Light Source) (รูปที่ 4) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ มีความเข้มของการส่องสว่างสูงมาก ประมาณ 100,000 แสงเทียน ขึ้นไป มีอุณหภูมิต่ำเมื่อใช้งาน ประมาณ 25 – 30 °C มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มากกว่า 50,000 ชั่วโมง ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องเปลี่ยนหลอดไฟ (Lamp Changer) ที่ต้องสับเปลี่ยนหลอดไฟไ้หลายหลอด ทนทานต่อการกระแทกกระเทือนเมื่อเทียบกับหลอดไฟปกติทั่วไป มีเวลาตัดต่อไฟ (Switching) ที่เร็วมากและใช้พลังงานน้อยเมื่อเทียบกับ แหล่งกำเนิดแสงสว่างประเภทอื่น เช่น หลอดไฟทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen) ซึ่งมีอายุการใช้งานจำกัดประมาณ 2,000 ชั่วโมง



รูปที่ 4 เครื่องแสงสว่าง LED (LED Light Source) ของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ
โดยในรูปใช้หลอดไฟ LED ขนาด 20 W [4]

3.1.5 เลนส์แบบเฟรสเนล (Fresnel Lens) เป็นเลนส์ที่สร้างจากวัสดุโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) มีลักษณะโปร่งใส แข็ง ทนแรงยืดและแรงกระแทกได้ดี ทนความร้อนสูง ทนกรด แต่ไม่ทนด่าง [5] ในปัจจุบัน โพลีคาร์บอเนตได้ถูกนำไปใช้สร้างกระจกเลนส์โคมไฟหน้ารถยนต์ กระจกแว่นตา ใบพัดเรือ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ และมักใช้ทำผลิตภัณฑ์แทนแก้วหรือกระจก [6] มีช่วงอุณหภูมิใช้งานอยู่ระหว่าง -40°C ถึง 120°C มีการส่งผ่านแสง 89% [7] ขนาดของเลนส์ 49.4×22 ซม.หนา 8.6 มม.

สำหรับคุณสมบัติของเลนส์แบบเฟรสเนลนั้น เป็นเลนส์ที่ได้รับการพัฒนาและออกแบบโดย Augustine - Jean Fresnel เพื่อนำไปใช้กับตะเกียงของประภาคาร โดยลดปัญหาเรื่องขนาดและน้ำหนักของเลนส์ขนาดใหญ่ ซึ่งสิ่งสำคัญที่สุดของเลนส์ คือ ผิวโค้งของเลนส์ที่ใช้หักเหแสง ทำให้เลนส์ดังกล่าวลักษณะพิเศษ คือ ใช้ผิวโค้งของเลนส์แบ่งเป็นโซนรูปวงแหวนและทำให้เป็นแผ่นแบน [8] ดังรูปที่ 5 เพื่อควบคุมแสงสว่างที่เกิดขึ้นให้พุ่งออกไปเป็นลำตามแนวนอน หรือแนวระดับ ซึ่งจะทำให้แสงสว่างส่องออกไปได้เป็นระยะทางไกล



รูปที่ 5 การใช้ผิวโค้งของเลนส์แบ่งโซนรูปวงแหวนและทำให้เป็นแผ่นแบน (ซ้าย) และ
รูปตัดขวางพร้อมรายละเอียดในการออกแบบเลนส์เฟรสเนล (ขวา) [7]

3.1.6 สำหรับต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ จะใช้เลนส์โพลีคาร์บอเนต จำนวน 6 แผ่น ประกอบกันเป็นตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ มีชื่อเรียกโดยเฉพาะว่าตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ ชนิด 6 แผ่น (6 Lens Carousel)

3.1.7 ระบบขับเคลื่อนเลนส์ ประกอบด้วย

- (1) มอเตอร์ขับเคลื่อนเลนส์ขนาดไม่น้อยกว่า 24 V 30 W ให้กำลังขับ 1/25 แรงม้า จำนวน 1 ตัว
- (2) แผงวงจรควบคุมการหมุนและเครื่องวัดความเร็วรอบของมอเตอร์แบบตัวเลข (Digital

Speed Motor)

3.1.8 ชุดแหล่งพลังงาน ประกอบด้วย

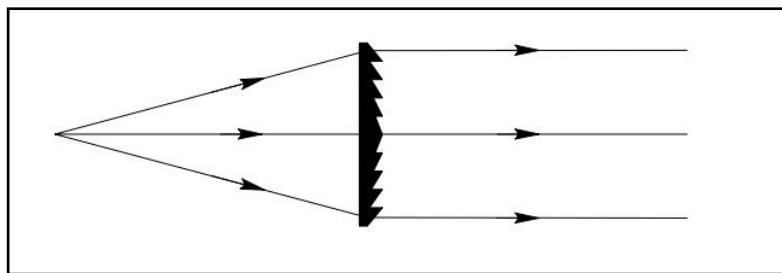
(1) แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 120 W เป็นแผงโซลาร์เซลล์ชนิด Mono - crystalline มีขนาดกำลังไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 120 W แรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่น้อยกว่า 18 V และกระแสไฟฟ้าสูงสุดไม่น้อยกว่า 5 A จำนวน 2 แผง

(2) Solar Charge Controller จำนวน 1 เครื่อง มีระบบควบคุมการชาร์จแบบ MPPT (Maximum Power Point Tracking) ระบบตัดการชาร์จเมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุไฟฟ้าจนเต็มแล้ว (Overcharge Protection) และมีระบบป้องกันการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่มากเกินไป (Over Discharge)

(3) แบตเตอรี่ Maintenance Free ขนาด 12 V 100 A จำนวน 2 หม้อ เป็นแบตเตอรี่แบบ Maintenance Free ชนิด Sealed Lead Acid ที่ไม่ต้องเติมน้ำกรดและน้ำกลั่นตลอดอายุการใช้งาน สำหรับใช้กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์

3.2 องค์ความรู้และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องของตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์

3.2.1 ตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์นั้น เลนส์ต้องหมุนอยู่ตลอดเวลาด้วยความเร็วคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืนและหมุนรอบไฟที่ติดเป็นไฟนิ่ง ไม่มีการดับ - ติดของไฟ ซึ่งมีความเข้มของการส่องสว่างสูงมาก ทำให้สามารถเห็นแสงไฟในระยะที่ไกลมากประมาณ 20 ไมล์ทะเลขึ้นไป และลำแสงสว่างที่ส่องออกไปจะมีลักษณะเป็นลำแสง (Pencil Beam) [9] เนื่องจากคุณสมบัติของเลนส์ที่ใช้เป็นเลนส์แบบเฟรสเนลซึ่งจะหักเหแสงจากแหล่งกำเนิดให้รวมกันพุ่งออกไปในแนวขนาน หรือแนวระดับ ตามรูปที่ 6 และสาเหตุที่เลนส์ต้องหมุนอยู่ตลอดเวลานั้นเนื่องจากเลนส์จะมีจุดรวมแสง (Focus) อยู่ที่กึ่งกลางตัวเลนส์ หากเลนส์หยุดนิ่งในเวลากลางวันจะทำให้แสงแดดที่ส่องมายังเลนส์มารวมตัวกันที่จุดรวมแสง และส่องผ่านไปยังภายในตัวตะเกียง ๆ ซึ่งจุดรวมแสงนี้เมื่อรวบรวมแสงเป็นจำนวนมากแล้วจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในตะเกียง ๆ และเป็นผลทำให้หลอดไฟและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่ภายในตัวตะเกียง ๆ เสียหายได้



รูปที่ 6 แสดงการทำงานของเลนส์แบบเฟรสเนล เมื่อแหล่งกำเนิดแสง (หลอดไฟ) อยู่ด้านหลังจะทำหน้าที่บังคับแสง (Collimator) ให้พุ่งออกเป็นลำขนาน เพื่อให้แสงส่องออกไปได้ในระยะทางไกล [10]

3.2.2 การกำหนดลักษณะไฟ (Light Characteristics) เนื่องจากตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ ถูกออกแบบมาให้แสงไฟส่องสว่างออกมาในลักษณะเป็นลำและเลนส์มีการหมุนอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในการหมุนของเลนส์และเรือนตะเกียง ๆ โดยระบบขับเคลื่อนเลนส์ที่ควบคุมจังหวะและความเร็วในการหมุนได้อย่างแน่นอน จะทำหน้าที่เสมือนเป็นเครื่องทำจังหวะไฟ (Flasher) ซึ่งสามารถกำหนดลักษณะไฟไปได้ด้วย ดังนั้นตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ ของโครงการวิจัยฯ จึงสามารถตั้งลักษณะไฟโดยวิธีการคำนวณได้ 2 ลักษณะดังนี้

(1) การคำนวณลักษณะไฟแบบไม่มีการปิดที่เลนส์ตะเกียง (Non Blanking Panel) ทำได้โดยนำระยะเวลาการหมุนของเลนส์ตะเกียงใน 1 รอบหารด้วยจำนวนของเลนส์ตะเกียงทั้งหมด ก็จะได้คาบเวลาทั้งหมดของเลนส์แต่ละแผ่น (คาบเวลาสว่าง + มืด ของเลนส์แต่ละแผ่น) จากนั้นให้นำคาบเวลาทั้งหมดของเลนส์แต่ละแผ่นลบด้วยคาบเวลาสว่างของไฟที่ได้จากตารางคำนวณ ก็จะได้คาบเวลามืดของไฟในเลนส์แต่ละแผ่น เพียงเท่านี้ก็จะได้ลักษณะไฟตามที่ต้องการ ลักษณะไฟที่ได้จากการคำนวณโดยไม่มีการปิดที่เลนส์ตะเกียงเลนส์ใดเลนส์หนึ่งนั้น จะเป็นลักษณะไฟต่อเนื่องกันไปตลอด (ไฟดับเดียว หรือ Flashing)

(2) การคำนวณลักษณะไฟแบบมีการปิดที่เลนส์ตะเกียง (Blanking Panel) สำหรับวิธีการคำนวณลักษณะไฟแบบมีการปิดที่เลนส์ตะเกียง ให้คำนวณเช่นเดียวกันกับวิธีการคำนวณลักษณะไฟแบบไม่มีการปิดที่เลนส์ตะเกียง แต่สิ่งที่ต้องทำเพิ่มเติมคือหาระยะเวลาบริเวณที่ได้ทำการปิดเลนส์ตะเกียง (คาบมืด) อาจจะเป็น 1 หรือ 2 เลนส์ก็ตาม เมื่อหาระยะเวลาบริเวณที่ได้ทำการปิดเลนส์ตะเกียงได้แล้ว ก็ให้ค่านั้นบวกกับระยะเวลาของคาบมืดปกติ (คาบมืดของบริเวณที่ไม่มีการปิดเลนส์ตะเกียง) จำนวน 1 คาบ ก็จะได้ลักษณะไฟตามที่ต้องการ ลักษณะไฟที่ได้จากการคำนวณโดยการปิดที่เลนส์ตะเกียงเลนส์ใดเลนส์หนึ่งนั้นจะเป็นลักษณะไฟเป็นกลุ่ม ได้แก่ ไฟดับหมู่หรือไฟดับหมู่ผสม (Group Flash) ดังตัวอย่าง การคำนวณลักษณะไฟของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ ซึ่งติดตั้งใช้งานที่ประภาคารแหลมสิงห์ อ.แหลมสิงห์ จว.จันทบุรี ซึ่งลักษณะไฟที่กำหนด คือ FI (3)W 15s (ไฟดับเป็นหมู่ แต่ละหมู่ประกอบด้วยไฟ 3 วับริ้วขาว ทุกๆ 15 วินาที) จึงทำการปิดแผ่นเลนส์ (Blanking) 3 แผ่น ด้วยแผ่นอะคริลิกทึบแสงสีดำ เมื่อกำหนดให้ต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ หมุนด้วยความเร็ว 4 รอบ/นาที (4 RPM) หรือ 1 รอบใช้เวลา 15 วินาที

นำระยะเวลาการหมุนของเลนส์ตะเกียงใน 1 รอบ คือ 15 วินาที หารด้วย จำนวนเลนส์ทั้งหมด คือ จำนวน 6 เลนส์ ก็จะได้คาบเวลาทั้งหมดของเลนส์แต่ละแผ่น คือ 2.500 วินาที จากนั้นให้ลบออกด้วยคาบสว่างจากตาราง Effective Intensity (ตารางที่ 1) คือ 0.058 วินาที จะได้คาบมืดของเลนส์แต่ละแผ่น คือ 2.442 วินาที

ตารางที่ 1 ตาราง Effective Intensity ของตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ ขนาด 400 มม. ชนิด 6 แผ่น [11]

6-Lens Carousel																
Lamp Size	Hor. Div. ¹ (deg)	Ver. Div. ² (deg)	Fix Int. ³ (cd)	Effective Intensity (E.I.) in White												
				120 sec 0.5 rpm	90 sec 0.666 rpm	72 sec 0.833 rpm	60 sec 1.0 rpm	48 sec 1.25 rpm	40 sec 1.5 rpm	30 sec 2.0 rpm	24 sec 2.5 rpm	20 sec 3.0 rpm	15 sec 4.0 rpm	12 sec 5.0 rpm	10 sec 6.0 rpm	8 sec 7.5 rpm
12W10W** On-Time	1.05°	1.47°	144,836	47,271 0.350	39,015 0.263	33,184 0.210	28,070 0.175	24,166 0.140	20,781 0.117	16,232 0.087	13,317 0.070	11,291 0.058	8,655 0.044	7,013 0.035	5,900 0.029	5,335 0.026
20W* On-Time	1.10°	1.55°	335,851	121,840 0.367	101,688 0.275	87,181 0.220	76,298 0.183	64,283 0.147	55,538 0.122	43,659 0.092	35,966 0.073	30,578 0.061	23,529 0.046	19,121 0.037	16,104 0.031	14,572 0.028
35W* On-Time	1.20°	1.70°	508,904	203,491 0.400	171,796 0.300	148,523 0.240	130,802 0.200	110,981 0.160	96,377 0.133	76,296 0.100	63,140 0.080	53,854 0.066	41,614 0.050	33,908 0.040	28,609 0.033	25,913 0.030
50W* On-Time	1.30°	1.90°	629,343	264,095 0.433	224,341 0.325	194,837 0.260	172,191 0.217	146,670 0.173	127,738 0.144	101,527 0.108	84,242 0.086	71,987 0.072	55,761 0.054	45,505 0.043	38,435 0.036	34,832 0.033
75W** On-Time	1.40°	2.00°	652,474	300,366 0.467	258,448 0.350	226,630 0.280	201,788 0.233	173,344 0.187	151,928 0.156	121,826 0.117	101,679 0.093	87,251 0.078	67,963 0.058	55,659 0.047	47,127 0.039	42,761 0.035
100W** On-Time	1.40°	2.16°	972,732	445,312 0.467	382,858 0.350	335,444 0.280	298,598 0.233	256,367 0.187	224,601 0.156	179,996 0.117	150,171 0.093	128,826 0.078	100,310 0.058	82,130 0.047	69,529 0.039	63,083 0.035
110W12V On-Time	1.40°	2.50°	996,468	446,064 0.467	382,275 0.350	334,120 0.280	296,859 0.233	254,324 0.187	222,450 0.156	177,867 0.117	148,172 0.093	126,977 0.078	98,724 0.058	80,757 0.047	68,323 0.039	61,969 0.035
70W***120VAC On-Time	1.90°	3.32°	1,277,613	679,689 0.633	598,449 0.475	534,212 0.380	482,429 0.317	421,295 0.253	373,911 0.211	305,249 0.158	257,891 0.127	223,255 0.106	175,983 0.079	145,232 0.063	123,629 0.053	112,407 0.048

หาระยะเวลาที่ทำการปิดเลนส์ตะเกียงไว้ 3 แผ่น ตามรูปที่ 7 นำคาบเวลาทั้งหมดของเลนส์แต่ละแผ่น คือ 2.500×3 (จำนวนแผ่นที่ปิดเลนส์ไว้) จะได้ 7.500 วินาที จากนั้นให้นำค่านี้นับวกด้วยคาบมืดปกติของเลนส์แผ่นหลังสุดที่เป็นเลนส์ปกติคือ 2.442 วินาที ก็จะได้ระยะเวลาของคาบมืดหลังสุด คือ 9.942 วินาที ดังนั้นลักษณะไฟ FL (3) W 15s จะเท่ากับ $0.058 + 2.442 + 0.058 + 2.442 + 0.058 + 9.942 = 15$ วินาที



รูปที่ 7 การปิดแผ่นเลนส์ (Blanking) ของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ

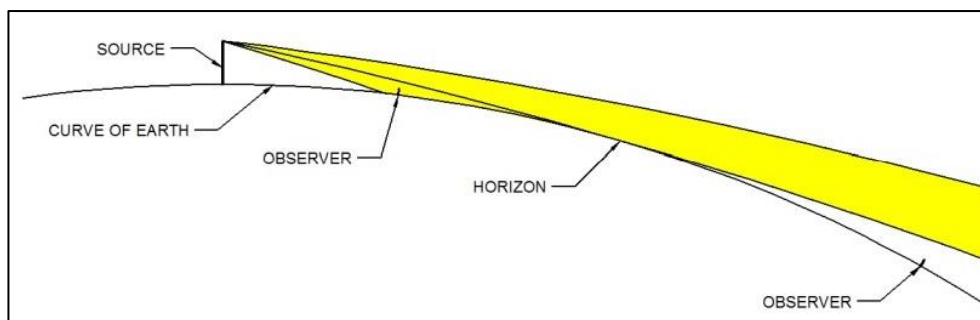
3.2.3 ระยะเห็นได้ไกลของแสงไฟของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ สามารถจำแนกได้ตามนิยาม ดังนี้

(1) ระยะกำหนดในการเห็นแสงไฟ (Nominal Range) โดยระยะกำหนด ๆ นี้ หมายถึง ระยะเห็นได้ไกลของแสงไฟ (Luminous Range) เมื่อทัศนวิสัยอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Visibility) เท่ากับ 10 ไมล์ทะเล ซึ่งสมมูลกับแฟกเตอร์ค่าการส่งผ่านบรรยากาศ (Atmospheric Transmissivity) $T = 0.74$ ค่าระยะนี้โดยปกติเป็นค่าทางการที่ใช้ตีพิมพ์ลงในบรรณสารการเดินเรือ เช่น แผนที่ หรือทำเนียบไฟ เป็นต้น ทั้งนี้การให้ค่าระยะกำหนด (Nominal Range) ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าไฟที่ตรวจนั้นมีฉากหลังที่มืดสนิทและไม่มีแสงที่เป็นฉากหลังรบกวนเลย [12] สำหรับระยะกำหนดในการเห็นแสงไฟ (Nominal Range) นั้น สามารถแปลงค่าจากความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) มาเป็นระยะกำหนด ๆ ในหน่วยไมล์ทะเล (Nautical Miles) ได้ โดยใช้ตารางการแปลงค่าระยะกำหนดจากความเข้มของการส่องสว่างสำหรับการตรวจไฟในเวลากลางคืนของสมาคมประภาคารระหว่างประเทศ (IALA Conversion Table for Luminous Intensity and Nominal Range for Night Observations) ตารางที่ 2

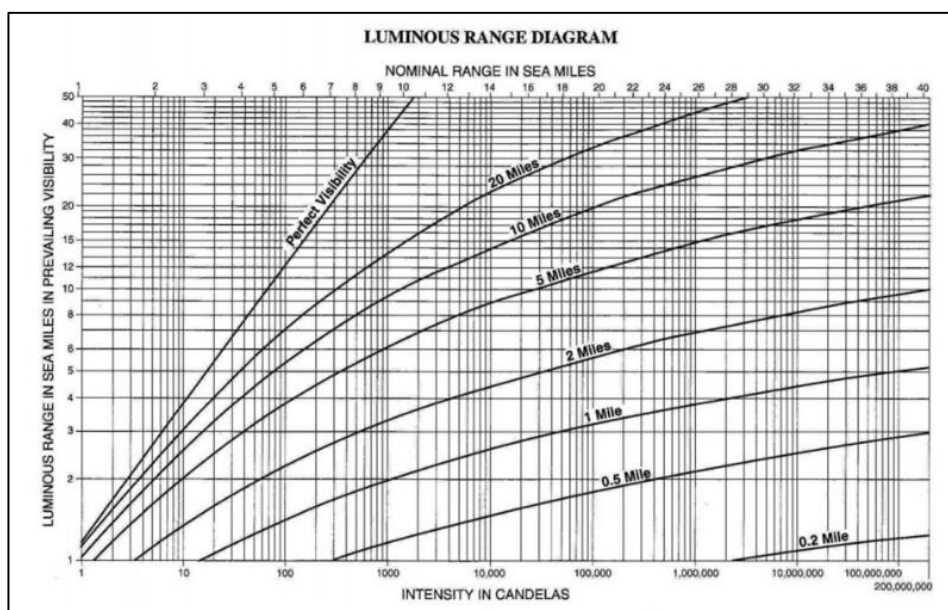
ตารางที่ 2 IALA Conversion Table for Luminous Intensity and Nominal Range for Night Observations [13]

Nominal Range (nautical miles)	Luminous Intensity (candela)	Nominal Range (nautical miles)	Luminous Intensity (candela)
1	0.9	12	3600
1.5	2.4	13	5700
2	5	14	8900
2.5	9	15	14000
3	15	16	21000
3.5	24	17	32000
4	36	18	49000
4.5	53	19	73000
5	77	20	110000
6	150	21	160000
7	270	22	240000
8	480	23	360000
9	820	24	520000
10	1400	25	770000
11	2200	26	1100000

(2) ระยะเห็นได้ไกลของแสงไฟ (Luminous Range) โดยระยะเห็นได้ไกลของแสงไฟนี้ คือ ระยะทางมากที่สุดที่สัญญาณไฟดวงหนึ่ง ๆ สามารถเห็นได้โดยสายตาของผู้ตรวจ ณ เวลาหนึ่ง ๆ ซึ่งหาได้จากทัศนวิสัยอุตุนิยมวิทยาที่เป็นอยู่ในขณะนั้น ทั้งนี้โดยไม่นำสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มาพิจารณาไปด้วย คือ สูงไฟ สูงตาผู้ตรวจ หรือความโค้งของโลก [13] ตามรูปที่ 8 โดย Luminous Range นี้สามารถหาได้โดยใช้ Luminous Range Diagram (รูปที่ 9) โดยอาศัยทัศนวิสัยทางอุตุนิยมวิทยาในขณะนั้น



รูปที่ 8 แสดงความโค้งของโลก (Curve of Earth) ที่จะบดบังทัศนวิสัยของผู้ตรวจ [13]



รูปที่ 9 Luminous Range Diagram [14]

หมายเหตุ จากข้อมูลสถิติทางอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลของกองอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์ฯ พบว่าทัศนวิสัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ 10 ไมล์ทะเล ($T = 0.74$) เป็นค่าที่สอดคล้องกับความเป็นจริงกับทัศนวิสัยจริงในน่านน้ำไทย

(3) ระยะเห็นไกลสุดของวัตถุหรือระยะภูมิศาสตร์ (Geographical Range) หมายถึง ระยะทางมากที่สุดซึ่งวัตถุหรือแหล่งกำเนิดแสงน่าจะมองเห็นได้ภายใต้สภาวะทัศนวิสัยสมบูรณ์ โดยถูกจำกัดไว้เพียงด้วยความโค้งของโลก การหักเหของแสงในบรรยากาศ และความสูงของทั้งผู้ตรวจและไฟ [13]

3.2.4 ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) ของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน พลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าแตกต่างกันออกไปตามรอบการหมุนต่อนาที (Round Per Minutes : RPM)

ซึ่งจากการวิจัยได้ตรวจวัดความเข้มของการส่องสว่างโดยใช้เครื่องวัดแสงระบบดิจิทัล (Digital Light Meter) ดังรูปที่ 10 ที่ความเร็วของรอบการหมุนต่าง ๆ กัน โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ความเข้มของการส่องสว่างของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเร็วในการหมุน (รอบต่อนาที หรือ RPM) ต่าง ๆ [4]

ความเข้มของ การส่องสว่าง (Luminous Intensity)	รอบในการหมุนของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุนฯ ต่อนาที (RPM)						
	ไฟนิ่ง (Fixed) (ไม่มีการหมุน)	0.5 รอบ/นาที (0.5 RPM) หรือใช้เวลา 120 วินาที/รอบ	0.667 รอบ/นาที (0.667 RPM) หรือใช้เวลา 100 วินาที/รอบ	1 รอบ/นาที (1 RPM) หรือใช้เวลา 60 วินาที/รอบ	2 รอบ/นาที (2 RPM) หรือใช้เวลา 30 วินาที/รอบ	3 รอบ/นาที (3 RPM) หรือใช้เวลา 20 วินาที/รอบ	4 รอบ/นาที (4 RPM) หรือใช้เวลา 15 วินาที/รอบ
Foot Candle(fc)	19,486.32	19,099.33	18,593.19	18,323.67	15,824.29	13,646.29	12,627.95
แรงเทียน (cd) ซึ่งเท่ากับ $fc \times 10.764$ ที่ระยะห่าง 1 ม.	209,750.70	205,585.22	200,137.15	197,235.95	170,332.61	146,888.62	135,927.24



รูปที่ 10 การตรวจวัดความเข้มของการส่องสว่างของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ฯ โดยใช้เครื่องวัดแสงระบบดิจิทัล [4]

ตารางที่ 4 ตารางการแปลงความเข้มของการส่องสว่าง เป็นระยะกำหนดในการเห็นแสงไฟ (Nominal Range) ในทัศนวิสัยกลางคืน (Night Time) โดยความเข้มของการส่องสว่างมีหน่วยเป็นแรงเทียน [15]

Table 1 Night time nominal range table (rounded off to the nearest nautical mile)

Luminous intensity	Nominal range (rounded)	Luminous intensity	Nominal range (rounded)	Luminous intensity	Nominal range (rounded)
candelas (cd)	nautical miles (M)	kilocandelas (10^3 cd)	nautical miles (M)	Megacandelas (10^6 cd)	nautical miles (M)
1 - 2	1	0.633 - 1.06	9	0.927 - 1.35	26
3 - 9	2	1.07 - 1.75	10	1.36 - 1.96	27
10 - 23	3	1.76 - 2.84	11	1.97 - 2.84	28
24 - 53	4	2.85 - 4.53	12	2.85 - 4.11	29
54 - 107	5	4.54 - 7.13	13	4.12 - 5.93	30
108 - 203	6	7.14 - 11.1	14	5.94 - 8.53	31
204 - 364	7	11.2 - 17.1	15	8.54 - 12.2	32
365 - 632	8	17.2 - 26.1	16	12.3 - 17.5	33
		26.2 - 39.7	17	17.6 - 25.1	34
		39.8 - 59.9	18	25.2 - 35.9	35
		60.0 - 89.8	19	36.0 - 51.2	36
		89.9 - 133	20	51.3 - 72.9	37
		134 - 198	21	73.0 - 103	38
		199 - 293	22	104 - 147	39
		294 - 432	23	148 - 209	40
		433 - 634	24		
		635 - 926	25		

ซึ่งจากตารางที่ 4 แสดงความเข้มของการส่องสว่างตั้งแต่ 134,000 - 198,000 แรงเทียน ซึ่งเป็นความเข้มของการส่องสว่างตั้งแต่ 4 รอบ/นาทิจนถึง 1 รอบ/นาทิจ อันเป็นรอบการหมุนส่วนใหญ่ที่ใช้งานของตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ และมีระยะกำหนดในการเห็นแสงไฟอยู่ที่ 21 ไมล์ทะเล

4. การทดลองนำไปใช้งาน

4.1 ในการทดลองใช้งานจริงได้นำไปติดตั้งทดลองที่ประภาคารแหลมสิงห์ ต.บางกะไชย อ.แหลมสิงห์ จ.จันทบุรี ตั้งแต่ 21 พฤศจิกายน 2562 จนถึงปัจจุบัน เพราะเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะอากาศเป็นตัวแทนพื้นที่ชายฝั่งทะเลและเกาะในน่านน้ำไทย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ติดตั้งประภาคารและกระโจมไฟของกรมอุทกศาสตร์ฯ ทั้งหมดได้ โดยมีลักษณะอากาศร้อนชื้น ฝนตกชุก ตั้งอยู่ไม่ห่างจากกรมอุทกศาสตร์ฯ และมีเจ้าหน้าที่ประภาคารแหลมสิงห์ตรวจสอบและรวบรวมข้อมูลการทำงานของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุนฯ ได้อย่างต่อเนื่อง

4.2 ข้อมูลการทำงาน (บันทึกโดยเจ้าหน้าที่ของประภาคารแหลมสิงห์ตั้งแต่วันที่ 21 พฤศจิกายน 2562 จนถึงปัจจุบัน)

4.2.1 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องไว้ตะเกียง ๆ โดยเฉลี่ย 41.0 °C และภายนอกโดยเฉลี่ย 37.4 °C (อุณหภูมิภายในห้องไว้ตะเกียง ๆ สูงกว่าภายนอกโดยเฉลี่ย 3.6 °C)

4.2.2 การทำงานของแบตเตอรี่ ใช้แบตเตอรี่ Seal Lead Acid ขนาด 12 V 100 Ah จำนวน 2 หม้อต่ออนุกรมกัน ได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 26.8 V กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 2.7 A ซึ่งพอเพียงต่อการทำงานของ

ต้นแบบตะเกียง ฯ (ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 1.67 A เมื่อทำงานในเวลากลางคืน แต่ในเวลากลางวันจะใช้กำลังไฟฟ้าน้อยมากประมาณ 0.1 A) และมีประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่โดยเฉลี่ย 89.30 % อีกทั้งสภาพของแบตเตอรี่เป็นปกติ ไม่แตกร้าว หรือบวมพอง

4.2.3 การทำงานของโซลาร์เซลล์ ใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 120 W 18 V 5 A จำนวน 2 แผง มาต่ออนุกรมกัน ได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 39.80 V และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 2.8 A ซึ่งพอเพียงสำหรับการทำงานของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ฯ อีกทั้งสภาพของแผงโซลาร์เซลล์เป็นปกติ ไม่แตกร้าว หรือชำรุดเสียหาย

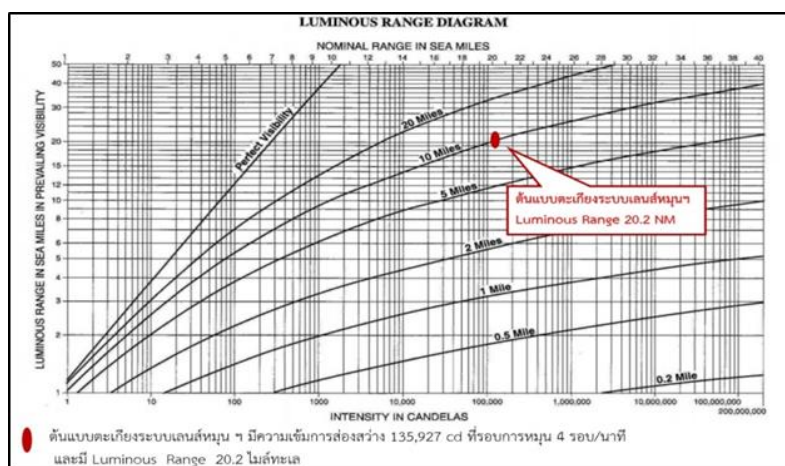
4.2.4 การทำงานของเครื่องแสงสว่าง LED (LED Light Source) เป็นปกติ โดยแสงสว่างชัดเจน ไม่ดับ หรือแสงสว่างไม่เด่นชัด

4.2.5 เลนส์ทั้งที่เป็นเลนส์ปกติ (โพลีคาร์บอเนต) และแผ่นปิดเลนส์ (แผ่น Blanking ซึ่งทำด้วยแผ่นอะคริลิกทึบแสงสีดำ) อยู่ในสภาพปกติ โดยเฉพาะเลนส์โพลีคาร์บอเนตไม่แตกร้าว คดงอ หรือเปลี่ยนสี

4.3 ระยะเห็นได้ไกลของแสงไฟจากต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ฯ ที่ความเร็วในการหมุน 4 รอบ/นาที (4 RPM) มีความเข้มของการส่องสว่าง 135,927 แสงเทียน จากตรวจวัดความเข้มของการส่องสว่างโดยใช้เครื่องวัดแสงระบบดิจิทัล สามารถแบ่งออกได้เป็น

4.3.1 ระยะกำหนดในการเห็นแสงไฟ (Nominal Range) อยู่ที่ 21 ไมล์ทะเล จากความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) 135,927 แสงเทียน ที่ความเร็วในการหมุน 4 รอบ/นาที (4 RPM) ตารางที่ 4

4.3.2 ระยะเห็นได้ไกลของแสงไฟ (Luminous Range) อยู่ที่ 20.2 ไมล์ทะเล จากความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) 135,927 แสงเทียน ที่ทัศนวิสัยทางอุตุนิยมวิทยา 10 ไมล์ทะเล หรือ $T = 0.74$ โดยใช้ Luminous Range Diagram ตามรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงระยะเห็นได้ไกลของแสงไฟ (Luminous Range) ของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ฯ [4]

4.3.3 ระยะเวลาศาสตร์ (Geographic Range) มีระยะแตกต่างกันออกไปตามความสูงของผู้ตรวจ โดยประกาศการแหลมสิ่งที่มีความสูงจากระดับทะเลปานกลางถึงศูนย์กลางตะเกียงระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ติดตั้ง หรือสูงวัตถุ (H_m) เท่ากับ 83 ม. ในขณะที่ผู้ตรวจซึ่งอยู่บนเรือต่าง ๆ จะมีสูงตาของผู้ตรวจ (H_o) แตกต่างกันไป เช่น เรือหลวงสุริเยะ จะมีสูงตาผู้ตรวจประมาณ 6 ม. เรือหลวงกันตัง ประมาณ 4.5 ม. เรือ ต.235 236 และ 270 ประมาณ 3 ม. และเรือยนต์รับจ้างจะมีสูงตาผู้ตรวจประมาณ 2.5 ม. ซึ่งสามารถแสดงระยะเวลาศาสตร์ของการวิจัย ๆ จากการคำนวณตามสูตรในข้อ 3.2.3 ได้ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงระยะเวลาศาสตร์ และระยะเห็นได้ไกลของแสงไฟจากการตรวจสอบ (Observed Range) ของการวิจัย ๆ

ลำดับ	พาหนะ/เวลาในการตรวจสอบ	ระยะเวลาศาสตร์ (Geographic Range : Rg)			ระยะเห็นได้ไกลของแสงไฟจากการตรวจสอบ (Observe Range) (ไมล์ทะเล)	หมายเหตุ
		สูงตาผู้ตรวจ (H_o) (ม.)	สูงวัตถุ (H_m) (ม.)	ระยะเวลาศาสตร์ (ไมล์ทะเล)		
1.	เรือยนต์รับจ้าง 21 พ.ย.62 เวลา 1810 - 1848	2.5	83	21.70	20.08	
2.	เรือ ต.235 29 พ.ย.62 เวลา 1800 - 1825	3	83	22.01	19	
3.	ร.ล.กันตัง 6 ธ.ค.62 เวลา 1800 - 1850	4.5	83	22.80	20	
4.	เรือ ต.236 26 ม.ค.63 เวลา 1900 - 1935	3	83	22.01	16.3	ทัศนวิสัย 5 - 8 ไมล์ทะเล
5.	ร.ล.สุริเยะ 26 ม.ค.63 เวลา 2230 - 2315	6	83	23.47	23.4	ทัศนวิสัย 10 - 12 ไมล์ทะเล
6.	เรือ ต.270 7 พ.ค.63 เวลา 2200 - 2230	3	83	22.01	20	มีฝนบางพื้นที่ ทัศนวิสัย 8 - 10 ไมล์ทะเล
เฉลี่ย				22.33	19.80	

4.4 สามารถสรุปผลการดำเนินงานของต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ของโครงการวิจัย ๆ ได้ดังนี้

4.4.1 จากการทำงานในสภาวะตามธรรมชาติเป็นระยะเวลาเกินกว่า 1 ปี พบว่าต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ สามารถใช้งานได้ตามปกติ โดยไม่มีข้อขัดข้องหรือเสียหายตลอดการใช้งาน อีกทั้งส่วนประกอบต่าง ๆ อาทิ เครื่องแสงสว่างไดโอดเปล่งแสง เลนส์ แบตเตอรี่ แผงโซลาร์เซลล์อยู่ในสภาพปกติ รวมทั้งภายในเรือนตะเกียง ๆ (Housing) ไม่มีไอน้ำ หรือฝุ่นผงเข้าไปในเรือนตะเกียง ๆ สามารถเทียบเคียงได้กับมาตรฐาน IP 65 [16] รวมทั้งส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ครอบนอกอะคริลิคโครงสร้างและการต่อเชื่อมจุด

4.4.2 ระยะเห็นได้ไกลของแสงไฟ (Luminous Range) อยู่ที่ 20.2 ไมล์ทะเล จากความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) 135,927 แสงเทียน ที่ทัศนวิสัยทางอุตุนิยมวิทยา 10 ไมล์ทะเล หรือ $T = 0.74$ ของรอบการหมุน 4 รอบ/นาที (4 RPM) โดยมีระยะกำหนดในการเห็นแสงไฟ (Nominal Range) อยู่ที่ 21 ไมล์ทะเล และจากการตรวจสอบของเรือต่าง ๆ ในทะเล จะมีระยะเห็นได้จริงของแสงไฟ (Observe Range) อยู่ระหว่าง 16 – 23 ไมล์ทะเล หรือเฉลี่ยอยู่ที่ระยะ 19.80 ไมล์ทะเล

4.4.3 ต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุน ๆ ยังมีข้อดีอีกหลายประการ กล่าวคือ มีน้ำหนักเบา ใช้พลังงานน้อย สามารถถอดแยกชิ้นส่วนย่อยได้หลายชิ้น จึงสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย วัสดุอุปกรณ์ส่วนใหญ่สามารถจัดหาได้จากในประเทศยกเว้นเครื่องแสงสว่าง LED ที่ต้องจัดหาจากต่างประเทศ และสามารถประหยัดงบประมาณของกองทัพเรือ กล่าวคือเฉพาะในส่วนวัสดุอุปกรณ์จะมีราคาประมาณ 400,000 บาท ต่อระบบ ซึ่งเมื่อรวมประมาณการค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ทั้งสิ้นแล้วจะมีราคาประมาณ 600,000 - 700,000 บาท ต่อระบบ ในขณะที่หากจัดหาจากต่างประเทศทั้งระบบจะมีราคาอยู่ที่ 2,500,000 - 3,400,000 บาท

5. สรุป

ผลจากการวิจัยของคณะทำงานโครงการวิจัย ฯ ประสบความสำเร็จตามความมุ่งหมาย สามารถสร้างต้นแบบตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์ได้สำเร็จและนำไปใช้ได้จริง โดยในปัจจุบันต้นแบบตะเกียงฯ ได้ผ่านการรับรองมาตรฐานผลงานวิจัยจากคณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทธโธปกรณ์ กองทัพเรือ (กมย.ทร.) แล้ว เมื่อ 26 สิงหาคม 2563 โดยมีความเหมาะสม ความเป็นไปได้ และมีความคุ้มค่า สามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบสำหรับผลิตใช้งานในกองทัพเรือเป็นตะเกียงดวงหลักของประภาคารและกระโจมไฟของกรมอุทกศาสตร์ โดยมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการจัดหาจากต่างประเทศ แต่มีราคาต่ำกว่า 3 – 4 เท่าตัว ซึ่งจะช่วยในการเดินเรือบริเวณชายฝั่งและเกาะในทะเลของน่านน้ำไทยเป็นไปด้วยความปลอดภัยยิ่งขึ้น จากดวงไฟที่มีขนาดใหญ่เห็นได้ชัดเจนจากระยะไกลและสามารถแยกไฟออกจากแสงสว่างฉากหลังได้ง่าย รวมทั้งเมื่อนำไปต่อเชื่อมเข้ากับอุปกรณ์ระบบควบคุมติดตามระยะไกลและสารสนเทศเครื่องหมายทางเรือ (Automatic Identification System: AIS) ที่ติดตั้งกับเครื่องหมายช่วยการเดินเรือ (AIS AtoN) หรืออุปกรณ์ทวนสัญญาณระบบ AIS (AIS Repeater AtoN) ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลสารสนเทศเกี่ยวกับสถานะของเครื่องหมายทางเรือตลอดจนข้อมูลอื่น ๆ ที่ต้องการไปยังเรือที่ติดตั้งอุปกรณ์ระบบ AIS หรือสถานีควบคุมของกรมอุทกศาสตร์ฯ ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองทัพเรือ, กรมอุทกศาสตร์. คู่มือเครื่องหมายทางเรือ (NAVGUIDE). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กองสร้า
แผนที่ กรมอุทกศาสตร์; 2560.
- [2] Heller D. Lighthouse and Light Beams [Internet]. [place unknown]: [publisher
unknown]; 2008 [updated 2018 Oct 22; cited 2021 May 11]. Available from:
[https://www.danheller.com/images/California/Mendocino/Lighthouse/Nite/Slidesho
w/img7.html](https://www.danheller.com/images/California/Mendocino/Lighthouse/Nite/Slideshow/img7.html)
- [3] Tideland Signal Corporation. TRB-400 MaxLumina® Rotating Beacon, p2 [Internet].
Houston: Tideland Signal Manufacturing LLC; 2016 [cited 2021 April 10]. Available
from: www.tidelandsignal.com
- [4] กองทัพเรือ, กรมอุทกศาสตร์. การสร้างตะเกียงระบบเลนส์หมุนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้กับ
ประภาคาร/กระโจมไฟของ อศ. สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพเรือ (สวพ.ทร.).
กรุงเทพฯ: กรมอุทกศาสตร์; 2562.
- [5] เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) [อินเทอร์เน็ต]. [ม.ป.ท.]: [ม.ป.พ.]; 2021 [สืบค้นเมื่อวันที่ 10
เม.ย. 64]. จาก: [https://sites.google.com/site/plastic9911/kar-thdsxb-khwam-khaeng-
hardness-test/withi-kar-thi-tha-helk-dad-thx](https://sites.google.com/site/plastic9911/kar-thdsxb-khwam-khaeng-hardness-test/withi-kar-thi-tha-helk-dad-thx)
- [6] Polycarbonate คืออะไร [อินเทอร์เน็ต]. [ม.ป.ท.]: [ม.ป.พ.]; 2014 [สืบค้นเมื่อวันที่ 10 เม.ย. 64].
จาก: <http://www.glassessport.com/articles/526831/Polycarbonate.html>
- [7] เกี่ยวกับโพลีคาร์บอเนต [อินเทอร์เน็ต]. [ม.ป.ท.]: [ม.ป.พ.]; 2021 [สืบค้นเมื่อวันที่ 25 ต.ค. 64].
จาก: [http://www.sunasia.com.tw/th/page/-Polycarbonate/about-
polycarbonate.html#T01](http://www.sunasia.com.tw/th/page/-Polycarbonate/about-polycarbonate.html#T01)
- [8] บัญชา พนเจริญสวัสดิ์. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 24 สาขา
วิทยาศาสตร์ 27-29 มกราคม 2529 ณ อาคารศูนย์เรียนรวม วิทยาเขตบางเขน: ทฤษฎีเลนส์เฟรสเนล
(Fresnel Lense Theory). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2529.
- [9] สายันต์ เจริญผล, นาวาโท. ตะเกียงระบบพลังงานแสงอาทิตย์. กรุงเทพฯ: กองสร้างแผนที่ กรมอุทกศาสตร์;
2540.
- [10] Fresnel Technologies. Fresnel Lenses [Internet]. Texas: Fresnel Technologies; 1996-
2014 [cited 2021 April 10]. Available from: <https://www.fresneltech.com/fresnel-lenses>
- [11] Tideland Signal Corporation. TRB-400 MaxLumina® Rotating Beacon, p3 [Internet].
Houston: Tideland Signal Manufacturing LLC; 2016 [cited 2021 April 10]. Available
from: www.tidelandsignal.com
- [12] กองทัพเรือ, กรมอุทกศาสตร์. คู่มือเครื่องหมายทางเรือ (NAVGUIDE). กรุงเทพฯ: กองสร้างแผนที่
กรมอุทกศาสตร์; 2560.

- [13] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouses Authorities (IALA). IALA Navguide aids to navigation manual. 7th ed. France: IALA-AISM; 2014.
- [14] Willemsen D. Nominal to luminous range [Internet]. [place unknown]: [publisher unknown]; 2021 [updated 2021 Jan 26; cited 2021 Apr 10]. Available from: <https://www.sailingissues.com/light/luminous-range-diagram.html>
- [15] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouses Authorities (IALA). IALA Recommendation, R0202 (E200-2) Marine Signal Lights - Calculation, Definition and Notation of Luminous Range. 2.1st ed. France: IALA-AISM; 2017.
- [16] โอเมก้า เมชเชอริง อินสทรุเม้นท์. มาตรฐาน IP [อินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี: โอเมก้า เมชเชอริง อินสทรุเม้นท์; 2560. [ปรับปรุงข้อมูลเมื่อวันที่ 15 ม.ค. 2560; สืบค้นเมื่อวันที่ 20 เม.ย. 64]. จาก: <https://www.omi.co.th/th/article/มาตรฐาน-ip>

การออกแบบและประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ

Design and Efficiency Evaluation of Single Plane Balancing Laboratory

ฤทธิรงค์ อริยธนพล¹ วินัย เศรษฐโชตินันท์² วัฒนา น้อยทอง³ และ ปิจิราวุธ เวียงจันดา⁴

Rittirong Ariyatanapol¹ Vinai Sathatachotinun² Watana Noithong³ and

Pijirawuch Wiengchanda⁴

Received : February 1, 2022

Revised : February 16, 2022

Accepted : February 22, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและประเมินประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ โดยชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ นี้ ประกอบด้วย เครื่องฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ และเอกสารประกอบการสอน ได้แก่ ใบเนื้อหา ใบงาน ใบประกอบ แบบฝึกหัด และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระเบียบวิธีวิจัยได้กำหนดให้ใช้แบบสอบถามชนิดมาตรวัดชนิด 5 ระดับ แบบมาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ท (Likert Rating Scales) เพื่อสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ จำนวน 6 ท่าน ผลการประเมินด้านคุณภาพในภาพรวม มีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.31 และนำชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ ไปหาประสิทธิภาพจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 32 นาย มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4.01 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.62 และมีผลการประเมินประสิทธิภาพ พบว่า ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของกระบวนการ (E1) คิดเป็น ร้อยละ 84.06 และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E2) คิดเป็นร้อยละ 86.52 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์สมมติฐาน (80/80) ที่ได้กำหนดไว้ สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนได้

คำสำคัญ: การถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ, การสั่นสะเทือน, มาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ท

¹อาจารย์, กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Lecturer, Marine Engineering Department, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy

E-mail: ariyatanapol@hotmail.com

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Assistant Professor, Marine Engineering Department, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy

E-mail: tmovinai22@gmail.com

³ผู้ช่วยศาสตราจารย์, กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Assistant Professor, Marine Engineering Department, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy

E-mail: wnoithong@hotmail.com

⁴ผู้ช่วยศาสตราจารย์, กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Assistant Professor, Marine Engineering Department, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy

E-mail: pijirawuch.w@navy.mi.th

Abstract

The objectives of this research aimed to design and evaluate the efficiency of Single Plane Balancing Laboratory. The laboratory set includes the Single Plane Balancing Laboratory, information sheet, worksheet, laboratory sheet, exercise sheet and examination sheet. The research methodology was designed to five levels questionnaire with Likert rating scales to investigate 6 experts' opinion for quality of Single Plane Balancing Laboratory. The quality evaluation results show that the overall quality was in the highest quality level with average score of 4.31 (S.D. = 0.31). The satisfaction and efficiency evaluation of Single Plane Balancing Laboratory performed the experiment with 32 students of sampling group. The average satisfaction with Single Plane Balancing Laboratory was at a high level. The mean was 4.01 and the standard deviation was 0.62. The efficiency analysis reveals that the process efficiency (E1) about 84.06% and outcome efficiency (E2) about 86.52% are higher than expectation (80/80). It can be concluded that the single plane balancing laboratory is qualified for teaching.

Keyword: Single Plane Balancing Laboratory, Vibration, Likert Rating Scales

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางการศึกษามีความเจริญก้าวหน้าและได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว การเรียนการสอนที่ใช้เทคโนโลยีทางการศึกษาได้มีบทบาทสำคัญอย่างสูงในสังคมการศึกษาทั้งในระบบการศึกษาและนอกระบบการศึกษา ทุกประเทศต่างก็มีการพัฒนาสื่อการศึกษาของตนเองให้มีความหลากหลายและทันสมัยอยู่เสมอ ความเจริญก้าวหน้าทางด้านวิชาการส่งผลให้ครูผู้สอนต้องผลิตสื่อการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดกับสภาพการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนได้รับรู้และเข้าใจในเนื้อหาวิชาของครูผู้สอนได้เป็นอย่างดี ในการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์นั้น การปฏิบัติการทดลองถือเป็นองค์ประกอบหนึ่งของกระบวนการศึกษาที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างมากเพราะการปฏิบัติการทดลองช่วยให้นักเรียนนายเรือ (นร.) สามารถเข้าใจหลักการทางทฤษฎีได้มากขึ้น อีกทั้งยังเป็นอีกช่องทางหนึ่งในการเพิ่มทักษะในการปฏิบัติงานการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ให้กับ นร.

ผู้วิจัยได้ทำการสอนในรายวิชาการสันสะเทือนทางกล พบปัญหาที่สำคัญ คือ การสอนวิชานี้ในหัวข้อเรื่อง การควบคุมการสันสะเทือนทางกล จำเป็นที่จะต้องใช้สื่อการเรียนการสอน เช่น ใบงาน ชุดทดลอง มาประกอบการเรียนการสอน เพื่อให้ผู้เรียนได้พิสูจน์หลักการต่าง ๆ ทางทฤษฎีด้วย และได้ประสบการณ์ตรงในการค้นคว้าหาข้อเท็จจริงจากการลงมือปฏิบัติจริง นอกจากนี้ยังมุ่งให้ผู้เรียนได้คุ้นเคยกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม แต่การจัดหาชุดทดลองที่มีประสิทธิภาพ

ต่อการเรียนการสอนในปัจจุบันนี้ได้ประสบปัญหาที่สำคัญ คือ ชุดปฏิบัติการถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุน มีราคาแพง อีกทั้งยังขาดความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาชุดทดลองฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุนจำลองแบบหนึ่งระนาบที่มีราคาต่ำ แต่มีความยืดหยุ่นสำหรับการประยุกต์ใช้สูง สามารถสร้างความรู้ความเข้าใจพฤติกรรมของกระบวนการและฝึกฝนทักษะในการควบคุมการสั่นสะเทือนทางกลให้แก่ นร. ได้เป็นอย่างดี

การจัดการสอนที่ใช้โครงงานเป็นฐาน (Project – Based Learning) ในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้ในงานวิศวกรรมมากขึ้น ซึ่งการสอนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน มีข้อเด่นในด้านช่วยให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการแก้ปัญหา ทักษะในการสืบค้นข้อมูล การร่วมมือกันทำงาน ตลอดจนกระตุ้นให้ผู้เรียนอยากที่จะเรียนรู้ [1] ซึ่งสอดคล้องกับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 [2] ทั้งนี้การจัดหลักสูตรให้สอดคล้องกับการสอนที่ใช้โครงงานเป็นฐาน จะต้องรวมหลักสูตรให้วิชาทฤษฎีและปฏิบัติเป็นหนึ่งเดียวกัน [3] กล่าวคือ ในรายวิชาใด ๆ ก็ตามจะต้องมีทั้งทฤษฎีและปฏิบัติหลอมรวมอยู่ในวิชานั้น ๆ

ในการวิจัยนี้ ประชากรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิชาการสั่นสะเทือนทางกล และผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุน จำนวน 6 ท่าน เพื่อใช้ประเมินหาคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ และ นักเรียนนายเรือ ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ จำนวน 32 นาย ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาการสั่นสะเทือนทางกล และ รายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลเรือ 2 ในปีการศึกษา 2564 เพื่อใช้ประเมินความพึงพอใจต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ โดยใช้แบบสอบถามชนิดมาตรวัด 5 ระดับ แบบมาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ต (Likert Rating Scales)

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจากการออกแบบ และสร้างชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ การทดสอบการทำงานของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ จนได้ผลถูกต้องตามทฤษฎี จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินหาคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ แล้วจึงนำไปใช้ในการเรียนการสอนกับผู้เรียนที่เรียนในรายวิชาการสั่นสะเทือนทางกล และ รายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลเรือ 2 ในปีการศึกษา 2564 ซึ่งผู้เรียนจะต้องทำการฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลตามโจทย์ที่ผู้สอนกำหนด ให้มีความถูกต้องตามทฤษฎี จากนั้นก็ทำการประเมินความพึงพอใจในการใช้ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

2.1 การออกแบบ และสร้างชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

2.1.1 หลักการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ [4 – 7]

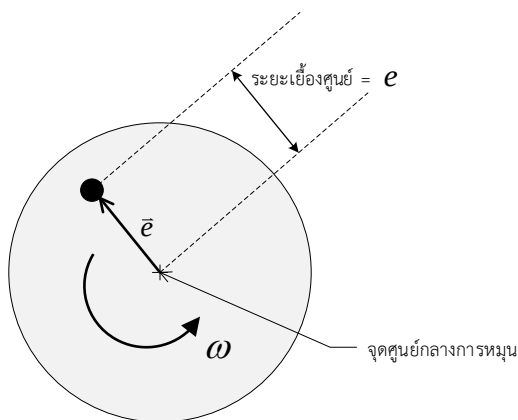
จากรูปที่ 1 แผ่นจานหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม (ω) รอบจุดหมุน สมมติว่าจุดศูนย์กลางมวลของแผ่นจานอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนของแผ่นจานเท่ากับระยะเยื้องศูนย์ (e) จากรูปที่ 2 กำหนดให้จุดศูนย์กลางการหมุนของแผ่นจานอยู่ที่ตำแหน่งจุดกำเนิด (Origin) ของแกนพิกัด $x - y$ ดังนั้นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลแสดงได้ด้วยเวกเตอร์ e ที่หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม (ω) โดยประกอบด้วย

จำนวนเชิงซ้อน ซึ่งแกน X แทนด้วยจำนวนจริง และแกน y แทนด้วยจำนวนจินตภาพ แรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากมวลเยื้องศูนย์กลาง คือ เวกเตอร์ที่มีทิศทางพุ่งออกจากจุด e และมีขนาดของแรงไม่สมดุล (f_0) เท่ากับ

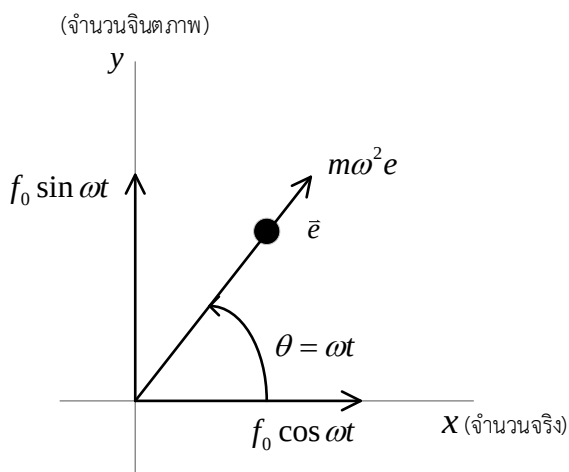
$$f_0 = m\omega^2 e \quad (1)$$

เมื่อ m คือ มวลที่ทำให้เกิดแรงไม่สมดุล (kg) ω คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s) และ e คือ ระยะเยื้องศูนย์กลาง (m)

โดยแรงไม่สมดุล (f_0) มีส่วนประกอบฮาร์มอนิกในแนวแกน X และ y มีค่าเท่ากับ $f_{0,x} = f_0 \cos \theta$ และ $f_{0,y} = f_0 \sin \theta$ ตามลำดับ เมื่อ θ คือ มุมที่แสดงทิศทางของแรงหนีศูนย์กลางเทียบกับแกน X มีค่าเท่ากับ ωt ดังนั้น การทำให้แผ่นจานสมดุลจะสามารถกระทำได้ด้วยการเพิ่มมวล m ที่ตำแหน่งเวกเตอร์ $-e$ นั่นคือ ขนาดมวล m และตำแหน่งของเวกเตอร์ e ต้องสามารถวิเคราะห์ได้



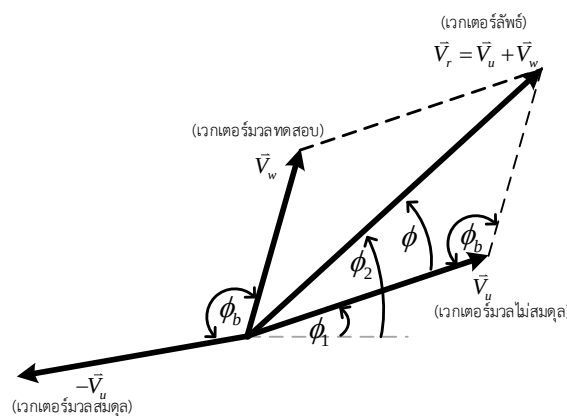
รูปที่ 1 การไม่สมดุลของแผ่นจานของมวลเยื้องศูนย์กลาง



รูปที่ 2 แรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากมวลที่ไม่สมดุล

การวิเคราะห์เพื่อหาค่ามวล m และตำแหน่งของเวกเตอร์ e จำเป็นต้องนำเครื่องมือวัดมาช่วยวิเคราะห์ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ใช้เซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือนในการเก็บข้อมูล หรือสัญญาณการสั่นที่เกิดขึ้นที่เพลลาของชุดทดลอง ขั้นตอนการวิเคราะห์สมดุลจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงเรขาคณิต ซึ่งมีขั้นตอนการตรวจสอบ และวิเคราะห์ผลดังนี้ แสดงดังรูปที่ 3

- วัดความไม่สมดุลเริ่มต้น ทำได้โดยวัดขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือน (V_u) และมุมเฟส ϕ_1 ของแรงหนีศูนย์กลางเนื่องจากมวลเยื้องศูนย์กลาง m โดยมุมเฟส จะวัดเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง
- การเพิ่มมวลทดสอบ ทำได้โดยนำมวลทดสอบ m_b ที่ทราบขนาด ไปติดตั้งบนแผ่นจานในตำแหน่งที่กำหนดไว้ ซึ่งมวลที่เพิ่มเข้าไปจะทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง $\vec{V}_w$ และแรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับจานหมุน คือ $\vec{V}_r$ ซึ่งเป็นแรงหนีศูนย์กลางที่เป็นผลรวมของมวลไม่สมดุลเริ่มต้น และมวลทดสอบที่เพิ่มเข้าไป
- ขนาดความไม่สมดุลรวมของมวล m และ m_b และตำแหน่งของ $\vec{V}_r$ สามารถวัดได้โดยวัดจากขนาดสัญญาณการสั่นสะเทือน ($\vec{V}_r$) และ มุมเฟส ϕ_2 ซึ่งวัดเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงเดียวกันกับมุมเฟส ϕ_1



รูปที่ 3 ผังเวกเตอร์ของสมดุลหนึ่งระนาบ

จากผังเวกเตอร์ดังรูปที่ 3 แรงหนีศูนย์กลาง $\vec{V}_u$ และ $\vec{V}_w$ เกิดจากมวลไม่สมดุลเริ่มต้น และมวลทดสอบตามลำดับ ผลของความไม่สมดุลจากมวลทั้งสอง คือ $\vec{V}_r = \vec{V}_u + \vec{V}_w$ ดังนั้น การถ่วงสมดุลมวลเพื่อให้จานหมุนอย่างสมดุลกระทำได้ด้วยการหาค่าขนาด และทิศทางของเวกเตอร์ $-\vec{V}_u$ ซึ่งถ้าทราบค่ามุม ϕ_b จะทำให้ทราบทิศทางของเวกเตอร์ $-\vec{V}_u$ สมมติให้มวลถ่วงที่เพิ่มเพื่อให้เกิดสมดุลมีค่าเท่ากับ m_b และเพิ่มเข้าไปที่ระยะเยื้องศูนย์กลางเท่ากับตำแหน่งของมวลทดสอบ มวลถ่วง m_b คำนวณได้จากสมการ

$$\frac{m_b}{m_t} = \frac{V_u}{V_w} \quad (2)$$

เมื่อ m_b คือ มวลไม่สมดุลเริ่มต้น (kg) m_t คือ มวลทดสอบ (kg) $\vec{V}_u$ และ $\vec{V}_w$ คือ เวกเตอร์ของแรงหนีศูนย์กลางเกิดจากมวลไม่สมดุลเริ่มต้น และมวลทดสอบ (N) ตามลำดับ

ดังนั้น การคำนวณหามวลถ่วง m_b จำเป็นต้องทราบอัตราส่วน $\vec{V}_u/\vec{V}_w$ ซึ่งขนาดของ $\vec{V}_w$ (รูปที่ 4) สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$\phi = \phi_2 - \phi_1 \quad (3)$$

$$V_w^2 = V_u^2 + V_r^2 - 2V_u V_r \cos \phi \quad (4)$$

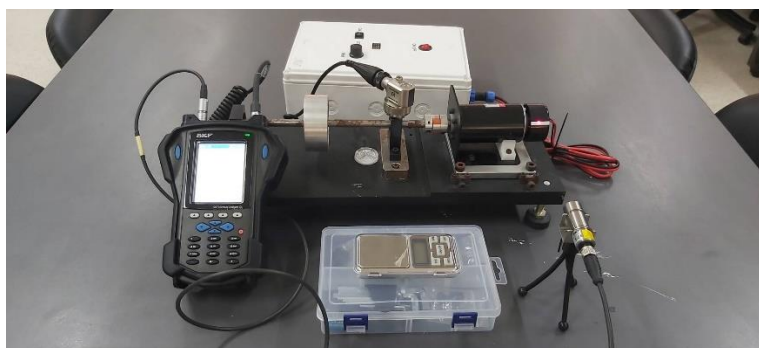
จากสมการที่ (3) และ (4) ทำให้ทราบค่า $\vec{V}_w$ ส่วนมุม ϕ_b (รูปที่ 3) คำนวณได้จาก

$$V_r^2 = V_u^2 + V_w^2 - 2V_u V_w \cos \phi_b \quad (5)$$

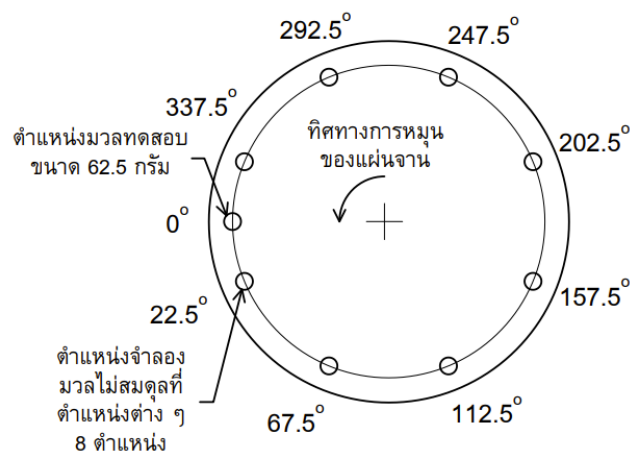
$$\phi_b = \cos^{-1} \frac{V_u^2 + V_w^2 - V_r^2}{2V_u V_w} \quad (6)$$

มุม ϕ_b ที่คำนวณจากสมการที่ (6) อาจหาค่าได้จากผังเวกเตอร์ดังรูปที่ 3 โดยการวัดมุมระหว่างเวกเตอร์ $-\vec{V}_u$ และ $\vec{V}_w$ ดังนั้น ตำแหน่งของมวลไม่สมดุลเริ่มต้น (Original Unbalance) จะวัดจากตำแหน่งของมวลทดสอบออกไปเท่ากับ ϕ_b และมีขนาดเท่ากับมวลที่คำนวณได้ตามสมการที่ (1) ถ้าต้องการใช้วิธีแก้ไขด้วยการเพิ่มมวลจะต้องบวกมุมเพิ่มอีก 180° จากตำแหน่งของมวลไม่สมดุลเริ่มต้นที่คำนวณได้

2.1.2 เครื่องฝึกถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ

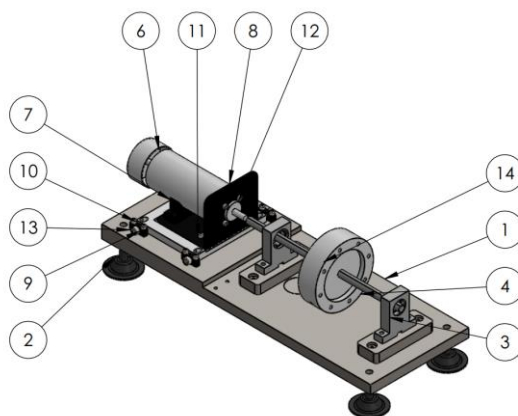


รูปที่ 4 ชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ



รูปที่ 5 ตำแหน่งการจำลองมวลไม่สมดุล และตำแหน่งมวลทดสอบ

ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ นี้ ประกอบด้วยเครื่องฝึกถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ ประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียมหนา 20 มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 9 ซม. ติดอยู่บนเพลาลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มม. ยาว 250 มม. รองรับด้วยบอลเบริงทั้งสองข้างห่างกัน 200 มม. โดยเพลานี้ถูกขับเคลื่อนด้วยดีซีมอเตอร์ขนาด 12 โวลต์ สามารถปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 0 – 3000 รอบต่อนาที ทั้งหมดถูกติดตั้งอยู่บนฐานเหล็กขนาด 300 มม. X 150 มม. โดยฐานนี้มีน้ำหนัก 25 กิโลกรัม เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนในขณะที่แผ่นจานหมุน ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ สามารถประยุกต์ใช้กับชุดเครื่องวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน SKF Microlog พร้อม Vibration Sensor และ Tacho Sensor ได้ โดยเซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือนจะติดตั้งที่โครงเบริงตัวหน้า ที่ติดกับแผ่นจาน ส่วนเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบจะติดตั้งที่ด้านท้ายของมอเตอร์ ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ จะมีความเร็วรอบที่ใช้ทดสอบสามารถทดสอบได้ที่ไม่เกิน 2,800 รอบต่อนาที การทดลองการสมดุลหนึ่งระนาบบนแผ่นจานทำได้จากการจำลองความไม่สมดุลของแผ่นจานด้วยมวลขนาด 5 - 25 กรัม ซึ่งถูกติดตั้งบนแผ่นจาน ณ ตำแหน่งดังรูปที่ 5 โดยมีไดอะแกรมและรายละเอียดอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ไดอะแกรมของชุดฝึกถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ

จากไดอะแกรม หมายเลข 1 เป็นฐานของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ หมายเลข 2 เป็นแท่นรองรับ ชนิดลดการสั่นสะเทือน หมายเลข 3 เป็นแท่นรองรับร่องลื่น หมายเลข 4 เป็นเพลลา หมายเลข 6 เป็นมอเตอร์ กระแสตรง หมายเลข 7 เป็นฐานของมอเตอร์ หมายเลข 8 เป็นแท่นรองรับมอเตอร์กระแสตรง หมายเลข 9 เป็นสลักปรับ Alignment หมายเลข 10 11 12 และ 13 เป็นสลักยึดฐานของมอเตอร์ หมายเลข 14 เป็นจานหมุน

2.2 การประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

2.2.1 การประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

ดำเนินการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์สอนด้านการสอนวิชาการสั่นสะเทือนทางกล และผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุน จำนวน 6 ท่าน โดยใช้แบบประเมินคุณภาพของ ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ชนิดมาตรวัด 5 ระดับ แบบมาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ต (Likert Rating Scales) เนื่องจาก มีความง่ายในการสร้างแบบทดสอบ มีความเชื่อมั่นสูง และสามารถพัฒนาเพื่อวัดทางด้านความรู้สึกได้หลายอย่าง โดยแบบประเมินประกอบด้วยหัวข้อการประเมินจำนวน 18 หัวข้อ ใน 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความเหมาะสมและการออกแบบ ด้านใบงาน ใบประกอบ และแบบฝึกหัด และ ด้านใบเนื้อหา โดยการประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เพื่อแสดงให้เห็นว่าชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการเรียนการสอนนั้น มีความเหมาะสมหรือไม่ โดยใช้แบบสอบถาม

2.2.2 การประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

ดำเนินการประเมินผู้เรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 32 นาย โดยใช้ใบงาน และแบบฝึกหัด และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพในการเรียนการสอนตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่มากกว่า 80/80 (E_1/E_2) [8] หรือไม่

กระบวนการ E_1 หมายถึง คะแนนที่ผู้เรียนได้จากแบบทดสอบท้ายการฝึกปฏิบัติ เรื่อง การถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุนแบบหนึ่งระนาบ ซึ่งต้องได้คะแนนเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 80

ผลลัพธ์ E_2 หมายถึง คะแนนวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผู้เรียน ได้จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุนแบบหนึ่งระนาบ ซึ่งต้องได้คะแนนเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 80

2.2.3 การหาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

ดำเนินการโดยใช้ผู้เรียนกลุ่มตัวอย่างที่เรียนในรายวิชาการสั่นสะเทือนทางกล (Mechanical Vibration) และ รายวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลเรือ 2 (Marine Engineering Laboratory 2) ด้วยการใช้รูปแบบการเรียนการสอนแบบใช้โครงงานเป็นฐาน (Project – Based Learning) จำนวน 32 คน โดยใช้แบบความพึงพอใจของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ชนิดมาตรวัด 5 ระดับ แบบ มาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ต (Likert Rating Scales) จำนวน 17 หัวข้อ เกี่ยวกับการใช้งาน อาทิเช่น ชุดฝึกปฏิบัติการที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จนมีทักษะในการแก้ปัญหาจากสภาพจริง และ ชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ เป็นการบูรณาการรายวิชามากกว่า 2 รายวิชาเข้าด้วยกัน เป็นต้น

2.2.4 การประเมินผลด้วยมาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ต (Likert Rating Scales) [9]

ผู้วิจัยได้กำหนดระดับมาตราส่วนของคำตอบที่เป็นความคิดเห็น 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ให้เป็นค่าน้ำหนักตัวเลข เพื่อประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยประยุกต์การวัดคะแนนตามแบบมาตรวัดของลิเคิร์ต (Likert Scale) เรียกว่า วิธีการประเมินแบบรวมค่า (Method of Summated Rating) โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน 5 ระดับ ดังนี้

คะแนนความคิดเห็น	คะแนน
มากที่สุด	5
มาก	4
ปานกลาง	3
น้อย	2
น้อยที่สุด	1

ผู้วิจัยได้แปลผลคะแนนเฉลี่ยของความคิดเห็นต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ซึ่งแบ่งระดับคะแนนเฉลี่ยออกเป็น 5 ระดับ ตามการแบ่งคะแนนแบบถ่วงน้ำหนักเฉลี่ย ดังสมการที่ (7)

$$\text{ค่าเฉลี่ย } (\bar{x}) = \frac{\sum fx}{n} \quad (7)$$

เมื่อ f = ความถี่ของแต่ละคะแนน
 x = ระดับความสำคัญ
 n = จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง

การจัดระดับค่าคะแนนถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยใช้เกณฑ์การแบ่งระดับคะแนนตามช่วงความคิดเห็นต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับเท่า ๆ กัน และมีการแปลผลค่าเฉลี่ย [8] ดังสมการที่ (8)

$$\begin{aligned} \text{ความกว้างของแต่ละอัตรภาคชั้น} &= \frac{\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} \\ &= \frac{5 - 1}{5} = 0.8 \end{aligned} \quad (8)$$

ระดับคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการแบ่งระดับข้างต้น สามารถแบ่งระดับความคิดเห็นต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ๆ ได้ดังนี้

คะแนนความคิดเห็น	คะแนน
มากที่สุด	4.21 – 5.00
มาก	3.41 – 4.20
ปานกลาง	2.61 – 3.40
น้อย	1.81 – 2.60
น้อยที่สุด	1.00 – 1.80

3. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยเป็นการประเมินของชุดฝึกปฏิบัติการ ๆ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ๆ ส่วนที่ 2 การประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ๆ และ ส่วนที่ 3 ผู้เรียนทำการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ๆ มีรายละเอียดผลการวิจัย ดังนี้

3.1 ผลประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ๆ

ตารางที่ 1 – 3 เป็นผลการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิชาการสันตะเทือนทางกลและผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการถ่วงสมดุลของเครื่องจักรหมุน ประเมินผ่านแบบประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ๆ จำนวน 6 ท่าน

ตารางที่ 1 ผลการประเมินระดับความคิดเห็นโดย ผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ ด้านความเหมาะสม และการออกแบบ

ข้อ	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1.	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน	4.18	0.26	มาก
2.	สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียน	4.52	0.17	มากที่สุด
3.	มีความสะดวกในการต่ออุปกรณ์เพิ่ม	4.44	0.25	มากที่สุด
4.	อุปกรณ์การสอนให้ประสบการณ์ในการเรียนรู้	3.96	0.42	มาก
5.	การจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์สามารถทำการทดลองได้สะดวก	4.18	0.23	มาก
6.	ความสะดวกในการใช้ประกอบการเรียนการสอน	3.52	0.11	มาก
7.	ง่ายต่อการบำรุงรักษาและการซ่อมแซม	3.93	0.28	มาก
8.	มีความปลอดภัยต่อการใช้งาน	4.43	0.27	มากที่สุด
9.	มีความสัมพันธ์การใช้งานร่วมกับใบงาน	4.63	0.14	มากที่สุด
10.	มีขนาดและน้ำหนักที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยผู้ใช้	3.45	0.29	มาก
	เฉลี่ย	4.12	0.24	มาก

จากตารางที่ 1 ผลจากการประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 6 คน ซึ่งแสดงเป็น ค่าเฉลี่ยการประเมินด้านความเหมาะสม และการออกแบบ โดยมีแบบประเมินจำนวน 10 ข้อ มีค่าเฉลี่ย ระหว่าง 3.52 – 4.52 แสดงว่า ผลการประเมินคุณภาพด้านความเหมาะสม และการออกแบบ อยู่ในระดับ มากถึงมากที่สุด และค่าเฉลี่ยรวมมีค่าเท่ากับ 4.12 แสดงว่า ผลการประเมินคุณภาพโดยรวมด้านความ เหมาะสม และการออกแบบ อยู่ในระดับมาก

ตารางที่ 2 ผลการประเมินระดับความคิดเห็นโดย ผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ ด้านใบงาน ใบประกอบ และแบบฝึกหัด

ข้อ	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
11.	มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้	4.58	0.26	มากที่สุด
12.	มีลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้องตามคู่มือของอุปกรณ์	4.78	0.36	มากที่สุด
13.	การจัดวางรูปภาพ ภาษา และตัวอักษรเป็นระเบียบเข้าใจง่าย	4.14	0.38	มาก
14.	มีการกำหนดกิจกรรมก่อให้เกิดทักษะพิสัยตรงตามมาตรฐาน	4.28	0.28	มากที่สุด
	เฉลี่ย	4.45	0.32	มากที่สุด

ตารางที่ 3 ผลการประเมินระดับความคิดเห็นโดย ผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ ด้านใบเนื้อหา

ข้อ	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
15.	เนื้อหามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4.48	0.36	มากที่สุด
16.	ใช้ภาษาถูกต้อง และเข้าใจง่าย	4.26	0.35	มากที่สุด
17.	เรียงลำดับจากง่ายไปหายากมีความละเอียดชัดเจน	4.56	0.28	มากที่สุด
18.	มีการกำหนดกิจกรรมก่อให้เกิดทักษะพิสัย สอดคล้องกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4.18	0.45	มาก
	เฉลี่ย	4.37	0.36	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 ผลจากการประเมินด้านใบงาน ใบประกอบ และแบบฝึกหัด โดยมีแบบ ประเมิน จำนวน 4 ข้อ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.14 – 4.78 แสดงว่า ผลการประเมินคุณภาพด้านใบงาน ใบประกอบ และแบบฝึกหัดอยู่ในระดับ มากถึงมากที่สุด และค่าเฉลี่ยรวมมีค่าเท่ากับ 4.45 แสดงว่า ผลการ ประเมินคุณภาพโดยรวมด้านความด้านใบงาน ใบประกอบ และแบบฝึกหัด อยู่ในระดับมากที่สุด

จากตารางที่ 3 ผลจากการประเมินด้านใบเนื้อหา โดยมีแบบสอบถาม จำนวน 4 ข้อ มีค่าเฉลี่ย ระหว่าง 4.18 – 4.56 แสดงว่า ผลการประเมินคุณภาพด้านใบเนื้อหา อยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด และค่าเฉลี่ยรวม

มีค่าเท่ากับ 4.37 แสดงว่า ผลการประเมินคุณภาพโดยรวมด้านใบเนื้อหา อยู่ในเกณฑ์ระดับมากที่สุด

จากผลจากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 6 ท่าน ประเมินคุณภาพโดยภาพรวมทั้ง 3 ด้าน มีคะแนนประเมินเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.31 มีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ดังนั้น แสดงให้เห็นว่าคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญว่ามีคุณภาพสำหรับใช้ในการเรียนการสอนได้

3.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง ในการทดลองจำนวน 32 นาย ทำคะแนนแบบฝึกหัด และใบงาน ได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 84.06 ของคะแนนรวมทั้งหมด ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 ของประสิทธิภาพของกระบวนการที่ตั้งไว้ และทำคะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ ได้ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 86.52 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 ของประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ตั้งไว้ ซึ่งแสดงว่า ชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบที่ผู้วิจัยออกแบบและพัฒนาขึ้นมานั้น มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่มากกว่า 80/80

ตารางที่ 4 ผลการประเมินหาประสิทธิภาพชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ

รายการ	N	คะแนนเต็ม	$\sum x$	$\sum y$	ร้อยละ
คะแนนแบบฝึกหัด และใบงาน (E1)	32	50	1,345	-	84.06
คะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ (E2)	32	16	-	443	86.52

3.3 ผลประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ

จากตารางที่ 5 ผลจากการประเมินความพึงพอใจของ ผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ โดยมีคำถาม จำนวน 17 ข้อ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.98 – 4.88 ซึ่งสามารถแปลผลได้ว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด และค่าเฉลี่ยรวมมีค่าเท่ากับ 4.01 สามารถแปลผลได้ว่าความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ

ข้อ	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1.	สอดคล้องกับวัตถุประสงค์	3.86	0.49	มาก
2.	เหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	4.15	0.55	มาก
3.	ส่งเสริมให้ผู้เรียนเป็นผู้สร้างการเรียนรู้ด้วยตนเอง	4.59	0.49	มากที่สุด
4.	ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาจากสภาพจริง	4.65	0.38	มากที่สุด
5.	เหมาะสมกับผู้เรียนเป็นกลุ่ม (3 คน)	3.36	1.06	ปานกลาง
6.	ส่งเสริมผู้เรียนให้เข้าใจเนื้อหามากขึ้น	4.19	0.67	มาก
7.	มีความน่าสนใจและท้าทายในการใช้งาน	3.21	0.60	ปานกลาง

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบ (ต่อ)

8.	ส่งเสริมให้ผู้เรียนอาศัยข้อผิดพลาดมาเป็นบทเรียนในการเรียนรู้	4.88	0.45	มากที่สุด
9.	มีอุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัย	3.18	0.98	ปานกลาง
10.	ใบงานสอดคล้องกับชุดทดลอง	3.57	0.48	มาก
11.	ส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติ	3.97	0.49	มาก
12.	ดูแลรักษาง่าย	4.77	0.35	มากที่สุด
13.	ช่วยลดเวลาในการสื่อความหมายกับผู้สอน	4.00	0.46	มาก
14.	มีอะไหล่และหาซื้อง่าย	2.98	1.16	ปานกลาง
15.	เป็นการบูรณาการรายวิชามากกว่า 2 วิชาเข้าด้วยกัน	4.59	0.46	มากที่สุด
16.	ผู้เรียนมั่นใจว่าสามารถใช้งานได้ดี	4.10	0.95	มาก
17.	เหมาะสมกับการเรียนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน	4.71	0.57	มากที่สุด
	เฉลี่ย	4.01	0.62	มาก

4. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการถ่วงสมดุลหนึ่งระนาบเพื่อใช้ในการเรียนแบบโครงงานเป็นฐาน จากการทดสอบการใช้งาน พบว่า สามารถฝึกการใช้งานอุปกรณ์ได้ถูกต้อง ตรงตามทฤษฎี ซึ่งการใช้ชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ ชุดคู่กับรูปแบบการเรียนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน ช่วยเพิ่มทักษะในด้านต่าง ๆ ให้แก่ผู้เรียน อาทิเช่น ทักษะปฏิบัติ ทักษะการค้นหาข้อมูล ทักษะ การเรียนรู้ร่วมกัน ทักษะการแก้ปัญหา เป็นต้น ซึ่งมีความจำเป็นในการทำงานหลังจากผู้เรียนจบการศึกษาไปแล้ว นอกจากนี้ยังช่วยพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Creative Thinking) ซึ่งเป็นการคิดขั้นสูง ให้แก่ผู้เรียนอีกด้วย

จากผลการประเมินคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพโดยรวมด้านความเหมาะสม และการออกแบบ อยู่ในระดับมาก ด้วยคะแนนประเมินเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4.12 ด้านความด้านใบงาน ใบทดลอง และแบบฝึกหัด อยู่ในระดับมากที่สุด ด้วยคะแนนประเมินเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4.45 และด้านความด้านใบเนื้อหา อยู่ในระดับมากที่สุด ด้วยคะแนนประเมินเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4.37 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีคุณภาพในระดับที่สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนได้ และจากผลการประเมินความพึงพอใจโดยให้ผู้เรียนที่ใช้รูปแบบการสอนโครงงานเป็นฐานได้ทดลองใช้ และประเมินความพึงพอใจที่มีต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ ผลการประเมินโดยผู้เรียนพบว่า มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ ในระดับมาก เฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 4.28 ซึ่งหากพิจารณาในรายชื่อที่ผู้เรียนทดลองใช้ชุดทดลอง ประเมิน ความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด (มากกว่า 4.21 ขึ้นไป) พบว่ามี 6 หัวข้อจาก 17 หัวข้อ ได้แก่ ชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเป็นผู้สร้างการเรียนรู้ด้วยตนเอง ชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาจากสภาพจริง ชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ ส่งเสริมให้ผู้เรียนอาศัยข้อผิดพลาดมาเป็นบทเรียนในการเรียนรู้ ชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ ดูแลรักษาง่าย ชุดฝึกปฏิบัติการ ๓ เป็นการบูรณาการรายวิชา

มากกว่า 2 วิชาเข้าด้วยกัน และชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ เหมาะสมกับการเรียนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนในกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ สามารถใช้ประกอบการเรียนการสอนได้ ขณะที่ผลการประเมินมีค่าต่ำสุด อยู่ในระดับพึงพอใจปานกลาง (เกณฑ์ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.61–3.40) คือ หัวข้ออุปกรณ์ของชุดฝึกปฏิบัติการ ฯ มีอะไหล่หาซื้อยาก มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 2.98 ซึ่งอาจเป็นเพราะผู้เรียนไม่คุ้นเคยกับอุปกรณ์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมากนักจึงอาจจะยังไม่ทราบร้านค้าที่จำหน่ายอุปกรณ์ดังกล่าว

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการอุดหนุนทุนการวิจัย จาก สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพเรือ (สวพ.ทร) ในโครงการการพัฒนางานประจำสำนักงานวิจัย (Routine to Research หรือ R to R) ประจำปีงบประมาณ 2564 (1 ต.ค.63 – 30 ก.ย.64)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lasauskiene J, Rauduvaite A. Project-Based Learning at University: Teaching Experiences of Lecturers. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2015 Jul;(197):788-92.
- [2] Hosseinzadeh N, Hesamzadeh MR, Senini S. A Curriculum for Electrical Power Engineering based on Project Based Learning Philosophy. *IEEE International Conference on Industrial Technology*. 2009 Mar.
- [3] Bell S. Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the Future. *The Clearing House*. 2010 Jan;83(2):39-43.
- [4] De Silva CW. *Vibration: Fundamentals and Practice*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2010.
- [5] De Silva CW. *Vibration and Shock Handbook*. Boca Raton: Taylor & Francis; 2005.
- [6] Singiresu SR. *Mechanical Vibrations*. 5th ed. Harlow, United Kingdom: Prentice Hall; 2005.
- [7] Girdhar P. *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance: Practical Professional*. Burlington: Elsevier; 2004.
- [8] ชัยยงค์ พรหมวงศ์. การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน. *วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย*. ม.ค.-มิ.ย 2556;5(1):7-20.
- [9] สุมิตรา ศรีชูชาติ. สถิติธุรกิจ. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่; 2550.

An Experimental Comparison of SES, DES, TES, ARIMA, and LSTM Algorithms for Short Time Series Prediction

ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง¹ และ ชัญญาวัจจน์ สติธภัทรสมบัติ²

Phummipat Daungklang¹ and Chanyawat Sathidbhattarasombad²

Received : January 21, 2022

Revised : March 22, 2022

Accepted : March 23, 2022

Abstract

A time series is a sequence of observations which are collected over a period: Hours, days, months, or years. There has been an assumption that the dependence of successive observations in time series is probable to exist. By means of time series analysis, this dependence is examined to discover a pattern utilised to prepare a prediction, and the prediction is one of various common objectives which can be achieved using time series analysis. Fortunately, time series analysis has been a topic of interest among academics for many decades and quite different algorithms or models for the prediction task have already been at our disposal. These algorithms are either well-established statistical ones or based on approaches of machine learning. In this paper, an experimental comparison of five different algorithms (simple exponential smoothing (SES), double exponential smoothing (DES), triple exponential smoothing (TES), autoregressive integrated moving average (ARIMA), and long short-term memory (LSTM)) was carried out using 10 examples of short time series to examine the performance of the selected algorithms over the task of

¹ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

E-mail: phummipat_d@rtaf.mi.th

²ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

E-mail: chanyawat_s@rtaf.mi.th

time series prediction. The experimental results suggest that TES and seasonal ARIMA are the most appropriate to be used for time series with clear trend and seasonality. However, LSTM is the most appropriate to be used for time series without trend and seasonality.

Keywords: Short Time Series Analysis, Exponential Smoothing, ARIMA, LSTM

1. Introduction

There have already been plenty of different definitions of time series. We simply state that a time series as a sequence of observations which are taken sequentially in time [1]. In our life, many sets of data appear as time series: a country's unemployment rate, the prices of a cryptocurrency, a city's electricity consumption, the number of the world's population, and so on. The observations can be made, for instance, daily, weekly, quarterly, monthly, or yearly, depending on a proposed frequency of data collection. Examples of time series exist in several different fields such as economics, finance, industry, meteorology, health, and so on. There has been assumed that a time series is affected by four main components of which a time series is supposed to consist, and which can be extracted from the observed data, namely *trend*, *cyclical*, *seasonal* and *irregular* components [2].

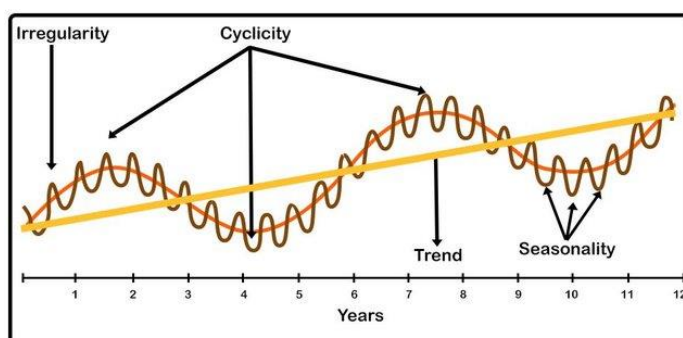


Figure 1 Illustration of Main Time Series Components [3].

A time series is called a short time series if it consists of only a few numbers of observations. Dealing with short time series can have benefits in practice because tasks or applications in the real life, in which short time series possibly exist, can be found in various disciplines, for instance, biomedicine (e.g. analysing gene expression over a short time period), economics (e.g. retail of collection at a clothing store) etc. [4, 5].

One of the purposes of “understanding time series more” is to find out from a time series whether any “pattern” is discovered which can be utilised to prepare a prediction or forecast. This can be achieved by *time series analysis*. Fortunately, time series analysis has been a topic of interest among academics for many decades and quite different algorithms for the prediction task have already been at our disposal. These algorithms are either well-established statistical ones or based on approaches of machine learning.

This paper proposes an experimental comparison of traditional statistical time series prediction algorithms and LSTM algorithm for 10 short time series each of which consists of 120 observations (100 for training and 20 for prediction evaluation). For the comparison, we will use the mean absolute percentage error (MAPE) as prediction evaluation metric.

2. Related Work

To analyse time series, many mathematical algorithms are applied. In many publications, statistical methods are also used among these methods. Besides, it is also noted that statistical methods can be exploited for short- and medium-term prediction problems. Thus, several time series prediction models were developed from statistical methods, such as autoregressive integrated moving average models (ARIMA) [7, 8], exponential smoothing algorithms [4, 9], etc.

Moreover, many new time series analysis approaches have been developed using machine learning algorithms to build a time series prediction model. Machine learning algorithms such as support vector machines (SVM) [10], and deep learning algorithms such as long short-term memories (LSTM) [11] have gained popularities with their applications in many fields and been used in many domains, and time series prediction has of course been among these domains.

3. The Methods of Research

3.1 The Data

All the time series using for our work were acquired from [12]. Each time series was made a short time series, that is, it was edited, such that only 120 observations were contained in the series. Each time series was divided into a training set and an evaluation set. The training set was used for training (fitting) the model. And the evaluation set was used for testing the model for prediction accuracy. The training set consisted of the first 100 observations, while the last 20 observations constituted the evaluation set.

3.2 The Algorithms (Models) of Interest

3.2.1 Autoregressive Integrated Moving Average Model

Two submodels are involved in ARIMA models, namely *autoregressive* (AR) models and *moving average* (MA) models. AR models use past p observation values to predict the future value of a variable which is modelled as a linear combination of these past p values. Besides, a random error at a period t (white noise) ε_t is involved in this linear combination, too [2, 13]. Mathematically, an AR model of order p , denoted by AR(p), models the current value at a period t , denoted by y_t , as

$$y_t = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i},$$

where $y_{t-1}, \dots, y_{t-p}$ are the past p values and all ϕ_i are the weight parameters which are to be estimated from the data. The term of autoregressive indicates that it is a regression of the variable against itself [13].

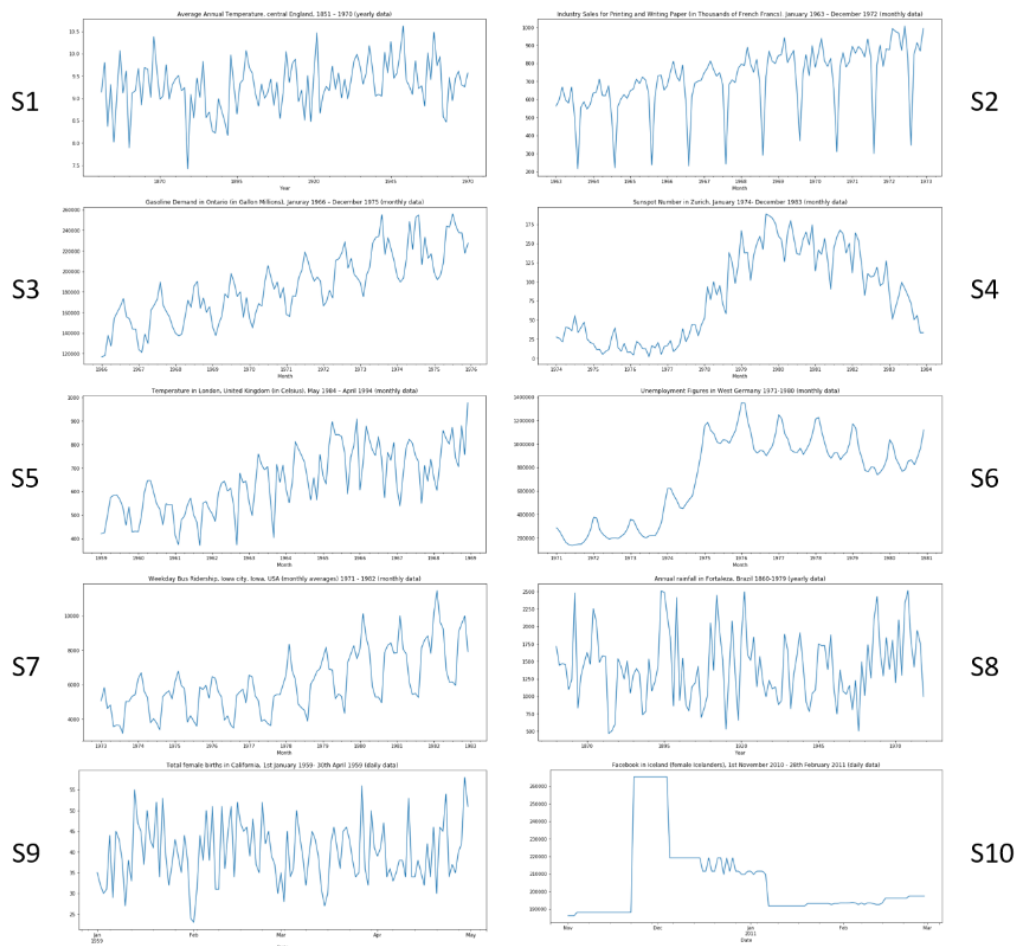


Figure 2 Plots of the Examined Time Series.

where $y_{t-1}, \dots, y_{t-p}$ are the past p values and all ϕ_i are the weight parameters which are to be estimated from the data. The term of autoregressive indicates that it is a regression of the variable against itself [13].

While AR(p) models apply past values to predict the future value of a variable, moving MA models use the past q prediction errors. An MA model of order q , denoted by MA(q) models the current value at a period t , denoted by y_t , with the white noise ε_t as

$$y_t = \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q -\theta_j \varepsilon_{t-j},$$

where $\varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-q}$ are the past q prediction errors and all $-\theta_j$ are the weight parameters which are to be estimated from the data.

Combining an AR(p) model, an MA(q) model, and the notion of *differencing* which is the process which makes non-stationary time series stationary (we say that a time series is stationary if its probabilistic properties, such as mean, variance, autocorrelation, etc., do not change over time), by calculating the differences of consecutive observation values [13], we have an ARIMA model with differencing order d , denoted by ARIMA(p,d,q), mathematically written as

$$y_t^d = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i}^d + \sum_{j=1}^q -\theta_j \varepsilon_{t-j}.$$

To determine the differencing order d , there is a most used statistical method at our disposal called the *augmented Dickey Fuller* (ADF) test which tests whether a time series is stationary or not [14]. Basically, the ADF test is a statistical significance test which involves a hypothesis testing (“reject/accept the null hypothesis”) with a computed test statistic and p-value. The null hypothesis of the ADF test is that there is no stationarity in the given time series. If the p-value of the test is below the significance level α (most commonly $\alpha = 0.05$), then the null hypothesis is rejected, and it can be inferred that the given time series has already been stationary, that is, $d = 0$. In this case, no differencing is required.

Unfortunately, the major disadvantage of ARIMA (from now on, we call it *normal* ARIMA) is that it cannot deal with time series which obviously show seasonality. Thus, there is an extension of ARIMA model to overcome this problem. A *seasonal* ARIMA model includes seasonal terms in the normal ARIMA models, mathematically denoted by ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_m, where P, D, and Q are the autoregression, differencing, and moving average order of seasonal part. Moreover, m is the number of observations per year [13].

For instance, if a given time series presents data which are recorded quarterly, then we obtain $m = 4$. For this reason, one should be careful about selecting the appropriate variant for any given time series with significant seasonality.

Additionally, one must verify whether a fitted ARIMA model is a proper one by reviewing the residual error values which are produced during the model training: those values should be normally distributed, and they should not correlate with each other. But normality of the residuals is a useful, but not necessary property to be satisfied by ARIMA models [13]. The task of verifying the normality of the residual values can be achieved by the *Jarque–Bera* test [15] which is also a statistical test. In this test, the null hypothesis assumes presence of the normality. As for finding out autocorrelation in the residuals, the *Ljung–Box* test [16] is a suitable tool for it. The null hypothesis for this test assumes absence of the autocorrelation. Moreover, the number of lags to for the Ljung-Box test must be specified. A suggestion of selecting the number is $\min(10, T/5)$ for non-seasonal time series and $\min(2m, T/5)$ for seasonal time series, where T is the size of time series [17].

3.2.2 Simple Exponential Smoothing Model

Simple exponential smoothing (SES) is the simplest exponential smoothing model which is suitable to be applied for the predictions of time series which show neither trend nor seasonality [13]. Let s_t denote the *smoothed* or *fitted* value and y_t the actual value at time t . For $t=1$, we set $s_t = y_t$ [6]. For $t = 2, \dots, T$, we have

$$s_t = \alpha \sum_{i=1}^{t-1} (1 - \alpha)^{i-1} y_{t-i} + (1 - \alpha)^{t-1} s_1,$$

where α is the *smoothing parameter* between 0 and 1 which can be thought of as weight attached to the actual observation value. The predicted future value $\hat{y}_t$ of SES models is s_t , that is, all predicted values take the last smoothed value at time t [13]. As for the value of α , we will use an optimisation tool to optimise and find the best value.

3.2.3 Double Exponential Smoothing Model

Double exponential smoothing (DES) is the extended version of SES. DES models can make predictions of time series data which consist of trends. The idea is to apply SES twice on the initial time series on the assumption that a twice application of SES to a smoothed time series may result in better prediction values. For DES models, there is another parameter, alongside the smoothing parameter α , to be calculated which is called the *trend parameter* β , a number between 0 and 1. If β is small, the trend is assumed to

change very slowly over time. If β is large, the trend shows the more rapid change [18].

In DES models, there are two equations each of which computes, like in SES models, the smoothed value s_t , and the trend b_t at time t . For $t=1$, we set $s_t = y_t$ and $b_t = y_2 - y_1$ [6], where y_t is again the actual value. For $t = 2, \dots, T$, we compute s_t and b_t as in the following equations:

$$s_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(s_{t-1} + b_{t-1}) \text{ and}$$

$$b_t = \beta(s_t - s_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}.$$

Finally, the equation for the predicted value thereby can be written as

$$\hat{y}_t = s_t + h b_t.$$

Again, we will use an optimisation tool to optimise and find the best values for both α and β .

3.2.4 Triple Exponential Smoothing Model

Triple exponential smoothing (TES) is the extended version of DES. TES models have been applied to time series which exhibit not only trend, but also *seasonality*, or in other words, cyclical patterns. The idea, again, is simply that the simple exponential smoothing method is applied thrice to the initial time series to make the prediction more accurate. There are two model variations to this method the application of which depends on the nature of the seasonal pattern. That is, the *additive* model and the *multiplicative* model. The additive model is more likely to be utilised when the amplitude of the seasonal pattern appears relatively constant in time, while the multiplicative model is more likely to be preferred when the amplitude of the seasonal pattern is proportional to the level of the time series [6, 13].

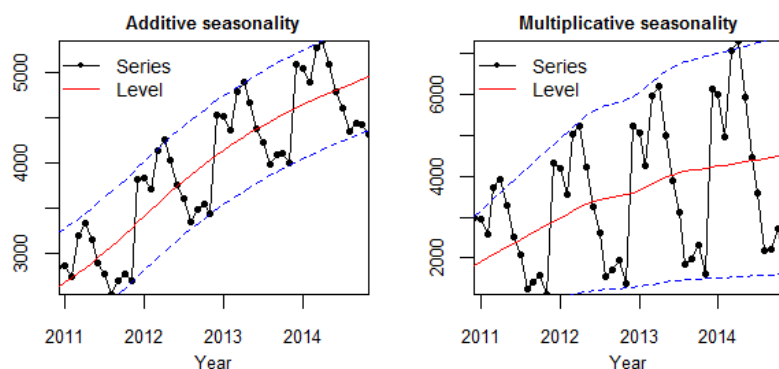


Figure 3 Additive vs. Multiplicative Seasonality [19].

Recall that we now have two exponential smoothing parameters, namely the smoothing parameter α and the trend parameter β . In TES models, a parameter for the seasonality of time series is additionally required. Hence, the seasonal parameter is defined and denoted by γ which ranges from 0 to 1. For the exact mathematical formulations, we would like to refer to such as [13] because it is quite complex, and the computations will take place using a Python program.

3.2.5 Long Short-Term Memory Network

Long short-term memory network (LSTM) is a special type of recurrent neural network (RNN). A long short-term memory network has a structure which consists of several *gated cells*. In the cells, information which is available can be stored and written. It can be read from these cells, too. The cells decide what to store, and when to allow reads, writes and erasures, by means of gates which open and close [20]. The *cell state* conveys information from past and gathering them for the present one. And information can simply go along the cell state without being changed. *Gates* are a way to optionally let information pass through or discarded. There are three gates available in a LSTM network which help control the cell state: (1) The *forget gate* decides whether the previous cell state should be forgotten, (2) the *input gate* chooses which new information needs to be stored in the cell state, and (3) the output gate generates the output which will be based on the cell state. For the exact mathematical formulations, we would like to refer to such as [19] because it is quite complex, and the computations will take place using a Python program.

3.3 Measures of Prediction Accuracy

Prediction errors play a major role in the evaluation of the models. Roughly speaking, the less the errors, the more accurate the prediction. In practice, it is important to make an appropriate choice of a measure of accuracy assessment. The mean absolute percentage error (MAPE) is recommended for its application in most publications, though it is not suitable to be used in some circumstances. For instance, MAPE is unsuitable for intermittent demand data because of the prohibited use of zero and negative actual values [21]. MAPE is defined as

$$MAPE = \frac{1}{n} \left| \sum_{t=1}^T \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|,$$

where y_t is the actual value and $\hat{y}_t$ is the predicted value at time $t = 1, \dots, T$. We will use MAPE as the accuracy metric.

4. Results

The experiment of each model was carried out on an Intel(R) Core(TM) i7-7500 CPU processor with 2.7 GHz and a usable memory of 16 GB. Each model was written in Python. All the selected models were trained with the training set (the first 100 observations of each series) and the parameters of each model were determined using the data.

4.1 Building the Models

4.1.1 SES, DES, and TES

We used *statsmodels* [22] to build all exponential smoothing models. *statsmodels* is a Python framework which provides classes and functions for the estimation of many different statistical models, as well as for conducting statistical tests, and statistical data exploration.

For each training set, the smoothing parameter α , the trend parameter β , and the seasonal parameter γ were optimised using *hyperopt* [23]. *hyperopt* is a Python library for parameter optimising over search spaces with real-valued, discrete, and conditional dimensions. Regarding a normal optimisation procedure with *hyperopt*, a search space for each training set was defined to find the best values of the parameters by which the error during the model training was as low as possible. As stated earlier, α , β , and γ are in the range of 0 and 1. Therefore, these three parameters were searched for a real number between 0 and 1 (certainly, 0 and 1 are excluded). One of both currently implemented search algorithm of *hyperopt* which was used for our task is called *tree of Parzen estimator* (TPE). This algorithm is one of Bayesian optimisation algorithms for hyperparameters [23]. Then, the search space and the objective function returning the MAPE from the training set were passed in the minimising function to find the optimised smoothing parameter(s) which produced the least MAPE during the training. Table 1 shows the optimised values of the parameters which are rounded down to values in 8 decimal places, to be more easily presented.

Table 1. Overview of Exponential Smoothing's Parameters, ARIMA's Parameters, and LSTM's hyperparameters (e. = epochs; b.s. = batch size; n. = neurons).

ID	SES	DES		TES			ARIMA		LSTM		
	α	α	β	α	β	γ	(p, d, q)	$(P, D, Q)_m$	e.	b.s.	n.
S1	0.0626919	0.0003931	0.0000251	0.0438373	0.027798	0.0005197	(0, 0, 2)	-	100	1	2
S2	0.1030444	0.0004552	0.0001189	0.1672903	0.0003656	0.0002881	(0, 1, 1)	$(0, 1, 1)_{12}$	200	1	5
S3	0.9731978	0.9982267	0.0000353	0.0706603	0.0001303	0.0004144	(2, 1, 0)	$(1, 0, 0)_{12}$	50	3	2
S4	0.6367266	0.3175668	0.0331696	0.1927638	0.1918442	0.0004193	(0, 1, 1)	-	200	1	5
S5	0.1616712	0.2794364	0.0000388	0.7176836	0.0016582	0.0001114	(2, 1, 2)	-	200	4	3
S6	0.9999949	0.9995951	0.9992066	0.981844	0.9542871	0.0181524	(1, 1, 2)	-	100	1	2
S7	0.9986229	0.9999252	0.000008	0.4451375	0.0000836	0.0013893	(1, 1, 1)	$(0, 1, 1)_{12}$	200	5	1
S8	0.0000161	0.5098825	0.0000364	0.3080804	0.0002687	0.0000672	(1, 0, 0)	-	50	3	4
S9	0.2241311	0.0017878	0.0006171	0.0191358	0.0005383	0.0007275	(0, 0, 0)	-	100	4	5
S10	0.9999955	0.9987753	0.0023751	0.9169906	0.0010011	0.0011748	(0, 1, 0)	-	50	1	1

4.1.2 Normal and Seasonal ARIMA

In addition to the ADF test, one can use the Hyndman-Khandakar algorithm [13] to build the ARIMA models. Fortunately, there is another Python library called *pmdarima* [24] which uses *statsmodels* as its backend and hence contains several useful statistical functions including the function which can automatically build and fit the best ARIMA model, whether normal or seasonal, to a univariate time series based a provided information criterion and the necessary parameters given. With significance level α set to 0.05, we performed the ADF test on each training to see beforehand on which training set differencing was necessary, as presented in table 2.

Now, the results of the ADF test suggested that the time series S1, S8, and S9 are already stationary. Thus, the model of those three time series should be in form of ARIMA(p,0,q) Moreover, one can obviously see that there is significant seasonality in the time series S2, S3, and S7. Hence, the seasonal parameters for ARIMA were reasonably to be determined, too.

We also conducted for each fitted ARIMA model both the Jarque-Bera test and the Ljung-Box test to compute the p-value of each test, again with significant level α set to 0.05. For the latter, the number of lags was determined, as described in 3.2.1. The results of both tests are presented in table 3. We can see that all training sets passed the Ljung-Box test, that is, there is no correlation among the residuals. As for the Jarque-Bara test, nevertheless, the null hypothesis of present normality among the residuals in S3, S7,

and S10 was rejected, that is, their residuals were statistically not normally distributed. But it has been already pointed out in 3.2.1 that normality of the residuals is just a useful, but not necessary property.

Table 2. List of Each Training Set's p-Value Obtained from The ADF Test.

ID	Periodicity	p-value	Less than α ?	Differencing needed?
S1	yearly	7.39×10^{-6}	Yes	No
S2	monthly	0.32	No	Yes
S3	monthly	1.0	No	Yes
S4	monthly	0.84	No	Yes
S5	monthly	0.74	No	Yes
S6	monthly	0.1	No	Yes
S7	monthly	0.98	No	Yes
S8	yearly	2.69×10^{-11}	Yes	No
S9	daily	8.87×10^{-15}	Yes	No
S10	daily	0.27	No	Yes

Table 3. Results of The Ljung-Box and The Jarque-Bara Test.

ID	Ljung-Box test				Jarque-Bara test		
	Lags	p-value (at max. lag)	Less than α ?	No correlation?	p-value	Less than α ?	Normality present?
S1	10	0.87	No	Yes	0.34	No	Yes
S2	20	0.66	No	Yes	0.56	No	Yes
S3	20	0.22	No	Yes	1.56×10^{-5}	Yes	No
S4	10	0.45	No	Yes	0.07	No	Yes
S5	10	0.74	No	Yes	0.19	No	Yes
S6	10	0.14	No	Yes	0.88	No	Yes
S7	20	0.67	No	Yes	1.04×10^{-17}	Yes	No
S8	10	0.73	No	Yes	0.19	No	Yes
S9	10	0.98	No	Yes	0.44	No	Yes
S10	10	0.99	No	Yes	0.0	Yes	No

4.1.3 LSTM

All LSTM models were built using mainly two Python libraries, that is, *TensorFlow* [25] and *Keras* [26]. Both are the two well established Python libraries most used for deep machine learning. Generally, to build a deep machine learning model using *TensorFlow* and *Keras*, one should consider selecting the best values for hyperparameters, such as number of *epochs*, *batch size*, and *neurons* in the hidden layer. One epoch means one forward pass and one backward pass of all the training examples and batch size is the number of training examples in one forward/backward pass. Of each time series, to find out the optimal number of epochs, batch size, and neurons, we again used *hyperopt* for this task. With the same procedure as in the case of exponential smoothing algorithms, for each time series, a search space was defined to find the best values of these hyperparameters. Due to the performance of the computer on which the experiments were performed, the number of epochs was determined between 50 and 200, the number of batch size between 1 and 5, and the number of neurons between 10 and 100. Moreover, all the numbers must be integer numbers because, for instance, there cannot 47.11 neurons exist in practice.

As for LSTM, the last 20 observations in the training set would be used for the test to avoid underfit and overfit problems. Hence, in contrast to the other training sets, the training set for LSTM would contain 80 observations. Table 1 shows the optimised hyperparameters for LSTM models of all time series.

4.2 Training and Evaluation

After the models were trained with the training set and the MAPEs were calculated, as illustrated in table 4. We see that DES was the best model for S1; TES for S2, S3, S5, S6, and S7; And LSTM for S4, S8, S9, and S10. We then used these best models to make a prediction of the last 20 observations in the evaluation set for each respective series. To see how good the best model for each training set made predictions, the results of the prediction evaluations in MAPE are provided in table 5.

Table 4. Overview of the MAPEs Calculated During Training.

ID	Mean Absolute Percentage Error (MAPE)					
	SES	DES	TES	ARIMA	LSTM	
					Training set	Test set
S1	4.61%	4.6%	5.67%	4.89%	5.31%	4.97%
S2	22.28%	20.39%	4.15%	5.65%	25.76%	26.27%

Table 4. Overview of the MAPEs Calculated During Training. (Continued)

S3	6.89%	6.9%	3.07%	3.86%	7.53%	7.14%
S4	37.89%	40.72%	46.22%	50.81%	25.8%	23.54%
S5	12.8%	12.77%	7.14%	24.02%	10.81%	11.03%
S6	9.04%	7.7%	4.75%	12.26%	6.03%	5.98%
S7	13.06%	13.15%	4.13%	5.71%	12.1%	12.65%
S8	51.73%	34.79%	31.58%	35.41%	21.77%	22.09%
S9	16.05%	62.31%	16.25%	15.9%	15.98%	15.74%
S10	1.01%	1.05%	2.46%	1.88%	0.65%	0.67%

5. Conclusions

In this paper, an experimental comparison of five models on time series prediction was carried out. The results in table 4 have revealed that TES performed best in five time series, LSTM in four time series, and DES was the best performing models in one time series. Thereafter, using the evaluation set, each model was evaluated on prediction performance which was measured as MAPE presented in table 5.

There are totally three time series which show their increasing trend and seasonality much significantly, namely time series S2, S3, and S7. Time series S5 shows its increasing trend and cyclic pattern, but both components here are not as obvious as in the three mentioned earlier. From table 4, we realise that in S2, S3, S5, S6, and S7, TES clearly outperformed the other models. In the time series with significant trend and seasonality, i.e., in S2, S3, and S7, one can clearly see that TES and seasonal ARIMA were able to achieve the similarly small MAPEs. Besides, the MAPEs which were produced by TES in the evaluation using those three time series were also considerably low.

Table 5. Overview of Prediction Performance Measurement with MAPE Using The Evaluation Sets.

ID	Best Model in Training	MAPE
S1	DES	4.63%
S2	TES	4.67%
S3	TES	3.72%
S4	LSTM	23.25%
S5	TES	7.26%

Table 5. Overview of Prediction Performance Measurement with MAPE Using The Evaluation Sets. (Continued)

S6	TES	14.42%
S7	TES	8.23%
S8	LSTM	22.17%
S9	LSTM	15.32%
S10	LSTM	0.44%

The remaining time series, namely S1, S4, S6, S8, S9, and S10, present neither clear trend nor obvious seasonality. The values of observations in each of these time series vary recognisably. Time series S4 and S6 remarkably show both increasing and decreasing trend over a period of interest. As displayed in table 4, of these six time series, LSTM outperformed the other models in four time series (S4, S8, S9, and S10). In S1, DES was surprisingly slightly better than the other models.

Consider first the time series with clear trend and seasonality. From table 4, with TES and seasonal ARIMA, each of the MAPEs was surprisingly less than 10%. In comparison, the MAPEs produced by SES, DES, and LSTM were relatively greater. It is strongly arguable that both TES and seasonal ARIMA are much more suitable models for data with clear trend and seasonality.

Consider now the time series without trend and seasonality. The MAPEs were produced by TES and DES were relatively high, which supports the suggestion over the feature of the models mentioned earlier. In S4 which shows indistinct trend and seasonality, the MAPEs produced by DES and TES were high. We argue that this can be due to that DES and TES are more likely to be used for times series with distinct trend (increasing or decreasing) and seasonality. Nevertheless, DES was the best model for S1, although the trend is visually not present in it.

To summarise, from our obtained results in table 4: TES and seasonal ARIMA are the most appropriate to be used for time series with clear trend and seasonality. LSTM is the most appropriate to be used for time series without trend and seasonality. It is quite surprising that LSTM could achieve prediction task in time series analysis well. In future work, it would be intriguing, as for LSTM, to perform such an analysis on a more powerful graphics processing unit (GPU); this would eventually increase the number of epochs, batch size, and neurons and hopefully improve the performance, too.

6. Acknowledgement

We would like to express our thanks to the journal's editors and the reviewers of this paper for their helpful and thoughtful advice some of which could certainly be used for an extension of this work in the future.

References

- [1] Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC. Time Series Analysis: Forecasting and Control. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons; 2008.
- [2] Adhikari R, Agrawal RK. An Introductory Study on Time series Modeling and Forecasting [Internet]. New York: Cornell University; 2013. [updated 2013 Feb 26; cited 2022 Feb 26]. Available from: <https://arxiv.org/pdf/1302.6613>
- [3] Pant A, Rajput RS. Time Series Analysis of Gold Price Using R. In: Digitalization in Commerce & Its Impact on Economy. [Uttar Pradesh]: Social Research Foundation; 2019. p. 15–24.
- [4] Kirshners A, Borisov A. A Comparative Analysis of Short Time Series Processing Methods. Scientific Journal of RTU [Internet]. 2012 [cited 2022 Feb 26];15(1):65–69. Available from: <https://itms-journals.rtu.lv/article/viewFile/v10313-012-0009-4/2677>
- [5] Tarsitano A. Classification Of Short Time Series [Internet]. Ponte Pietro Bucci: Universita della Calabria; 2009. [updated 2009; cited 2022 Feb 26]. Available from: http://www.ecostat.unical.it/repec/workingpapers/WP05_2009.pdf
- [6] Montgomery DC, Jennings CL, Kulahci M. Introduction to Time Series Analysis and Forecasting. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons; 2015.
- [7] Berninger J. Forecasting the Time Series of Apple Inc.'s Stock Price [master's thesis]. [Los Angeles]: University of California; 2018.
- [8] Devi BU, Sundar D, Alli P. An Effective Time Series Analysis for Stock Trend Prediction Using ARIMA Model for Nifty Midcap-50. International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process [Internet]. 2013 Jan [cited 2022 Feb 27];3(1):65–78. Available from: <https://aircconline.com/ijdkp/V3N1/3113ijdkp06.pdf>
- [9] Booranawong T, Booranawong A. Simple and Double Exponential Smoothing Methods with Designed Input Data for Forecasting. Suranaree Journal of Science and Technology [Internet]. 2016 Jan-Mar [cited 2022 Feb 28];23(1):301–310. Available from: https://www.researchgate.net/publication/322355629_SIMPLE_AND_DOUBLE_EXPONENTIAL_SMOOTHING_METHODS_WITH_DESIGNED_INPUT_DATA_FOR_FORECASTING_A_SEASONAL_TIME_SERIES_IN_AN_APPLICATION_FOR_LIME_PRICES_IN_THAILAND

-
- [10] Kim K-J. Financial time series forecasting using support vector machines. *Neurocomputing* [Internet]. 2003 Sep [cited 2022 Feb 28];55(1-2):307–319. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925231203003722>
- [11] Siami-Namini S, Tavakoli N, Namin AS. A Comparison of ARIMA and LSTM in Forecasting Time Series. In: 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications. Orlando: PublisherInstitute of Electrical and Electronics Engineers; 2018. p. 1394–1401.
- [12] Hyndman R, Yang Y. tsdl: Time Series Data Library v0.1.0 [Internet]. [Clayton]: Monash University; 2018 [updated 2018; cited 2022 Feb 28]. Available from: <https://pkg.yangzhuo.ranyang/tsdl/>.
- [13] Hyndman RJ, Athanasopoulos G. *Forecasting: Principles and Practice*. 2nd ed. Heathmont, Vic.: OTexts; 2018.
- [14] Prabhakaran S. Augmented Dickey Fuller Test (ADF Test) – Must Read Guide [Internet]. [updated 2019 Nov 2; cited 2022 Feb 26]. Available from: <https://www.machinelearningplus.com/time-series/augmented-dickey-fuller-test/>.
- [15] Jarque CM, Bera AK. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics Letters*. 1980;6(3):255–259.
- [16] Ljung GM, Box GEP. On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika*. 1978 Aug;65(2):297–303.
- [17] Hyndman RJ. Thoughts on the Ljung-Box test [Internet]. [Clayton]: [Monash University]; 2014 [updated 2014 Jan 24; cited 2022 Mar 19]. Available from: <https://robjhyndman.com/hindsight/ljung-box-test/>.
- [18] Nau R. Moving average and exponential smoothing models [Internet]. [North Carolina]: [Duke University]; 2019 [updated 2020 Aug 18; cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://people.duke.edu/~rnau/411avg.htm#HoltLES>
- [19] Kourentzes N. Additive and multiplicative seasonality – can you identify them correctly? [Internet]. Lancashire: Lancaster University; 2014 [updated 2014 Nov; cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://kourentzes.com/forecasting/2014/11/09/additive-and-multiplicative-seasonality/>.
- [20] Goyal A. Data Science: Long Short Term Memory (LSTM) RNN [Internet]. [place unknown]: [publisher unknown]; 2018 Mar- [cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://datasciencebasicsblog.wordpress.com/2018/03/11/long-short-term-memorylstm-rnn/>.

-
- [21] Hyndman RJ, Koehler AB. Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*. 2006 Oct-Dec;22(4):679–688.
- [22] statsmodels [Internet]. [place unknown]: statsmodels-developers; c2009-19 [updated 2020 Feb 08; cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://www.statsmodels.org/stable/index.html>
- [23] Hyperopt: Distributed Hyperparameter Optimization [Internet]. [place unknown]: GitHub, Inc.; 2022 [updated 2021 Nov 29; cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://github.com/hyperopt/hyperopt>
- [24] pmdarima: ARIMA estimators for Python [Internet]. [place unknown]: Taylor G Smith; c2017-22 [updated 2017 Sep 3; cited 2022 Feb 26]. Available from: <https://alkaline-ml.com/pmdarima/index.html>
- [25] TensorFlow [Internet]. [place unknown]: GitHub, Inc.; 2022 [updated 2021 Nov 29; cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://www.tensorflow.org/>.
- [26] Keras [Internet]. [place unknown]: [publisher unknown]; 2022 [updated 2021 Nov 29; cited 2022 Jan 13]. Available from: <https://keras.io/>.

ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียของเครื่องอบแสงยูวีที่พัฒนาโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Development of UV Chamber for Antibacterial Activity by the Faculty of
Engineering, Ubon Ratchathani University

ปาริชาติ พุ่มขจร¹ นฤมล คณะวงศ์² จริยาภรณ์ อุ๋นวงษ์³ ผดุง กิจแสง⁴ และ พงศ์ศักดิ์ รัตนชัยกุลโสภณ⁵

Parichat Phumkhachorn¹ Naruemon Kanawong² Jariyaporn Onwong³ Padung Kitsawang⁴ and
Pongsak Rattanachaikunsopon⁵

Received : March 10, 2022

Revised : March 29, 2022

Accepted : April 1, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถของตู้อบแสงยูวีที่พัฒนาขึ้นโดยคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทดสอบต่าง ๆ ซึ่งได้แก่
Escherichia coli (*E. coli*), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Bacillus cereus* (*B. cereus*) และ
Extended Spectrum Beta Lactamase Escherichia coli (*ESBL E. coli*) ซึ่งเป็นตัวแทนของแบคทีเรีย
แกรมลบ แบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ และแบคทีเรียดื้อยา ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า
เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของแบคทีเรียทดสอบเท่ากับ 0.5 McFarland ป้ายลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ BHI Agar

¹รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Associate Professor, Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

E-mail : scpariph@gmail.com

²นักศึกษาสาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Student in Microbiology Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

E-mail : naruemon.ka.60@ubu.com

³ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

E-mail : jariyaporn.s@ubu.ac.th

⁴นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Scientist, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

E-mail : padung.k@ubu.ac.th

⁵ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Professor, Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

E-mail : rattanachaikunsopon@yahoo.com

แล้วนำไปอบแสงยูวีเป็นเวลา 10 นาที แบคทีเรียทดสอบทุกชนิดถูกยับยั้งได้ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดลองเช่นเดิม โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของแบคทีเรียทดสอบเท่ากับ 0.5 McFarland แต่ลดเวลาในการอบแสงยูวีลงเป็น 2, 3, 4 และ 5 นาที พบว่า การอบแสงยูวีเป็นเวลา 3, 4 และ 5 นาที สามารถยับยั้งแบคทีเรียทดสอบทุกชนิดได้ แต่การอบแสงยูวีเป็นเวลา 2 นาที สามารถยับยั้งได้เฉพาะ *S. aureus* และ *ESBL E. coli* แต่ไม่สามารถยับยั้ง *B. cereus* และ *E. coli* ได้ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า การอบแสงยูวีเป็นเวลา 3 นาที ยังสามารถยับยั้งแบคทีเรียทดสอบทุกชนิดที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 1, 2, 3 และ 4 McFarland ได้ จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าหากต้องนำตู้อบแสงยูวีนี้ไปใช้งานจริงและต้องการให้ยับยั้งแบคทีเรียได้ทุกประเภทควรใช้เวลาในการอบแสงยูวีเป็นเวลอย่างน้อย 3 นาที

คำสำคัญ: ตู้อบแสงยูวี แบคทีเรีย ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย

Abstract

This study aims to examine the ability of UV chamber developed by the Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University to inhibit *Escherichia coli* (*E. coli*), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Bacillus cereus* (*B. cereus*) and Extended Spectrum Beta Lactamase *Escherichia coli* (*ESBL E. coli*) that were used as representatives of gram negative bacteria, gram positive bacteria, spore producing bacteria and drug resistant bacteria, respectively. When the tested bacteria with the initial concentration of 0.5 McFarland were streaked on BHI agar and exposed to UV for 10 min, all tested bacteria were inhibited. However, when the same experiment was performed using each bacteria with the initial concentration of 0.5 McFarland but decreasing the UV exposure time to 2, 3, 4 and 5 min, it was found that exposure to UV for 3, 4 and 5 min could inhibit all of the tested bacteria while exposure to UV for 2 min could inhibit only *S. aureus* and *ESBL E. coli* but not *B. cereus* and *E. coli*. Moreover, it was also found that exposure to UV for 3 min could inhibit all of the tested bacteria with the initial concentrations of 1, 2, 3 and 4 McFarland. From this study, it is suggested that the most effective exposure time for the application of the UV chamber to inhibit all types of bacteria would be at least 3 min.

Keywords: UV Chamber, Bacteria, Antibacterial Activity

1. บทนำ

แสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Light) หรือแสงยูวี (UV Light) เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 100 ถึง 400 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Invisible Light) แหล่งกำเนิดแสงยูวีตามธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุด คือ ดวงอาทิตย์ โดยแสงยูวีที่ปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามความยาวคลื่น คือ รังสียูวีเอ (UVA) รังสียูวีบี (UVB) รังสียูวีซี (UVC) ซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วง 315 ถึง 400 นาโนเมตร, 280 ถึง 315 นาโนเมตร และ 100 ถึง 280 นาโนเมตร ตามลำดับ [1] ในบรรดาแสงยูวีทั้ง 3 ประเภทนี้ UVA และ UVB สามารถผ่านชั้นบรรยากาศ และชั้นโอโซน ลงมายังพื้นผิวโลกได้ ซึ่งแสงทั้ง 2 ประเภทนี้ทำให้เกิดความระคายเคือง และผลกระทบด้านสุขภาพของผิวมนุษย์ เช่น ทำให้เกิดรอยไหม้ กระ รอยเหี่ยวย่น หรือ ในกรณีที่รุนแรงอาจนำไปสู่การเกิดมะเร็งของผิวหนัง [2] ส่วน UVC เป็นแสงยูวีที่มีความยาวคลื่นต่ำ และมีความสามารถในการฆ่าจุลินทรีย์ต่าง ๆ ได้ ดังนั้น UVC จึงมีอีกชื่อหนึ่งว่า Germicidal UV [3] อย่างไรก็ตามในธรรมชาติ UVC ที่ปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์จะถูกดูดซับด้วยชั้นโอโซนทำให้ไม่สามารถผ่านมาสู่ผิวของโลกได้ จากความสามารถของ UVC ในการฆ่าจุลินทรีย์จึงทำให้มีการผลิตหลอดไฟที่ผลิต UVC (UVC Lamp) ออกมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์เพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อในสถานที่ต่าง ๆ เช่น ห้องผู้ป่วยในโรงพยาบาล ห้องปฏิบัติการทดลองปลอดเชื้อ ห้องบริบาลสัตว์ป่วย หรือแม้แต่ใช้ในการฆ่าเชื้อในสระน้ำ เป็นต้น

ในสถานการณ์ที่มีการระบาดของโรค ความต้องการวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการป้องกัน หรือ ฆ่าเชื้อเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่ากำลังการผลิตหลายเท่า ซึ่งส่งผลให้เกิดการขาดแคลน หรือการเพิ่มสูงขึ้นของราคาของวัสดุอุปกรณ์ดังกล่าว ด้วยเหตุนี้ทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีจึงมีแนวคิดที่จะสร้างตู้อบแสงยูวี (UV Chamber) เพื่อใช้ฆ่าเชื้อ ภายใต้โครงการนวัตกรรมสนับสนุนทางการแพทย์รองรับการระบาดจากเชื้อไวรัส COVID-19 โดยเครื่องดังกล่าวประกอบด้วยหลอดยูวี จำนวน 2 หลอด ซึ่งแต่ละหลอดมีกำลังการผลิตแสง UVC (UVC Radiation) เท่ากับ 8 วัตต์ (Watts) อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำตู้อบแสงยูวีดังกล่าวไปใช้จริงจำเป็นต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถของตู้อบแสงยูวีในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียประเภทต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ แบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียแกรมลบ แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ และแบคทีเรียดื้อยา

2. วัตถุประสงค์

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถของตู้อบแสงยูวีในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียประเภทต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ แบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียแกรมลบ แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ และแบคทีเรียดื้อยา

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

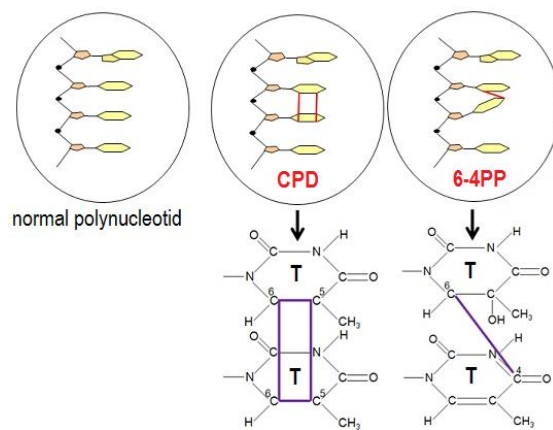
แสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Light) หรือแสงยูวี (UV Light) เป็นแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง

100 ถึง 400 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Invisible Light) แหล่งกำเนิดแสงยูวีตามธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุด คือ ดวงอาทิตย์ โดยแสงยูวีที่ปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามความยาวคลื่น คือ รังสียูวีเอ (UVA) รังสียูวีบี (UVB) รังสียูวีซี (UVC) [1] รังสี UVA มีความยาวคลื่น 400 ถึง 315 นาโนเมตร เป็นรังสีที่สามารถทะลุชั้นบรรยากาศของโลกได้ถึงร้อยละ 95 ทำให้เข้าทำลายผิวหนังได้ลึกถึงระดับชั้นในหรือชั้นหนังแท้ (Dermis) อันเป็นสาเหตุของการเกิดสารต้านอนุมูลอิสระที่นำมาซึ่งริ้วรอย ฝ้า กระ บนใบหน้าและผิวหนัง หากได้รับรังสียูวีเอสะสมเป็นปริมาณมากอาจเพิ่มโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งผิวหนังต่อไป ในขณะที่รังสียูวีบี ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 280 ถึง 315 นาโนเมตร สามารถทะลุชั้นบรรยากาศของโลกได้เพียงร้อยละ 10 แต่เป็นรังสีที่ช่วยกระตุ้นให้ร่างกายสร้างวิตามินดี [4] อย่างไรก็ตามหากได้รับมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดการทำลายผิวหนังชั้นนอกหรือชั้นหนังกำพร้า (Epidermis) หรือเกิดอาการผิวไหม้ [5] ส่วนรังสียูวีซี ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่น 100 ถึง 280 นาโนเมตร เป็นรังสีที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ [2] และเป็นรังสีที่มีความอันตรายสูงที่สุดเนื่องจากมีความถี่สูง แต่ชั้นบรรยากาศของโลกทำหน้าที่ช่วยกรองรังสียูวีซีไว้ได้ จึงทำให้อันตรายของรังสียูวีซีไม่ส่งผลอันตรายต่อมนุษย์ จากที่กล่าวไปข้างต้นประเภทของรังสีที่สำคัญและมีความสามารถในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์หรือยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ คือ รังสียูวีซี ซึ่งสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ไม่ว่าจะเป็น แบคทีเรีย ไวรัส รา และยีสต์ได้

ที่ผ่านมา มีงานวิจัยจำนวนมากที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถของรังสียูวีซีในการยับยั้งแบคทีเรียหลากหลายชนิด ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* และ *Staphylococcus epidermidis* [6] แบคทีเรียแกรมลบ เช่น *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia* และ *Pseudomonas aeruginosa* [6] และแบคทีเรียดื้อยา เช่น *Methicillin Resistant Staphylococcus pyogenes* [7] นอกจากนี้ยังมีการวิจัยที่นำเอารังสียูวีซีมาใช้ป้องกันการติดเชื้อบริเวณแผลผ่าตัด [8]

กลไกการทำลายเชื้อแบคทีเรียของรังสียูวีซีเป็นการทำลายกรดนิวคลีอิก (Nucleic Acids) ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ โดยโครงสร้างดังกล่าวสามารถดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 260 ถึง 265 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่อยู่ในช่วงของรังสียูวีซีได้ดีที่สุด เมื่อกรดนิวคลีอิกรับเอารังสียูวีซีเข้าไปจะทำให้เกิดความผิดปกติขึ้น ซึ่งความผิดปกติที่พบได้บ่อย คือ ไพริมิดีนไดเมอร์ (Pyrimidine Dimer) ที่สามารถส่งผลให้กระบวนการจำลองตัวเองของดีเอ็นเอ (DNA Replication) ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งนำไปสู่การตายของแบคทีเรียในที่สุด [9]

ไพริมิดีนไดเมอร์เกิดจากการที่ไพริมิดีนสองตัวที่อยู่ติดกันบนสายพอลินิวคลีโอไทด์สายเดียวกันยึดติดกันโดยไพริมิดีนทั้งสองตัวดังกล่าวอาจเป็นไทมีน หรือไซโทซีนก็ได้ ถ้าเป็นการยึดติดกันระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 และ 6 ของไพริมิดีนทั้งสองตัว ผลที่ได้คือ ไซโคลบิวเทนไพริมิดีนไดเมอร์ (Cyclobutane Pyrimidine Dimer, CPD) (รูปที่ 1) แต่ถ้าเป็นการยึดติดกันระหว่างคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของไพริมิดีนตัวหนึ่งกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของไพริมิดีนอีกตัวหนึ่ง ผลที่ได้คือ (6-4) โฟโตโปรดักต์ ((6-4) Photoproduct, 6-4PP) (รูปที่ 1) ไพริมิดีนไดเมอร์ทั้งสองแบบทำให้ ดีเอ็นเอมีโครงสร้างที่ผิดปกติ (Distorted) และไม่สามารถจำลองตัวเองได้

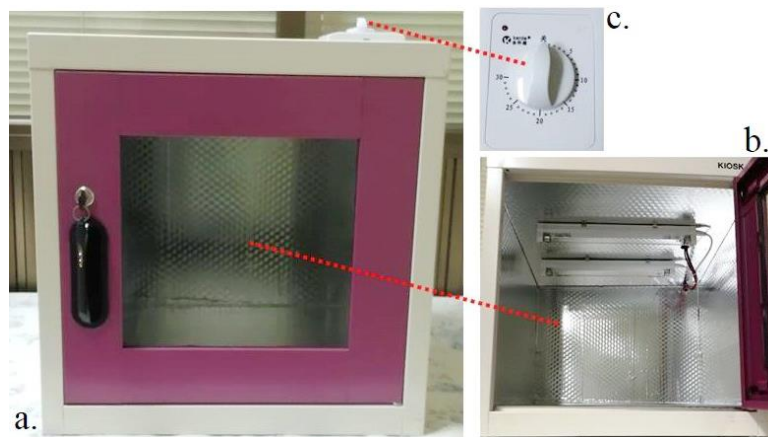


รูปที่ 1 ไซโคลบิวเทนไพริมิดีนไดเมอร์ (CPD) และ (6-4) โฟโตโปรดักต์ (6-4PP)

4. วิธีดำเนินการศึกษา

4.1 ตู้อบแสงยูวี

ตู้อบแสงยูวี (UV Chamber) ที่ใช้ในการศึกษานี้มีขนาด กว้าง 44 ซม. ยาว 40.5 ซม. สูง 44 ซม. ภายในตู้ทางด้านบนมีหลอดยูวี (TUV TL Mini) จำนวน 2 หลอด ซึ่งแต่ละหลอดมีกำลังการผลิตแสง UVC เท่ากับ 8 วัตต์ (Watts) ภายนอกตู้มีปุ่มปรับเวลา ซึ่งปรับเวลาได้ตั้งแต่ 1 ถึง 30 นาที (รูปที่ 2) การใช้งานตู้อบแสงยูวีนี้ หลอดยูวีจะทำงานพร้อมกันทั้งสองหลอด ไม่สามารถเลือกเปิดหลอดใดหลอดหนึ่งได้



รูปที่ 2 ตู้อบแสงยูวีที่พัฒนาโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

(a) ภาพด้านหน้าของตู้; (b.) ภาพด้านในของตู้; (c.) ปุ่มปรับเวลา

4.2 การทดสอบความสามารถของตู้อบแสงยูวีในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

การทดลองนี้เป็นการทดสอบความสามารถของตู้อบแสงยูวีในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ โดยใช้แบคทีเรียต่อไปนี้ เป็นแบคทีเรียทดสอบ ได้แก่ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* และ *ESBL E. coli* ซึ่งใช้เป็นตัวแทนแบคทีเรียแกรมลบ แบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ และแบคทีเรียที่ยากต่อการฆ่าด้วย

การทดสอบความสามารถของตูบแสงยูวีในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ทำโดยถ่ายเชื้อแบคทีเรียทดสอบแต่ละชนิดที่บ่มในอาหารเลี้ยงเชื้อ BHI Broth อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ BHI Broth ใหม่ โดยใช้ Inoculum Size เท่ากับ 2% (v/v) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จน Bacterial Culture อยู่ในระยะ Exponential Phase ปรับความเข้มข้นของ Bacterial Culture ให้เท่ากับ 0.5 McFarland แล้วนำมาป้ายลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ BHI Agar ด้วยไม้พันสำลีที่ปลอดเชื้อ (Sterile Swab) จากนั้นนำจานอาหารเลี้ยงเชื้อดังกล่าวไปบ่มในตูบแสงยูวี เป็นเวลา 10 นาที ในลักษณะที่เปิดฝาด้านบนของจานอาหารเลี้ยงเชื้อออก เมื่อครบกำหนดเวลาให้ปิดฝาจานอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อสังเกตการเจริญของแบคทีเรียบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ในการทดลองนี้มีชุดควบคุม (Control) ซึ่งเป็นชุดควบคุมที่มีการป้ายเชื้อแบคทีเรียบนอาหารเลี้ยงเชื้อ BHI Agar แต่ไม่ต้องนำไปบ่มในตูบแสงยูวี การทดลองนี้ทำซ้ำ 3 ครั้ง

4.3 การศึกษาผลของเวลาในการอบแสงยูวีต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

การทดลองนี้เป็นการหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับตูบแสงยูวีในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียประเภทต่าง ๆ โดยใช้แบคทีเรียต่อไปนี้เป็นแบคทีเรียทดสอบ ได้แก่ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* และ *ESBL E. coli* ซึ่งใช้เป็นตัวแทนแบคทีเรียแกรมลบ แบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ และแบคทีเรียดื้อยาตามลำดับ

การทดลองนี้ทำเช่นเดียวกับการทดสอบความสามารถของตูบแสงยูวีในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ได้กล่าวมาแล้ว เพียงแต่ในการทดลองนี้มีการปรับเปลี่ยนเวลาในการอบจานอาหารเลี้ยงเชื้อ BHI Agar ทั้งที่มีการป้ายเชื้อแบคทีเรียทดสอบ และไม่มีการป้ายเชื้อแบคทีเรียทดสอบ (Negative Control) เป็น 2, 3, 4 และ 5 นาที การทดลองนี้ทำซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละเวลาของการอบแสงยูวี

4.4 การศึกษาผลของความเข้มข้นของแบคทีเรียต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียด้วยแสงยูวี

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นของแบคทีเรียประเภทต่าง ๆ ต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียด้วยแสงยูวี โดยใช้แบคทีเรียต่อไปนี้เป็นแบคทีเรียทดสอบ ได้แก่ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* และ *ESBL E. coli* ซึ่งใช้เป็นตัวแทนแบคทีเรียแกรมลบ แบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ และแบคทีเรียดื้อยาตามลำดับ

การทดลองนี้ทำเช่นเดียวกับการทดสอบความสามารถของตูบแสงยูวีในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ได้กล่าวมาแล้ว เพียงแต่ในการทดลองนี้มีการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของแบคทีเรียตั้งต้น โดยให้ความเข้มข้น เท่ากับ 1, 2, 3 และ 4 McFarland การทดลองนี้ทำซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละความเข้มข้นของแบคทีเรียตั้งต้น

5. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

5.1 การทดสอบความสามารถของตูบแสงยูวีในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

เมื่อนำเชื้อแบคทีเรียทดสอบทุกชนิด ได้แก่ *E. coli*, *S. aureus*, *B. cereus* และ *ESBL E. coli* ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 McFarland มาป้ายลงบนอาหาร BHI Agar แล้วนำไปอบแสงยูวีเป็นเวลา 10 นาที

พบว่าแบคทีเรียทดสอบทุกชนิดถูกยับยั้งได้ โดยสังเกตจากการที่ไม่พบการเจริญของแบคทีเรียทดสอบทุกชนิดบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการอบแสงยูวี ในขณะที่บนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่ผ่านการอบแสงยูวี ซึ่งใช้เป็น Positive Control แบคทีเรียทดสอบทุกชนิดสามารถเจริญได้ (รูปที่ 3) การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าตู้อบแสงยูวีที่ใช้ในการทดลองมีความสามารถยับยั้งได้ทั้งแบคทีเรียแกรมลบ แบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ และแบคทีเรียดื้อยา

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่แสดงให้เห็นว่าแสงยูวีสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียแกรมลบ [10] แบคทีเรียแกรมบวก [10] แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ [11] และแบคทีเรียดื้อยา [12] ได้นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าแสงยูวีสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เช่น เชื้อรา [13] และไวรัส [14] ได้ด้วย



รูปที่ 3 การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (ความเข้มข้น 0.5 McFarland) หลังจากการอบแสงยูวีเป็นเวลา 10 นาที (a.) ชุดควบคุม; (b.) ชุดทดลอง (E = *E. coli*; S = *S. aureus*; B = *B. cereus*; ES = ESBL *E. coli*)

5.2 การศึกษาผลของเวลาในการอบแสงยูวีต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

เมื่อนำเชื้อแบคทีเรียทดสอบทุกชนิด ได้แก่ *E. coli*, *S. aureus*, *B. cereus* และ ESBL *E. coli* ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 McFarland มาป้ายลงบนอาหาร BHI Agar แล้วนำไปอบแสงยูวีเป็นเวลา 2, 3, 4 และ 5 นาที พบว่าการอบแสงยูวีเป็นเวลา 3, 4 และ 5 นาที สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทดสอบทุกชนิดได้ (รูปที่ 4 และตารางที่ 1) ในขณะที่การอบแสงยูวีเป็นเวลา 2 นาที สามารถยับยั้งการเจริญได้เฉพาะ *S. aureus* และ ESBL *E. coli* แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของ *E. coli* และ *B. cereus* ได้ (รูปที่ 5) จากผลการทดลองนี้ทำให้สรุปได้ว่าหากต้องการใช้ตู้อบแสงยูวีที่ใช้ในการศึกษานี้อบฆ่าเชื้อแบคทีเรียเพื่อให้สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ทุกชนิดควรอบเป็นเวลอย่างน้อย 3 นาที

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนต่อแสงยูวีได้แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่าแบคทีเรียแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนต่อแสงยูวีที่ต่างกัน แม้แต่เชื้อชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ก็มีความสามารถในการทนแสงยูวีที่ต่างกัน [11]

ในการศึกษานี้พบว่า *B. cereus* และ *E. coli* มีความสามารถทนต่อแสงยูวีได้ดีกว่าแบคทีเรียทดสอบอีก 2 ชนิด ในกรณีของ *B. cereus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ การทนต่อแสงยูวีอาจเกิดจากการที่มีบางเซลล์ของ *B. cereus* อยู่ในสภาวะที่มีการสร้างสปอร์ ทำให้ทนต่อแสงยูวีได้ดี จากรายงานการวิจัยของ Setlow [15] พบว่าสปอร์ของ *B. subtilis* มีความสามารถในการทนต่อแสงยูวีได้ดี เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อสปอร์ได้รับแสงยูวีมักทำให้เกิด Spore Photoproduct (5-Thymine-5, 6-Dihydrothymine) ขึ้นกับ DNA ภายในสปอร์ แต่ความผิดปกติดังกล่าวสามารถถูกซ่อมแซมได้ด้วยเอนไซม์ Spore Photoproduct Lyase ซึ่งมีอยู่ภายในสปอร์ ด้วยเหตุนี้สปอร์จึงมีความสามารถในการซ่อมแซมความผิดปกติของ DNA อันเนื่องมาจากแสงยูวีได้ จึงทำให้ทนต่อแสงยูวีได้ดี ส่วนความสามารถในการทนต่อแสงยูวีของ *E. coli* โดยส่วนใหญ่แล้วเกิดจากการที่แบคทีเรียชนิดนี้มีกลไกการซ่อมแซมความผิดปกติที่เกิดจากแสงยูวี โดยปกติแล้วแสงยูวีมักทำให้เกิดความผิดปกติขึ้นกับ DNA ของแบคทีเรียที่เรียกว่า Pyrimidine Dimer [16] หากแบคทีเรียใดมีกลไกในการซ่อมแซม DNA ได้ดี แบคทีเรานั้นก็จะทนต่อแสงยูวีได้ดี จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า *E. coli* มีหลายกลไกในการซ่อมแซม Pyrimidine Dimer เช่น Photoreactivation, Base Excision Repair และ Nucleotide Excision Repair [17] โดย *E. coli* แต่ละสายพันธุ์อาจใช้กลไกที่แตกต่างกันในการซ่อมแซม DNA ขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่มีอยู่ในแต่ละสายพันธุ์ นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า *E. coli* ที่อยู่ในสภาวะของการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันมีความสามารถในการทนต่อแสงยูวีที่ต่างกัน โดย *E. coli* ที่อยู่ในระยะ Stationary Phase มีความสามารถในการทนต่อแสงยูวีได้ดีกว่า *E. coli* ที่อยู่ในระยะ Log Phase เนื่องจากเซลล์ในระยะ Stationary Phase มีอัตราการแบ่งเซลล์ที่น้อย จึงทำให้อัตราการเกิด DNA Replication น้อย เซลล์จึงสามารถทุ่มเทให้กับการซ่อมแซม DNA ได้เต็มที่ [18] ในกรณีของการศึกษานี้ที่พบว่า *E. coli* มีความสามารถในการทนต่อแสงยูวีได้ดี อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งดังที่กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4 การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (ความเข้มข้น 0.5 McFarland) หลังจากการอบแสงยูวีเป็นเวลา 5 นาที
(a.) ชุดควบคุม; (b.) ชุดทดลอง (*E* = *E. coli*; *S* = *S. aureus*; *B* = *B. cereus*; *ES* = ESBL *E. coli*)



รูปที่ 5 การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (ความเข้มข้น 0.5 McFarland) หลังจากการอบแสงยูวีเป็นเวลา 2 นาที (a.) ชุดควบคุม; (b.) ชุดทดลอง ($E = E. coli$; $S = S. aureus$; $B = B. cereus$; $ES = ESBL E. coli$)

ตารางที่ 1 การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย (ความเข้มข้น 0.5 McFarland) หลังจากการอบแสงยูวีที่เวลาต่าง ๆ

แบคทีเรีย	ระยะเวลาในการอบแสงยูวี (นาท)			
	2	3	4	5
<i>Escherichia coli</i>	-	+	+	+
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+
<i>Bacillus cereus</i>	-	+	+	+
<i>ESBL E. coli</i>	+	+	+	+

+ = มีการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย; - = ไม่มีการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

5.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นของแบคทีเรียต่อการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียด้วยแสงยูวี

เมื่อนำเชื้อแบคทีเรียทดสอบทุกชนิด ได้แก่ *E. coli*, *S. aureus*, *B. cereus* และ *ESBL E. coli* ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1, 2, 3 และ 4 McFarland มาป้ายลงบนอาหาร BHI Agar แล้วนำไปอบแสงยูวีเป็นเวลา 3 นาทีพบว่าแบคทีเรียทดสอบทุกชนิดถูกยับยั้งได้ โดยสังเกตจากการที่ไม่พบการเจริญของแบคทีเรียทดสอบทุกชนิดบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผ่านการอบแสงยูวี ในขณะที่บนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่ผ่านการอบแสงยูวี ซึ่งใช้เป็น Positive Control แบคทีเรียทดสอบทุกชนิดสามารถเจริญได้ (ตารางที่ 2) การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของแบคทีเรียไม่มีผลต่อความสามารถของตูบแสงยูวีในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย หากทำการอบฆ่าเชื้อแบคทีเรียเป็นเวลา 3 นาที

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Saha และคณะ [19] ที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อทดลองฆ่าเชื้อ *Pseudomonas fluorescens* ด้วยแสงยูวี ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 10^4 , 10^5 , 10^6 และ 10^7 cfu/ml เป็นเวลา 2 นาที ผลที่ได้ไม่แตกต่างกันคือแสงยูวีสามารถลดปริมาณของเชื้อในทุกความเข้มข้นลงได้ 99% และเมื่อทำการทดลองเช่นเดิม แต่เปลี่ยนเชื้อที่ใช้เป็น *P. oleovorans subsp. lubricantis* ก็ยังได้ผลการทดลองเช่นเดิม คือ แสงยูวีสามารถปริมาณของเชื้อในทุกความเข้มข้นลงได้ 99%

ตารางที่ 2 การยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ หลังจากการอบแสงยูวีเป็นเวลา 3 นาที

แบคทีเรีย	ความเข้มข้นของแบคทีเรีย (McFarland)			
	1	2	3	4
<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	+
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	+	+	+
<i>Bacillus cereus</i>	+	+	+	+
ESBL <i>E. coli</i>	+	+	+	+

+ = มีการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย; - = ไม่มีการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของตู้อบแสงยูวีที่พัฒนาขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ แบคทีเรียแกรมลบ แบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ และแบคทีเรียดื้อยา ผลจากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า หากต้องนำตู้อบแสงยูวีนี้นี้ไปใช้งานจริง ซึ่งมีแบคทีเรียหลากหลายสายพันธุ์ปะปนกันอยู่ ควรใช้เวลาในการอบแสงยูวีอย่างน้อย 3 นาที เนื่องจากเวลาดังกล่าวสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ทุกชนิด และทุกความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Amaro-Ortiz A, Yan B, D'Orazio JA. Ultraviolet radiation, aging and the skin: prevention of damage by topical cAMP manipulation. *Molecules*. 2014 May;19(5):6202-19.
- [2] Dai T, Vrahas MS, Murray CK, Hamblin MR. Ultraviolet C irradiation: an alternative antimicrobial approach to localized infections? *Expert Review of Anti-Infective Therapy*. 2012 Feb;10(2): 185-195.
- [3] Katara G, Hemvani N, Chitnis S, Chitnis V, Chitnis DS. Surface disinfection by exposure to germicidal UV light. *Indian Journal of Medical Microbiology*. 2008 Jul;26(3): 241-2.
- [4] Wacker M, Holick MF. Sunlight and vitamin D: A global perspective for health. *Dermato-endocrinol*. 2013 Jan;5(1):51-108.
- [5] D'Orazio J, Jarrett S, Amaro-Ortiz A, Scott T. UV radiation and the skin. *International Journal of Molecular Sciences*. 2013 Jun;14(6):1222-48.
- [6] Mohr H, Steil L, Gravemann U, Thiele T, Hammer E, Greinacher A, Muller TH, Volker U. A novel approach to pathogen reduction in platelet concentrates using short-wave ultraviolet light. *Transfusion*. 2009 Dec;49(12):2612-24.

- [7] Rao BK, Kumar P, Rao S, Gurung B. Bactericidal effect of ultraviolet C (UVC), direct and filtered through transparent plastic, on gram-positive cocci: an in vitro study. *Ostomy Wound Manage.* 2011 Jul;57(7):46-52.
- [8] Taylor GJ, Leeming JP, Bannister GC. Effect of antiseptics, ultraviolet light and lavage on airborne bacteria in a model wound. *The Journal of bone and joint surgery British volume.* 1993 Sep;75(5):724-30.
- [9] Yin R, Dai T, Avci P, Jorge AE, de Melo WC, Vecchio D, Huang YY, Gupta A, Hamblin MR. Light based anti-infectives: ultraviolet C irradiation, photodynamic therapy, blue light, and beyond. *Current Opinion Pharmacology.* 2013 Oct;13(5):731-62.
- [10] Rose LJ, O'Connell H. UV light inactivation of bacterial biothreat agents. *Applied and Environmental Microbiology.* 2009 May;75(9):2987-90.
- [11] Coohill TP, Sagripanti JL. Ultraviolet radiation of bacteria with particular relevance to biodefense. *Photochem Photobiol.* 2008;84(5):1084-90.
- [12] Zhang CM, Xu L, Wang XC, Zhang K, Liu QQ. Effects of ultraviolet disinfection on antibiotic-resistant *Escherichia coli* from wastewater: inactivation, antibiotic resistance profiles and antibiotic resistance genes. *Journal of Applied Microbiology.* 2017 Apr;123(1):295-306.
- [13] Ozcelik B. Fungi/bactericidal and static effects of ultraviolet light in 254 and 354 nm wavelengths. *Research Journal of Microbiology.* 2007;2(1):42-9.
- [14] Mackenzie D. Ultraviolet light fights new virus. *Engineering (Beijing).* 2020;6(8):851-53.
- [15] Setlow P. Resistance of spores of *Bacillus* species to ultraviolet light. *Environmental and Molecular Mutagenesis.* 2001 Feb;38(2-3):97-104.
- [16] Sanchez-Navarrete J, Ruiz-Perez NJ, Guerra-Trejo A, Toscano-Garibay JD. Simplified modeling of *E. coli* mortality after genome damage induced by UV-C light exposure. *Scientific Reports.* 2020 Jul;10:11240.
- [17] Douki T, Koschimbahr AV, Cadet J. Insight in DNA repair of UV-induced pyrimidine dimers by chromatographic methods. *Photochemistry and Photobiology.* 2017 Jan;93(1):207-15.
- [18] Abedi-Moghaddam N, Bulic A, Henderson L, Lam E. Survival of *Escherichia coli* to UV irradiation during exponential and stationary phases of growth. *Journal of Experimental Microbiology and Immunology.* 2004 Apr;5:44-49.
- [19] Saha R, Donofrio RS, Bagley ST. Determination of the effectiveness of UV radiation as a means of disinfection of metalworking fluids. *Annals of Microbiology.* 2014;64:831-38.

การประมาณน้ำหนักสุกรโดยใช้การประมวลผลภาพและโครงข่ายประสาทเทียม

Pig Weight Estimation Using Image Processing and Artificial Neural Networks

พิศณุ คุมีชัย¹

Pisanu Kumeechai¹

Receive : March 6, 2022

Revised : April 11, 2022

Accepted : April 12, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการประมาณน้ำหนักสุกรโดยใช้การประมวลผลภาพ และโครงข่ายประสาทเทียม โดยจะใช้สุกรจำนวนหนึ่งร้อยตัว ซึ่งสุกรจะถูกชั่งน้ำหนักทีละตัว วัดขนาดเส้นรอบวงของหัวและความยาวลำตัว หลังจากนั้น จับภาพมุมมองด้านบนของสุกร และวิเคราะห์อัตราส่วนของพิกเซลของสุกรต่อพื้นที่ทั้งหมด โดยใช้โปรแกรม Python ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ชุดฝึก (n=70) และชุดทดสอบ (n=30) ความสัมพันธ์ของน้ำหนักตัวและเส้นรอบวง ตลอดจนความยาวและภาพลักษณ์ของร่างกายถูกกำหนดโดยความสัมพันธ์ของเพียร์สัน (PPMC) ชุดฝึกอบรมนี้ใช้ในการพัฒนาสมการน้ำหนักสุกรโดย K-Nearest Neighbors (K-NN) และโครงข่ายประสาทเทียม (ANN), Mean Absolute Deviation (MAD) และ Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ถูกใช้เพื่อวัดข้อผิดพลาดของการประมาณค่าสำหรับผลการทดลองค่าความถูกต้องอยู่ที่ 86% โดยสรุปการประมวลผลภาพเป็นวิธีที่รวดเร็วในการประมาณน้ำหนักตัวโดยไม่ใส่ความเครียดให้กับสุกร การใช้โครงข่ายประสาทเทียม เป็นวิธีการทางเลือกในการเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลองสำหรับการประมาณน้ำหนักสุกร

คำสำคัญ : การประมาณน้ำหนักสุกร, การประมวลผลภาพ, โครงข่ายประสาทเทียม, ความสัมพันธ์ของเพียร์สัน

¹อาจารย์กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Instructor, Department of Engineering, Education Branch, Royal Thai Naval Academy

E-mail: pisanu41984198@hotmail.com

Abstract

The purpose of this study was to determine a method for estimating pig weight using image processing and neural networks. Weight, head circumference, body length and top view of a hundred pigs, the sample groups, were recorded once at a time. Python was applied for analyzing the top view of each pig to find the pig's pixel-to-total. The data were classified into two groups, the practice set (n=70) and the test set (n=30). The relationship between body weight regarding circumference and length regarding body image, was determined by the Pearson Product Moment Correlation (PPMC). The aim is at developing pig weight equations where K-Nearest Neighbors (K-NN), Artificial Neural Networks (ANN), Mean Absolute Deviation (MAD), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) were measurement errors of the estimation. The results were about 86% accuracy. It can be concluded that the image processing was a quick method for estimating body weight without stressing the pigs. Artificial neural network is an alternative method to improve the accuracy of pig weight estimation.

Keywords: Estimating Pig Weight, Image Processing, Neural Network, Pearson Product Moment Correlation

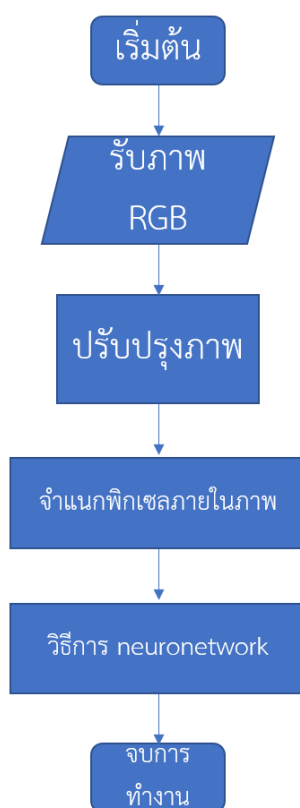
1. บทนำ

ในการผลิตสุกรในเชิงพาณิชย์ การวัดน้ำหนักตัวของสุกรเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการตรวจสอบสภาพของสัตว์ รวมถึงประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและสถานะของสุขภาพ ซึ่งสามารถใช้น้ำหนักตัวสุกรเพื่อกำหนดความต้องการสารอาหาร ปริมาณยา และเวลาออกสู่ตลาด [1] แต่อย่างไรก็ตามการจับสุกรไปที่อุปกรณ์ชั่งน้ำหนักนั้นใช้เวลานานและใช้แรงงานมาก กิจกรรมนี้ยังทำให้สุกรเกิดความเครียดหรือบาดเจ็บได้อีกด้วย แทนที่จะใช้การวัดร่างกาย เช่น เส้นรอบวงของหัวและความยาวลำตัว เพื่อประเมินร่างกาย [2] จากการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงระหว่างการวัดร่างกายและน้ำหนักตัวของสุกร แต่น่าเสียดายที่เทคนิคนี้ยังต้องกักขังสุกรให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้สุกรเกิดความเครียดได้เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการแนะนำการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาพจากกล้องเพื่อประเมินน้ำหนักตัวสุกร [3], [4] การประมวลผลภาพผ่านระบบกล้องใช้วัดขนาดของสุกร โดยกล้องใช้ตรวจจับภาพสุกร และประมาณขนาดโดยใช้เทคนิคการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ ขนาดโดยประมาณของสุกรจะใช้ในการเลือกอาหารที่เพียงพอ เป็นการให้การทำงานในฟาร์มสุกรทำงานได้อย่างน่าพอใจโดยไม่รบกวนวงจรการให้อาหารสุกรภายในฟาร์ม สามารถลดต้นทุนแรงงาน และช่วยให้การป้อนอาหารมีประสิทธิภาพโดยพิจารณาจากขนาดของสุกร ซึ่งน้ำหนักสุกรจะเป็นการประเมินจากขนาดของภาพ [5] ความแม่นยำของการประมาณ

น้ำหนักยังขึ้นอยู่กับแบบจำลองการคาดการณ์ด้วย ซึ่งส่วนใหญ่ได้รับการพัฒนาโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย [2], [6] อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์การถดถอยต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เฉพาะ (เช่น แบบจำลองเชิงเส้น สมการกำลังสอง หรือไม่ใช่เชิงเส้น) ซึ่งดูเหมือนว่าจะมีศักยภาพจำกัดมากกว่าที่จะได้ค่าเป้าหมาย [7] อีกทางหนึ่งคือ โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เป็นแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งอิงตามเซลล์ประสาททางชีววิทยาของสมองมนุษย์เพื่อตอบสนองต่อค่าประมาณที่เหมาะสมที่สุด [7] มีการรายงานข้อดีของ โครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากไม่ต้องการตัวแบบทางคณิตศาสตร์ก่อนการทำนายเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอย [7] สำหรับปศุสัตว์ มีการใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในการทำนายการเติบโตของสัตว์ [7], [8] การประมาณค่าที่ย่อยได้ในถั่วเหลืองที่มีไขมันเต็ม [9] การพยากรณ์ราคาไข่ [10] และการพยากรณ์อาหาร [11] โครงข่ายประสาทเทียมยังได้รับการแนะนำเพื่อประเมินน้ำหนักตัวของสุกร [12] ภาพสุกรถูกนำมาใช้ในการฝึกโดยมีน้ำหนักตัวของสุกรที่สอดคล้องกัน และผลการทดลองพบว่าเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ปรับปรุงการประมาณน้ำหนักตัวของสุกร ในทำนองเดียวกัน โครงข่ายประสาทเทียมแสดงแบบจำลองที่ดีกว่าโดยมีข้อผิดพลาดน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอย [7]-[9], [11] ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการประมาณน้ำหนักสุกรโดยใช้การวัดขนาดร่างกายเปรียบเทียบกับการประมวลผลภาพโดยใช้ K-Nearest Neighbors (K-NN) และ โครงข่ายประสาทเทียมถูกนำมาใช้เพื่อพัฒนาแบบจำลองการประมาณน้ำหนักสุกร

ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการประมาณน้ำหนักสุกรโดยใช้การประมวลผลภาพ และโครงข่ายประสาทเทียม โดยจะใช้สุกรจำนวนหนึ่งร้อยตัวในการทดลอง โดยจะใช้ไฟล์ภาพดิจิทัลของสุกรมาเข้ากระบวนการในการปรับปรุงภาพเพื่อให้ได้ภาพที่สมบูรณ์ขึ้น จากนั้นจะนำไฟล์ภาพที่ได้มาทำการจำแนกพิกเซลภายในภาพเพื่อให้ได้ภาพของสุกรที่ต้องการ ขั้นตอนสุดท้ายคือเข้ากระบวนการโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการวัดผลการทดลอง

โครงสร้างของบทความนี้จัดเป็นดังนี้ ส่วนที่ (1) นำเสนองานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย รวมไปถึงเนื้อหาและความสำคัญของเรื่อง ส่วนที่ (2) ให้รายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุและวิธีการ อุปกรณ์และการเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการประมวลผลภาพดิจิทัล ส่วนที่ (3) การจำแนกข้อมูลวิธีการเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbor: K-NN) และวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ส่วนที่ (4) คือผลลัพธ์การทดลอง และส่วนสุดท้ายส่วนที่ (5) คือบทสรุปของกระบวนการทดลอง ดังแสดงกระบวนการต่าง ๆ ในรูปที่ 1



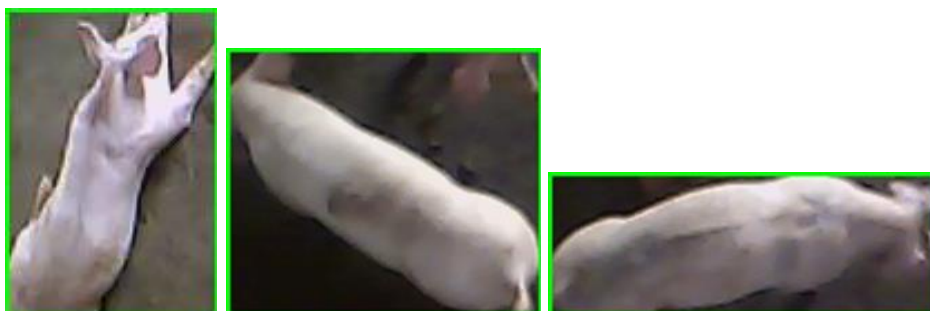
รูปที่ 1 ขั้นตอนในการทำงาน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุและวิธีการ

2.1.1 สัตว์และที่อยู่อาศัย

การทดลองดำเนินการในเดือนตุลาคมถึงธันวาคม 2018 ใช้สุกรหนึ่งร้อยตัว น้ำหนักตัวเฉลี่ยอยู่ที่ 98 ± 5.5 กก. ติดตั้งระบบทำความเย็นแบบระเหยเพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ $29 - 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ สุกรถูกเลี้ยงในคอกไม้ระแนง (พื้นที่ 1.6 ตร.ม. ต่อสุกร) ตกแต่งด้วยคอมไฟให้ความร้อน สุกรถูกป้อนอาหารและน้ำโดยอิสระด้วยเครื่องป้อนอัตโนมัติ



รูปที่ 2 ตัวอย่างสุกรในฟาร์ม

2.1.2 อุปกรณ์และการเก็บรวบรวมข้อมูล

ใช้โครงเหล็กสเตนเลสขนาด $35 \times 84 \times 60$ ซม. ออกแบบมาเพื่อใช้กับเครื่องชั่งดิจิตอลสุกรแต่ละตัวถูกย้ายเข้าไปในกรงสเตนเลสเพื่อวัดน้ำหนักตัว จากนั้นวัดความยาวลำตัวและเส้นรอบวงของหัว โดยใช้เทปพันสายไฟ ความยาวลำตัวถูกกำหนดเป็นความยาวจากฐานของคอถึงฐานของหาง ในขณะที่เส้นรอบวงถูกกำหนดเป็นบริเวณหน้าอกหลังขาหน้า [2] กล้องตัวหนึ่งถูกยึดไว้เหนือสุกรที่บริเวณกรงเหล็กสเตนเลส ภาพจากกล้องมุมมองด้านบนเกิดขึ้นเมื่อสุกรตั้งตรง ภาพที่ถ่ายถูกปรับขนาดเป็น 1024×512 พิกเซล การแบ่งส่วนเริ่มต้นด้วยไบนารีและจากนั้น ตามด้วยการดำเนินการทางสัญญาณวิทยา พิกเซลถูกวัดเป็นสีขาวและดำ และวิเคราะห์อัตราส่วนของพิกเซลของสุกรต่อพื้นที่ทั้งหมด (รูปภาพ) โดยการใช้เขียนโปรแกรม Python

2.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ชุดฝึก ($n=70$) และชุดทดสอบ ($n=30$) ข้อมูลการฝึกใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการประมาณน้ำหนักสุกรโดยใช้หลักการ K-Nearest Neighbors (K-NN) และโครงข่ายประสาทเทียม ข้อมูลถูกสุ่มเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในระหว่างขั้นตอนการฝึกอบรมเพื่อป้องกันการ Overfitting ค่าโดยประมาณทดสอบโดยใช้น้ำหนักจริงจากชุดทดสอบ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวและเส้นรอบวงของหัวใจ ตลอดจนความยาวลำตัวและภาพถูกกำหนดโดย Pearson Correlation (r) ในรูปแบบตามสมการที่ (1)

$$r = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})(y_t - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

โดยที่ x_t, y_t คือค่าที่สังเกตได้ ณ เวลา t , $\bar{x}$ คือค่าเฉลี่ยของ x , $\bar{y}$ คือค่าเฉลี่ยของ y และ n คือจำนวนการสังเกต ข้อมูลการทดสอบใช้เพื่อประมาณน้ำหนักตัวและเปรียบเทียบกับค่าที่สังเกตได้ ความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายแต่ละแบบถูกกำหนดโดย R^2 ที่คำนวณตามสมการที่ (2)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y})^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2} \quad (2)$$

โดยที่ $\hat{y}$ คือค่าโดยประมาณ การวัดค่าความผิดพลาดถูกกำหนดโดย Mean Absolute Deviation (MAD) และ Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ในรูปแบบตามสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|}{n} \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|}{y} \quad (4)$$

สำหรับวิธีการหาอัตราความถูกต้อง ในเอกสารนี้ใช้ตามสมการที่ (5)

$$\text{อัตราความถูกต้อง (\%)} = \left(\frac{\text{จำนวนทั้งหมด} - \text{จำนวนวัดได้ที่ผิด}}{\text{จำนวนทั้งหมด}} \right) \times 100 \quad (5)$$

จำนวนทั้งหมดคือจำนวนสุกรที่นำมาใช้ในการทดลอง และจำนวนวัดได้ที่ผิดคือค่าที่วัดออกมาแล้วไม่ถูกต้อง โดยอัตราผิดพลาดไม่เกิน 5% เป็นไปตามที่ผู้วิจัยได้กำหนด

2.2 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพจะมีการแปลงสัญญาณภาพจากสัญญาณแอนะล็อกที่เป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่องเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง โดยจะเริ่มจากแสงตกกระทบกับอุปกรณ์รับแสง และจะแปรรูปข้อมูลเป็นรูปแบบดิจิทัล มีขั้นตอนสำคัญอยู่ 2 ขั้นตอนคือ การสุ่มข้อมูลสัญญาณภาพ (Image Sampling) และการควอนไทซ์สัญญาณภาพ (Image Quantization)

2.2.1 การสุ่มข้อมูลสัญญาณภาพ (Image Sampling)

การสุ่มข้อมูลสัญญาณ คือ ขั้นตอนการเก็บค่าสัญญาณเพียงบางค่าในแต่ละช่วงของคาบเวลา เป็นการเทียบข้อมูลของสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณดิจิทัลในช่วงเวลานั้น ความเหมาะสมในการสุ่มสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณภาพที่มีคุณภาพใกล้เคียงต้นฉบับที่สุด เพื่อไม่ให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณต้องใช้ความถี่ในการสุ่มข้อมูลของสัญญาณไม่น้อยกว่า 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณต้นฉบับ หากเราต้องการข้อมูลสัญญาณที่มีความสมบูรณ์มากขึ้นจะต้องทำการสุ่มสัญญาณให้มีความถี่สูง

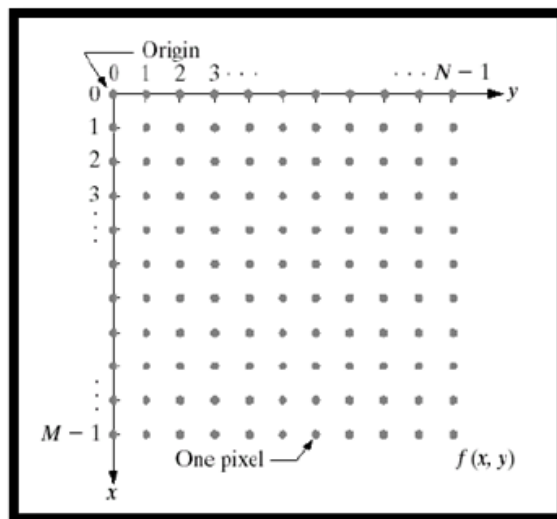
2.2.2 การควอนไทซ์สัญญาณภาพ (Image Quantization)

การควอนไทซ์สัญญาณภาพ เป็นขั้นตอนหลังจากการสุ่มข้อมูลสัญญาณภาพ โดยจะทำการปรับเพิ่มหรือลดระดับของสัญญาณภาพให้เป็นเฉพาะค่าที่กำหนดเท่านั้น ซึ่งหลังจบกระบวนการนี้จะได้สัญญาณภาพเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่อง

ข้อมูลภาพดิจิทัลจะถูกเขียนให้อยู่ในรูปฟังก์ชันสองมิติของค่าระดับความเข้มแสงภาพ $f(x,y)$ มีขนาด M แถว และ N คอลัมน์ และพิกัดของจุดกำเนิด (Origin) ของภาพคือที่ตำแหน่ง $(x,y) = (0,0)$ แล้วค่าแต่ละค่าที่อยู่ในเมทริกซ์จะเรียกว่า พิกเซล (Pixel) โดยตำแหน่ง $(0,0)$ จะอยู่ทางด้านซ้ายมือสุดด้านบนของภาพ การจัดลำดับตำแหน่งของจุดภาพจะเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละเส้นจุดและจัดลำดับของเส้นจุดจะเรียงจากบนลงล่าง การเก็บค่าของความเข้มแสงของภาพดิจิทัลลงหน่วยความจำในลักษณะเส้นจุด (Raster) นี้จะเรียกภาพบิตแมป

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

รูปที่ 3 เมทริกซ์ระบบพิกัดของพิกเซลในภาพเชิงดิจิทัล [13]



รูปที่ 4 จุดพิกัดแต่ละพิกเซลของภาพดิจิทัล [13]

3. การจำแนก

3.1 วิธีการเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbor: K-NN)

วิธีสมาชิกที่ใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbor: K-NN) เป็นวิธีการที่ง่ายไม่ซับซ้อนและยังเป็นวิธีการที่รู้จักกันดีในการคาดคะเนข้อมูลที่หายไป (Impute Missing Values) สำหรับข้อมูลไมโครอาร์เรย์ วิธีการ K-NN จะเติมค่าข้อมูลที่ขาดหายด้วยการเลือกค่า k จากความเหมือนกันของค่าที่แสดงออกต่อค่า k ที่สนใจ ขั้นตอนของ K-NN Imputation มีดังนี้

ขั้นที่ 1: เลือกค่า k ที่ใกล้ที่สุดที่มี Missing Values (MV) เพื่อที่จะ Estimate Missing Values x_{ij} ของ i^{th} ในตัวอย่างที่ j^{th} ค่า k ซึ่งเป็น Expression Vector จะถูกเลือกโดย มีลักษณะการแสดงออกเป็นค่า i มากกว่า j

ขั้นที่ 2: คำนวณหาระยะห่างระหว่างข้อมูล 2 Expression Vector x_i และ x_j ด้วยวิธีการ Euclidian Distance ครบคลุมส่วนประกอบต่าง ๆ ในตัวอย่าง j^{th} Euclidian Distance ระหว่าง x_i และ x_j สามารถคำนวณได้จาก

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (6)$$

โดยที่

$d(x_i, x_j)$ คือ ระยะห่างระหว่างตัวอย่าง x_i กับตัวอย่าง x_j

n คือ จำนวนคุณสมบัติทั้งหมดของตัวอย่าง

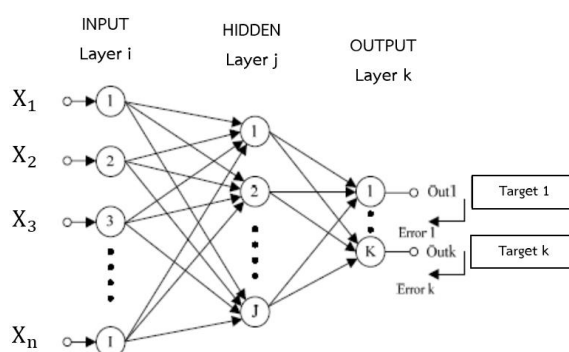
$x_{i,k}$ คือ คุณสมบัติตัวที่ k ของตัวอย่าง x_i

$x_{j,k}$ คือ คุณสมบัติตัวที่ k ของตัวอย่าง x_j

ขั้นที่ 3: เลือกค่าข้อมูลที่มีค่าระยะที่น้อยที่สุด ส่วนค่า k นำมาพิจารณาคำตอบ

3.2 โครงข่ายประสาทเทียม

การเรียนรู้ของโครงข่ายแบบ Perceptron จะมีลักษณะของโครงสร้างเป็นชั้นซึ่งข้อมูลที่จะนำเข้ามาเรียนรู้นั้นจะถูกใส่เข้าไปในชั้นแรกสุดซึ่งเป็นชั้นรับข้อมูล (Input Layer) และเมื่อผ่านการคำนวณจากชั้นแรกนี้แล้วผลลัพธ์ก็จะถูกส่งต่อไปยังชั้นกลางของโครงข่าย (Hidden Layer) ซึ่งในแต่ละหน่วยของชั้นนี้ก็จะรับข้อมูลจากทุกหน่วยในชั้นก่อนหน้ามาคำนวณแล้วส่งต่อไปยังชั้นถัดไป และเมื่อข้อมูลถูกส่งต่อกันมาจนถึงชั้นสุดท้าย (Output Layer) ก็จะได้ผลลัพธ์ออกมาจากระบบ ซึ่งการส่งผ่านข้อมูลต่อๆ กันไปแบบนี้จะเรียกว่าเป็นการส่งต่อข้อมูลแบบการป้อนไปข้างหน้า (Feed Forward) หลังจากนั้นจะต้องมีการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากระบบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากเป้าหมายมากน้อยเพียงไร ในงานวิจัยนี้เราอาศัยอัลกอริทึมในการสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมใช้เทคนิคแบ็กพรอบพาเกชั่น โดยเทคนิคนี้เป็นการใช้โครงสร้างแบบหลายชั้นในการเรียนรู้แบบ Supervised Learning มีการกำหนดค่าเป้าหมาย (Target) ที่ต้องการไว้ และใช้ Adaptive Networks ในการปรับค่าน้ำหนัก (Weight) ให้เหมาะสม ดังแสดงรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ที่ใช้การสอนแบบ Backpropagation

ทำงานโดย เมื่อมีข้อมูลเข้ามายัง Network ให้นำข้อมูลมาคูณกับน้ำหนักของแต่ละขา ผลที่ได้จากข้อมูลทุกๆ ขาของ Neuron จะเอา มารวมกันแล้วก็เอามาเทียบกับค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ให้มีความใกล้เคียงมากที่สุด สิ่งสำคัญคือต้องทราบค่าน้ำหนักซึ่งเป็นค่าที่ไม่แน่นอน แต่สามารถกำหนดให้คอมพิวเตอร์ปรับค่าเหล่านั้นได้โดยให้มีการเรียนรู้แบบมีการสอนด้วยวิธี Levenberg-Marquardt Algorithm ซึ่งจัดเป็นระเบียบวิธี ที่ใช้ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมที่รวดเร็วที่สุด แต่มีการคำนวณที่ซับซ้อนและใช้พื้นที่หน่วยความจำในคอมพิวเตอร์มาก ขั้นตอนการทำงานของ Levenberg-Marquardt Algorithm สามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงสร้าง	จำนวนวนซ้ำ	อัตราการเรียนรู้	โมเมนตัม
2-3-1	500	0.5	0.5

4. ผลการทดลอง

ในบทความนี้ มีการใช้วิธีการอัตโนมัติในวัดน้ำหนักสุกร ทำการทดลองและวัดผลบนพีซีที่มี CPU P4-3.2 GHz และ RAM 1024 MB สำหรับข้อมูลการทดสอบ ฐานข้อมูลจากน้ำหนักของสุกรจำนวน 100 ตัว ในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกันระหว่างวิธี K-NN และโครงข่ายประสาทเทียม ในตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของน้ำหนักสุกรของวิธี K-NN และโครงข่ายประสาทเทียม ในตารางที่ 3 แสดงผลการทดลอง MAD และ MAPE ของน้ำหนักสุกรของวิธี K-NN และโครงข่ายประสาทเทียม สมการที่ (7) คือวิธีในการทดสอบของงานวิจัยนี้

$$Accuracy(\%) = \left(\frac{In-Out}{total} \right) \times 100 \quad (7)$$

In คือ จำนวนของภาพทดสอบทั้งหมดและ Out คือ จำนวนของภาพทดสอบที่ตอบผิดและ total คือ จำนวนของภาพทดสอบทั้งหมด

ตารางที่ 2 ผลการทดลองของน้ำหนักสุกรของวิธี K-NN และโครงข่ายประสาทเทียม

	K-NN	NN
อัตราความถูกต้อง	74%	86%

ตารางที่ 3 ผลการทดลอง MAD และ MAPE ของน้ำหนักสุกรของวิธี K-NN และโครงข่ายประสาทเทียม

	K-NN	NN
MAD	0.52	0.33
MAPE	0.68	0.47

จากตารางที่ 2 อัตราความถูกต้องของวิธีการที่ใช้ในการวิจัยจะมีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลที่ใช้มากกว่าวิธีการ K-NN และในตารางที่ 3 ค่าของ Mean Absolute Deviation (MAD) และค่าของ Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ของวิธีการที่ใช้ในการวิจัยมีค่าน้อยกว่าวิธีการ K-NN แสดงถึงการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำกว่า



รูปที่ 6 แสดงผลของการประมาณน้ำหนักสุกร

5. สรุป

โดยสรุป การประมวลผลภาพเป็นวิธีที่รวดเร็วในการประมาณน้ำหนักตัวโดยไม่ใส่ความเครียดให้กับสุกร โครงข่ายประสาทเทียมอาจปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองสำหรับการประมาณน้ำหนักสุกร ดังนั้นการประยุกต์ใช้ โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับแบบจำลองการทำนายโดยใช้การประมวลผลภาพจึงเป็นเทคนิคทางเลือกในการติดตามสถานะสุขภาพและสวัสดิภาพสัตว์เพื่อปรับปรุงการผลิตสุกรเชิงพาณิชย์ได้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

จากการทดลองด้วยขนาดข้อมูล 100 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม พบว่าการประมาณน้ำหนักสุกรมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเป็นทางเลือกในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Brandl N, Jorgensen E. Determination of live weight of pigs from dimensions measured using image analysis. Comput Electron Agric [Internet]. 1996 May [cited 2022 Mar 10]; 15(1):57-72. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0168169996000038>
- [2] Sungirai M, Masaka L, Benhura TM. Validity of weight estimation models in pigs reared under different management conditions. Vet Med Int [Internet]. 2014 May [cited 2022 Mar 25];2014:[about 10 p.]. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/vmi/2014/530469/>.
- [3] Kashiha M, Bahr C, Ott S, Moons CPH, Niewold TA, Ödberg FO, Berckmans D. Automatic weight estimation of individual pigs using image analysis. Comput Electron Agric [Internet]. 2014 Sep [cited 2022 Mar 7];107:38-44. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169914001525>
- [4] Jun K, Kim SJ, Ji HW. Estimating pig weights from images without constraint on posture and illumination. Comput Electron Agric [Internet]. 2018 Oct [cited 2022 Mar 15];153:169-76. Available from: https://www.researchgate.net/publication/327993584_Estimating_pig_weights_from_images_without_constraint_on_posture_and_illumination
- [5] Win KD, Kawasue K, Yoshida K, Lee G. Automatic pig selection system based on body size using a camera: rotating mechanics for pig selection. Artif Life Robot [Internet]. 2021 [cited 2022 Mar 22];2021(2):155–61. Available from: <https://www.springerprofessional.de/en/artificial-life-and-robotics-2-2021/19088304>

- [6] Kaewtapee C, Rakangtong C, Bunchasak C. Pig Weight Estimation Using Image Processing and Artificial Neural Networks. *Journal of Advanced Agricultural Technologies* [Internet]. 2019 Dec [cited 2022 Mar 23];6(4):253-56. Available from: <http://www.joaat.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=57&id=348>
- [7] C. Kaewtapee, Khetchaturat C, Bunchasak C. Comparison of growth models between artificial neural networks and nonlinear regression analysis in Cherry Valley ducks. *J Appl Poult Res* [Internet]. 2011 Dec [cited 2022 Mar 25];20(4):421-28. Available from: https://www.researchgate.net/publication/270080550_Comparison_of_growth_models_between_artificial_neural_networks_and_nonlinear_regression_analysis_in_Cherry_Valley_ducks
- [8] Roush WB, Dozier III WA, Branton SL. Comparison of Gompertz and neural network models of broiler growth. *Poult Sci* [Internet]. 2006 May [cited 2022 Mar 25];85(4):794-97. Available from: https://www.researchgate.net/publication/7165614_Comparison_of_Gompertz_and_n_eural_Network_Models_of_Broiler_Growth
- [9] Kaewtapee C, Khetchaturat C, Bunchasak C. Prediction of standardized ileal lysine digestibility in heated full-fat soybeans by artificial neural networks. Present at the 18th AAAP Congress; 2018 Aug 1-5. Malaysia. Kuching: [publisher unknown]; 2018.
- [10] Ahmad HA, Dozier GV, Roland DA. Egg price forecasting using neural networks. *J Appl Poult Res* [Internet]. 2001 Jun [cited 2022 Mar 25];10(2):162-71. Available from: https://www.researchgate.net/publication/251811793_Egg_Price_Forecasting_Using_Neural_Networks
- [11] Kaewtapee C, Khetchaturat C, Krutthai N, Bunchasak C. Soybean meal price forecasting using artificial neural network. *Journal of Agricultural Research and Extension* [Internet]. 2018 Aug [cited 2022 Mar 26];352(2):392-99. Available from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193172456>
- [12] Wang Y, Yang W, Winter P, Walker L. Walk-through weighing of pigs using machine vision and an artificial neural network. *Biosystem Engineering* [Internet]. 2008 May [cited 2022 Mar 26];100(1):117-25. Available from: https://www.researchgate.net/publication/229393183_Walk-through_weighing_of_pigs_using_machine_vision_and_an_artificial_neural_network
- [13] Gonzales R, Woods RE. *Digital Image Processing*, 2nd ed. Upper-Saddle River, NJ: Prentice Hall; 2002.

การศึกษาและสร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการบริโภค

Study and Construction of a Solar Water Distiller for Consumption

วิริยะ บริสุทธิ์¹ และ ปราโมทย์ สุขศิริศักดิ์²

Wiriya Borisut¹ and Pramote Suksirisak²

Received : March 6, 2022

Revised : April 6, 2022

Accepted : April 12, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาและสร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการบริโภค มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและสร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยโครงสร้างทำจากอะลูมิเนียม มีพื้นที่รับแสง 0.48 ตารางเมตร มีความลาดเอียงของกระจก 13 องศากับแนวระดับ โดยได้ดำเนินการวิจัย 2 แบบ แบ่งเป็นเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ก่อนเพิ่มประสิทธิภาพและหลังเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพนั้นเป็นการหุ้มฉนวนกันความร้อนนอกเครื่องกลั่น และเพิ่มวัสดุดูดซับแสงอาทิตย์โดยการพ่นสีดำที่ตัวเครื่องกลั่น จากนั้นนำน้ำดิบจากหลังอาคารโรงฝึกงานภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช มาทำการกลั่นตั้งเวลา 09.00 น. ถึง 16.00 น. รวมทั้งสิ้น 7 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 1 เดือน ผลที่ได้พบว่าปริมาณน้ำที่กลั่นได้ก่อนการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องกลั่นมีปริมาณน้ำเฉลี่ย 0.53 ลิตรต่อวัน และหลังจากเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องกลั่นแล้วมีปริมาณน้ำเฉลี่ย 1.10 ลิตรต่อวัน ซึ่งคุณภาพน้ำที่ได้จากการกลั่นอยู่ในค่ามาตรฐานน้ำดื่มของกองเวชศาสตร์ป้องกัน กรมแพทยทหารอากาศ ซึ่งอ้างอิงเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลก

คำสำคัญ : เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์, การบริโภค, มาตรฐานน้ำดื่ม

¹อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

Lecturer, Mechanical Engineering Department, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

E-mail: nam.gear40@gmail.com

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

E-mail: nueng_rtafa56@hotmail.com

Abstract

This article aims at studying construction of a solar water distiller to improve solar absorbing efficiency. The result of the study is to find the best solution for building a solar water distiller. The testing structure is made of aluminum with an exposure area of 0.48 square meters with a slope of the glass 13 degree horizontally. The analyzed data is about comparing pre and post efficiencies of solar water distiller. For improving the efficiency, the construction of the solar water distiller was covered by insulation material, and distillation body was sprayed black to increase solar absorbing efficiency. The test field was behind the building of the mechanical engineering apprenticeship department, Navaminda Kasatriyadhiraj Air Force Academy. The solar water distiller was installed for one month and exposed to the solar from 9:00 a.m. to 4:00 p.m. The results showed that the average amount of water distilled before the distillation optimization was 0.53 liters per day, and after increasing the efficiency of the distiller, the average water volume was 1.10 liters per day. The quality of distilled water meets the drinking water standard of the Division of Preventive Medicine. Royal Thai Air Force Medical Department which references the criteria of the World Health Organization.

Keywords: Solar Water Distiller, Consumption, Drinking Water Standard

1. บทนำ

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลก โดยเฉพาะมนุษย์ที่มีความต้องการใช้น้ำอย่างไม่จำกัดในการอุปโภค บริโภคในชีวิตประจำวัน ปัจจุบันประเทศไทยนั้นมักประสบปัญหาด้านการจัดการน้ำอยู่บ่อยครั้ง เช่น ปัญหาอุทกภัย ปัญหากล้งแล้ง การขาดแคลนน้ำในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ขาดแคลนน้ำสะอาดในการอุปโภคบริโภค ซึ่งกระบวนการทำน้ำให้สะอาดนั้นมีหลายวิธี เช่น การกรอง การต้ม การกลั่น ซึ่งโดยทั่วไปนั้นมีความค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และต้องใช้พลังงานในกระบวนการ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กโดยอ้างอิงต้นแบบมาจากเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม [1] เพื่อลดค่าใช้จ่ายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการกลั่นน้ำแบบปกติ โดยทำวัดทั้งปริมาณ และคุณภาพของน้ำที่กลั่นได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำดิบ (Raw Water) คือ น้ำที่ได้จากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ โดยที่ยังไม่ผ่านกระบวนการใด ๆ ก่อนนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค ซึ่งโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แหล่งน้ำผิวดิน (Surface Water) คือ น้ำที่ซึมอยู่ในระดับชั้นดิน เช่น น้ำจากแม่น้ำ คลอง เขื่อน อ่างเก็บน้ำ และแหล่งน้ำใต้ดิน คือ น้ำที่ซ่อนอยู่ในชั้นหิน เช่น น้ำจากบ่อน้ำบาดาล สำหรับงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ใช้น้ำดิบจากบ่อน้ำหลังอาคารโรงฝึกงานภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชในการทดลอง ซึ่งการที่จะนำน้ำดิบมาใช้ในการบริโภคนั้นมีกระบวนการทำให้น้ำสะอาดได้หลายวิธี เช่น การกรอง การกลั่น การทำน้ำประปา เป็นต้น

2.2 น้ำกลั่น (Distilled Water) คือ น้ำที่มีความบริสุทธิ์ 100% โมเลกุลประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจน (H) 2 อะตอม และธาตุออกซิเจน (O) 1 อะตอม ไม่มีสารใด ๆ เจือปน ซึ่งถือว่าเป็นน้ำที่สะอาดที่สุดเหมาะสำหรับการบริโภค ใช้ในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมทางการแพทย์ ซึ่งจะได้จากกระบวนการกลั่น แต่สำหรับการอุปโภคนั้น ไม่มีความจำเป็นจะต้องใช้น้ำที่มีความบริสุทธิ์เท่าน้ำกลั่น จึงสามารถใช้กระบวนการอื่น ๆ ที่ทำให้น้ำสะอาดได้ เช่น การผสมคลอรีน การกรอง การทำน้ำประปา หรือการกลั่นอย่างง่าย

2.3 การกลั่นน้ำ (Water Distillation) คือ กระบวนการทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยการแยกสารผสมที่เป็นของเหลว หรือของแข็งที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำโดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด หลักการที่สำคัญคือการทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำโดยการให้พลังงานความร้อน ทำให้น้ำที่มีจุดเดือดต่ำกว่าจะระเหยเป็นไอน้ำก่อน และเมื่อไอน้ำเย็นตัวลงแล้วจะควบแน่นกลายเป็นน้ำที่บริสุทธิ์อีกครั้ง ซึ่งในปัจจุบันเครื่องกลั่นน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงนั้นมีราคาแพง คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องกลั่นน้ำอย่างง่ายโดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

2.4 ค่ามาตรฐานของน้ำดื่ม คือ เกณฑ์ขั้นต่ำที่ยินยอมให้มีสิ่งเจือปนละลายในน้ำได้แต่ไม่ส่งผลอันตรายต่อผู้บริโภค ประกอบด้วยคุณสมบัติด้านชีวภาพ ด้านกายภาพ ด้านเคมี และด้านโลหะหนัก ซึ่งปัจจุบันมีหลายหน่วยงานได้กำหนดเกณฑ์ไว้ เช่น กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้เกณฑ์ของกองเวชศาสตร์ป้องกัน กรมแพทยทหารอากาศ ซึ่งอ้างอิงเกณฑ์ตามองค์การอนามัยโลก ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการวัด ดังนี้

2.4.1 โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform Bacteria) เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีอากาศและไม่มีอากาศ มักพบในสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับน้ำ หากพบว่ามี การเจือปนในน้ำดื่มมากเกินไปสามารถบ่งชี้ถึงความไม่สะอาดและไม่ถูกสุขลักษณะของแหล่งน้ำดื่มได้ ซึ่งค่ามาตรฐานน้ำดื่มต้องไม่เกิน 2.2 MPN (Most Probable Number) ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร

2.4.2 ตัวชี้การปนเปื้อนของอุจจาระ (Fecal Contamination Indicator) คือ ปริมาณกลุ่มแบคทีเรียที่ปะปนในอุจจาระ และแบคทีเรียอีโคไลด์ (E.Coli; Escherichia Bacteria) ซึ่งเจือปนอยู่ในน้ำซึ่งเกิดจาก

การย่อยของซากพืชซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยและทับถมในแหล่งน้ำ ซึ่งมาตรฐานน้ำดื่มจะต้องมีค่าเป็นศูนย์

2.4.3 สีของน้ำ (Color of Water) เกิดจากการสะท้อนแสงของสารแขวนลอยในน้ำ เช่น น้ำตามธรรมชาติจะมีสีเหลืองซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ น้ำในแหล่งน้ำที่มีใบไม้ทับถมจะมีสีน้ำตาล หรือถ้ามีตะไคร่น้ำ ก็จะมีสีเขียว ซึ่งมาตรฐานน้ำดื่มจะต้องมีค่าไม่เกิน 20 หน่วย (Units)

2.4.4 ความขุ่น (Turbidity) คือ ความสามารถของน้ำที่สะกิดกันหรือดูดซับปริมาณแสงที่ส่องผ่านไว้ได้ สิ่งที่ทำให้น้ำขุ่น ได้แก่ อินทรีย์และอนินทรีย์สารในน้ำ ตลอดจนสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่ปรากฏในลักษณะสารแขวนลอย เช่น อนุภาคของดิน หินทราย แบคทีเรีย เป็นต้น ซึ่งมาตรฐานน้ำดื่มจะต้องมีค่าไม่เกิน 5 NTU (Nephelometric Turbidity Units)

2.4.5 ไฮโดรเนียมไอออน (Hydronium Ion; pH) คือ ปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่ละลายในน้ำ หรือค่าความเป็นกรด - เบสของน้ำ ซึ่งปกติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 – 14 ถ้าน้ำเป็นกรดจะมีค่า pH น้อยกว่า 7 ถ้าน้ำเป็นเบสจะมีค่า pH มากกว่า 7 และมีค่าเป็น 7 เมื่อมีสภาพเป็นกลาง ซึ่งมาตรฐานน้ำดื่มจะต้องอยู่ระหว่าง 6.5 – 8.5

2.4.6 ความกระด้างของน้ำ (Water Hardness) คือ ปริมาณของเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำ จะทำให้น้ำไม่เกิดฟองกับสบู่และจะเกิดตะกอนเมื่อต้ม ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ความกระด้างชั่วคราว เกิดจากสารละลายแคลเซียมหรือแมกนีเซียมไบคาร์บอเนต เมื่อถูกความร้อนจะตกตะกอนเป็นหินปูน และความกระด้างถาวรเกิดจากเกลือคลอไรด์หรือซัลเฟตของแคลเซียมหรือแมกนีเซียม ไม่สามารถทำให้ตกตะกอนเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งมาตรฐานน้ำดื่มต้องไม่เกิน 100 PPM (Part Per Million)

2.4.7 ความเค็มของน้ำ (Salinity) คือ ค่าปริมาณความเข้มข้นของเกลือแร่ที่ละลายในน้ำ โดยเฉพาะโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งแบ่งได้ดังนี้ น้ำจืดจะมีค่าน้อยกว่า 500 PPM, น้ำกร่อยมีค่าระหว่าง 500 – 5,000 PPM, น้ำเค็มมีค่าระหว่าง 5,000 – 30,000 PPM และน้ำทะเลมีค่าระหว่าง 30,000 – 40,000 PPM สำหรับมาตรฐานน้ำดื่มต้องเป็นน้ำจืด คือความเค็มต้องไม่เกิน 500 PPM

2.4.8 ค่าของเหล็ก (Iron) คือ ค่าของเหล็กที่ละลายปนกับน้ำ เหล็กเป็นโลหะหนักที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต มาตรฐานน้ำดื่มต้องไม่เกิน 0.3 PPM

2.4.9 ค่าของแมงกานีส (Manganese) คือ ค่าของแมงกานีสที่ละลายปนกับน้ำ แมงกานีสเป็นโลหะหนักที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตเช่นเดียวกับเหล็ก มาตรฐานน้ำดื่มต้องไม่เกิน 0.1 PPM

2.4.10 ปริมาณของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids, TDS) คือ ปริมาณของแข็งทุกชนิดที่ละลายอยู่ในน้ำ ประกอบด้วยโลหะหนัก สารแขวนลอย อินทรีย์สารต่าง ๆ มาตรฐานน้ำดื่มต้องมีค่าไม่เกิน 500 PPM

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ใหญ่ที่สุด เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และมีศักยภาพสูง [2] ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งเป็น 2 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ ใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า และ

ใช้สำหรับการผลิตความร้อน ตัวอย่างเช่น การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ P. Wibulsawas [3] ได้ทำการศึกษาพบว่าในประเทศไทยมีความเข้มของการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์เฉลี่ย 17 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สูงมาก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานรูปแบบต่าง ๆ ได้ เช่น การฆ่าเชื้อโรคที่มากับน้ำ โดยการให้น้ำสัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง การติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อแจกจ่ายน้ำที่สะอาดเพื่อการบริโภค นอกจากนี้ ศิริสุข และคณะ [4] ได้ทำการสร้างบ้านพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้ในบ้าน ซึ่งพบว่าสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ได้ ซึ่งเป็นประโยชน์มากสำหรับพื้นที่ชนบทที่กระแสไฟฟ้าไม่สามารถเข้าถึง

เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการทำงาน น้ำกลั่นเป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น งานเคมี งานเภสัชกรรม งานอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ จำเป็นต้องใช้ น้ำบริสุทธิ์ทั้งสิ้น ซึ่งกระบวนการกลั่นนั้นมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง นอกจากนี้แล้วมนุษย์ก็จำเป็นต้องอุปโภคบริโภคน้ำที่สะอาดด้วย สำรวย และคณะ [5] จึงได้เริ่มศึกษาและสร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่าย เพื่อลดต้นทุนในกระบวนการกลั่นน้ำ พบว่าสามารถกลั่นน้ำได้ 2.2 ลิตรต่อตารางเมตร หลังจากนั้น เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในพื้นที่ทุรกันดาร ระบบสาธารณสุขไม่สามารรถเข้าถึง B.K. Koffi et.al. [6] ได้พัฒนาเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยนำแผ่นอลูมิเนียมสีดำเป็นตัวดูดซับความร้อน และนำไปทดสอบที่เมืองอาบิดจ์ ประเทศไอเวอรีโคสต์ E. Antwi et.al. [7] ได้นำเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ไปกำจัดฟลูออไรด์ที่ละลายในน้ำที่เมืองบองโก ประเทศกานา

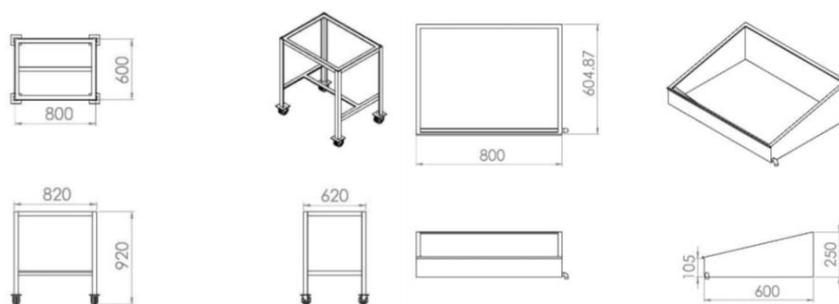
การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอีกหัวข้อที่นักวิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม [8], [9], [10] พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพเครื่องกลั่นน้ำประกอบด้วย ขนาดของเครื่องกลั่น จำนวนตัวดูดซับความร้อน วัสดุที่ใช้ทำเป็นตัวดูดซับความร้อน สีของตัวดูดซับความร้อน อุณหภูมิของอากาศ และความเร็วลม ซึ่งตัวแปรเหล่านี้มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนในเครื่องกลั่นน้ำในรูปการระเหย การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

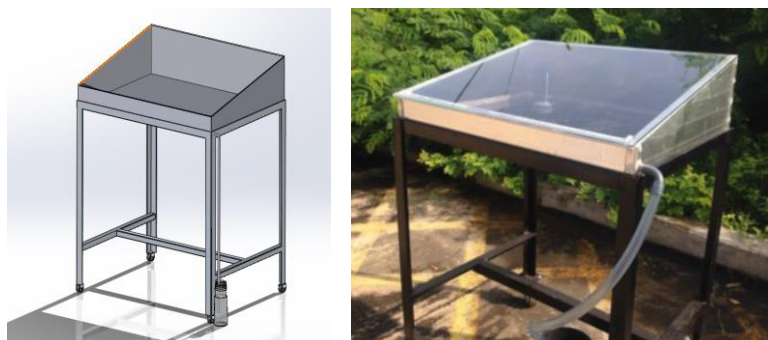
การวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานเป็น 3 ขั้นตอน คือ การออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำ, การทดสอบความสามารถในการกลั่นน้ำ และการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของน้ำที่กลั่นได้

3.1 คณะผู้วิจัยนำอะลูมิเนียมมาขึ้นรูปโครงเครื่องกลั่น โดยออกแบบให้ฐานของเครื่องกลั่นมีความกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร ความสูงที่ด้านต่ำ 10 เซนติเมตร ความลาดเอียงของความสูงทั้งสองข้าง 13 องศา กับแนวระดับ วางทับด้วยกระจกใสขนาด 0.48 ตารางเมตร และเนื่องจากการทดสอบการกลั่นน้ำจะต้องนำเครื่องกลั่นไปวางในที่ที่มีแสงอาทิตย์ส่องได้ตลอดทั้งวัน คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบฐานวางเครื่องกลั่นที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก มีความแข็งแรง โดยใช้เหล็กฉากขนาด 1.5 นิ้ว ความสูง 90 เซนติเมตร

พร้อมติดตั้งล้อเลื่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ที่ฐานทั้ง 4 มุม ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2

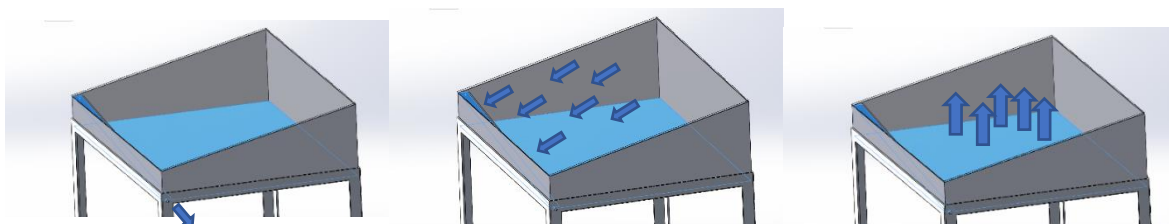


รูปที่ 1 แบบจำลองตัวเครื่องกลั่นน้ำและฐานวางเครื่องกลั่นน้ำ (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)



รูปที่ 2 เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

โดยหลักการการทำงานของเครื่องกลั่นน้ำ จะอาศัยหลักการการควบแน่นของน้ำ โดยเริ่มต้นจากการนำน้ำดิบมาเติมใส่ในเครื่องกลั่น เมื่อเครื่องกลั่นน้ำได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จะทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องกลั่นน้ำสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะการเพิ่มอัตราการระเหยของน้ำ เมื่อน้ำระเหยมากขึ้นจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เข้าใกล้ 100% เมื่อความชื้นที่สูงได้สัมผัสกับพื้นผิวที่เย็นกว่าจะทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่แผ่นกระจก และไหลรวมกันตามแนวความลาดเอียงเข้าสู่ท่อและไหลลงในภาชนะที่รองรับน้ำที่คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ ดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 3 กระบวนการการทำงานของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

3.2 สร้างเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ตามข้อ 3.1 อีกหนึ่งชุด โดยชุดนี้เพิ่มการหุ้มฉนวนอะลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อกันความร้อนออกนอกเครื่องกลั่น และพันสีกาที่ตัวเครื่องกลั่น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเพิ่มประสิทธิภาพให้เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

3.3 นำน้ำดิบจากหลังอาคารโรงฝึกงานภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช มาใส่ในตัวเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ตามข้อ 3.1 และ 3.2 จากนั้นนำไปวางโดยหันตัวเครื่องกลั่นไปทางทิศใต้ และทำการกลั่นน้ำดิบตั้งแต่วันที่ 09.00 น. ถึง 16.00 น. วัดปริมาณน้ำที่กลั่นได้ในแต่ละวันและทำการหาค่าเฉลี่ยเป็นเวลา 30 วัน

3.4 นำตัวอย่างน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ และน้ำดิบหลังอาคารโรงฝึกงานภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่กองเวชศาสตร์ป้องกัน กรมแพทย์ทหารอากาศ ซึ่งใช้เกณฑ์มาตรฐานเดียวกับองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO)

4. ผลการวิจัย

4.1 ปริมาณน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องกลั่นน้ำพลังงานงานแสงอาทิตย์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

วัน เวลา ที่ทำการทดลอง	ปริมาณน้ำที่กลั่นได้เฉลี่ย (ลิตรต่อวัน)	
	เครื่องกลั่นน้ำก่อนเพิ่มประสิทธิภาพ	เครื่องกลั่นน้ำหลังเพิ่มประสิทธิภาพ
1 – 30 ต.ค.64 (09.00 น. – 16.00 น.)	0.53	1.11

4.2 ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพของน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังตารางที่ 2 และ รูปที่ 5

ตารางที่ 2 ผลการตรวจคุณภาพน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับ	ตัวชี้วัด	ชนิดของน้ำ		*ค่ามาตรฐานน้ำดื่ม (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)
		น้ำดิบ	น้ำกลั่น	
1	โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (MPN/100 ml)	> 2.2	0	< 2.2
2	ตัวชี้การปนเปื้อนของอุจจาระ (MPN/ml)	0	0	0
3	สีของน้ำ (units)	97	16	**20 (50)
4	ความขุ่น (NTU)	15	3	5
5	ไฮโดรเนียมไอออน (pH)	7.47	7.48	6.5 – 8.5
6	ความกระด้างของน้ำ (PPM)	135	46	100
7	ความเค็มของน้ำ (PPM)	38	5	250
8	ค่าของเหล็ก (PPM)	0.34	0.1	0.3
9	ค่าของแมงกานีส (PPM)	0.4	0.03	0.1
10	ค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำ (PPM)	188	3	500

หมายเหตุ

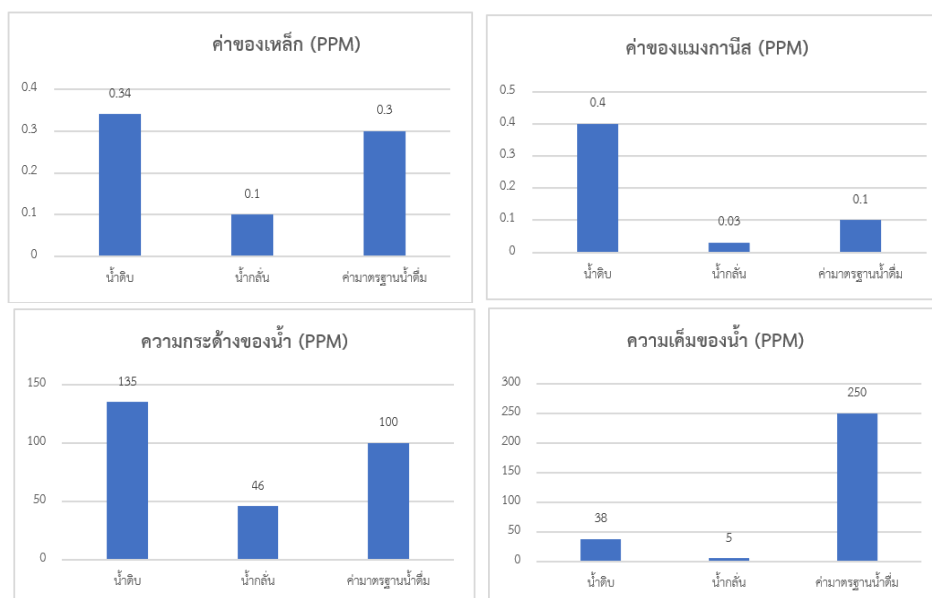
* ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำเมื่อผ่านการปรับปรุงแล้ว

** สีของน้ำ เกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มอนุโลมไม่เกิน 20 และน้ำประปาไม่เกิน 50

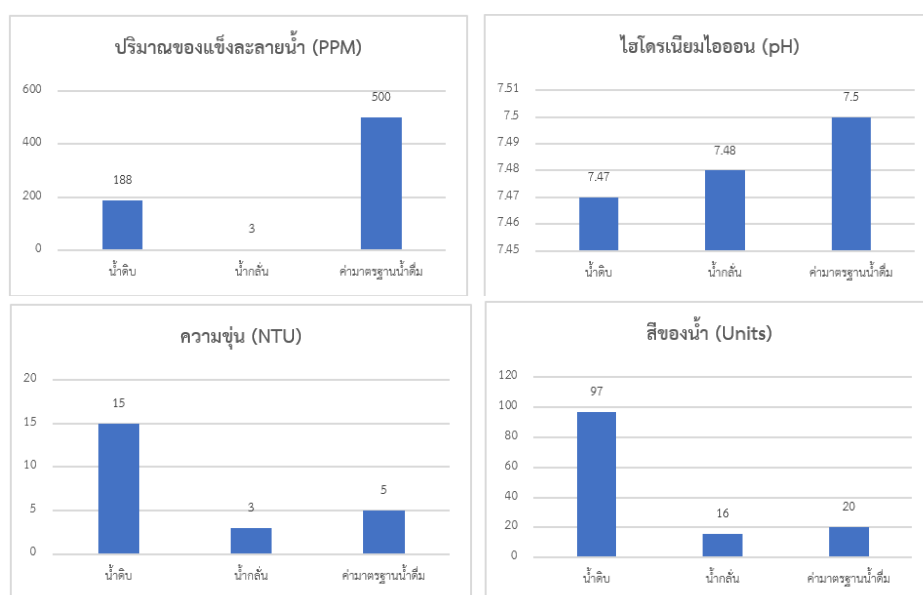
NTU (Nephelometric Turbidity Units)

MPN (Most Probable Number per 100 ml)

PPM (parts per million)



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบค่ามาตรฐานน้ำดื่มของน้ำดิบและน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบค่ามาตรฐานน้ำดื่มของน้ำดิบและน้ำที่กลั่นได้จากเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (ต่อ)

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและออกแบบเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบถาดน้ำมีความลาดเอียง 13 องศา กับแนวระดับ ใช้กระจกใสปิดด้านบนและมีพื้นที่รับแสง 0.48 ตารางเมตร โดยโครงสร้างทั้งหมดทำจาก อะลูมิเนียม นำมากลั่นน้ำดิบจากหลังอาคารโรงฝึกงานภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล โรงเรียนนายเรืออากาศ นวมินทราชดิยาธิราช ตั้งแต่วันที่ 09.00 น. ถึง 16.00 น. เป็นเวลา 30 วัน โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ คือ แบบปกติก่อนเพิ่มประสิทธิภาพสามารถกลั่นน้ำได้เฉลี่ย 0.53 ลิตรต่อวัน หลังจากนั้นทำการเพิ่ม ประสิทธิภาพของเครื่องกลั่นโดยการหุ้มฉนวนกันความร้อนนอกเครื่องกลั่น เพิ่มความสามารถในการ ดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์โดยการพ่นสีดำที่เครื่องกลั่น พบว่าปริมาณน้ำที่กลั่นได้เฉลี่ยเป็น 1.11 ลิตรต่อวัน ในด้านคุณภาพได้นำตัวอย่างน้ำที่ได้จากการกลั่นไปตรวจวิเคราะห์ที่กองเวชศาสตร์ป้องกัน กรมแพทย์ ทหารอากาศ หาคอนสแตนต์ด้านชีวภาพ ด้านกายภาพ ด้านเคมี และด้านโลหะหนัก พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ของน้ำดื่มสามารถนำไปบริโภคได้

6. ข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาด้านพลังงานทดแทนเพื่อใช้ในการลดค่าใช้จ่ายในการกลั่นน้ำ ในวิธีการปกติซึ่งจะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพในการกลั่นน้ำ มากขึ้นได้ เช่น การเพิ่มขนาดของตัวเครื่องกลั่น การเลือกวัสดุโครงสร้างของเครื่องกลั่น เพิ่มวัสดุดูดซับแสง ตำแหน่งในการวางเครื่องกลั่น การวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมภายนอก และอาจมีปัจจัย อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ควรมีการวัดค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น อุณหภูมิของอากาศภายนอก อุณหภูมิที่ ตัวเครื่องกลั่น และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรืออาจจะนำโปรแกรมมาช่วยในการวัดค่าเพื่อเพิ่มความ แม่นยำในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม, กรมวิทยาศาสตร์บริการ. เครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ [ออนไลน์]. กรุงเทพฯ: กรมวิทยาศาสตร์บริการ; c2022 [เข้าถึงเมื่อ 18 ธ.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก <http://www.dss.go.th/index.php>
- [2] สิทธิโชค พรหมน้ำฉำ, กิตติ นวลพลับ, บุญยัง ปลั่งกลาง, สมชาย เปียนสูงเนิน. ระบบวัดและแสดงผลพลังงานที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ [Measure and Display System for Solar Radiation]. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมนกคณัฐบุรี. ม.ค.-ธ.ค. 2550;10(1):87-92.
- [3] Wibulsawas P. Research and Development of Solar Thermal Energy in Thailand. Asean Journal of Science and Technology Development. 1988;5(1):15-23.
- [4] ศิริनुช จินดาร์ักษ์, พิสิษฐ์ มณีโชติ, วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร, ประพิธาร์ ธารักษ์. บ้านพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก [Small Solar Home System]. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. ก.ค.-ธ.ค. 2546;11(2):19-27.
- [5] สำรวย ภูบาล, พิชัย นามประกอบ, ปรีดา จันทวงษ์. การศึกษาความเป็นไปได้ของเครื่องกลั่นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ [Feasibility Study of Simple Solar Energy Water Still]. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. ม.ค.-ธ.ค. 2550;3(1):1-7.
- [6] Koffi BK, Konan D, Nguessa RK, J.K S, Tanoh A, Kouacou MA, et al. Modelling of Solar Still for Production of Pure Water in The Abidjan Zones. Research Journal of Physics. 2009;3(1):5-13.
- [7] Antwi E, Bensah E, Ahiekpor JC. Use of Solar Water Distiller for Treatment of Fluoride-Contaminated Water: The Case of Bongo District of Ghana. Desalination. 2011 Sep;278(1):333-336.
- [8] Gaur MK, Tiwari GN. Optimization of Number of Collectors for Integrated PV/T Hybrid Active Solar Still. Appl Energy. 2010 May;87(1):1763-72.
- [9] Mohamed M, El-Baky MA. Thermosyphon Solar Water Distiller of Cement and Aluminum Absorber with Auxiliary Condenser. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering. 2011 Dec 8;3(13):303-8.
- [10] Pearce JM, Denkenberger D. Numerical Simulation of the Direct Application of Compound Parabolic Concentrators to a Single Effect Basin Solar Still. Proceedings of Solar Cookers and Food Processing International Conference; 2006 Jan; Granada: Solar Cookers International; 2006.

การออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลาและความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

ประกอบชุดทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

Design and Development of Time Period and Gravitational Acceleration

Measurement Equipment for Simple Pendulum Oscillation Apparatus

ภาณุกร วัฒนจัน¹ และ วีระ บุญผุด²

Panukorn Wattanajung¹ and Veera Boonphud²

Received : March 19, 2022

Revised : April 25, 2022

Accepted : April 29, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลาและความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกประกอบชุดทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย (Simple Pendulum Oscillation) โดยชุดอุปกรณ์ ฯ นี้ ประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจจับแบบอินฟราเรดและ NodeMCU ESP8266 โดย NodeMCU ESP8266 นั้น มีคุณสมบัติในการเชื่อมต่อและส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต หรืออินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things; IoT) ในส่วนของการแสดงผลจะแสดงคาบเวลาเฉลี่ย (Average Time; T_{avg}) และความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (Gravitational Acceleration; g) ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ทั้งนี้ พบว่ามีร้อยละความคลาดเคลื่อน (Percent Error) ร้อยละ 1.463 เมื่อเทียบกับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกมาตรฐาน ณ กรุงเทพมหานคร โดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่มีค่า 9.78297 เมตรต่อวินาที² และชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลาการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายมีความแม่นยำสูงกว่าการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาของนักเรียนนายเรือ (นร.) ที่มีร้อยละความคลาดเคลื่อนร้อยละ 4.150

คำสำคัญ: การแกว่งลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย, อุปกรณ์ตรวจจับแบบอินฟราเรด, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

¹อาจารย์, กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Lecturer, Engineering Department, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy

E-mail: panukorn.w@navy.mi.th

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Assistant Professor, Physics and Chemistry Department, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy

E-mail: veeraboonthud@gmail.com

Abstract

The objectives of the research aim to design and develop equipment for measuring time period and the gravitational acceleration of simple pendulum oscillation by using IR Infrared sensor and NodeMCU ESP8266. This equipment was connected for transferring data over the Internet (Internet of Things; IoT). The average time (T_{avg}) and the gravitational acceleration (g) were displayed on Blynk application. The estimated percent error was 1.463 meter per second² whereas the standard gravitational from the National Institute of Metrology (Thailand) was 9.78297 meter per second². Additionally, the time period measurement equipment is more accurate than the Naval Cadets' stopwatches, which displayed the percent error at 4.150.

Keywords: Simple Pendulum Oscillation, IR Infrared Sensor, Internet of Things (IoT)

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงเรียนนายเรือ (ร.นร.) เป็นสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษา ซึ่งมีวิชาวิทยาศาสตร์เป็นวิชาภาคบังคับพื้นฐานในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ โดยมีหัวข้อการทดลอง “เรื่อง การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก (Simple Harmonic Motion; SHM)” ที่ถูกบรรจุทั้งในรายวิชาฟิสิกส์ 1 (ภาคทฤษฎี) และรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 (ภาคปฏิบัติ) [1] ของ นนร.ชั้นปีที่ 1 ทั้งนี้ ปัญหาเรื่องการจัดซื้อชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลาที่มีความแม่นยำสูงประกอบชุดทดลอง ฯ นั้น จำเป็นต้องใช้งบประมาณที่ค่อนข้างสูง

ในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ทั้ง 2 รายวิชาข้างต้นนั้น นนร.ต้องสามารถหาคาบเวลาจากการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายและหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Acceleration; g) ได้ โดยนำความสัมพันธ์ของคาบเวลา (Time Period; T) ความยาวเชือก (Length; l) มาคำนวณร่วมกันได้อย่างถูกต้อง แต่ด้วย ร.นร. มีชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบ SHM ที่ใช้นาฬิกาจับเวลาในการวัดคาบเวลาเฉลี่ย ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำและความน่าเชื่อถือค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนสูง และไม่สอดคล้องกับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกมาตรฐาน (ผลการทดลองของ นนร. ตามรายละเอียดในบทที่ 5 เรื่องผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย) ซึ่งปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ 1 ของ นนร. เป็นอย่างมาก

ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงดำเนินการออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลาการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายขึ้นเพื่อลดความคลาดเคลื่อนการจับเวลาแบบเดิม โดยการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจจับแบบอินฟราเรด ร่วมกับการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 ที่มีความละเอียดในการทำงานระดับมิลลิวินาที (ms) และแสดงผลผ่าน IoT บนแอปพลิเคชัน Blynk ภายใต้งบประมาณที่จำกัดแต่ความแม่นยำในการตรวจวัดคาบเวลาสูง ทั้งนี้ยังช่วยลดความเสี่ยงต่อการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ที่กำลังแพร่ระบาดในปัจจุบันอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

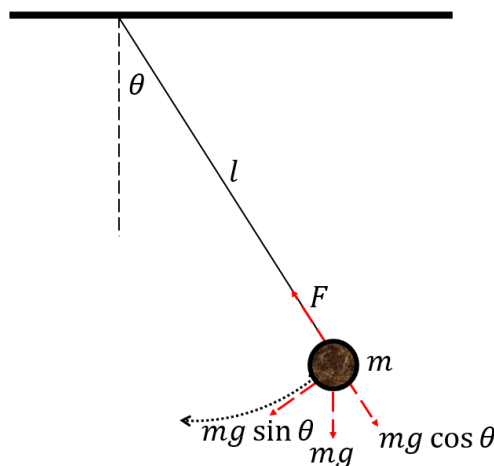
2.1 เพื่อออกแบบชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลาและความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกประกอบชุดทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายให้มีความแม่นยำสูง โดยเป็นการทำงานร่วมกันของ IR Infrared Sensor และ NodeMCU ESP8266 ผ่าน IoT

2.2 เพื่อพัฒนาชุดทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย ของกองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝายศึกษา โรงเรียนนายเรือ (กพค.ฝศช.รร.นร.) ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2.3 เพื่อนำชุดอุปกรณ์ ฯ ไปประกอบการเรียนการสอนกับชุดทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายของนักเรียนนายเรือ ชั้นปีที่ 1 ในรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชุดทดลองลูกตุ้มอย่างง่าย (Simple Pendulum) ประกอบด้วยมวลขนาดเล็กและเชือกเบา โดยมีหลักการทำงานคือนำมวลนั้นแขวนไว้ที่ปลายเชือกในแนวตั้ง เมื่อดึงมวลให้เอียงทำมุม θ กับแนวตั้งแล้วปล่อยตกอิสระ วัตถุจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำทางเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล ($\theta = 0$ องศา) ซึ่งเป็นหลักการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion; SHM) [2,3] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกอย่างง่าย

ขณะที่ลูกตุ้มมวล (m) ที่ผูกกับเชือกยาว (l) เอียงทำมุม θ กับแนวตั้ง มีสองแรงกระทำต่อมวล m คือน้ำหนักของลูกตุ้ม mg และแรงตึงในเส้นเชือก (F) การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายนี้สามารถแสดงความสัมพันธ์ของคาบการแกว่ง (T) ตามสมการที่ 1

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

เมื่อวัดค่า T เรียบร้อย จึงสามารถคำนวณหาค่า g ได้ ตามสมการที่ 2

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (2)$$

เมื่อ T = คาบเวลา (วินาที, s)

l = ความยาวเชือก (เมตร, m)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตรต่อวินาที², m/s²)

กฤษฎา สังกาณี และ รัชฎ์ กัดมัน ดำเนินการวิจัยเรื่อง “ชุดปฏิบัติการเรื่องการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย โดยใช้เซนเซอร์ฮอลล์ เพื่อใช้ในการวัดคาบของการเคลื่อนที่การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย” พบว่าคาบการเคลื่อนที่มีค่าคงที่เมื่อมุมเริ่มต้นมีค่า 5 องศา และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อความยาวเชือกเพิ่มขึ้น ส่วนคาบเวลาที่น่ามาคำนวณหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกนั้น ทดลองโดยใช้ขนาดของมุมเริ่มต้นที่ 5 องศา ความยาวเชือก 1 เมตร และได้ค่าเฉลี่ยความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ 9.89 เมตรต่อวินาที² ซึ่งร้อยละความคลาดเคลื่อนคิดเป็น 0.82 เมื่อเทียบกับค่าทางทฤษฎี [4]

อภิรักษ์ พันธุ์พนาสกุล ได้พัฒนาระบบควบคุมเปิด - ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศผ่านสมาร์ตโฟน โดยศึกษาการทำงานของชุดควบคุมเปิด - ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า และค้นคว้าการทำงานของ Microcontroller Arduino [5] เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบเปิด - ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศผ่านสมาร์ตโฟน ทั้งนี้แอปพลิเคชัน Blynk ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองเพื่อใช้ในการกำหนดค่าและใช้เพื่อควบคุมส่วนประมวลผล โดยในการออกแบบชุดทดลองระบบควบคุม ฯ ผู้วิจัยสามารถตรวจสอบการเข้าใช้งานและเรียกดูประวัติการใช้งานในแต่ละวันและย้อนหลังได้ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ในส่วนของการประเมินคุณภาพของระบบควบคุมเปิด - ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศผ่านสมาร์ตโฟนมีการประเมิน 2 รูปแบบ ได้แก่ การประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ผลการประเมินโดยผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องพบว่าประสิทธิภาพของระบบที่ได้พัฒนาอยู่ในระดับที่ดี ($\bar{x} = 4.05$) และผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานเครื่องมือโดยผู้ใช้งานพบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นโดยรวมอยู่ในระดับดี ($\bar{x} = 4.15$)

4. วิธีการการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจากการออกแบบชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลาการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย และนำไปติดตั้งกับชุดทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายของ กวพค.ผศช.ร.นร. หลังจากการทดสอบการทำงานของชุดทดลอง ฯ จนได้ผลถูกต้องตามทฤษฎี ผู้เชี่ยวชาญจะประเมินหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง ฯ แล้วจึงนำไปใช้ในการเรียนการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ 1 แกนนักเรียนนายเรือ ชั้นปีที่ 1 ต่อไป

4.1 ขั้นตอนการออกแบบชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลาการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย โดยชุดอุปกรณ์ ฯ นี้ประกอบด้วย ตัวตรวจจับแบบอินฟราเรด, NodeMCU ESP8266, ตัวต้านทานขนาด 470 โอห์ม และ 1 กิโลโอห์ม

4.1.1 ตัวตรวจจับแบบอินฟราเรด (IR Infrared Sensor HW-201) ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับวัตถุระยะใกล้ (ระยะ 2 – 30 เซนติเมตร) โดยมีความกว้างของการทำงานที่ 35 องศา และใช้แรงดันทางไฟฟ้าในการทำงานที่ 3 - 5.5 โวลต์ [6] โดยหลักการทำงาน ดังนี้ หลอด Infrared LED (หลอดสีขา) ทำการส่งความถี่แสงย่านอินฟราเรด (ย่านความถี่ 700 นาโนเมตร – 1 มิลลิเมตร) และความถี่แสงย่านดังกล่าวจะสะท้อนวัตถุกลับมายังตัวหลอดโฟโตไดโอด (หลอดสีดำ) ที่ทำหน้าที่รับแสงอินฟราเรด

โดยจะให้ค่า Output ออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัล ในส่วนของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ทำหน้าที่ปรับความไวในการตรวจจับความถี่แสงอินฟราเรด ที่ส่งผลกระทบต่อระยะในการตรวจพบวัตถุ ดังแสดงตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 หลักการทำงานของ IR Infrared Sensor

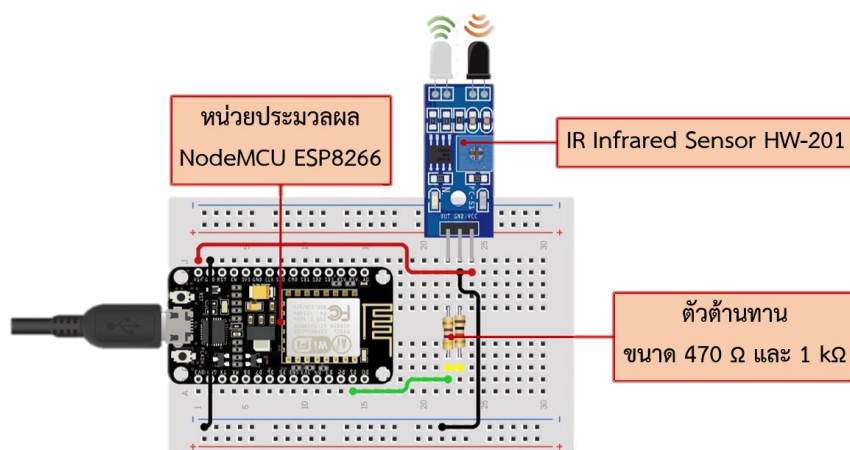
4.1.2 NodeMCU ESP8266 เป็น Platform ที่ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์การเชื่อมต่อและส่งผ่านข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต (Internet of Things; IoT) ที่ประกอบด้วย Development Kit (บอร์ด), Firmware (ซอฟต์แวร์) ที่เป็น Open Source และร่วมด้วยโมดูล WiFi (ESP8266) ที่มีหน้าที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต

Arduino IDE (Integrated Development Environment) เป็นโปรแกรมที่ใช้งานร่วมกับ NodeMCU ด้วยการใช้ภาษาทางคอมพิวเตอร์ C/C++ ซึ่งรองรับระบบปฏิบัติการทั้ง Windows, Mac OS และ Linux กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งโปรแกรมนี้ออกแบบให้ง่ายต่อการเขียนโค้ดและ Upload โปรแกรมที่เขียนเข้าสู่บอร์ด จุดเด่นของ Arduino IDE คือการเขียน Code ที่สามารถเข้าถึงผ่าน Functions จึงทำให้การเขียน Code ไม่เป็นเรื่องซับซ้อน ผู้ที่มีความสนใจระดับเริ่มต้นจึงสามารถเขียน Code ได้เอง

โดยมีข้อพึงระวังในการออกแบบการโปรแกรมบน NodeMCU ESP8266 กล่าวคือ จำเป็นต้องมีการใส่การหน่วงเวลา (Delay) ทุกครั้งของการรับสัญญาณสะท้อนกลับในครั้งที่ เป็นเลขคี่ ($a = 1, 3, 5, \dots, 51$) เนื่องจากสัญญาณที่ถูกส่งไปนั้นจะถูกส่งอย่างต่อเนื่อง และสะท้อนกลับอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงทำการ Delay ในการออกแบบภาครับสัญญาณเป็นเวลา 500 มิลลิวินาที เพื่อป้องกันการรับข้อมูลที่ไม่จำเป็นมากเกินไป

4.1.3 ขั้นตอนการทำงานของชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลาการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย ชุดอุปกรณ์ประกอบด้วย ตัวตรวจจับแบบอินฟราเรด ขนาด 3.3 โวลต์ ทำหน้าที่เป็นตัวปล่อย (Emitter) แสงความถี่ย่าน

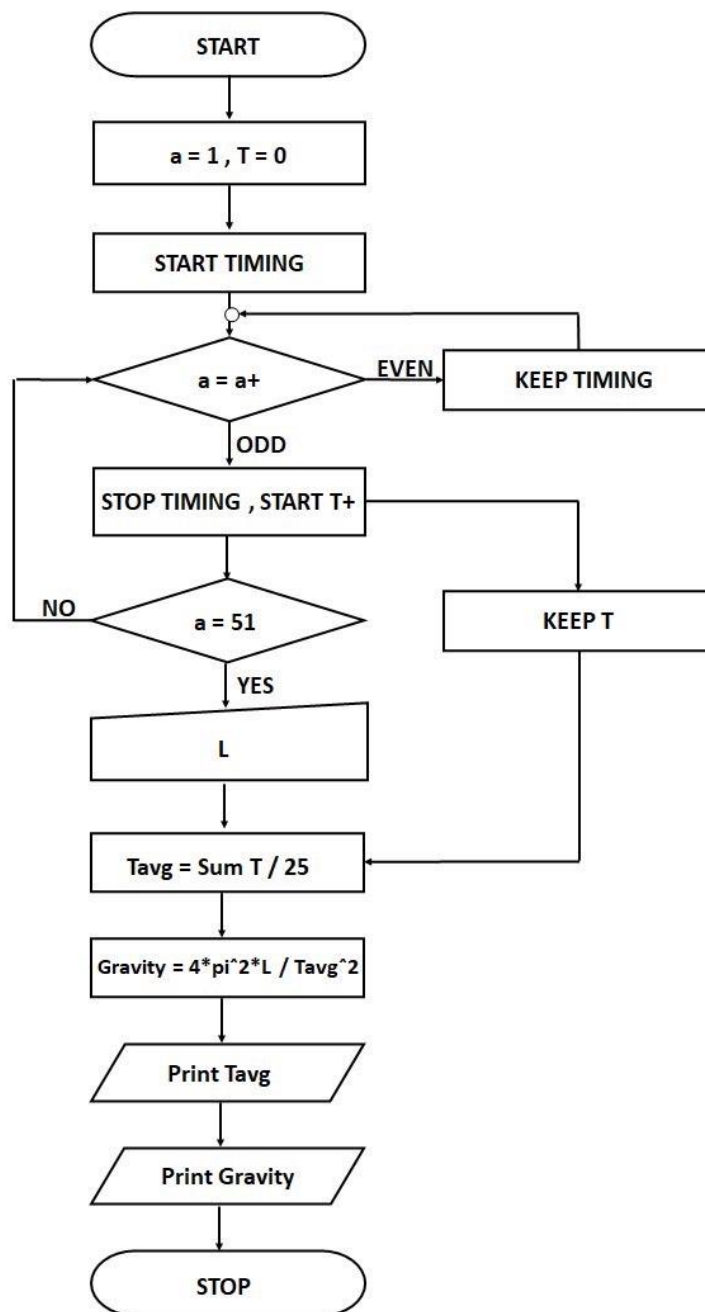
อินฟราเรด และรับสัญญาณสะท้อนกลับมาสู่ตัวรับ (Receiver) หากมีวัตถุมาขวางการรับส่งสัญญาณแสงนั้น ตัวเซนเซอร์ก็จะทำการส่งสัญญาณข้อมูลเข้าสู่หน่วยประมวลผล โดยมีตัวต้านทานขนาด 470 โอห์ม และ 1 กิโลโอห์ม ที่ต่อขนานกัน ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าในวงจร ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างชุดประมวลผลการวัดคาบเวลาการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

โดยกระบวนการทำงานประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 4 ดังนี้

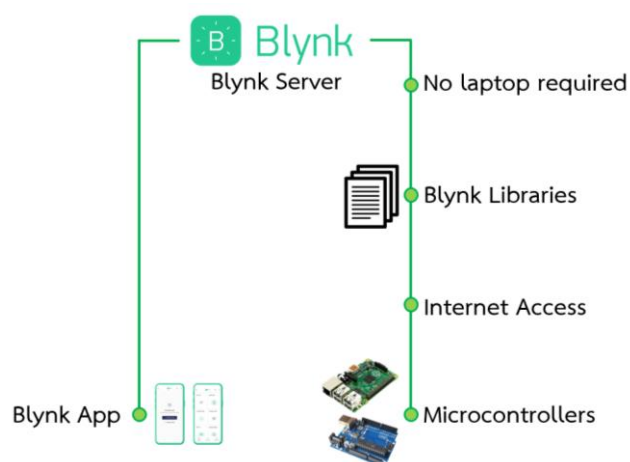
- ก. เริ่มต้นการทำงาน และเมื่อลูกตุ้มเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจจับ จะนับครั้งที่ลูกตุ้มเคลื่อนที่ผ่าน แทนด้วยตัวแปร $a = 1$ ($a+$) พร้อมกับเริ่มต้นการจับเวลา $T = 0$ ($T+$)
- ข. เมื่อเกิดการเคลื่อนที่กลับของลูกตุ้ม ชุดอุปกรณ์ ฯ จะนับครั้งที่ เป็น $a = 2$ โดยไม่มีการหยุดการจับเวลา แต่กระบวนการจะหยุดการจับเวลาในครั้งที่ลูกตุ้มเคลื่อนที่ผ่านชุดอุปกรณ์ในครั้งที่ 3 ($a = 3$) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ครบ 1 คาบเวลา พร้อมทั้งเริ่มการจับเวลาใหม่ กล่าวคือ T จะถูกนับใหม่เป็น T_1
- ค. กระบวนการจะถูกดำเนินการต่อไป จนจำนวนการแกว่งผ่านชุดอุปกรณ์ ฯ ของลูกตุ้มครบ 51 ครั้ง ($a = 51$) ซึ่งอธิบายถึงการเคลื่อนที่ครบ 25 คาบเวลา ($T, T_1, T_2, \dots, T_{24}$)
- ง. ผู้ทำการทดลองป้อนค่าความยาวเชือก (L) ลงในคอมพิวเตอร์
- จ. ชุดประมวลผลจะนำผลรวมค่า T มาการคำนวณหาค่า T_{avg} และค่า g และแสดงผลการคำนวณบนแอปพลิเคชัน Blynk
- ฉ. สิ้นสุดการทำงาน



รูปที่ 4 แผนภูมิสายงานแสดงการทำงานของอุปกรณ์วัดคาบเวลาการแกว่งลูกตุ้มอย่างง่าย

4.2 ขั้นตอนการแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ตบนแอปพลิเคชัน Blynk

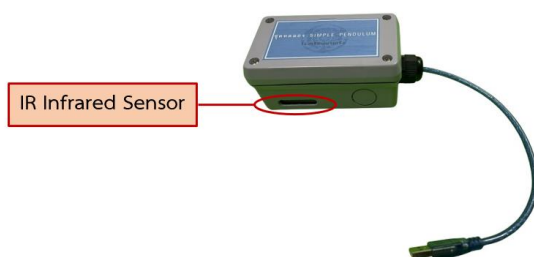
แอปพลิเคชัน Blynk เป็นแอปพลิเคชันสำเร็จรูปที่ใช้สำหรับงาน IoT โดยเป็นการทำงานแบบ Real Time และทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สื่อสารไร้สายต่าง ๆ ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต จุดเด่นคือการรองรับระบบปฏิบัติการได้ทั้ง IOS และ Android หลักการทำงานของ Blynk คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ESP8266, ESP32, Raspberry Pi และอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย จะทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อกับ Server ของ Blynk [7,8] ดังแสดงตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเชื่อมต่อบน Platform ของ Blynk

4.3 ชุดทดลองวัดคาบเวลาการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

ชุดทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย ประกอบด้วยชุดทดลองการแกว่งลูกตุ้มแบบ Pendulum ของ กวฟค.ฝศช.ร.ร.นร. และชุดอุปกรณ์ตรวจจับและคำนวณคาบเวลา ดังแสดงตามรูปที่ 6 โดยสั่งการให้แสดงผลที่ได้จากการคำนวณผ่านอุปกรณ์ IoT บนแอปพลิเคชัน Blynk ที่ถูกติดตั้งบนโทรศัพท์แบบ Smartphone, iPad, หรือ Tablet ที่รองรับปฏิบัติการทั้ง IOS และ Android ดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 ชุดอุปกรณ์ตรวจจับและคำนวณคาบเวลา



รูปที่ 7 ชุดทดลองวัดคาบเวลาการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

ชุดทดลอง ๑ เป็นโครงสร้างไม้สำหรับยึดชิ้นส่วนของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ ใบวัดมุมครึ่งวงกลม เชือกผูกติดมวล โดยติดที่ด้านบนส่วนด้านปลายแหลมที่ยื่นออกมา ให้ทั้งลูกตุ้มลงในแนวดิ่งและกำหนดให้ตำแหน่งนี้จะเป็นตำแหน่งสมดุลเริ่มต้น (จุดต่ำสุด) เมื่อทำการแกว่งลูกตุ้มจะไปเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ตรวจจับที่ติดตั้งไว้

การออกแบบและพัฒนาชุดทดลอง ๑ นั้น จำเป็นต้องคำนึงถึง มวล ที่นำมาประกอบการแกว่งแบบ SHM ทางคณะผู้วิจัยจึงพิจารณามวลที่นำมาทดสอบเป็นลูกกอล์ฟ เนื่องจากมีลักษณะเป็นทรงกลม (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.2672 เซนติเมตร) ทำให้เมื่อเกิดการเคลื่อนที่แบบ SHM บนชุดทดลอง ๑ แล้วพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลมีขนาดเท่ากันทุกรอบการแกว่ง แม้ว่าจะเกิดการบิดหรือการหมุนของมวล และผิวสัมผัสของลูกกอล์ฟสามารถสะท้อนคลื่นความถี่ของอินฟราเรดได้ดี

คณะผู้วิจัยได้ใช้ความยาวเชือก 3 ระยะในการทดลอง ได้แก่ 0.30, 0.40, และ 0.50 เมตร โดยทำการทดลองในแต่ละระยะความยาวเชือก ระยะละ 3 ครั้ง เพื่อให้สอดคล้องกับการทดลองของ นนร. และนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่า g ต่อไป

5. ผลการดำเนินการวิจัย

ในส่วนของผลการทดลองนั้น จะนำผลการทดสอบที่ได้จากการนำชุดอุปกรณ์ ๑ ที่ติดตั้งบนชุดทดลอง ๑ และผลการทดลองโดยการใช้นาฬิกาจับเวลาของ นนร. ปีการศึกษา 2563 มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกมาตรฐาน ณ กรุงเทพมหานคร โดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่มีค่า 9.78297 เมตรต่อวินาที² เพื่อหาร้อยละความคลาดเคลื่อน

5.1 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลา และค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

ด้วย Infrared Sensor, NodeMCU ESP8266 และแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk นั้น สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติการทางฟิสิกส์ 1 ได้จริง โดยได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลาและความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

ทดลองที่	ความยาวเชือก l (m)	คาบเวลาเฉลี่ย $T_{avg}(s)$			$\frac{\sum_{i=1}^3 T_{avg}}{i}$ (s)	g (m/s ²)
		$T_{avg\ 1}$	$T_{avg\ 2}$	$T_{avg\ 3}$		
1	0.30	1.103	1.118	1.106	1.109	9.629
2	0.40	1.273	1.242	1.268	1.261	9.930
3	0.50	1.452	1.414	1.424	1.430	9.652

สรุปผลการทดลองที่ระยะเชือก 0.30, 0.40, และ 0.50 เมตร ตามลำดับมีดังนี้

ก. ค่า T_{avg} จากการคำนวณหาค่าเฉลี่ยทั้ง 3 รอบ มีค่า 1.109, 1.261, และ 1.430 วินาที

ข. ค่า g ที่ได้ มีค่า 9.629, 9.930, และ 9.652 เมตรต่อวินาที² ดังแสดงตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตัวอย่างผลการทดสอบชุดอุปกรณ์ฯ บนแอปพลิเคชัน Blynk

5.2 ผลการทดลองของชุดทดลอง ฯ โดยการใช้นาฬิกาจับเวลาของ นนร.

โดยการนำผลการทดลองของ นนร.ชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 3 ห้อง ห้องละ 1 กลุ่มมาประกอบการคำนวณ ซึ่งมีผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์วัดคาบเวลาและค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

ทดลองที่	ความยาวเชือก l (m)	คาบเวลาเฉลี่ย $T_{avg}(s)$			$\frac{\sum_{i=1}^3 T_{avg}}{i} (s)$	g (m/s ²)
		$T_{avg 1}$	$T_{avg 2}$	$T_{avg 3}$		
1	0.30	0.991	1.219	1.012	1.074	10.254
2	0.40	1.447	1.106	1.194	1.249	10.119
3	0.50	1.433	1.512	1.228	1.391	10.194

สรุปผลการทดลองที่ระยะเชือก 0.30, 0.40, และ 0.50 เมตร ตามลำดับมีดังนี้

ก. ค่า T_{avg} จากการทดลอง มีค่า 1.074, 1.249, และ 1.391 วินาที

ข. ค่า g ที่ได้ มีค่า 10.254, 10.119, และ 10.194 เมตรต่อวินาที² ดังตามรูปที่ 9

วิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 (0402) กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ						
1/1 G.1						
ตารางที่ 1. หาค่าความเร่งโน้มถ่วง (g) โดยการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย						
ความยาว เชือก L (m)	เวลา $t(s)$ 25.50 ✓			เวลาเฉลี่ย (s)	คาบการ แกว่ง T (s)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
0.3	24.547	24.635	25.143	24.775	0.991	
0.4	36.114	36.081	36.330	36.175	1.447	
0.5	35.875	35.941	35.659	35.825	1.433	

รูปที่ 9 ตัวอย่างผลการทดลองของ นนร.โดยการใช้ นาฬิกาจับเวลา

วิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 (0402) กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ					
กลุ่ม 2 (1/2)					
ตารางที่ 1.1. หาค่าความเร่งโน้มถ่วง (g) โดยการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย					
ความยาว เชือก L (m)	เวลา t(s) 25 รอบ			เวลาเฉลี่ย (s)	คาบการ แกว่ง T (s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0.3	30.623	30.525	30.277	30.475	1.219
0.4	27.528	27.636	27.786	27.630	1.106
0.5	29.941	37.688	37.771	37.800	1.512

วิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 (0402) กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ					
กลุ่ม 3 (1/3)					
ตารางที่ 1.1. หาค่าความเร่งโน้มถ่วง (g) โดยการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย					
ความยาว เชือก L (m)	เวลา t(s) 25 รอบ			เวลาเฉลี่ย (s)	คาบการ แกว่ง T (s)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0.3	25.286	25.310	25.304	25.300	1.012
0.4	29.633	29.720	30.197	29.850	1.194
0.5	30.602	30.420	31.078	30.700	1.22

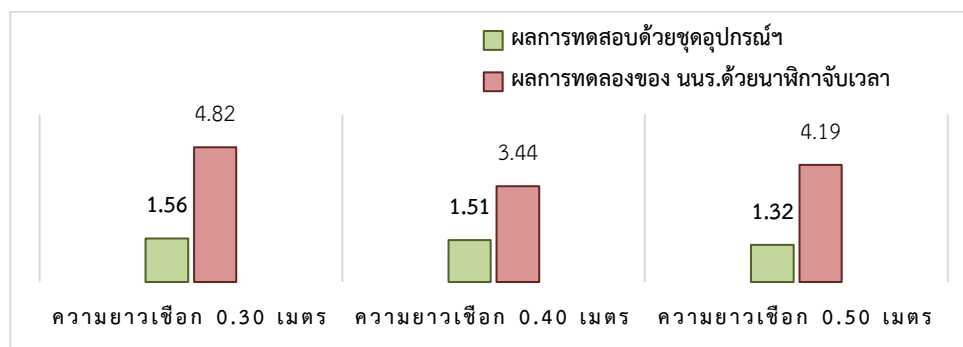
รูปที่ 9 ตัวอย่างผลการทดลองของ นนร. โดยการใช้ นาฬิกาจับเวลา (ต่อ)

6. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดสอบชุดอุปกรณ์ ๓ ประกอบชุดทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายและผลการทดลองของ นนร. ด้วยนาฬิกาจับเวลา เปรียบเทียบกับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกมาตรฐาน ณ กรุงเทพมหานคร โดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นั้น พบว่า

6.1 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของการทดสอบชุดอุปกรณ์ ๓ เมื่อเทียบกับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 1.56, 1.51, และ 1.32 ที่ความยาวเชือก 0.30, 0.40, และ 0.50 เมตร ตามลำดับ

6.2 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของการทดลองของ นนร. ด้วยนาฬิกาจับเวลา เมื่อเทียบกับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 4.82, 3.44, และ 4.19 ที่ความยาวเชือก 0.30, 0.40, และ 0.50 เมตร ตามลำดับ ดังแสดงตามรูปที่ 10



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบร้อยละความคลาดเคลื่อนของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

ร้อยละความคลาดเคลื่อนของชุดอุปกรณ์ ๆ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่า g อยู่ที่ร้อยละ 1.463 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อความยาวเชือกเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการทดลองของ นนร. ด้วยนาฬิกาจับเวลาอยู่ที่ร้อยละ 4.150 จึงกล่าวได้ว่า ชุดอุปกรณ์ ๆ ที่ทำการออกแบบและพัฒนา มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้การจับเวลาแบบเดิม นอกจากนี้ยังนับเป็นการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID - 19 ในปัจจุบัน เนื่องจาก นนร. สามารถรับค่าของการทดลองผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บนอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายของตนเองได้ โดยไม่จำเป็นต้องมาอ่านค่าบริเวณพื้นที่การเรียนการสอน ซึ่งจะทำให้เกิดความแออัด และยังเป็นการลดความเสี่ยงในการติดเชื้อ ๆ อีกทางหนึ่งด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] โรงเรียนนายเรือ [อินเทอร์เน็ต]. สมุทรปราการ: โรงเรียนนายเรือ; c2020 [เข้าถึงเมื่อ 15 ธ.ค. 2564]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.rtna.ac.th/download/65Final.pdf>
- [2] Serway RA, Jewett JW. Physics for scientists and engineers with modern Physics. 9th ed. Boston: Brooks/Cole; 2012.
- [3] Halliday D, Resnick R, Walker J. Fundamentals of physics. 11th ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2018.
- [4] กฤษฎา สังคามณี, รัชฎ กัดมัน. ชุดปฏิบัติการเรื่องการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายโดยใช้เซนเซอร์ฮอลล์. ใน: ชัยฤทธิ์ ศิลาดเดช, วิวรรณ จันทร์เทพย์, วนิดา ตรีสวัสดิ์, บรรณาธิการ. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย ครั้งที่ 3 สร้างองค์ความรู้ มุ่งสู่การศึกษาและพัฒนาท้องถิ่น; 1 มี.ค. 2558; ราชบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง; 2558. น. 571-8.
- [5] อภิรักษ์ พันธุ์พาสกุล, ธีรรัตน์ ศรีระสันต์, ภูวนาถ จันทร์ขาว, กนกรัตน์ จันทรมโน. การพัฒนาระบบควบคุมเปิด-ปิดไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศผ่านสมาร์ตโฟน. ใน: ทศนีย์ ประธาน, บรรณาธิการ. การประชุมมหาดไทยวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10; 12-13 ก.ค. 2562; สงขลา: มหาวิทยาลัยหาดใหญ่; 2556. น. 645-59.
- [6] INRO Electronics. Infrared (IR) Sensor Hw201 Object Detection [Internet]. [place unknown]: INRO Electronics; c2022 [cited 2022 Jan 17]. Available from: <https://www.inro-electronics.com/infrared-object-detection-sensor>
- [7] สุเมธิ อินคำเชื้อ. การออกแบบและพัฒนาระบบตรวจจับการใช้กระแสไฟฟ้าด้วยเครือข่ายไร้สาย [อินเทอร์เน็ต] [ปริญญาานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2560 [เข้าถึงเมื่อ 22 ม.ค. 2565]. เข้าถึงได้จาก: http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2017/TU_2017_5910037489_7858_6921.pdf
- [8] โภาศ บัญณรากร. ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที [อินเทอร์เน็ต] [ปริญญาานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2564. [เข้าถึงเมื่อ 7 ก.พ. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2016/17309/1/6010121035.pdf>

การเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการหาขอบของวัตถุในภาพถ่ายทางอากาศ

A Comparison of Edge Detection Algorithms in Aerial Images

วิศรุต คล้ายแจ้ง¹ ธนานพ ลิ้มสุวรรณโรจน์² วีระพล วิลามาต³ สมภูมิ มีชานนา⁴ สุภาวดี ลีลายุทธ⁵

และ เทียนสิริ เหลืองวิไล⁶

Witsarut Kraychang¹ Tananop Limsuwanroj² Weerapol Welamas³ Sompoom Meechowna⁴

Supavadee Leelayuth⁵ and Thiansiri Luangwilai⁶

Received : April 7, 2022

Revised : May 9, 2022

Accepted : May 12, 2022

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการวิเคราะห์ภาพถ่ายมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรมและในหลาย ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านการเกษตร การแพทย์ การรักษาความปลอดภัย การลาดตระเวน การสำรวจและอื่น ๆ อีกมากมาย แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ภาพในปัจจุบันนั้นส่วนใหญ่จะใช้แรงงานมนุษย์ ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงและ

¹อาจารย์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
Lecturer of Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy
E-mail: Witsarut_popmath@hotmail.com

²อาจารย์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
Lecturer of Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy
E-mail: Tananop.lims@gmail.com

³อาจารย์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
Lecturer of Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy
E-mail: Welamas@gmail.com

⁴อาจารย์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
Lecturer of Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy
E-mail: Sompoom96@gmail.com

⁵อาจารย์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
Lecturer of Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy
E-mail: Supavadee_k@rtaf.mi.th

⁶อาจารย์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
Lecturer of Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy
E-mail: Thiansiri.L@gmail.com

และใช้เวลามาก ดังนั้นการพัฒนาขั้นตอนวิธีการที่ช่วยในการวิเคราะห์ภาพถ่ายจึงมีความจำเป็นอย่างมาก และการหาขอบวัตถุในภาพถือว่าเป็นหนึ่งในสาขาที่สำคัญของการวิเคราะห์ภาพถ่าย ในงานวิจัยชิ้นนี้จะเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการในการหาขอบของวัตถุชนิดต่าง ๆ และประยุกต์ใช้กับภาพถ่ายทางอากาศของอากาศยานไร้คนขับ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพและพฤติกรรมด้วย ดัชนี PR หรือค่าอัตราส่วนของความถูกต้องต่อความผิดพลาดทั้งหมด (Ratio of True to False Edges), ดัชนี PSNR หรือตัวชี้วัดที่ใช้ทดสอบความเหมือนระหว่างภาพ (Peak Signal to Noise Ratio) และ ดัชนี F-measure หรือการวัดประสิทธิภาพการทำนายของขั้นตอนวิธีการ โดยจุดประสงค์หลักของงานวิจัยชิ้นนี้คือการเพิ่มความรู้ความเข้าใจในพฤติกรรมและประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการในการหาขอบของวัตถุชนิดต่าง ๆ ต่อภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ

คำสำคัญ: ขั้นตอนวิธีการ, การหาขอบวัตถุ, ภาพถ่ายทางอากาศ

Abstract

Image analysis is becoming increasingly significant in a variety of industries, including agriculture, medicine, security, surveillance, observation and etc. The image analysis is still processed by humans. This is quite costly and time consuming. For improving image analysis, an image analysis algorithm is required. The edge detection is one of the most significant aspects of image analysis. In this research, various edge detection algorithms are compared and applied to aerial images captured by unmanned aerial vehicles (UAV). PR (Ratio of true to false edges), PSNR (Peak signal to noise ratio), and F-Measure are used to evaluate and analyze the results. The overall goal of this study is to gain a better knowledge of how each edge detection algorithm performs with the UAV aerial images.

Keywords: Algorithms, Edge Detection, Aerial Images

1. บทนำ

จากนโยบายผู้บัญชาการกองทัพอากาศที่มุ่งเน้นงานวิจัยและเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจจับ [1] ซึ่งปัจจุบันกองทัพอากาศมีการใช้อากาศยาน อากาศยานไร้คนขับและดาวเทียมเป็นหนึ่งในเครื่องมือหลักในการตรวจจับและหาข้อมูลข่าว โดยในปัจจุบันการอ่านข้อมูลเหล่านี้ยังจำเป็นที่จะต้องพึ่งพาแรงงานของกำลังพลที่มีอยู่ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการและจำนวนภาพที่เพิ่มมากขึ้นจากระบบตรวจจับหลาย ๆ ระบบ ดังนั้นขั้นตอนวิธีการในการวิเคราะห์ภาพเหล่านั้นเพื่อลดแรงงานกำลังพลลงนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

โดยภาพถ่ายทางอากาศนั้น ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งด้านเกษตร [2] การทหาร [3] การสำรวจ [4] และอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งเมื่อได้ภาพมาแล้วขั้นตอนต่อไปคือการดึงข้อมูลที่สำคัญออกจากภาพ โดยที่การวิเคราะห์หาขอบของวัตถุในภาพถือว่าเป็นหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญและได้มีงานวิจัยที่พยายามเปรียบเทียบคุณสมบัติของขั้นตอนวิธีการต่าง ๆ ในการหาขอบของวัตถุในภาพมากมาย [5,6] โดยพื้นฐาน

ขั้นตอนวิธีการในการหาขอบของวัตถุแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไปสำหรับรูปแบบภาพที่นำมาทดสอบ ดังนั้นก่อนการนำไปใช้จริงควรมีการวิเคราะห์คุณลักษณะของขั้นตอนวิธีการต่อภาพแต่ละชนิดเสียก่อน ดังเช่น [7] ได้ดำเนินการเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการในการหาขอบวัตถุสำหรับภาพของกระจกในอุตสาหกรรม

ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการที่เหมาะสมกับภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานหรืออากาศยานไร้คนขับเพื่อดูพฤติกรรมและความแตกต่างของขั้นตอนวิธีการแต่ละชนิดว่าขั้นตอนวิธีการแบบใดมีความเหมาะสมกับภาพถ่ายทางอากาศและภารกิจของกองทัพอากาศ เพื่อเป็นองค์ความรู้ในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางการวิเคราะห์ภาพและอากาศยานไร้คนขับต่อไปในอนาคต ซึ่งการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศนั้นถือว่าเป็นงานวิจัยที่สำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีในอีกหลาย ๆ ด้าน [8]

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 ขั้นตอนวิธีการหาขอบของวัตถุภาพ

กระบวนการหาขอบของวัตถุนั้นถือว่าเป็นหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญมากที่สุดที่จะดึงข้อมูลของภาพออกมา โดยหนึ่งในสมมติฐานที่ใช้กันก็คือ วัตถุแต่ละชนิดในภาพจะมีค่าความเข้มของพิกเซลในภาพที่ใกล้เคียงกัน เพราะฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงที่ฉับพลันของค่าความเข้มของพิกเซลและการขาดความต่อเนื่องของพิกเซลในภาพก็จะสะท้อนถึงการเป็นขอบของวัตถุได้ ด้วยแนวความคิดนี้กระบวนการหรือขั้นตอนวิธีการต่าง ๆ ในการหาขอบของวัตถุนั้นจะเกี่ยวข้องกับการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มและความต่อเนื่องของพิกเซลในภาพนั้น ๆ แม้ว่าขั้นตอนวิธีการในการหาขอบของวัตถุนั้นมีอยู่มากมาย แต่โดยทั่วไปแล้วก็จะใช้แนวคิดเดียวกันดังที่กล่าวมาแล้ว โดยขั้นตอนวิธีการที่เป็นมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับอยู่ 5 วิธีการ คือ ขั้นตอนวิธีการโรเบิร์ต ขั้นตอนวิธีการโซเบล ขั้นตอนวิธีการพรีวิตต์ ขั้นตอนวิธีการลาปลาเซียน แห่งเกาส์เซียน และ ขั้นตอนวิธีการแคนนี่ [7,9,10,11,12,13] ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนวิธีการโรเบิร์ต (Roberts Algorithm) เป็น กระบวนการหาขอบของวัตถุในภาพด้วยโรเบิร์ต [14] ถือว่าเป็นหนึ่งในวิธีที่มีความรวดเร็วและง่ายของโครงสร้างในการคำนวณมากที่สุดวิธีหนึ่ง โดยในกระบวนการนี้จะใช้ 2 เมทริกซ์ที่มีขนาด 2×2 หรือเมทริกซ์ที่ใช้ในการกรอง (Convolution Kernels) มาเป็นตัวคูณในทุก ๆ พิกเซลกับพิกเซลที่ใกล้เคียงของภาพต้นฉบับ แล้วนำผลรวมทั้งหมดที่ได้ใส่กลับไปในพิกเซลของจุดกลาง เพื่อให้ขอบของวัตถุมีความเด่นชัดยิ่งขึ้นมา จึงจะสามารถขีดเส้นหาขอบของวัตถุเหล่านี้ได้ง่ายขึ้น โดยเมทริกซ์ที่ใช้เป็นตัวกรองนั้นจะมีอยู่สองแนวคือทั้ง แนวทแยงซ้ายและแนวทแยงขวา ซึ่งทำมุมองศา 90 องศาต่อกัน จากนั้นจึงนำผลลัพธ์สุดท้ายมารวมกันเป็นผลลัพธ์ของขอบของวัตถุในภาพ โดยแนวคิดในกระบวนการนี้คือหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของจุดที่อยู่ใกล้ ๆ กัน (Adjacent Pixels) ถ้าบริเวณใดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูงนั้นหมายถึงจะเป็นขอบของวัตถุได้ โดยเมทริกซ์ที่ใช้ในขั้นตอนวิธีการชนิดนี้อยู่ในรูปที่ 1

1	0
0	-1

	1
-1	0

รูปที่ 1 เมทริกซ์ตัวกรองของขั้นตอนวิธีการโรเบิร์ต (Robert Kernels Mask)

ขั้นตอนวิธีการโซเบล (Sobel Algorithm) ขั้นตอนวิธีการชนิดนี้ [15] จะเป็นกระบวนการในการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของเฉดสี ดังนั้นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดจะถูกพิจารณาว่าเป็นขอบของวัตถุในภาพ โดยในกระบวนการนี้จะใช้เมทริกซ์ตัวกรอง เป็น 2 เมทริกซ์ขนาด 3×3 ซึ่งแต่ละอันนั้นจะทำมุม 90 องศาต่อกัน เพื่อให้หาแนวขอบในแนวแกนนอนและแนวขอบในแนวแกนตั้ง หลังจากให้นำเมทริกซ์ทั้งสองไปคูณกับทุก ๆ พิกเซลในภาพแล้ว จะนำผลคูณที่ได้จากทั้งสองกรณีมาบวกกันเพื่อวิเคราะห์หาขอบ

ของวัตถุในขั้นตอนสุดท้ายซึ่งจะคล้ายคลึงกันกับขั้นตอนวิธีการของโรเบิร์ต โดยเมทริกซ์ตัวคูณสำหรับขั้นตอนวิธีการชนิดนี้เป็นดังรูปที่ 2

1	2	1
0	0	0
1	-2	-1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

รูปที่ 2 เมทริกซ์ตัวกรองของขั้นตอนวิธีการโซเบล (Sobel Kernels Mask)

ขั้นตอนวิธีการพรีวิตต์ (Prewitt Algorithm) [16] มีความคล้ายคลึงกับขั้นตอนวิธีการโซเบล โดยเป็นการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงของเฉดสี โดยใช้เมทริกซ์ตัวกรอง 2 เมทริกซ์ ขนาด 3×3 จากการเปรียบเทียบในอดีต สำหรับภาพที่มีความซับซ้อนนั้น ขั้นตอนวิธีการชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าขั้นตอนวิธีการโรเบิร์ตและโซเบล โดยเมทริกซ์ตัวคูณสำหรับขั้นตอนวิธีการชนิดนี้เป็นดังรูปที่ 3

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

	1	1
0	0	0
-1	-1	-1

รูปที่ 3 เมทริกซ์ตัวกรองของขั้นตอนวิธีการพรีวิตต์ (Prewitt Kernels Mask)

ขั้นตอนวิธีการลาปลาเซียนแห่งเกาส์เซียน (Laplacian of Gaussian Algorithm) ขั้นตอนวิธีการชนิดนี้ [17] เป็นการหาอนุพันธ์อันดับสองเมื่อเทียบกับแนวแกนนอนและแนวแกนตั้ง จากนั้นนำผลที่ได้ทั้งสองมารวมกัน จะทำให้ได้ค่าของจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของความเข้มของเม็ดสีในโทนสีเทา เนื่องจากเทคนิคนี้เป็นการใช้อนุพันธ์อันดับที่สอง ทำให้ขั้นตอนวิธีการมีความอ่อนไหวสูง (High Sensitive) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการลดสัญญาณรบกวน โดยการใชตัวกรอง (Gaussian Smooth Filter) กับรูปเสียก่อน หลังจากนั้นการคำนวณหาความเข้มของเม็ดสีในโทนสีเทาที่เปลี่ยนแปลงไปสำหรับจุดแต่ละจุดในภาพ สามารถคำนวณได้โดยสมการ Laplacian Pixel Density เป็นไปตามสมการที่ 1

$$L(x, y) = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} \quad (1)$$

โดยทั่วไปหากภาพที่มีสัญญาณรบกวนน้อย สามารถใช้เมทริกซ์ขนาด 3×3 เป็นตัวกรองของขั้นตอนวิธีการลาปลาเซียนแห่งเกาส์เซียน เพื่อหาขอบได้ ผลลัพธ์ที่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย โดยมีเมทริกซ์ตัวกรองดังรูปที่ 4

-1	2	-1
2	-4	2
-1	2	-1

รูปที่ 4 เมทริกซ์ตัวกรองของขั้นตอนวิธีการลาปลาเซียนแห่งเกาส์เซียน
(Laplacian of Gaussian Kernels Mask)

ขั้นตอนวิธีการแคนนี่ (Canny Algorithm) ขั้นตอนวิธีการชนิดนี้ [18] ถือว่าเป็นขั้นตอนวิธีการที่ทำให้เทคนิคที่มีความสมมูลมากที่สุดและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเทคนิคนี้เป็นการพัฒนาต่อยอดจากขั้นตอนวิธีการของโซเบล โดยพยายามลดค่าความผิดพลาดให้น้อยลง และพยายามแก้ไขการหาขอบของวัตถุที่อาจจะถูกข้ามไปด้วยกระบวนการปกติให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

โดยขั้นตอนวิธีการแคนนี่นั้นจะมีขั้นตอนในการดำเนินการหลัก ๆ คือ ขั้นตอนแรกเป็นการลดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ ในขั้นตอนที่สองคือหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของเฉดสีในแนวแกน x และในแนวแกน y การหาอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถใช้เมทริกซ์ในการกรองดังรูปที่ 5

-1	0	1
-2	0	2
1	0	1

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

รูปที่ 5 เมทริกซ์ตัวกรองของขั้นตอนวิธีการแคนนี่ (Canny Kernels Mask)

หลังจากที่ได้อัตราการเปลี่ยนแปลงแล้ว จะนำมารวมกันเป็นผลรวมของค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มของเฉดสีดังสมการด้านล่าง

$$|G| = |G_x| + |G_y| \quad (2)$$

ในขั้นตอนต่อไปของกระบวนการนี้ก็คือการคำนวณหาทิศทางของการเปลี่ยนแปลงของเฉดสี โดยการสแกนในทิศทางมุมต่าง ๆ หลังจากนั้นเมื่อพบขอบของวัตถุที่มีขนาดกว้าง ก็จะถูกลดขนาดลงให้เหลือเป็นขอบเส้นเดียวโดยกระบวนการนี้เรียกว่าการขจัดค่าที่ไม่มากที่สุด (Suppression of Non-Maximum Points) ในกรณีนี้หมายถึงจุดใดที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงก็จะถูกลดค่าของเฉดสีลงให้เหลือ 0 และในกระบวนการสุดท้ายของขั้นตอนวิธีการชนิดนี้ก็คือการเลือกเทรชโฮลด์ (Threshold) ให้เหมาะสมสำหรับภาพ ๆ นั้น หลังจากนั้นจะใช้ค่าจำกัดเทรชโฮลด์ ค่านี้ ในการแปลงภาพจากโทนเทา (Gray Scale) ให้เป็นภาพขาวดำ

2.2 ตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบผลทดสอบ

ในงานวิจัยชิ้นนี้จะทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการแต่ละชนิดในการหาขอบของวัตถุในภาพต่าง ๆ โดยทำการเปรียบเทียบกัน จะใช้ตัวชี้วัดอยู่สามประเภท คือ

ดัชนี PR หรือค่าอัตราส่วนของความถูกต้องต่อความผิดพลาดทั้งหมด (Ratio of True to False Edges) [9,12,19] ตัวชี้วัดชนิดนี้ถือว่าเป็นแบบที่ง่ายที่สุด เป็นการพิจารณาอัตราส่วนของความถูกต้องต่ออัตราส่วนของความผิดพลาดทั้งหมด ในการตรวจจับขอบของวัตถุในภาพ เมื่อเทียบกับภาพอ้างอิง (Ground Truth) โดยใช้สูตรในการคำนวณค่า PR ดังนี้

$$PR = 100 \times \frac{T}{F} \quad (3)$$

โดยที่

T คือค่า True Edges (Edge Pixels Identified as Edges)

F คือค่า False Edges (Non Edge Pixel Identified as Edges + Edge Pixels Identified as Non-Edge Pixels)

ดัชนี PSNR หรือตัวชี้วัดที่ใช้ทดสอบความเหมือนระหว่างภาพ (Peak Signal to Noise Ratio) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่ใช้ทดสอบความเหมือนระหว่างภาพที่ได้จากขั้นตอนวิธีการในการหาขอบของวัตถุกับภาพอ้างอิง (Ground Truth) โดย PSNR นี้เป็นตัวบ่งชี้ว่าภาพต้นแบบที่ได้จากขั้นตอนวิธีการในการหาขอบของวัตถุกับภาพอ้างอิงมีความเหมือนกันมากแค่ไหน อัตราส่วนชนิดนี้เป็นที่นิยมในทางวิศวกรรมศาสตร์อย่างมาก เพราะเป็นการวัดความถูกต้องของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน โดยสูตรในการคำนวณคือ

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{\max_i}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (4)$$

$$MSE = \frac{1}{MN \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I(i, j) - K(i, j))^2} \quad (5)$$

เมื่อ MSE (Mean Square Error) คือค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของทั้งรูปภาพที่เทียบกันทั้งสองรูป โดยในสมการนี้จะใช้คำนวณภาพที่มีขนาด $M \times N$ พิกเซล ในทุก ๆ ตำแหน่ง และ $\max_i$ คือค่ามากที่สุดของพิกเซล ซึ่งตัวชี้วัดชนิดนี้เป็นที่นิยมในงานวิจัยเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการหลายชนิด [9, 12, 19]

ดัชนี F - Measure หรือการวัดประสิทธิภาพการทำนายของขั้นตอนวิธีการ ตัวชี้วัดชนิดนี้ ประกอบไปด้วยตัวชี้วัดย่อยอีก 4 ตัว นั่นคือ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความไว (Recall) และค่าวัดประสิทธิภาพ (F - measure) โดยค่าทั้ง 4 ตัวนี้ถ้ายังมีค่ามากก็จะถือว่า ขั้นตอนวิธีการชนิดนั้นสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำ ซึ่งตัวชี้วัดชนิดนี้เป็นที่นิยมในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ เปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการหลายชนิด [19, 20, 21] โดยสูตรในการคำนวณเป็นดังนี้

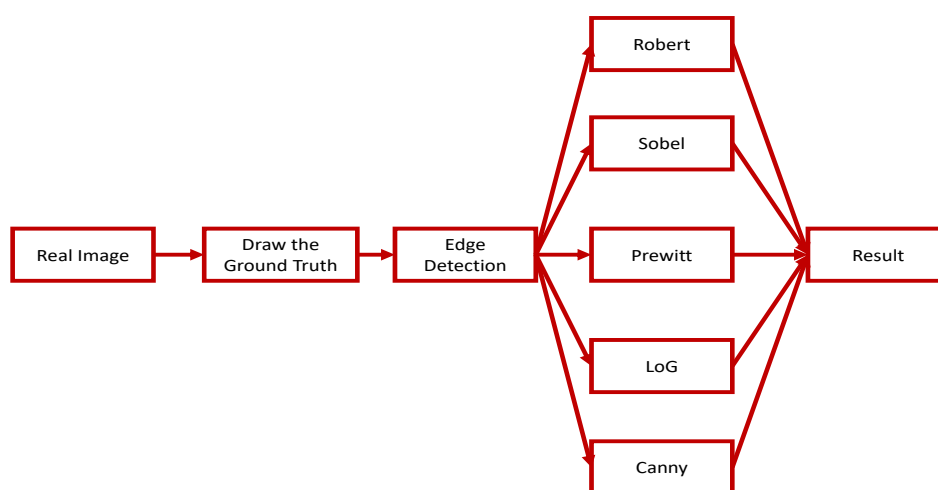
$$Accuracy = \frac{\sum True\ Position + \sum True\ Negative}{\sum Total\ Population} \quad (6)$$

$$Precision = \frac{\sum True\ Position}{\sum Prediction\ Positive} \quad (7)$$

$$Recall / Sensitivity = \frac{\sum True\ Position}{\sum Condition\ Position} \quad (8)$$

$$F - Measure = 2 \times \left(\frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \right) \quad (9)$$

3. วิธีการวิจัย



รูปที่ 6 ลำดับขั้นตอนการทดสอบขั้นตอนวิธีการ

รูปแบบการทดสอบขั้นตอนวิธีการในงานวิจัยชิ้นนี้ จะมีขั้นตอนที่คล้ายกับขั้นตอนของงานวิจัยของ [9, 12] โดยในงานวิจัยชิ้นนี้แบ่งขั้นตอนออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังแผนภาพในรูปที่ 6 ขั้นตอนแรกคือการหาชุดข้อมูลที่จะใช้ในการทดสอบ ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้ชุดข้อมูลจากบริษัทเอกชนผู้พัฒนาและให้บริการเทคโนโลยี

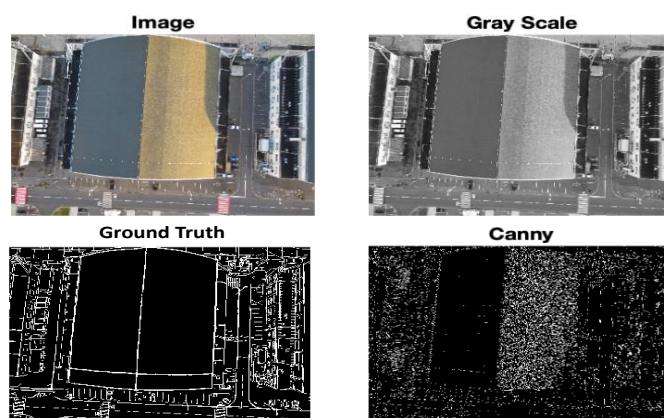
ด้านอากาศยานไร้คนขับ บริษัทเซนส์ฟลาย (SenseFly) (SenseFly, 2021) โดยเป็นภาพถ่ายทางอากาศของ สนามบินเลอบูร์เกต์ (Le Bourget Airport) ในเมืองปารีส ประเทศฝรั่งเศส โดยรูปเหล่านี้ดำเนินการถ่ายด้วย โดรนชนิด eBee Classic จำนวนสองระบบบินพร้อมกัน หลังจากนั้นภาพที่ได้จะถูกนำมาจัดการปรับภาพ ใหม่ด้วยซอฟต์แวร์ Pix4D Software ภาพที่ได้เป็นภาพที่ใกล้เคียงจากระบบตรวจจับจากอากาศยานไร้ คนขับของกองทัพอากาศ

ในขั้นตอนนี้เป็นการดำเนินการเตรียมภาพอ้างอิง (Ground Truth) โดยภาพเหล่านี้ดำเนินการสร้าง มาจากทีมผู้วิจัย โดยการสร้างภาพขาวดำจากการวาดมือและใช้เส้นสีขาวแสดงขอบของวัตถุต่าง ๆ ภายในภาพ เพื่อใช้ในการอ้างอิงและทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการในการหาขอบของวัตถุภายในภาพ ซึ่งผู้วิจัย จะต้องดำเนินการสร้างภาพอ้างอิงขึ้นมาเอง

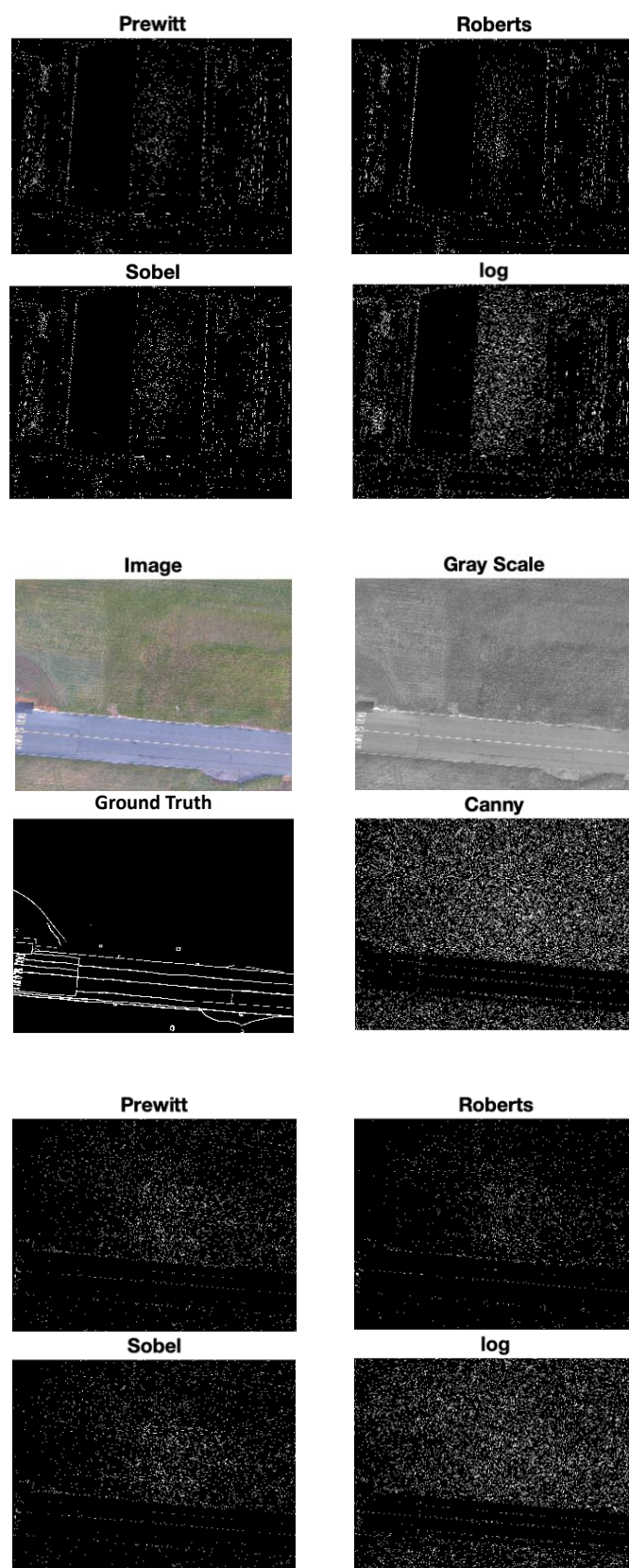
โดยขั้นตอนที่ 3 นั้นเป็นการหาขอบของวัตถุในภาพด้วยขั้นตอนวิธีการทั้งห้าชนิด จากนั้นเมื่อได้ภาพ ผลลัพธ์ออกมาจะนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการแต่ละชนิดด้วยตัวชี้วัดทั้งสามประเภท ที่กล่าวมาแล้ว โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ กระบวนการแปลงภาพ การประยุกต์ขั้นตอนวิธีการแต่ละชนิด การ เปรียบเทียบผล และการแสดงผลทั้งหมด ดำเนินการพัฒนาขึ้นจากการเขียนโปรแกรมใน MATLAB

4. ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย

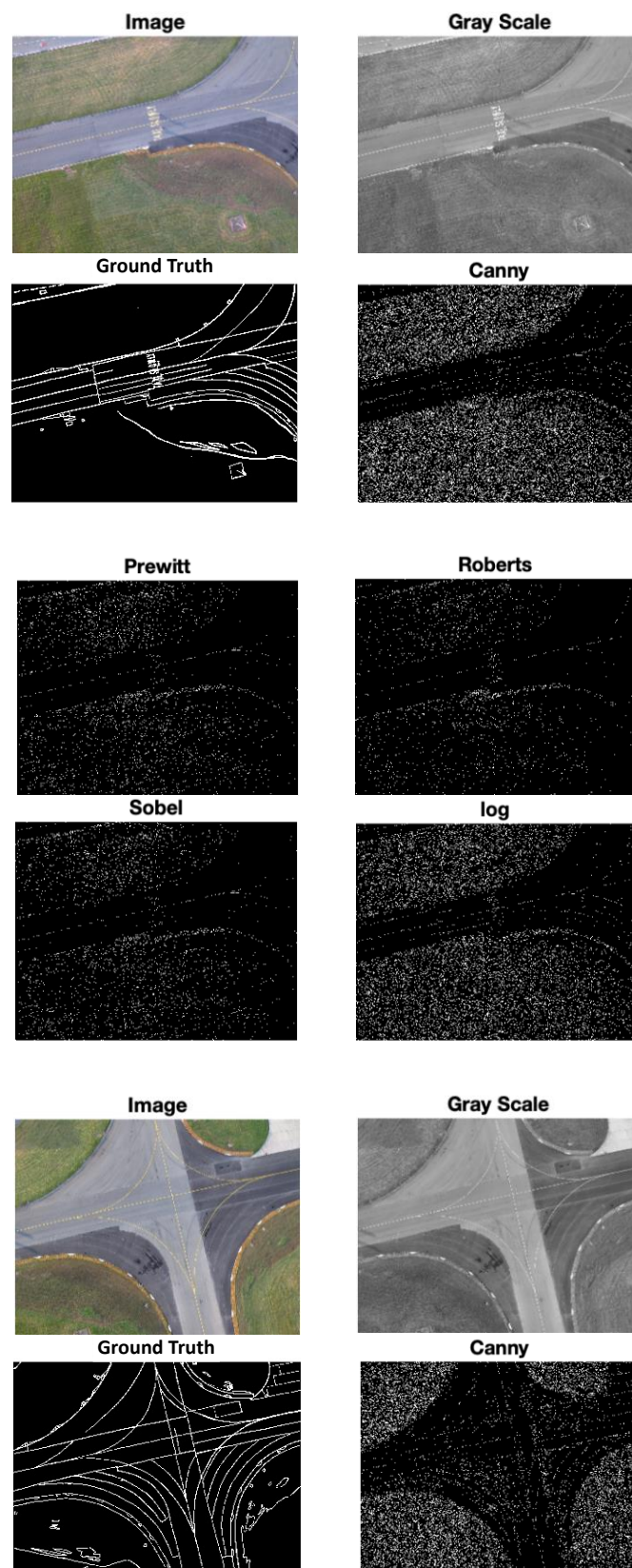
จากการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับที่ดำเนินการถ่ายเหนือสนามบินเลอบูร์เกต์ ใน เมืองปารีส ประเทศฝรั่งเศส จำนวน 30 ภาพ โดยภาพที่ได้มาจะนำมาดำเนินการแปลงเป็นภาพโทนเทา (Gray Scale) จากการเขียนโปรแกรมใน MATLAB ซึ่งแปลงภาพระบบสี RGB จำนวน 3 ชั้น ให้เหลือเพียง ความเข้มข้นของจุดสีแต่ละจุด หลังจากนั้นจะใช้ขั้นตอนวิธีการในการหาขอบของวัตถุในภาพทั้ง 5 ชนิด มาทดสอบหาขอบของวัตถุ เมื่อได้ขอบของวัตถุจากขั้นตอนวิธีการต่าง ๆ แล้ว จะทำการเปรียบเทียบ ความถูกต้องกับภาพอ้างอิง (Ground Truth) โดยผลลัพธ์ที่ได้จะนำมาพิจารณาโดยใช้ตัวชี้วัดทั้ง 3 ที่กล่าว มาแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้



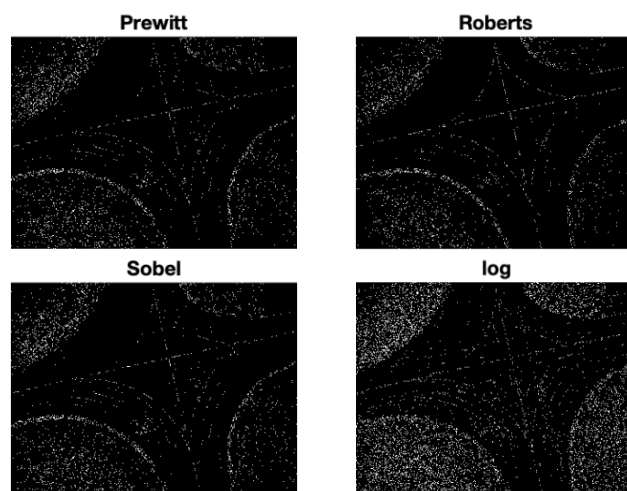
รูปที่ 7 ตัวอย่างของภาพเปรียบเทียบผลของภาพจริง, ภาพอ้างอิงและภาพขอบของวัตถุที่ได้จากขั้นตอน วิธีการแบบต่าง ๆ



รูปที่ 7 ตัวอย่างของภาพเปรียบเทียบผลของภาพจริง, ภาพอ้างอิงและภาพขอบของวัตถุที่ได้จากขั้นตอนวิธีการแบบต่าง ๆ (ต่อ)

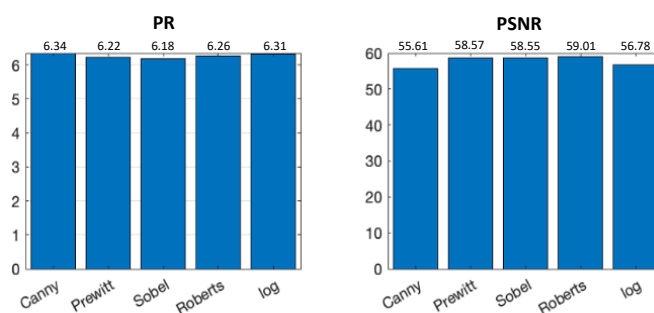


รูปที่ 7 ตัวอย่างของภาพเปรียบเทียบผลของภาพจริง, ภาพอ้างอิงและภาพขอบของวัตถุที่ได้จากขั้นตอนวิธีการแบบต่าง ๆ (ต่อ)



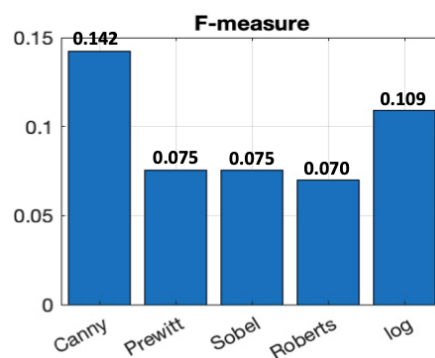
รูปที่ 7 ตัวอย่างของภาพเปรียบเทียบผลของภาพจริง, ภาพอ้างอิงและภาพขอบของวัตถุที่ได้จากขั้นตอนวิธีการแบบต่าง ๆ (ต่อ)

ในรูปที่ 7 ตัวอย่างของภาพเปรียบเทียบผลของภาพจริง, ภาพอ้างอิง และภาพขอบของวัตถุที่ได้จากขั้นตอนวิธีการแบบต่าง ๆ โดยในตัวอย่างนี้เป็นภาพถ่ายจำนวน 4 ชุดภาพ ซึ่งเป็นของอาคารบริเวณสนามบิน 1 ชุดภาพและภาพถ่ายลู่วิ่งในสนามบินอีกจำนวน 3 ชุดภาพ โดยในแต่ละชุดภาพนั้นประกอบไปด้วยภาพจริงแสดงเป็นภาพแรก ภาพที่ 2 เป็นภาพที่ได้ผ่านกระบวนการเปลี่ยนจากระบบสี RGB เป็นระบบสีโทนสีเทา (Gray Scale) เพื่อให้เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้กับขั้นตอนวิธีการในการหาขอบของวัตถุในภาพต่อไป โดยภาพที่ 3 จะเป็นภาพอ้างอิงที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของการหาขอบของวัตถุภายในภาพ ส่วนภาพที่ 4 - 8 เป็นภาพที่ได้จากขั้นตอนวิธีการในการหาขอบของวัตถุในภาพจากขั้นตอนวิธีการทั้ง 5 ชนิด จากผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่าภาพที่ได้จากขั้นตอนวิธีการชนิดแคนนี่และลาปลาเซียนแท่งเกาส์เซียนจะเป็นภาพที่มีรายละเอียดของจำนวนจุดที่แสดงขอบอยู่เป็นจำนวนมากและมากกว่าขั้นตอนวิธีการที่เหลืออีก 3 ชนิด ทำให้มีการเก็บรายละเอียดได้เยอะมากกว่าขั้นตอนวิธีการที่เหลือ ซึ่งเมื่อได้รายละเอียดเป็นจำนวนมาก ก็จะต้องมีสัญญาณรบกวนมากตามมาเช่นกัน



รูปที่ 8 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพขั้นตอนวิธีการทั้ง 5 ด้วยตัวชี้วัด ดัชนี PR หรือค่าอัตราส่วนของความถูกต้องต่อความผิดพลาดทั้งหมด (Ratio of True to False Edges) และ ดัชนี PSNR หรือตัวชี้วัดที่ใช้ทดสอบความเหมือนระหว่างภาพ (Peak Signal to Noise Ratio)

ในรูปที่ 8 เป็นผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยใช้อัตราส่วนในการตรวจหาขอบวัตถุถูกต้องต่ออัตราส่วนของการตรวจสอบขอบวัตถุผิด (PR: Ratio of True to False Edges) โดยเป็นค่าเฉลี่ยของทุก ๆ ภาพที่นำมาทดสอบ โดยจากผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่าค่า PR ของขั้นตอนวิธีการทั้ง 5 ชนิดนั้นมีความใกล้เคียงกัน เพราะแม้ว่าขั้นตอนวิธีการชนิดนี้และลาปลาเซียนแห่งเกาส์เซียนจะสามารถค้นหาขอบของวัตถุได้มากกว่าแต่ก็มีจุดที่เป็นจุดผิดเยอะมากขึ้นทำให้อัตราส่วนที่ได้ใกล้เคียงกัน ส่วนเมื่อเปรียบเทียบตัวชี้วัดทดสอบความเหมือนระหว่างภาพ (PSNR: Peak Signal to Noise Ratio) โดยในกรณีนี้ผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีการทั้ง 5 ชนิด ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันอีกครั้ง โดยมีผลอยู่ในระดับ 50 - 60 dB ทั้งหมด ซึ่งค่า PSNR ในระดับนี้ถือว่าขั้นตอนวิธีการทั้ง 5 ชนิด มีขีดความสามารถเพียงพอในการวิเคราะห์ขอบของวัตถุในภาพถ่ายของอากาศได้โดยเพียงพอในการเก็บรายละเอียดข้อมูลภาพได้และสร้างเป็นภาพของขอบวัตถุได้



รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพขั้นตอนวิธีการทั้ง 5 ด้วยตัวชี้วัด F - Measure

รูปที่ 9 ผลของแสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการทั้ง 5 ชนิด จากตัวอย่างกลุ่มตัวอย่างภาพถ่ายที่มาจากอากาศยานไร้คนขับ ด้วยตัวชี้วัดแบบ F - measure ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สรุปรวมผลของประสิทธิภาพทั้งหมด พบว่าอัตราส่วนค่าความถูกต้องของขั้นตอนวิธีการทั้ง 5 นั้น อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน แต่ค่าความแม่นยำ ค่าความไว และค่าวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการนั้น พบว่าขั้นตอนวิธีการแคนนี่สามารถหาขอบของวัตถุจากภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับได้ดีที่สุด ตามมาด้วยขั้นตอนวิธีการลาปลาเซียนแห่งเกาส์เซียนเป็นอันดับที่สอง ส่วนขั้นตอนวิธีการโรเบิร์ต ขั้นตอนวิธีการโซเบล และขั้นตอนวิธีการพรีวิตต์ มีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ขั้นตอนวิธีการโรเบิร์ตนั้นมีความง่ายและรวดเร็วที่สุด

5. อภิปรายและสรุป

ในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการในการหาขอบของวัตถุในภาพ โดยชุดข้อมูลที่ใช้้นั้นมาจากภาพถ่ายทางอากาศจากของบริษัทเซนส์ฟาย โดยถ่ายบริเวณสนามบินเลอบูร์เกต์ ในเมืองปารีส ประเทศฝรั่งเศส จากนั้นภาพจริงจากชุดข้อมูลทั้งสองชุดจะถูกแปลงเป็นภาพโทนสีเทาเพื่อลดมิติ

ของตัวแปรสี่ให้เหลือมิติเดียว เพื่อให้เหมาะกับการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการในการหาขอบของวัตถุภายในภาพ ซึ่งขั้นตอนวิธีการแต่ละชนิดจะใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของเฉดสีเทาที่เปลี่ยนแปลงไปแต่ละจุด และพยายามแยกหาว่าส่วนใดมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นขอบของวัตถุภายในภาพ โดยขั้นตอนวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ มี 5 ชนิดคือ ขั้นตอนวิธีการโรเบิร์ต, โซเบล, พรวิตต์, ลาปลาเซียนแห่งเกาส์เซียน และ แคนนี่

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าขั้นตอนวิธีการชนิด ลาปลาเซียนแห่งเกาส์เซียนและแคนนี่ สามารถหาขอบของวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าขั้นตอนวิธีการชนิดอื่นเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีค่าวัดประสิทธิภาพ (F - measure) แต่อย่างไรก็ตามถ้าวัดด้วยตัวชี้วัดค่า PR หรือค่าอัตราส่วนของความถูกต้องต่อความผิดพลาดทั้งหมดและ PSNR หรือตัวชี้วัดที่ใช้ทดสอบความเหมือนระหว่างภาพ จะได้ผลที่ใกล้เคียงกับขั้นตอนวิธีการชนิดอื่น เพราะถึงแม้จะสามารถตรวจจับขอบของวัตถุได้ในปริมาณที่มาก แต่ขั้นตอนวิธีการชนิดลาปลาเซียนแห่งเกาส์เซียนและแคนนี่ใช้สมการเชิงอนุพันธ์อันดับสองเป็นหลัก ทำให้มีสัญญาณรบกวนค่อนข้างมากและมีเส้นขอบวัตถุเทียมที่ไม่ต้องการเป็นจำนวนมากในรูปผลลัพธ์

อีกหนึ่งข้อสังเกตคือ ขั้นตอนวิธีการโรเบิร์ตที่ถือว่าเป็นขั้นตอนวิธีการที่ง่ายที่สุดและสามารถดำเนินการคำนวณได้เร็วที่สุด โดยใช้เมทริกซ์ในการกรองเป็น 2 เมทริกซ์ ขนาด 2×2 สามารถให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับขั้นตอนวิธีการโซเบลและพรวิตต์

ดังนั้นในการนำไปใช้จริงในแต่ละภารกิจ ผู้ดำเนินการจะต้องกำหนดเป้าหมายในการตรวจจับว่าต้องการตรวจหาสิ่งใด ต้องการความละเอียดมากน้อยเพียงใด และต้องการความเร็วมากเพียงใด เพื่อเลือกขั้นตอนวิธีการให้เหมาะสมสำหรับแต่ละภารกิจ และแนวทางในการพัฒนาต่อยอดงานวิจัย คือการวิจัยในการเตรียมภาพและลดสัญญาณการรบกวนหรือกำหนดเป้าหมายที่ต้องการตรวจจับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับให้ดียิ่งขึ้นของแต่ละขั้นตอนวิธีการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองทัพอากาศ. นโยบายผู้บัญชาการกองทัพอากาศ ปี ๒๕๖๕. [กรุงเทพฯ]: กองทัพอากาศ; 2565.
- [2] Tsouros DC, Bibi S, Sarigiannidis PG. A review on UAV-based applications for precision agriculture. Information [Internet]. 2019 Nov [cited 2022 Jan 19];10(11):349. Available from: <https://www.mdpi.com/2078-2489/10/11/349>
- [3] Ma'Sum MA, Arrofi MK, Jati G, Arifin F, Kurniawan MN, Mursanto P, et al. Simulation of intelligent unmanned aerial vehicle (uav) for military surveillance. International conference on advanced computer science and information systems [Internet]. 2013 [cited 2022 Jan 21]:161-6. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6761569/authors#authors>
- [4] Park S, Choi Y. Applications of unmanned aerial vehicles in mining from exploration to reclamation: A review. Minerals [Internet]. 2020 Jul 26 [cited 2022 Jan 25];10(8):663. Available from: <https://www.mdpi.com/2075-163X/10/8/663>

- [5] Maini R, Aggarwal H. Study and comparison of various image edge detection techniques. International Journal of Image Processing [Internet]. 2009 Mar 5 [cited 2022 Jan 26];3(1):1-11. Available from: <https://www.cscjournals.org/manuscript/Journals/IJIP/Volume3/Issue1/IJIP-15.pdf>
- [6] Dharampal, Mutneja V. Methods of image edge detection: A review. J Electr Electron Syst [Internet]. 2015 [cited 2022 Jan 27];4(2) :[about 5 p.]. Available from: <https://www.hilarispublisher.com/open-access/methods-of-image-edge-detection-a-review-2332-0796-1000136.pdf>
- [7] Öztürk S, Akdemir B. Comparison of edge detection algorithms for texture analysis on glass production. Procedia Soc Behav Sci [Internet]. 2015 Jul 3 [cited 2022 Jan 29];195:2675-82. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815039567>
- [8] Chen L, Liu F, Zhao Y, Wang W, Yuan X, Zhu J. VALID: A comprehensive virtual aerial image dataset. In: 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA); 2020 May 31-Aug 31; Paris: IEEE; 2020. p. 2009-16.
- [9] Acharjya PP, Das R, Ghoshal D. Study and comparison of different edge detectors for image segmentation. Global Journal of Computer Science and Technology [Internet]. 2012 Oct 22 [cited 2022 Jan 29]. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Study-and-Comparison-of-Different-Edge-Detectors-Acharjya-Das/7177318f5f90c9addd76249a359c2e46a206e647?sort=is-influential>
- [10] Joshi M, Vyas A. Comparison of Canny edge detector with Sobel and Prewitt edge detector using different image formats. Int J Eng Sci Res Technol [Internet]. 2020 [cited 2022 Feb 1]; 1:133-7. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Comparison-of-Canny-edge-detector-with-Sobel-and-Joshi-Vyas/3eef57d7bb45742c0cd491f7582107e76b3a9147>
- [11] Katiyar SK, Arun PV. Comparative analysis of common edge detection techniques in context of object extraction. ArXiv [Internet]. 2014 Feb 5 [cited 2022 Feb 2];50(1) :68-79. Available from: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1405/1405.6132.pdf>
- [12] Khaire PA, Thakur NV. A fuzzy set approach for edge detection. International Journal of Image Processing [Internet]. 2012 Oct [cited 2022 Feb 6];5(4):403-12. Available from: <https://scirp.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1308338>

- [13] Mohammad ES, JawadKadhim M, Hamad WI, Helyel SY, Alrsaak AAA, Kazraji FKS, et al. Study Sobel edge detection effect on the ImageEdges using MATLAB. *Int J Innov Res Sci Eng Technol* [Internet]. 2014 Mar [cited 2022 Feb 10];3(3):10408-15. Available from: http://www.ijirset.com/upload/2014/march/68_Study.pdf
- [14] Roberts LG. *Machine Perception of Three-Dimensional*. [dissertation Doctor of Philosophy]. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology; 1963.
- [15] Sobel I. *Camera Models and Perception*. [thesis Ph.D.]. California: Stanford University; 1970.
- [16] Prewitt JMS. Object Enhancement and Extraction. *Picture Processing and Psychopictorics*. 1970 Jan:75-149.
- [17] Maini R, Aggarwal H. Study and comparison of various image edge detection techniques. *International Journal of Image Processing* [Internet]. 2009 Mar 5 [cited 2022 Jan 26];3(1):1-11. Available from: <https://www.cscjournals.org/manuscript/Journals/IJIP/Volume3/Issue1/IJIP-15.pdf>
- [18] Canny J. A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* [Internet]. 1986 Nov [cited 2022 Feb 15];8(6) :679-98. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4767851/authors#authors>
- [19] Lu S, Su S, Tan CL. Document image binarization using background estimation and stroke edges. *Int J Doc Anal Recognit* [Internet]. 2010 Dec [cited 2022 Feb 18];13(4):303-14. Available from: https://www.researchgate.net/publication/220163435_Document_image_binarization_using_background_estimation_and_stroke_edges
- [20] Lu S, Chen T, Tian S, Lim JH, Tan CL. Scene text extraction based on edges and support vector regression. *Int J Doc Anal Recognit* [Internet]. 2015 Jun [cited 2022 Feb 25];18(2):125-35. Available from: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/s10032-015-0237-z>
- [21] Lu T, Ming D, Lin X, Hong Z, Bai X, Fang J. Detecting building edges from high spatial resolution remote sensing imagery using richer convolution features network. *Remote Sens* [Internet]. 2018 Sep 19 [cited 2022 Mar 1];10(9):1496. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/9/1496>

การหึงความลึกน้ำทะเลจากการรับรู้ระยะไกลในอ่าวไทยด้วยภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8

Remote Sensing - Derived Oceanic Bathymetry in the Gulf of Thailand

Using Landsat 8 Imageries

ชนัตพงษ์ เสื่องงามเอี่ยม¹ และ ศิริวิไล ทีระโรจนารัตน์²

Chanattapong Suerngamaiem¹ and Sirivilai Teerarojanarat²

Received : May 4, 2022

Revised : May 29, 2022

Accepted : June 1, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ทำการวิเคราะห์หาค่าความลึกน้ำทะเลในอ่าวไทย จำนวน 3 พื้นที่ อ้างอิงขอบเขตตามแผนที่เดินเรือ ได้แก่ พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา) พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก) และพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก (อ่าวชุมพร) ด้วยเทคนิคการสร้างแผนที่ความลึกน้ำทะเลด้วยวิธี Satellite Derived Bathymetry (SDB) ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log - Band Ratio Method) เพื่อให้ได้ความลึกน้ำทะเลที่มีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับฐานข้อมูลแผนที่เดินเรือจากการสำรวจด้วยวิธีการหยั่งน้ำด้วยเสียงแบบลำคลื่นเดี่ยว ผลวิจัยพบว่าค่าความลึกน้ำทะเลจากวิธีการ SDB ช่วงความลึก 0 – 15 เมตร ในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก และพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.8621, 0.9130 และ 0.9304 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความลึกน้ำทะเลจากวิธีการ SDB กับความลึกน้ำสำรวจมีความสอดคล้องกันสูง โดยเฉพาะพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก ดังนั้นวิธีการ SDB จึงสามารถใช้เป็นวิธีการทางเลือกในการสนับสนุนการสำรวจแผนที่อุทกศาสตร์ในพื้นที่ความลึกน้ำไม่เกิน 15 เมตร ที่มีข้อมูลอุทกศาสตร์อยู่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลยได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การหึงความลึก, การหยั่งน้ำด้วยภาพถ่ายดาวเทียม, การรับรู้ระยะไกล, แลนด์แซท 8

¹ประจำกองเรือยุทธการ

Attached to Royal Thai Fleet

E-mail: chanattapong_s@hotmail.com

²รองศาสตราจารย์ หน่วยปฏิบัติการวิจัยภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Associate Professor, Geography and Geoinformation Research Unit Department of Geography, Faculty of Arts, Chulalongkorn University

E-mail: sirivilai.t@chula.ac.th

Abstract

The objective of this research is to apply Landsat 8 satellite imagery for analyzing the depth in the Gulf of Thailand in three study areas boundaries based on nautical charts. The first study area is the inner Gulf of Thailand (Entrance to Mae Nam Chao Phraya), the second study area is Eastern Gulf of Thailand (Koh Saba to Koh Chik Nok), and the third study area is Western Gulf of Thailand (Ao Chumphon). The depth accuracy from the integration of nautical chart techniques, Satellite Derived Bathymetry (SDB) and Log-Band Ratio Method is higher than single-beam echo sounding. About the depth between 0-15 meters in the study areas, the results indicate the Coefficient of determination (R^2) in the Inner Gulf of Thailand, Eastern Gulf of Thailand, and Western Gulf of Thailand as 0.8621, 0.9130 and 0.9304 respectively. Depth from the SDB charts precisely consistent with depth from nautical chart can be concluded that depth derived from the SDB is suitable especially the area in the western Gulf of Thailand. The result of the study confirms that the SDB method and Log-Band Ratio Method can be alternative methods to support hydrographic bathymetry surveys in areas where depth is less than 15 meters or where, hydrographic bathymetry data is unavailable.

Key words: Bathymetry, Satellite Derived Bathymetry (SDB), Remote Sensing, LANDSAT 8

1. บทนำ

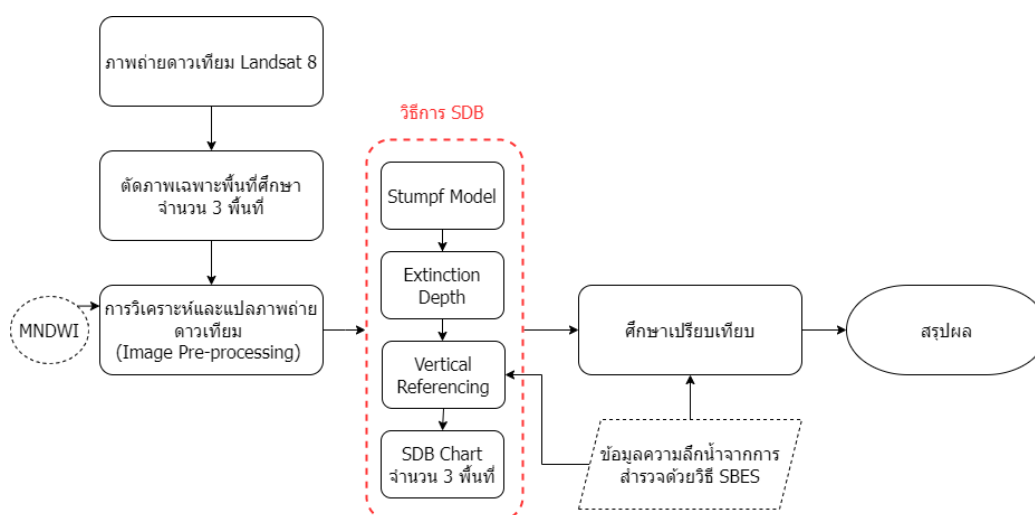
ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมาประเทศไทยให้ความสำคัญกับการใช้ทะเลเพื่อการแสวงหาทรัพยากร ในทะเล การคมนาคมขนส่งและการพาณิชย์ การท่องเที่ยว และการสร้างความมั่นคงของประเทศ ตลอดจนถึงการปกป้องผลประโยชน์แห่งชาติทางทะเลเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในด้านความปลอดภัยในการเดินเรือ เพื่อให้ นักเดินเรือสามารถเดินเรือได้อย่างปลอดภัย จึงจำเป็นต้องมีแผนที่เดินเรือที่มีประสิทธิภาพและถูกต้อง ในปัจจุบันการสำรวจและสร้างแผนที่เดินเรือของประเทศไทยรับผิดชอบโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ใช้เทคโนโลยีการสำรวจความลึกน้ำด้วยระบบเสียงสะท้อน จำนวน 2 ระบบเป็นหลัก ได้แก่ ระบบหยั่งน้ำแบบ ลำคลื่นเดี่ยว (Single - Beam Echo Sounder System: SBES) ระบบหยั่งน้ำแบบหลายลำคลื่น (Multi - Beam Echo Sounder System: MBES) โดยใช้เรือเป็นพาหนะในการสำรวจ ทำให้เกิดข้อจำกัดด้านทรัพยากรที่ใช้ในการสำรวจและด้านบุคลากร ส่งผลให้ไม่สามารถสำรวจปรับปรุงแผนที่ทะเลให้มีความทันสมัยและครอบคลุมทั่วประเทศ ซึ่งกรมอุทกศาสตร์จะพิจารณาว่าพื้นที่ใดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของภูมิประเทศรวดเร็ว และมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการสำรวจก่อนมาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดระยะเวลาในการปรับปรุงแผนที่ จึงมีความจำเป็นในการหาเครื่องมือหรือวิธีการในการหาความลึกน้ำทะเลที่ให้ค่า

ความถูกต้องของความลึก ใช้งบประมาณต่ำ และรวดเร็วในการดำเนินการสำรวจ โดยเฉพาะในพื้นที่น้ำตื้น หรือพื้นที่ใกล้ฝั่งซึ่งเป็นพื้นที่วิกฤตต่อการเดินเรือ

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing: RS) มาประยุกต์ใช้เพื่อหยั่งความลึกน้ำทะเลโดยเฉพาะในพื้นที่ใกล้ฝั่งที่มีลักษณะตื้น ได้แก่ 1) วิธีการสำรวจแบบ Light Detection and Ranging หรือ LIDAR ซึ่งสามารถให้ค่าความลึกน้ำทะเล และลักษณะภูมิประเทศได้อย่างแม่นยำ ประหยัดเวลา แต่ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของงบประมาณที่ใช้ในการดำเนินการที่ค่อนข้างสูง และ 2) วิธีการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการหยั่งความลึกน้ำทะเล (Satellite Derived Bathymetry: SDB) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้แบบจำลองวิเคราะห์การทะลุผ่านของช่วงแสงที่มองเห็นได้ในน้ำ [1], [2] ทำให้มีข้อได้เปรียบในเรื่องของการใช้งบประมาณต่ำ เนื่องจากใช้เพียงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งภาพถ่ายดาวเทียมในปัจจุบันมีทั้งแบบที่เผยแพร่แบบไม่มีค่าใช้จ่ายและมีค่าใช้จ่าย และผลลัพธ์ที่ได้ให้ค่าความถูกต้องตามมาตรฐาน และมีความรวดเร็วในการดำเนินการ วิธีการ SDB จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการสำรวจแผนที่ในขั้นตอนการวางแผนสำรวจทะเล ช่วยในการหาสิ่งอันตรายใต้น้ำ โดยเฉพาะพื้นที่สำรวจด้วย Single Beam Echo Sounder ที่มีระยะห่างระหว่างแนวสำรวจมาก ในต่างประเทศได้มีงานวิจัยหลายฉบับที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้วิธีการ SDB ร่วมกับแบบจำลองต่างๆ เช่น Randazzo [3] ได้ใช้วิธีการ SDB ในการวิเคราะห์การกัดเซาะชายฝั่งซานวิโต โลคาโป ประเทศอิตาลี โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม GeoEye - 1 และ Duplancić Leder [4] ทำการศึกษาวิธีการ SDB ในพื้นที่ชายฝั่งและบริเวณที่ตื้นของอ่าวฮรามิน่า บนเกาะเมอร์เทอ ซึ่งตั้งอยู่ตอนกลางของทะเลเอเดรียติก ประเทศโครเอเชีย โดยเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และ Sentinel 2 ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log - Band Ratio Method) [5] โดยผลลัพธ์จากตัวอย่างให้ผลการศึกษาที่ระบุได้ว่าวิธีการ SDB สามารถให้ค่าการหยั่งความลึกน้ำทะเลบริเวณแนวชายฝั่ง หรือที่ตื้นได้อย่างแม่นยำ และได้รับการยอมรับในช่วงหลายปีที่ผ่านมา [1], [2], [5] ถึงแม้ว่าวิธีการ SDB จะให้ผลลัพธ์แผนที่ความลึกน้ำที่มีความละเอียดต่ำเมื่อเทียบกับการหยั่งน้ำแบบ MBES ซึ่งครอบคลุมเต็มพื้นที่ที่ความละเอียดสูงสุดถึง 0.5 เมตร [6] แต่เมื่อเทียบกับการสำรวจด้วยวิธีดึง (Lead - Lines) หรือวิธีการหยั่งน้ำแบบ SBES พบว่าวิธีการ SDB สามารถเติมเต็มช่องว่างของพื้นที่สำรวจด้วยวิธี Lead - Lines และ SBES ได้เป็นอย่างดี

ในประเทศไทยการสำรวจแผนที่ทะเลด้วยการหยั่งความลึกน้ำทะเลโดยการใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลด้วยวิธีการ SDB นับว่าเป็นวิธีการที่ใหม่ และไม่เคยมีการศึกษากับพื้นที่ทะเลของประเทศไทยมาก่อน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแผนที่ความลึกน้ำทะเลในอ่าวไทย 3 พื้นที่ ได้แก่ อ่าวไทยรูปตัว ก (ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา) อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (เกาะสบบ้า ถึง เกาะจินนอก) และอ่าวไทยฝั่งตะวันตก (อ่าวชุมพร) จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ด้วยวิธีการ Satellite Derived Bathymetry (SDB) ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น [5] และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละพื้นที่กับฐานข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน

2. ข้อมูลและวิธีการดำเนินงาน



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

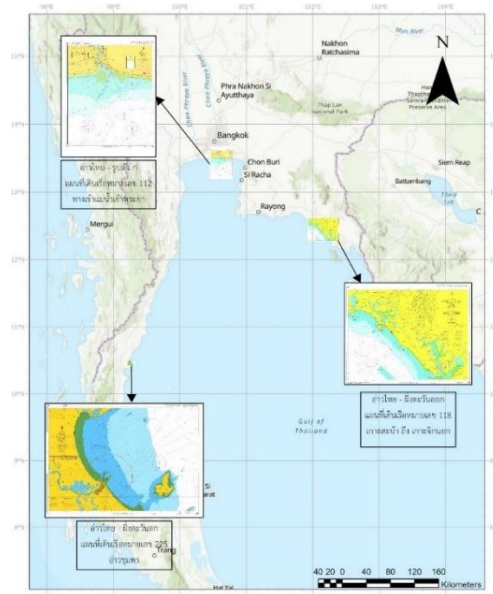
2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา คือ บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทย 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก และพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก ดังแสดงในรูปที่ 1 ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันทั้งในด้านสมุทรศาสตร์และกายภาพ ในการกำหนดพื้นที่ศึกษาวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการเลือกพื้นที่ที่ตั้งอยู่ใกล้เคียงบริเวณตอนกลางของพื้นที่ทะเลในแต่ละฝั่ง อ้างอิงจากแผนที่เดินเรือของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ โดยเน้นศึกษาเฉพาะช่วงความลึกน้ำไม่เกิน 15 เมตร มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา) ได้แก่ แผนที่เดินเรือหมายเลข 112 ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา มีลักษณะเป็นดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยมีค่าความโปร่งแสงบริเวณปากทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยาอยู่ที่ 0.5 เมตร ที่ความลึก 2.4 – 3.1 เมตร [7]

2.1.2 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก ได้แก่ แผนที่เดินเรือหมายเลข 118 เกาะสละบ้ำ ถึง เกาะจิกนอก จว.จันทบุรี มีลักษณะเป็นที่ราบฝั่งทะเล พื้นที่ชายฝั่งส่วนใหญ่เป็นหาดทรายปนโคลน และมีป่าชายเลนขึ้นอยู่หนาแน่น โดยมีค่าความโปร่งแสงบริเวณใกล้ฝั่ง (ปากแม่น้ำแฉมหนู และปากแม่น้ำ) ที่ความลึก 1.9 เมตร มีค่าความโปร่งแสง 1 เมตร และบริเวณห่างฝั่งประมาณ 3 กิโลเมตร ที่ระดับความลึก 12.5 เมตร มีค่าความโปร่งแสง 6 เมตร [7]

2.1.3 พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก ได้แก่ แผนที่เดินเรือหมายเลข 225 อ่าวชุมพร จว.ชุมพร มีลักษณะเป็นที่ราบตามแนวชายฝั่งทะเลของอ่าวไทย ลักษณะชายหาดค่อนข้างเรียบมีความโค้งเว้าน้อย และเป็นป่าชายเลนมีค่าความโปร่งแสง 1.6 เมตร และบริเวณห่างฝั่งประมาณ 3 กิโลเมตร ที่ระดับความลึก 8.0 เมตร มีค่าความโปร่งแสง 3.3 เมตร [7]



รูปที่ 2 ภาพรวมพื้นที่ศึกษา จำนวน 3 พื้นที่

2.2 การหึงความลึกด้วยภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite Derived Bathymetry: SDB)

วิธีการ SDB เป็นวิธีการหึงความลึกน้ำทะเลในพื้นที่น้ำตื้นหรือบริเวณชายฝั่ง โดยใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลในด้านภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับการใช้แบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของช่วงคลื่นสีเขียวและสีน้ำเงิน วิธีการนี้สามารถใช้งานได้ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ลงทุนด้านเวลาและทรัพยากรที่ค่อนข้างต่ำ ถึงแม้ว่าข้อมูลที่ได้จะมีความแม่นยำและความละเอียดไม่เท่าการสำรวจแบบการหึงความลึกด้วยเสียงสะท้อน หรือ LIDAR แต่ก็สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนการสำรวจแบบ Bathymetric เพื่อเติมเต็มช่องว่างข้อมูลให้ครอบคลุมพื้นที่การสำรวจที่มีอยู่ และในบางสถานการณ์วิธีการ SDB เป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าวิธีการแบบเดิมในการสำรวจสภาพแวดล้อมชายฝั่ง เช่น ในบริเวณน้ำตื้นหรือบริเวณที่มีหิน ป่าชายเลน ซึ่งเป็นอุปสรรคในการนำเรือหึงน้ำ

แบบจำลองที่นิยมใช้กับวิธีการ SDB ได้แก่ แบบจำลอง Lyzenga (Linear Band Model) ของ Lyzenga [1] และแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log - Band Ratio Model, Stumpf Model) ของ Stumpf และคณะ [5] โดยแบบจำลองทั้งสองได้ถูกนำมาอธิบายเปรียบเทียบในการนำมาใช้หึงความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB ผ่านงานวิจัย เช่น งานวิจัยของ Stumpf และคณะ [8] ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้แบบจำลอง Lyzenga และแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น ในการหาความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB บริเวณเกาะ Northwest Hawaiian ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS และ LIDAR ซึ่งผลลัพธ์ของแบบจำลองทั้งสองสามารถถึงข้อมูลความลึกของน้ำที่ระดับความลึกน้อยกว่า 10 - 15 เมตร แต่แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่นจะให้ผลลัพธ์ของข้อมูลที่ดีกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pennucci และคณะ [9] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่นสามารถนำมาใช้หาความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบจำลอง Lyzenga

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าวิธีการ SDB ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการหึงความลึกน้ำทะเลในพื้นที่ทะเลชายฝั่งต่างๆ เช่น Jagalingam และคณะ [10] Kimeli และคณะ [11] Kelvin Kang Wee Tang และคณะ [12] และ Randazzo และคณะ [13] โดยทุกงานวิจัยสามารถหึงค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ได้อย่างแม่นยำ แม้มีพื้นที่ศึกษาที่แตกต่างกัน ดังนั้น วิธีการ SDB ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น จึงเป็นวิธีการที่สามารถนำมาใช้งานได้กับพื้นที่น้ำตื้นหรือบริเวณชายฝั่งในแต่ละภูมิภาคต่างๆ ได้

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้นำวิธีการ SDB มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ทะเลอ่าวไทย โดยเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ซึ่งเป็นข้อมูลที่เข้าถึงได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย อ้างอิงกับมูลฐานทางราบ WGS84 และมีข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมต่อเนื่องย้อนหลัง ร่วมกับแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น [5] ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ให้ค่าความถูกต้องของข้อมูลได้เป็นอย่างดี โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบพื้นที่ทะเลอ่าวไทยจำนวน 3 พื้นที่ ซึ่งมีลักษณะทางสมุทรศาสตร์ที่แตกต่างกันว่าพื้นที่ใดให้ค่าความถูกต้องของผลลัพธ์มากที่สุด โดยอ้างอิงกับค่าข้อมูลความลึกน้ำสำรวจ

2.3 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในกระบวนการวิเคราะห์หึงค่าความลึกน้ำทะเล เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 อ้างอิงกับมูลฐานทางราบ WGS84 ซึ่งตรงกับแผนที่เดินเรือ และมีข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมต่อเนื่องย้อนหลัง มีช่วงเวลาสอดคล้องกับแผนที่เดินเรือเดิมที่นำมาใช้ในการอ้างอิง การเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 จะทำให้ได้ข้อมูลที่ย้อนหลังต่อเนื่องได้ อีกทั้งยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการดาวเทียม Landsat ในอนาคตต่อไปได้ โดยภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 เป็นข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา ประกอบด้วยระบบบันทึกภาพ 2 ชนิด คือ Operation Land Image (OLI) และ The Thermal Infrared Sensor (TIRS) จำนวน 11 ช่วงคลื่น ให้รายละเอียดจุดภาพช่วงคลื่น Visible, NIR, SWIR 30 เมตร ช่วงคลื่น Thermal 100 เมตร และ Panchromatic 15 เมตร [15] สามารถทำการดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov/> ของ USGS

งานวิจัยนี้จึงเป็นการนำข้อมูลภาพช่วงคลื่น Band 2 (BLUE), Band 3 (GREEN) และ Band 6 (SWIR) [2] มาผ่านกระบวนการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง เพื่อให้ได้มาซึ่งความลึกน้ำทะเล โดยทำการเลือกภาพที่มีความชัดเจน ไม่มีเมฆปกคลุม ทะเลเรียบ และเลือกช่วงเวลาที่ไม่ใกล้เคียงกับเวลาที่ดำเนินการสำรวจแผนที่เดินเรือที่จัดทำโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ โดยมีรายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่เลือกใช้ตามแต่ละพื้นที่ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8

พื้นที่	ช่วงเวลาที่ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8	Path/Row
ปากทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา	พฤศจิกายน 2561	129/053
เกาะสบบ้า ถึง เกาะจินนอก	พฤศจิกายน 2559	129/051
อ่าวชุมพร	เมษายน 2559	128/051

2.4 ข้อมูลความลึกน้ำสำรวจ (Bathymetry)

ข้อมูลความลึกน้ำสำรวจที่ใช้อ้างอิงในการสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของการหยั่งความลึกน้ำด้วยวิธีการ SDB เป็นข้อมูลการหยั่งความลึกพื้นท้องทะเลที่จัดทำโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ด้วยวิธีการหยั่งความลึกน้ำด้วยเสียงสะท้อนแบบลำคลื่นเดียว (Single Beam Echo Sounder) ร่วมกับเครื่องรับตำแหน่งที่ด้วยดาวเทียม GNSS สำหรับบันทึกพิกัดทางภูมิศาสตร์ด้วยเทคนิค Differential Global Positioning System (DGPS) มूलฐานทางราบ WGS84 และทำการหักเลขน้ำที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำขึ้น – ลง ในพื้นที่ ลงหาระดับน้ำลงต่ำที่สุด (Lowest Low Water: LLW) เป็นเมตร (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 รายละเอียดข้อมูลความลึกน้ำสำรวจ

หมายเลขระวาง แผนที่	มาตราส่วน	พื้นที่	ข้อมูลความลึกน้ำ สำรวจ
112	1 : 45,000	ปากทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา	พฤศจิกายน 2561
118	1 : 60,000	เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก	พฤศจิกายน 2559
225	1 : 12,000	อ่าวชุมพร	เมษายน 2559

2.5 การวิเคราะห์และแปลภาพถ่ายดาวเทียม (Image Pre - Processing)

การวิเคราะห์และแปลภาพถ่ายดาวเทียมใช้การประมวลผลผ่านโปรแกรมทางด้าน GIS มีกระบวนการและขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.5.1 การปรับแก้คลื่นรังสี (Radiometric Correction) เป็นการปรับปรุงแก้ไขความคลาดเคลื่อนของข้อมูล และสัญญาณคลื่นรบกวน อันเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น การรบกวนจากชั้นบรรยากาศ การกระจัดกระจายในชั้นบรรยากาศ หรือจากความบกพร่องของเครื่องรับสัญญาณ ทำให้เกิดความไม่ชัดเจน พร่ามัว หมอกหรือความสลัว (Haze) มีลายเส้นปะปน (Strip/Noise) ส่งผลให้ความคมชัดของภาพลดลง งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการเปลี่ยนค่าความสว่างในภาพให้เป็นค่าการแผ่รังสีสมบูรณ์ (Conversion of Digital Numbers to Absolute Radiance Value) ตามสมการที่ (1)

$$L = \left[\frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{255} \right] \times DN + L_{MIN} \quad (1)$$

โดยที่ L = ค่าการแผ่รังสีตามช่วงคลื่น (Spectral Radiance)

L_{MAX} = ค่าการแผ่รังสีสูงสุด ซึ่งแปลงจากค่าความสว่างสูงสุดในช่วงคลื่นนั้น (DN = 255)

L_{MIN} = ค่าการแผ่รังสีต่ำสุด ซึ่งแปลงจากค่าความสว่างต่ำสุดในช่วงคลื่นนั้น (DN = 0)

DN = ค่าการสะท้อนของจุดภาพ (Digital Number)

2.5.2 การปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียม (Image Enhancement)

ก. การกรองภาพเชิงพื้นที่ (Spatial Image Filtering) มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความชัดเจนของภาพ หรือเน้นวัตถุที่ปรากฏในภาพ โดยในงานวิจัยนี้นำมาใช้เพื่อลดจุดรบกวนบนภาพถ่ายดาวเทียม (Speckle Noise) ที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ทะเลให้ลดน้อยลง

ข. การแยกน้ำ (Water Separation) ด้วยการใช้ค่าดัชนีความแตกต่างของความชื้นปรับปรุง (MNDWI) ของ Xu [14] ตามสมการที่ (2) โดยในขั้นตอนภาพถ่ายดาวเทียมถูกปรับขนาดให้ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ที่สนใจ จากนั้น MNDWI จะคำนวณแยกส่วนที่เป็นน้ำทะเลหรือกำจัดส่วนที่เป็นแผ่นดินและเมฆส่วนใหญ่ออก ดัชนีสเปกตรัมนี้มีอยู่ในช่วงตั้งแต่ -1 ถึง +1 โดยที่ค่าเรดิโอเมตริก > 0 แทนน้ำ และ ≤ 0 แทนพื้นดิน ด้วยวิธีนี้คุณสมบัติที่ไม่ใช่ในภาพอาจถูกแยกออกจากการประมวลผล จากนั้นทำการแปลงแต่ละพิกเซลของภาพดาวเทียมให้แสดงเป็นแบบจุดลอยตัว (Floating Point) ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะพื้นที่ส่วนน้ำทะเลเพื่อใช้สำหรับวิธีการ SDB ต่อไป

$$MNDWI = \frac{GREEN-IR}{GREEN+IR} \quad (2)$$

โดยที่ GREEN = ช่วงคลื่นสีเขียว

IR = ช่วงคลื่น Infrared

2.6 แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log - Band Ratio Method)

ภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการเตรียมเรียบร้อยแล้วจะนำเข้าสู่การประยุกต์ใช้แบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่นที่พัฒนาโดย Stumpf และคณะ [5] ตามสมการที่ (3) ซึ่งเป็นการใช้อัตราส่วนการแปลงค่าลอการิทึมของการสะท้อนของช่วงคลื่นแสงที่ผ่านความลึกน้ำที่ระดับแตกต่างกัน (สีน้ำเงินและสีเขียว)

$$Z = m_1 \times \frac{\ln(nRw(\lambda_i))}{\ln(nRw(\lambda_j))} - m_0 \quad (3)$$

โดยที่ Z = ความลึกน้ำสมบูรณ์จากวิธีการ SDB m_1 = ค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับอัตราส่วนต่อความลึก

Rw = การสะท้อนสเปกตรัมที่สังเกต m_0 = ค่าชดเชยสำหรับความลึก 0 เมตร

λ_i = ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (Band 2)

λ_j = ช่วงคลื่นสีเขียว (Band 3)

หลังจากได้ค่าจากการคำนวณอัตราส่วนช่วงคลื่นแล้ว ($\frac{\ln(nRw(\lambda_i))}{\ln(nRw(\lambda_j))}$) จะเป็นขั้นตอนของการหาความลึกจำกัด (Extinction Depth) โดยใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Pearson's Correlation) และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) คำนวณคู่กับค่าของความลึกน้ำสำรวจที่ใช้เป็นความลึกควบคุม (Depth Control Points) ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าพารามิเตอร์ m_1 และ m_0 ที่ใช้ในการปรับอัตราส่วนต่อความลึก (m_1) และค่าชดเชยสำหรับความลึก 0 เมตร (m_0) ตามแบบจำลองของ Stumpf

และคณะ [5] โดยค่าพารามิเตอร์ m_1 m_0 และผลลัพธ์อัตราส่วนช่วงคลื่น ($\frac{\ln(nRw(\lambda_i))}{\ln(nRw(\lambda_j))}$) จะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความลึกอ้างอิง (Vertical Referencing) ซึ่งขั้นตอนนี้จะขั้นตอนสุดท้ายในการปรับปรุงผลลัพธ์ของค่าความลึกน้ำให้สมบูรณ์ ท้ายที่สุดค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ทั้ง 3 พื้นที่ จะถูกนำมาตรวจสอบและวิเคราะห์ทางสถิติ ผ่านค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Correlation: R) และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of Determination: R^2)

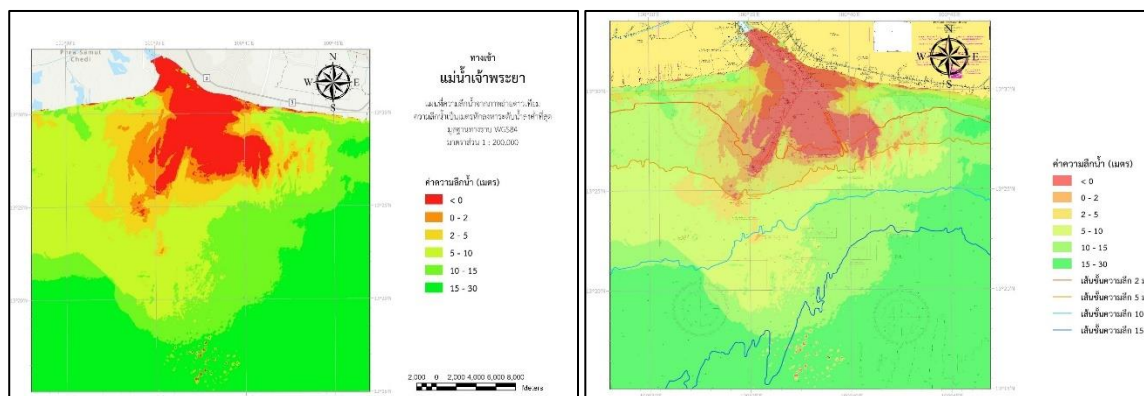
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติระหว่างค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจทั้งสามพื้นที่โดยรวม พบว่าวิธีการ SDB ให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่วงคลื่นของแถบสีน้ำเงินและสีเขียว ($\frac{\ln(nRw(\lambda_{blue}))}{\ln(nRw(\lambda_{green}))}$) กับความลึกน้ำสำรวจที่ใช้เป็นความลึกควบคุมทั้ง 3 พื้นที่ ดังตารางที่ 3 โดยมีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.8833 - 0.9768 โดยพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด รองลงมาคือพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก และพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก ตามลำดับ

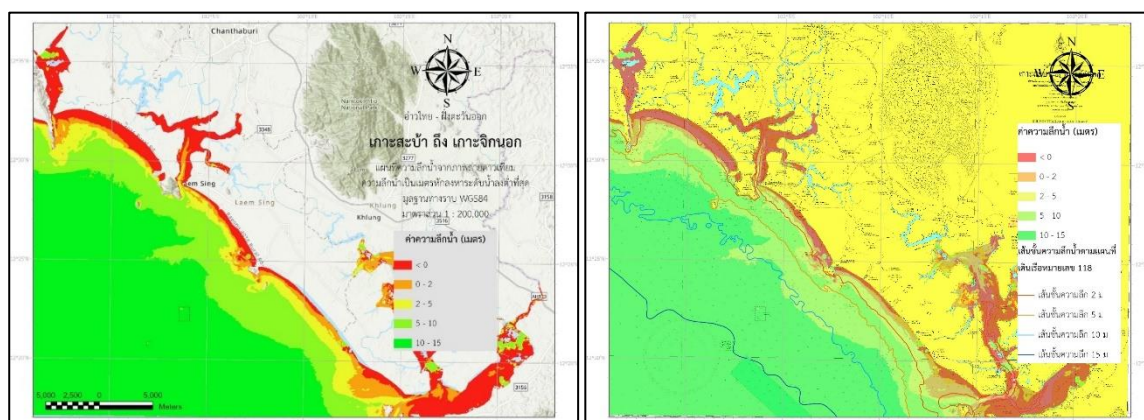
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าอัตราส่วนช่วงคลื่นกับค่าความลึกน้ำสำรวจใน 3 พื้นที่

Ratio SDB (Blue/Green) x Depth (Control)	Observations	m_1	m_0	R^2
พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก	140	2295.6	2318.1	0.9768
พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก	1396	1218.6	1233.8	0.8833
พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก	1387	1208.9	1222.2	0.9436

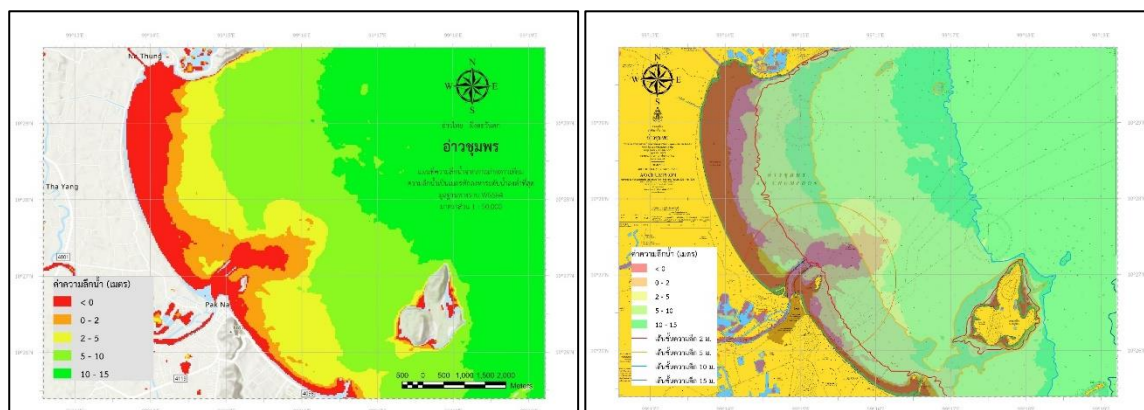
3.2 ค่าความลึกน้ำสมบูรณ์จากแบบจำลองสามารถสร้างเป็นแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่ แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา (รูปที่ 3 ก) แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเกาะสบบัว ถึง เกาะจิกนอก (รูปที่ 4 ก) และแผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวชุมพร (รูปที่ 5 ก)



รูปที่ 3 (ก) แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา และ
(ข) แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยาซ้อนทับกับแผนที่เดินเรือหมายเลข 112



รูปที่ 4 (ก) แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเกาะสบบ้าง ถึง เกาะจินนอก และ
(ข) แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณเกาะสบบ้าง ถึง เกาะจินนอกซ้อนทับกับแผนที่เดินเรือหมายเลข 118



รูปที่ 5 (ก) แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวชุมพร และ
(ข) แผนที่ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวชุมพรซ้อนทับกับแผนที่เดินเรือหมายเลข 225

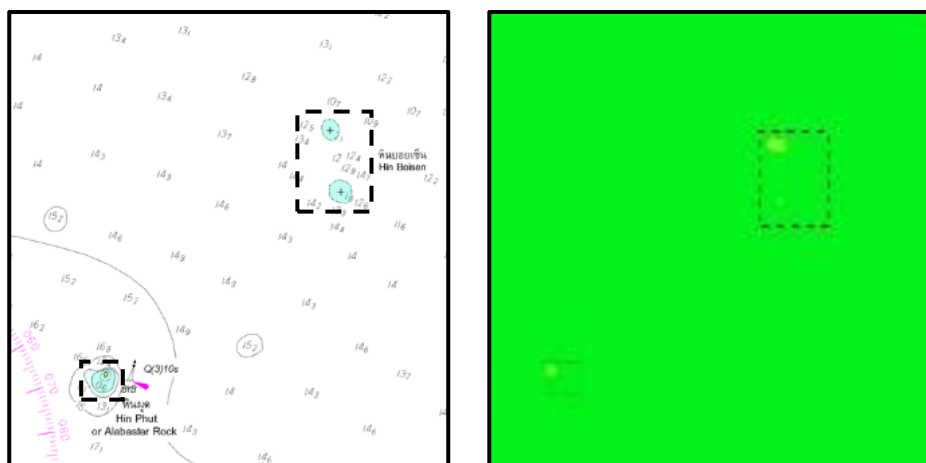
3.3 ตารางที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ทางสถิติของค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 3 พื้นที่ กับค่าความลึกน้ำสำรวจ โดยแบ่งตามระดับความลึกที่ 0 – 5 เมตร, 5 – 10 เมตร, 10 – 15 เมตร และ 0 – 15 เมตร พบว่าค่า RMSE ในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก มีค่า RMSE มากที่สุด เท่ากับ 3.2952 โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร มีค่า RMSE สูงถึง 4.1273 แสดงถึงค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ช่วงระดับความลึกดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับค่าความลึกน้ำสำรวจในเกณฑ์ต่ำ ส่วนพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก และอ่าวไทยฝั่งตะวันตกมีค่า RMSE เท่ากับ 1.4512 และ 1.4194 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความลึกน้ำทะเลจากวิธีการ SDB ของพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก และอ่าวไทยฝั่งตะวันตก ใกล้เคียงกับค่าความลึกน้ำสำรวจเป็นอย่างดี

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติของค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB กับค่าความลึกน้ำสำรวจ

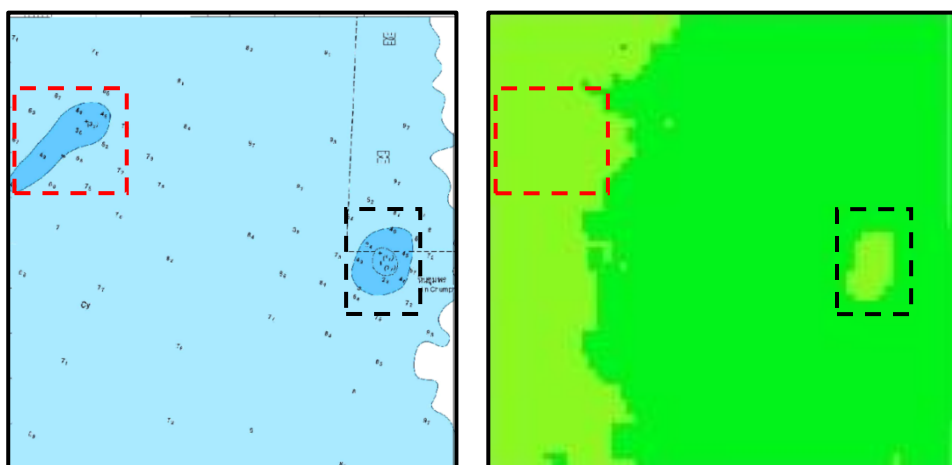
ระดับความลึก (เมตร)	พื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก				พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก				พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก			
	Obs.	RMSE	R	R ²	Obs.	RMSE	R	R ²	Obs.	RMSE	R	R ²
0 – 5	50	4.1273	0.0430	0.0018	442	1.4648	0.8445	0.7132	498	1.3566	0.9298	0.8645
5 – 10	50	1.1484	0.9832	0.9667	499	1.2151	0.8978	0.8061	500	1.4485	0.9668	0.9348
10 – 15	50	3.7711	0.9305	0.8658	500	1.6430	0.8102	0.6565	500	1.4509	0.7237	0.5237
0 - 15	150	3.2952	0.9285	0.8621	1441	1.4512	0.9554	0.9130	1498	1.4194	0.9646	0.9304

ในส่วนของค่า R² ที่ระดับความลึก 0 – 15 เมตร พบว่าพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตกมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.9304 รองลงมาคือพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก และพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ของพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตกมีความสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจในเกณฑ์ที่ดี รองลงมาคือ พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก และพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าทางสถิติจำแนกตามระดับความลึกน้ำทะเล พบว่าที่ระดับความลึก 5 -10 เมตร มีค่า RMSE ที่มีค่าต่ำ และมีค่า R² ที่มีค่าสูง แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความลึก 5 -10 เมตร มีค่าความลึกน้ำจากวิธีการ SDB ที่ใกล้เคียงและสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจมากที่สุด ส่วนที่ระดับความลึก 10 -15 เมตร จะให้ค่าผลลัพธ์ที่สอดคล้องน้อยที่สุด ยกเว้นในพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก ที่ระดับความลึก 0 – 5 เมตร ผลลัพธ์จากวิธีการ SDB มีความสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจในระดับค่อนข้างต่ำ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยา จึงมีค่าความสูงที่ส่งผลกระทบต่อการสะท้อนแสงของภาพถ่ายดาวเทียม

3.4 แผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออกแสดงให้เห็นรายละเอียดของพื้นที่อันตรายใต้น้ำในช่วงความลึกน้ำ 10 – 15 เมตร อย่างชัดเจน จากรูปที่ 6 ซึ่งเป็นบริเวณหินใต้น้ำ ได้แก่ หินบอยเซ็น และหินผุด และแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันตกแสดงให้เห็นรายละเอียดของพื้นที่อันตรายใต้น้ำในช่วงความลึกน้ำ 10 – 15 เมตร จากรูปที่ 7 บริเวณรอบเส้นปะสีดำแสดงพื้นที่บริเวณหินชุมพร ซึ่งปรากฏในแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมตรงกับแผนที่เดินเรือ ส่วนกรอบเส้นปะสีแดงแสดงพื้นที่บริเวณหินใต้น้ำ ซึ่งมีความลึกน้ำในแผนที่เดินเรือ 3.20 เมตร แต่ไม่ปรากฏในแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียม



รูปที่ 6 พื้นที่อันตรายใต้น้ำในแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออก
เปรียบเทียบกับแผนที่เดินเรือหมายเลข 118



รูปที่ 7 พื้นที่อันตรายใต้น้ำในแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันตก
เปรียบเทียบกับแผนที่เดินเรือหมายเลข 225

3.5 ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาอื่นๆ ก่อนหน้านี้ [11], [10] และแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น (Log - Band Ratio Method) สามารถใช้ได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายและในช่วงเวลาที่ต่างกัน อีกทั้งเมื่อพิจารณาค่า RMSE ของแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก และพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก พบว่าให้ค่าความแม่นยำของความลึกอยู่ในช่วง ± 2.5 เมตร ที่ระดับความลึก 10 เมตร เป็นไปตามขอบเขตของความเชื่อมั่นระดับ C (ZOC C) ตามมาตรฐานขององค์การอุทกศาสตร์ระหว่างประเทศ (IHO) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Meliala [16]

4. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการนำเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการหึงความลึกน้ำทะเล โดยผลการวิจัยพบว่าภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 กับวิธีการ SDB สามารถหึงความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมทั้ง 3 พื้นที่ของอ่าวไทยได้ โดยให้ค่าความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความสัมพันธ์ชัดเจน และสอดคล้องกับความลึกน้ำสำรวจได้เป็นอย่างดี มีค่า R^2 อยู่ในช่วง 0.8621 – 0.9304 นอกจากนี้ค่าความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงระดับความลึก 5 - 10 เมตร ของในทุกพื้นที่มีความใกล้เคียงสอดคล้องกับค่าความลึกน้ำสำรวจได้อย่างดีที่สุด รองลงมาคือช่วงระดับความลึก 0 - 5 เมตร และ 10 - 15 เมตร ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบพบว่าพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก (อ่าวชุมพร) เป็นพื้นที่ที่ให้ค่าผลลัพธ์ความลึกน้ำจากภาพถ่ายดาวเทียมดีที่สุด รองลงมาคือ พื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก) และพื้นที่อ่าวไทยรูปตัว ก (ทางเข้าแม่น้ำเจ้าพระยา) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความโปร่งแสงของน้ำทะเลอันส่งผลต่อการสะท้อนแสงของภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้วิธีการ SDB กับพื้นที่ที่มีค่าความโปร่งแสงของน้ำทะเลต่ำ นอกจากนี้แผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมยังแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ตื้น หรือบริเวณหินใต้น้ำ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่วิกฤตต่อการเดินเรือได้ใกล้เคียงกับแผนที่เดินเรือที่ใช้อย่างยิ่ง อีกทั้งแผนที่ความลึกน้ำทะเลจากภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก (อ่าวชุมพร) และพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออก (เกาะสบบ้า ถึง เกาะจิกนอก) เป็นไปตามขอบเขตของความเชื่อมั่นระดับ C (ZOC C) ตามมาตรฐานขององค์การอุทกศาสตร์ระหว่างประเทศ (IHO) อีกด้วย

การใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 เพื่อสร้างแผนที่ความลึกน้ำทะเลด้วยวิธีการ SDB ในทะเลอ่าวไทยจึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือหรือวิธีการทางเลือกในการช่วยหาความลึกน้ำทะเลที่ให้ค่าความถูกต้องของความลึกในช่วงความลึกน้ำไม่เกิน 15 เมตรได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะในพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก และอ่าวไทยฝั่งตะวันออก ซึ่งใช้งบประมาณต่ำ มีประสิทธิภาพ ยืดหยุ่น ใช้บุคลากรน้อย และรวดเร็วในการดำเนินการสำรวจเมื่อเปรียบเทียบกับ การสำรวจหึงน้ำด้วยเสียง อันจะช่วยพัฒนาการสำรวจแผนที่ทะเลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากในอนาคตต่อไป

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าการใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 กับวิธีการ SDB และแบบจำลองอัตราส่วนช่วงคลื่น ไม่สามารถใช้ทดแทนวิธีการหึงความลึกน้ำทะเลแบบเดิมได้ เนื่องจากให้ค่าความละเอียดถูกต้องของความลึกน้ำที่ผิดไปจากความเป็นจริง แต่สามารถใช้เป็นเทคนิคสนับสนุนสำหรับการทำแผนที่อุทกศาสตร์ของพื้นที่ที่สนใจโดยเฉพาะ หรือพื้นที่น้ำตื้นชายฝั่งทะเลที่มีข้อมูลอุทกศาสตร์อยู่เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลยได้

5.2 ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงขึ้น เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม WorldView - 2 มีรายละเอียดจุดภาพ 50 เซนติเมตร หรือภาพถ่ายของดาวเทียมไทยโชต มีรายละเอียดจุดภาพ 2 เมตร อาจให้ผลลัพธ์ของค่าความลึกจากแบบจำลองได้ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5.3 ข้อจำกัดของช่วงเวลาในการเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมให้สอดคล้องกับช่วงเวลาในการสำรวจแผนที่ทะเล ทำให้อาจได้ภาพในการใช้วิเคราะห์ที่ไม่ชัดเจน มีเมฆปกคลุม หรือมีคลื่นในทะเลได้ จึงควรเลือกใช้ภาพที่มีข้อจำกัดน้อยที่สุด ร่วมกับการใช้เทคนิคในการเตรียมภาพถ่ายดาวเทียมก่อนการใช้แบบจำลอง

5.4 ควรหลีกเลี่ยงการใช้วิธีการ SDB กับพื้นที่ที่มีค่าความโปร่งแสงของน้ำทะเลต่ำ เช่น บริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ บริเวณป่าชายเลน เป็นต้น

6. ประโยชน์ที่จะได้รับ

6.1 สามารถนำวิธีการหึงความลึกน้ำทะเลด้วยภาพถ่ายดาวเทียมไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ชายฝั่งทะเลอื่น ๆ ของประเทศไทย เพื่อใช้เป็นเครื่องช่วยในการวางแผนสำรวจแผนที่ทะเล

6.2 สามารถใช้จัดทำแผนที่ในกรณีเร่งด่วน และมีความจำเป็นต้องใช้งานเพื่อให้ทันต่อสถานการณ์ เช่น การทำแผนที่ในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากสึนามิ การทำแผนที่สำหรับใช้ส่งกำลังบำรุงขึ้นฝั่ง เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lyzenga DR. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. *Int J Remote Sens* [Internet]. 1981 [cited 2022 Apr 1];2(1):71–82. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/01431168108948342>
- [2] Pe’eri S, Parrish C, Azuik C, Alexander L, Armstrong A. Satellite remote sensing as a reconnaissance tool for assessing nautical chart adequacy and completeness. *Mar Geod* [Internet]. 2014 [cited 2022 Apr 2];37(3):293–314. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/01490419.2014.902880>
- [3] Randazzo G, Barreca G, Cascio M, Crupi A, Fontana M, Gregorio F, et al. Analysis of very high spatial resolution images for automatic shoreline extraction and satellite-derived bathymetry mapping. *Geosciences (Basel)* [Internet]. 2020 [cited 2022 Apr 6];10(5):172. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/geosciences10050172>
- [4] Duplancić Leder T, Leder N, Peroš J. Satellite Derived Bathymetry survey method - example of Hramina Bay. *Trans marit sci* [Internet]. 2019 [cited 2022 Apr 12];8(1):99–108. Available from: <http://dx.doi.org/10.7225/toms.v08.n01.010>
- [5] Stumpf RP, Holderied K, Sinclair M. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnol Oceanogr* [Internet]. 2003 [cited 2022 Apr 15];48(1part2):547–56. Available from: http://dx.doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547

- [6] IHO S-44. IHO Standard for Hydrographic Surveys. 6th ed. [place unknown]: International Hydrographic Organization; 2020.
- [7] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. รายงานคุณภาพน้ำทะเล ปี 2562 - 2563. สมุทรสาคร: บอร์น ทู ปี พับลิชชิ่ง; 2564.
- [8] Stumpf RP, Holderied K, Sinclair M. Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnol Oceanogr* [Internet]. 2003 [cited 2022 Apr 19];48(1part2):547–56. Available from: http://dx.doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547
- [9] Pennucci G, Grasso R, Trees C. A study for near-shore characterization using high-resolution hyperspectral and multispectral images. In: *IGARSS 2008 - 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IEEE; 2008.
- [10] Jagalingam P, Akshaya BJ, Hegde AV. Bathymetry mapping using Landsat 8 satellite imagery. *Procedia Eng* [Internet]. 2015 [cited 2022 Apr 21];116:560–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.326>
- [11] Kimeli A, Thoya P, Ngisiani'e N, Ong'anda H, Magori C. Satellite-derived bathymetry: A case study of Mombasa Port Channel and its approaches, Kenya. *West Indian Ocean J Mar Sci* [Internet]. 2018 [cited 2022 Apr 22];17(2):93. Available from: <http://dx.doi.org/10.4314/wiojms.v17i2.8>
- [12] Tang KKW, Mahmud MR. Imagery-derived bathymetry in Strait of Johor's turbid waters using multispectral images. *ISPRS - Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci* [Internet]. 2018 [cited 2022 Apr 23];XLII-4/W9:139–45. Available from: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-4-w9-139-2018>
- [13] Saeed R, Abdelrahman SM, Negm A. Satellite-Derived Bathymetry using Landsat-8 imagery for Safaga coastal zone, Egypt. *Acta Marisensis Seria Technologica* [Internet]. 2021 [cited 2022 Apr 25];18(1):8–15. Available from: <http://dx.doi.org/10.2478/amset-2021-0002>
- [14] Gistda.or.th. [cited 2022 Apr 25]. Available from: <https://www.gistda.or.th/main/th/node/93>.
- [15] Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int J Remote Sens* [Internet]. 2006 [cited 2022 Apr 29];27(14):3025–33. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/01431160600589179>
- [16] Meliala L, Wibowo WA, Amalia J. Satellite derived bathymetry on shallow reef platform: A preliminary result from Semak Daun, seribu islands, Java Sea, Indonesia. *KnE eng* [Internet]. 2019 [cited 2022 Apr 30]; Available from: <http://dx.doi.org/10.18502/keg.v4i3.5849>

เทคโนโลยีการรู้จำใบหน้ามนุษย์ด้วยการประมวลผลภาพ

Image Recognition Technology

พิศณุ คุมีชัย¹

Pisanu Kumeechai¹

Received : May 5, 2022

Revised : June 10, 2022

Accepted : June 20, 2022

บทคัดย่อ

การรู้จำใบหน้าเป็นเทคโนโลยีได้รับความนิยมในด้านการเข้าถึงข้อมูลมัลติมีเดียในพื้นที่ต่าง ๆ บนเครือข่ายในปัจจุบัน เช่น ความปลอดภัยของเครือข่าย การจัดทำดัชนีถึงข้อมูลเนื้อหา และการปิดกั้นวิดีโอ ซึ่งประโยชน์จากเทคโนโลยีการจดจำใบหน้านี้เกิดจาก “ผู้คน” เป็นศูนย์กลางของความสนใจในการเข้าถึงข้อมูลมัลติมีเดียต่าง ๆ เพราะฉะนั้นการควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายด้วยเทคโนโลยีการรู้จำใบหน้านี้ไม่เพียงแต่จะทำให้ผู้ก่อการร้ายแทบเป็นไปไม่ได้ที่จะขโมย “รหัสผ่าน” แต่ยังเพิ่มความคล่องตัวต่อผู้ใช้ในการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์อีกด้วย การจัดทำดัชนีหรือถึงข้อมูลวิดีโอตามลักษณะที่ปรากฏของบุคคลใดบุคคลหนึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ใช้งาน เช่น ผู้รายงานข่าว นักวิทยาศาสตร์ และผู้ชมภาพยนตร์ สำหรับการใช้งานวิดีโอโพนและการประชุมทางไกล โดยใช้เทคโนโลยีการรู้จำใบหน้ายังให้รูปแบบการเข้ารหัสที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นอีกด้วย ในบทความวิจัยนี้จะนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับการประมวลผลข้อมูลภาพที่จะแสดงให้เห็นถึงกรอบการทำงานทั่วไปสำหรับระบบรู้จำใบหน้า และรูปแบบต่าง ๆ ที่มักพบในเครื่องรู้จำใบหน้า โดยจะมีการอธิบายขั้นตอนวิธีการรู้จำใบหน้าที่มีชื่อเสียงหลายอย่าง เช่น ไอเกนเฟซ (Eigenface) และโครงข่ายประสาทเทียม ทำการทดสอบขั้นตอนการรู้จำภาพใบหน้าที่มีการแสดงออกทางสีหน้าที่หลากหลายเพื่อเปรียบเทียบกัน พบว่าอัตราข้อผิดพลาดวิธีการผสมผสานกันระหว่าง Self - Organizing Map และโครงข่ายประสาทเทียม มีอัตราความผิดพลาดน้อยสุดที่ร้อยละ 4.5 ใช้เวลาในการจำแนกน้อยสุดที่ 0.7 วินาที และใช้เวลาในการฝึก 6 ชั่วโมง วิธีการของไอเกนเฟซจะมีอัตราความผิดพลาดที่ร้อยละ 9 แต่ใช้เวลาในการฝึก 40 นาที เร็วที่สุดในทุกวิธีการที่ใช้ ซึ่งการเลือกขั้นตอนวิธีการใดในการใช้งานก็ขึ้นกับตัวเจ้าของผลงานที่จะเลือกให้เหมาะสมกับงานของตัวเองมากที่สุด และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมได้ผลอัตราความถูกต้องมากกว่าวิธีอื่น

คำสำคัญ: การรู้จำใบหน้า, ความปลอดภัยของเครือข่าย, ไอเกนเฟซ, โครงข่ายประสาทเทียม

¹ อาจารย์กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Instructor, Department of Engineering, Education Branch, Royal Thai Naval Academy

E-mail: pisanu41984198@hotmail.com

Abstract

Presently, face recognition is a popular technology for accessing multimedia content in different networks, such as security, indexing retrieves content or video compression. The facial recognition technology is "people" as the center of attention for accessing various multimedia information. Controlling network access with facial recognition technology will not only protect "passwords" from stealing, but also stimulate interaction between users and computers. Indexing or extracting videos based on a specific person's appearance is helpful for users such as reporters, scientist and moviegoers. Video calling and teleconferencing applications using facial recognition technology also provide a more robust encryption scheme. Regarding image processing, the objective of this paper is to explain a general framework for facial recognition systems and the variations commonly found in facial recognition machines which are several well-known face recognition algorithms such as Eigenfaces and neural networks. Face image recognition procedures are tested with various facial expressions for comparing to each other. The result shows that the error rate of the mixed method Self-Organizing Map and Neural Networks is 4.5 percent, a minimum time of recognizing at 0.7 seconds for 6 hours training time. The error rate of the Eigenface method is 9 percent about 40 minutes for practice time which is the least time for testing. The selected method depends on which method is suitable for their own work. The Neural Network method shows the result better than others method.

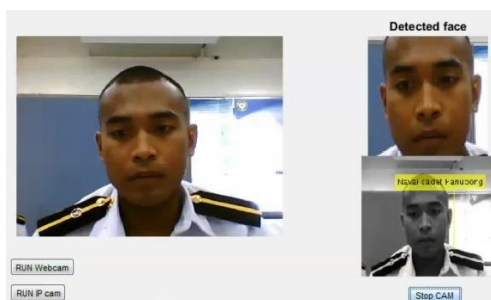
Keywords: Face Recognition, Network Security, Eigenface, Neural Networks

1. บทนำ

ในโลกเครือข่ายปัจจุบัน ความจำเป็นในการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลหรือทรัพย์สินทางกายภาพ กำลังทวีความสำคัญและยากขึ้นเรื่อย ๆ นาน ๆ ครั้งจะได้ยินเกี่ยวกับอาชญากรรมของการฉ้อโกงบัตรเครดิต การทำลายคอมพิวเตอร์โดยแฮกเกอร์ หรือการละเมิดความปลอดภัยในบริษัทหรืออาคารราชการ ในปี 1998 อาชญากรไซเบอร์ที่มีความซับซ้อนก่อให้เกิดความสูญเสียมากกว่า 100 ล้านเหรียญดอลลาร์สหรัฐ [1] เป็นส่วนใหญ่ของอาชญากรรมเหล่านี้ อาชญากรเอาเปรียบของข้อบกพร่องพื้นฐานในระบบควบคุมการเข้าออก ระบบแบบเดิม ระบบไม่ให้สิทธิ์การเข้าถึงโดย "คนผู้นั้นเป็นใคร" แต่จะใช้โดย "สิ่งที่คนผู้นั้นมี" เช่น บัตรประชาชน กุญแจ รหัสผ่าน PIN ตัวเลขหรือนามสกุลเดิมของมารดา วิธีการเหล่านี้ไม่สามารถรู้ว่าเป็นผู้ใช้จริง ๆ แต่เป็นเพียงวิธีการรับรองความถูกต้องในการเข้าใช้งาน หากมีใครก็ตามที่สามารถขโมย ลอกเลียนแบบ หรือได้มาซึ่งอัตลักษณ์เหล่านี้ หมายความว่าคนผู้นั้นจะสามารถเพื่อเข้าถึงข้อมูลของคน ๆ นั้น หรือทรัพย์สินส่วนตัวของคน ๆ นั้น ได้ตลอดเวลาที่ต้องการ

เมื่อเร็ว ๆ นี้ มีเทคโนโลยีที่ช่วยให้สามารถตรวจสอบตัวตนบุคคล “ที่แท้จริง” ได้ เทคโนโลยีนี้มีพื้นฐานมาจากในสาขาที่เรียกว่า “ไบโอเมตริกซ์” การควบคุมการเข้าถึงไบโอเมตริกซ์เป็นวิธีการอัตโนมัติในการตรวจสอบหรือระบุตัวตนของบุคคลที่มีชีวิตอยู่บนพื้นฐานของลักษณะทางสรีรวิทยาบางอย่าง เช่น ลายนิ้วมือ หรือใบหน้า หรือบางแง่มุมของพฤติกรรมของบุคคล เช่น ลักษณะลายมือ หรือรูปแบบการกดแป้นพิมพ์ เนื่องจากระบบไบโอเมตริกซ์ระบุตัวตนบุคคลโดยลักษณะทางชีวภาพที่ยากต่อการปลอมแปลงในบรรดาวิธีการ Identification (ID) ไบโอเมตริกซ์ต่าง ๆ ทางสรีรวิทยา วิธีการ (ลายนิ้วมือ ใบหน้า ดีเอ็นเอ) มีความเสถียรมากกว่าวิธีการในประเภทพฤติกรรม (การกดแป้นพิมพ์ การพิมพ์ด้วยเสียง) เหตุผลก็คือลักษณะทางสรีรวิทยามักจะไม่เปลี่ยนแปลง ยกเว้นจากการบาดเจ็บสาหัส รูปแบบพฤติกรรมในอีกทางหนึ่งมีอาจผันผวนเนื่องจากความเครียด ความเหนื่อยล้า หรือความเจ็บป่วย อย่างไรก็ตาม ID พฤติกรรมมีข้อได้เปรียบในการไม่ล่วงล้ำ ผู้คนจะสบายใจกว่าที่จะเซ็นชื่อของเขา หรือพูดกับไมโครโฟนมากกว่าการตรวจม่านตาในการสแกน หรือให้เลือดหยดเพื่อจัดลำดับดีเอ็นเอ การจดจำใบหน้าเป็นหนึ่งในวิธีการไบโอเมตริกซ์ไม่กี่วิธีที่มีทั้งความแม่นยำสูงและการล่วงล้ำต่ำ มีความถูกต้องของวิธีการทางสรีรวิทยาโดยไม่ต้องเป็นการล่วงล้ำ ด้วยเหตุนี้ตั้งแต่ช่วงต้นทศวรรษที่ 70 [2] การรู้จำใบหน้าได้รับความสนใจจากนักวิจัย

ในด้านความปลอดภัยด้านจิตวิทยา และการประมวลผลภาพ ไปจนถึงวิสัยทัศน์คอมพิวเตอร์ มีการเสนอขั้นตอนวิธีการจำนวนมากสำหรับการรู้จำใบหน้า สำหรับการสำรวจโดยละเอียด โดยสามารถดูได้ที่ [3, 4] แม้ว่าการรักษาความปลอดภัยเครือข่ายและการควบคุมการเข้าถึงจะกว้างขวางที่สุด การใช้งานที่กล่าวถึงการรู้จำใบหน้าได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความประโยชน์ในด้านการประมวลผลข้อมูลมัลติมีเดียอื่น ๆ [3] ใช้เทคนิคการรู้จำใบหน้าเพื่อเรียกดูวิดีโอฐานข้อมูลเพื่อค้นหาชื่อของบุคคลใดบุคคลหนึ่ง [5] เขียนโค้ดรูปภาพใบหน้าด้วยพารามิเตอร์แบบย่อโมเดลใบหน้าสำหรับแอปพลิเคชันการสื่อสารแบบตัวต่อตัว เช่น วิดีโอโฟนและการประชุมทางไกล และเมื่อเร็ว ๆ นี้ เมื่อเทคโนโลยีเติบโตขึ้น ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ ได้ปรากฏตัวในตลาด ทั้ง ๆ ความสำเร็จของผลิตภัณฑ์รู้จำใบหน้าเหล่านั้น การวิจัยบางส่วนประเด็นที่ยังคงต้องสำรวจ ในหัวข้อถัดไป โดยบทความนี้จะเริ่มศึกษาเรื่องการรู้จำใบหน้าโดยพูดคุยถึงตัวชี้วัดต่าง ๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการรับรู้ ส่วนที่ (3) ให้เฟรมเวิร์กสำหรับขั้นตอนวิธีการรู้จำใบหน้าทั่วไป จากนั้นในส่วนที่ (4) จะพูดถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบรู้จำใบหน้า ในส่วนที่ (5) จะแสดงตัวอย่างการรู้จำใบหน้าที่มีชื่อเสียงหลายตัวอย่างให้อ่าน เช่น ไอเกนเฟส (Eigenface) และ โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) สุดท้ายจะเป็นข้อสรุปในข้อ (6) รูปที่ 1 แสดงการทำงานของโปรแกรมในการตรวจจับและรู้จำใบหน้ามนุษย์



รูปที่ 1 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมการรู้จำใบหน้า

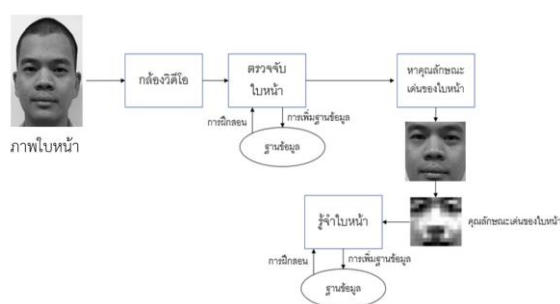
2. ตัวชี้วัดการประเมินประสิทธิภาพ

การวัดไบโอเมตริกซ์มาตรฐานสองแบบได้แก่ อัตราการปฏิเสธที่ผิดพลาด (False Rejection Rate : FRR) และอัตราการยอมรับที่ผิดพลาด (False Acceptation Rate : FAR) FRR (ข้อผิดพลาดประเภท 1) และ FAR (ข้อผิดพลาดประเภท 2) เป็นการวัดตามสัดส่วนผกผัน ตัวอย่างเช่น หากระบบ ID ปรับค่าเกณฑ์เพื่อปฏิเสธผู้แอบอ้างทั้งหมด (ลด FAR) นอกจากนี้นี้ยังอาจปฏิเสธผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตบางคนอย่างไม่เหมาะสม (เพิ่ม FRR สูงสุด) ดังนั้น ผู้ออกแบบระบบ ID มักจะให้การตั้งค่าเกณฑ์ตัวแปรสำหรับลูกค้าเพื่อสร้างสมดุลหากต้องการการปฏิเสธผู้แอบอ้างเกือบร้อยละ 100 ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตจะต้องประสบอัตราการปฏิเสธร้อยละ 4 ระบบ ID ที่มีทั้ง FAR และ FRR ต่ำ ถือว่ามีอำนาจในการเลือกปฏิบัติที่ดี นักพัฒนาระบบ ID เสมอพยายามลดพื้นที่ใต้เส้นโค้ง FAR-FRR (ตัวบ่งชี้ที่ใช้กันได้อย่างจริงของอินทิกรัลนี้คือค่าที่ FAR เท่ากับ FRR โดยปกติ ยิ่งค่าเท่ากันยิ่งต่ำ แสดงว่าระบบมีกำลังในการระบุที่ดีกว่า) นักพัฒนาต้องการเพื่อเลือกอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ดี การแยกคุณสมบัติที่เหมาะสมแบบแผนและ/หรือตัวจับคู่รูปแบบที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้บรรลุงาน

3. ฐานข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ และกรอบงานทั่วไป

ฐานข้อมูลใบหน้าในงานวิจัยนี้ถูกสร้างเอง ซึ่งเป็นรูปภาพใบหน้าของ 40 บุคคล คนละ 10 รูป รวมทั้งหมด 400 รูป เป็นชุดข้อมูลที่แต่ละรูปภาพมีเพียงใบหน้าเดียว แต่มีลักษณะใบหน้าหลากหลาย เช่น หน้าตรง ใส่แว่น มี แสงเงา หน้ามีความสุข หน้าปกติ หน้าง่วงนอน ขยิบตา สำหรับประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตรวจจับ และรู้จำใบหน้า

ในกรณีส่วนใหญ่ ขั้นตอนวิธีการรู้จำใบหน้าสามารถแบ่งออกได้ลงในโมดูลการทำงานดังต่อไปนี้ เครื่องตรวจจับภาพใบหน้าหาตำแหน่งใบหน้าคนจากภาพปกติกับพื้นหลังที่เรียบง่ายหรือซับซ้อน และรู้จำใบหน้าที่กำหนดว่าคนนี้เป็นใคร ทั้งเครื่องตรวจจับใบหน้า และตัวรู้จำใบหน้าที่ใช้กรอบการทำงานเดียวกัน ทั้งสองเครื่องมือตัวแยกคุณลักษณะที่แปลงพิกเซลของภาพใบหน้าให้เป็นตัวแทนเวกเตอร์ที่มีประโยชน์ และตัวจำแนกรูปแบบที่ค้นหาฐานข้อมูลเพื่อค้นหาที่ตรงกันที่สุดกับภาพใบหน้าที่เข้ามา ตัวจำแนกรูปแบบจะจัดประเภทเวกเตอร์คุณสมบัติที่เข้ามาเป็นหนึ่งในสองคลาสรูปภาพคือ รูปภาพ “ใบหน้า” และ “รูปภาพที่ไม่ใช่ใบหน้า” ในสถานการณ์การรู้จำใบหน้า ในทางกลับกันการรู้จำใบหน้าจำแนกเวกเตอร์ ใบหน้าที่ลงทะเบียนแล้วในฐานข้อมูล รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างหนึ่งของระบบรู้จำใบหน้า



รูปที่ 2 กรอบงานสำหรับระบบรู้จำใบหน้า

การแยกคุณลักษณะ จะเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองภาพของใบหน้าเป็นอาร์เรย์ตัวเลขสองมิติ กล่าวคือ ค่าพิกเซลสามารถเขียนได้ว่า $X = \{x_i, i \in S\}$ โดยที่ S คือ โครงตาข่ายสี่เหลี่ยม บางครั้งก็สะดวกกว่าในการแสดง X เป็นคอลัมน์หนึ่งมิติเวกเตอร์ของแถวพิกเซลที่ต่อกัน $X = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$ โดยที่ N คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดในภาพ สำหรับภาพ VGA แบบไตรมาส (320 x 240) N มีขนาดใหญ่ถึง 76,800 เช่น คุณสมบัติที่มีมิติสูงมักจะไม่มีประสิทธิภาพและยังทำให้แบ่งแยกยากยิ่งขึ้น จึงต้องแปลง X เข้าไปในเวกเตอร์คุณลักษณะ $f(x) = [f_1(X), f_2(X), \dots, f_M(X)]^T$ โดยที่ $f_1(X), f_2(X), \dots$ เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเป็นตัวแทนใหม่ โดยทั่วไป M จะน้อยกว่า N

4 ขั้นตอนวิธีการรู้จำใบหน้า

ในส่วนที่กล่าวได้แสดงให้เห็นแล้วว่าหน้าที่ของการรับรู้จะต้องเผชิญกับรูปแบบที่ซับซ้อน เพื่อรับมือด้วยความซับซ้อนดังกล่าวและค้นหาค่าคงที่ที่แท้จริงของการรู้จำ นักวิจัยได้พัฒนาขั้นตอนวิธีการรู้จำต่าง ๆ ในส่วนนี้จะอธิบายตัวแทนวิธีการอย่างไคเนเฟสใช้ Karhonen - Loeve (KL) แปลงสำหรับการแยกคุณลักษณะ ช่วยลดมิติของใบหน้าแต่ยังคงรักษาส่วนสำคัญที่มีความเหมาะสม วิธีการโครงข่ายประสาทเทียมขั้นตอนวิธีการบางรุ่นทำงานบนการแยกคุณลักษณะเป็นส่วนใหญ่ มีรูปแบบการสร้างแบบจำลองที่ซับซ้อน สำหรับการประเมินความหนาแน่นของความเป็นไปได้ในระยะการรู้จำรูปแบบ

4.1 ไคเนเฟส

ดังที่กล่าวไว้ตอนต้นเป้าหมายหนึ่งของการแยกคุณลักษณะต้องการบรรลุคือการเพิ่มประสิทธิภาพวิธีการง่าย ๆ วิธีหนึ่งในการบรรลุเป้าหมายนี้คือการใช้ Orthonormal เป็นทางเลือกเบสอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เบสธรรมชาติ พื้นฐานดังกล่าวคือ Karhonen - Loeve (KL) ฐาน KL เกิดขึ้นจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของเวกเตอร์ใบหน้า X ในพื้นที่ “ใบหน้า” ที่มีมิติสูง ค่าลักษณะเฉพาะสองสามตัวแรกเท่านั้นที่มีค่าขนาดใหญ่ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในสเปซย่อยประกอบด้วยเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะสองสามตัวแรก ดังนั้นในการบีบอัดที่ยอดเยียมสามารถทำได้โดยปล่อยให้เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะเหล่านั้นที่มีค่าลักษณะเฉพาะมากเพื่อเป็นตัวแทนของเวกเตอร์ใบหน้า X นั่นเอง

$$X \cong \sum_{i=1}^M \hat{x}_i u_i \quad (1)$$

โดยที่

M คือ จำนวนขนาดของภาพ

$\hat{x}_i$ คือ เวกเตอร์ของภาพ

u_i คือ จำนวนเวกเตอร์ไคเน

ตั้งแต่เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับค่าลักษณะเฉพาะสองสามตัวแรกดูเหมือนเดียวกับภาพใบหน้า ฐาน KL ยังเรียกว่า ไคเนเฟส การแสดงลักษณะเฉพาะของใบหน้าเป็นที่รู้จักกันดีในเอกสารสถิติว่า

เป็นการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบหลัก เหมาะสมที่สุดในความรู้สึกของประสิทธิภาพ สำหรับ $M < N$ ที่ระบุการแทนค่า KL จะมีค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุด ในการประมาณค่า X ที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ใช้เวกเตอร์ออร์โธนอร์มัล M อย่างไรก็ตาม ไม่ได้หมายความว่าแสดง KL นั้นเหมาะสมที่สุดในความรู้สึกของการแบ่งภาพ ซึ่งอาศัยการแยกจากใบหน้าที่แตกต่างกันมากกว่าการแพร่กระจายของใบหน้าทั้งหมด [6] เป็นหนึ่งในการนำไอเกนเฟสมาใช้งานขั้นตอนวิธีการมันบีบอัดภาพใบหน้าด้วย 128×128 พิกเซล (16,384 พิกเซล) เป็นเวกเตอร์ที่มีเพียง 40 ไอเกนเฟส (80 ไบต์) รู้จำใบหน้าได้ร้อยละ 95 จาก 300 ใบหน้าที่เลือกจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีภาพใบหน้า 1000 ภาพ [6]

4.2 โครงข่ายประสาทเทียม

โดยหลักการแล้ว โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Back - Propagation ที่เป็นที่นิยม อาจฝึกให้รู้จำภาพใบหน้าได้โดยตรง แม้กระทั่งภาพที่มีขนาดปานกลาง อย่างไรก็ตามเครือข่ายที่มากและมีความซับซ้อนทำให้ฝึกฝนยาก ตัวอย่างเช่น ถ้ารูปภาพขนาด 128×128 พิกเซล จำนวนอินพุตของเครือข่ายจะเท่ากับ 16,384 เพื่อลดความซับซ้อน โครงข่ายประสาทเทียมคือมักใช้กับระยะการรู้จำรูปแบบมากกว่าที่จะใช้ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะ ขั้นตอนวิธีการตรวจจับใบหน้าของ [7] ย่อภาพใบหน้าเป็นเวกเตอร์ลักษณะใบหน้า 19×19 ก่อนที่จะใช้การจัดกลุ่ม k - mean วงรีเพื่อสร้างแบบจำลองการกระจายของ “ตัวอย่างใบหน้า” และ “ตัวอย่างที่ไม่ใช่ใบหน้า” [8] ยังลดขนาดของภาพใบหน้าเป็น 20×20 โดยการสุ่มตัวอย่างก่อนที่ภาพใบหน้าจะถูกป้อนเข้าเครื่องตรวจจับใบหน้าโครงข่ายประสาทหลายชั้น ตัวอย่างหนึ่งของตัวจำแนกประเภทประสาทคือโครงข่ายประสาทเทียม ที่ใช้การตัดสินใจเชิงความน่าจะเป็น [9] โครงข่ายประสาทเทียม แทนมันแบ่งเครือข่ายออกเป็น K ชั้นเน็ต แต่ละชั้นเน็ตมีไว้ใช้โดยเฉพาะเพื่อรู้จำบุคคลหนึ่งในฐานข้อมูล โครงข่ายประสาทเทียม ใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเกาส์เซียนสำหรับเซลล์ประสาทและผลลัพธ์ของแต่ละ “เครือข่ายย่อยใบหน้า” คือ ผลรวมถ่วงน้ำหนักของเซลล์ประสาทเอาต์พุต กล่าวอีกนัยหนึ่ง Subnet ใบหน้าจะประมาณความหนาแน่นของโอกาสโดยใช้แบบจำลองแบบผสมของ Gaussian ที่เป็นที่นิยมเมื่อเทียบกับแบบแผน Additive White Gaussian Noise (AWGN) ส่วนผสมของ Gaussian ให้รูปแบบที่ยืดหยุ่นและซับซ้อนกว่ามาก สำหรับการประมาณความหนาแน่นของโอกาสที่แท้จริงในพื้นที่ด้านหน้ารูปแบบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยสองขั้นตอน ในช่วงแรก แต่ละชั้นเน็ตจะฝึกด้วยภาพใบหน้าของตัวเอง (ไม่มีการฝึกรอบมข้ามสายงาน) ในระยะนี้น้ำหนักฝึกโดยขั้นตอนวิธีการ Expectation - Maximization (EM) [10] EM ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าประสิทธิภาพ ขั้นตอนวิธีการสำหรับการประมาณค่า Machine Learning ในแง่ของการใช้งานระบบ ข้อดีของขั้นตอนวิธีการ EM คือ ไม่ต้องการพารามิเตอร์อัตราการเรียนรู้ พารามิเตอร์อัตราการเรียนรู้ในโครงการฝึกรอบมโครงข่ายประสาทเทียมแบบเดิมจะควบคุมความเร็วของการปรับน้ำหนักเครือข่าย อัตราการเรียนรู้มักเป็นพารามิเตอร์ที่ละเอียดอ่อน การเลือกที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้ทั้งเครือข่ายไม่สามารถบรรจบกันได้ขั้นตอนที่สองของการเรียนรู้ โครงข่ายประสาทเทียมเรียกว่าการเรียนรู้จากการตัดสินใจ ในขั้นตอนนี้พารามิเตอร์ชั้นเน็ตอาจได้รับการฝึกรอบมจากกลุ่มตัวอย่างบางส่วนจากคลาสใบหน้าอื่น ๆ รูปแบบการเรียนรู้ตามการตัดสินใจไม่ได้ใช้ตัวอย่างการฝึกรอบมทั้งหมด

สำหรับการฝึกอบรมใช้เฉพาะผู้ที่จำแนกผิดเท่านั้น หากตัวอย่างถูกจำแนกผิดเป็นความผิดซ้ำเน็ต ซับเน็ตที่ถูกต้องจะปรับพารามิเตอร์ของมันเพื่อให้ “อาณาเขต” (พื้นที่ตัดสินใจ) สามารถย้ายเข้าไปใกล้ตัวอย่างที่จัดประเภทผิดได้ กระบวนการเรียนรู้นี้เรียกอีกอย่างว่าเสริมการเรียนรู้ ในขณะที่เดียวกันซับเน็ตที่อ้างอย่างไม่ถูกต้องว่าตัวตนของตัวอย่างที่น่าสงสัยจะพยายามเคลื่อนตัวออกจากตัวอย่างนี้เรียกว่าการเรียนรู้ที่ต่อต้านการเสริมแรง [5]

โครงสร้างของการทดลองในงานวิจัยนี้จะมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มจากการรับภาพสีแบบ RGB ทำการปรับภาพเป็นภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) จากนั้นทำการตรวจจับภาพใบหน้าด้วยเทคนิค (Haar - like Feature Detection) และหาคุณลักษณะเด่นด้วยวิธีการโอเกนเฟส สุดท้ายจะเข้าสู่กระบวนการรู้จำภาพใบหน้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ดังแสดงกระบวนการต่าง ๆ ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนในการทำงาน

4.3 การรู้จำ

เนื่องจากรูปแบบต่าง ๆ เช่น มุมมอง การส่องสว่าง ใบหน้าการแสดงออกและอื่น ๆ เวกเตอร์คุณสมบัติใบหน้าที่ได้รับจากสมการก่อนหน้าสามารถมีการแปรผันแบบสุ่ม ดังนั้นมันเป็นแบบจำลองที่ดีกว่าเป็นเวกเตอร์สุ่ม หากผู้เข้ามามีแนวโน้มที่จะเป็นบุคคลใดในฐานข้อมูลเท่ากัน (เท่ากับความเป็นมาก่อน) จากนั้นตามทฤษฎีการตัดสินใจของเบย์อัตราข้อผิดพลาดในการรู้จำขั้นต่ำสามารถทำได้หากการรับรู้เป็นไปตามเกณฑ์ความเป็นไปได้สูงสุด นั่นคือ สมมติว่า $Y = f(X)$ เป็นเวกเตอร์คุณลักษณะและสมมติว่ามีบุคคล K ในฐานข้อมูล เอกลักษณ์ของบุคคลที่เข้ามาได้รับมอบหมายจาก $k_0 = \arg \min_{1 \leq k \leq K} \log p(Y|k)$ โดยที่ $p(Y|k)$ คือ ความหนาแน่นของความเป็นไปได้ของการปรับ Y ว่าเป็นบุคคลที่ K ถ้าสมมติความแปรผันของเวกเตอร์ลักษณะใบหน้าคือเกิดจากเสียงเกาส์เซียนที่เติมสี่เหลี่ยมสุ่ม (AWGN) จากนั้นการจับคู่ ML จะกลายเป็นการจับคู่ระยะทางขั้นต่ำทั่วไป นั่นก็คือตัวตนของผู้ที่เข้ามาบุคคลคือ K ถ้าระยะทางแบบยุคลิดระหว่างเวกเตอร์คุณลักษณะของบุคคลที่เข้ามาและเวกเตอร์เฉลี่ยของบุคคล K^{th} นั้นน้อยที่สุดในบรรดาบุคคลทั้งหมดในฐานข้อมูล นำเสียดายในสถานการณ์จริง รูปแบบของภาพใบหน้านั้นซับซ้อนกว่า AWGN มาก ในส่วนต่อไปนี้จะอธิบายรูปแบบต่าง ๆ ที่อาจปรากฏในปัญหาการจดจำใบหน้า

รูปแบบต่าง ๆ ของรูปภาพใบหน้าที่รู้จำใบหน้าเป็นหนึ่งในปัญหาที่ยากที่สุดในด้านการวิจัยการรู้จำภาพ ภาพใบหน้านักถูกถ่ายภายใต้สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ นั่นคือพื้นหลังของภาพอาจซับซ้อนมาก และสภาพแสงอาจรุนแรง รูปที่ 4 เป็นตัวอย่างของภาพที่มีพื้นหลังที่ซับซ้อน



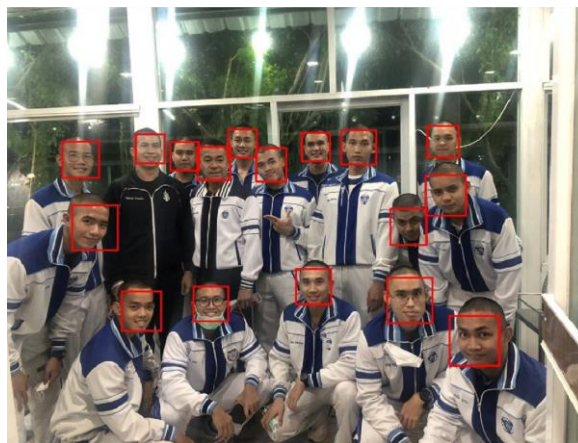
รูปที่ 4 เครื่องตรวจจับใบหน้าพบใบหน้าสี่ใบหน้าจากพื้นหลังที่ซับซ้อน

ความแตกต่างของภาพใบหน้าสามารถจำแนกได้ดังนี้

- การบิดเบือนและสัญญาณรบกวนของกล้อง
- พื้นหลังที่ซับซ้อน
- ไฟส่องสว่าง
- การแปล การหมุน การปรับขนาด และการบิดเบือน
- การแสดงออกทางสีหน้า
- แต่งหน้าทำผม

ความบิดเบือนและสัญญาณรบกวนของกล้องเป็นรูปแบบมาตรฐานของภาพที่ทำให้เกิดปัญหาการรับรู้ นักวิจัยก่อนหน้านี้ได้พัฒนาเครื่องมือมากมายในการเพิ่มอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน เพื่อจัดการพื้นหลังของภาพที่ซับซ้อน ตัวจำแนกประเภทต้องใช้เครื่องตรวจจับใบหน้าที่ดีเพื่อแยกใบหน้าจริงออกจากส่วนอื่น ๆ ของรูปภาพ การส่องสว่างก็มักเป็นปัจจัยสำคัญในการขัดขวางกระบวนการรับรู้ เพื่อบรรเทาอิทธิพลของเอฟเฟกต์แสงที่ผู้คนอาจใช้ภาพธรรมดา เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพจึงมีความจำเป็น (ขีดจำกัดแบบไดนามิก, ฮิสโตแกรมอีควอไลเซอร์) หรือฝึกโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อแยกคุณลักษณะ [11, 12, 13] อีกหนึ่งแนวทางในการลดเอฟเฟกต์แสงใช้วิธีการไอเกนเฟส (Eigenface) ตามที่จะเป็นที่ยอมรับในขั้นตอนหลังขั้นตอนวิธีการไอเกนเฟส ลดลงคุณสมบัติมิติสูงเป็นมิติต่ำ Subspace ที่พลังงานส่วนใหญ่อาศัยอยู่ (เช่น Eigenspace) ตามงานวิจัยเก่า [6] ไอเกนเฟส (ไอเกนเฟส) หนึ่งหรือสองสามตัว (คำศัพท์สำหรับ Eigenvectors ในขั้นตอนวิธีการไอเกนเฟส) สามารถใช้เพื่อแสดง “ผลการส่องสว่าง” บนภาพใบหน้าเลยทำให้น้ำหนักลดลง ไอเกนเฟสเมื่อทำการรู้จำจะลดเอฟเฟกต์การส่องสว่าง อีกวิธีหนึ่งสำหรับการแปรผันของแสงคือโดยใช้ขั้นตอนวิธีการของ Fisher Face ขั้นตอนวิธีการของ Fisher Face คือการปรับแต่งขั้นตอนวิธีการไอเกนเฟสยังช่วยลด Eigenspace โดย Fisher's Linear Discriminant (FLD) เลือกซิปสเปซในลักษณะที่อัตราส่วนของการกระจายระหว่างคลาสและการกระจายภายในคลาสถูกขยายให้ใหญ่ที่สุด มีรายงานว่าขั้นตอนวิธีการของ Fisher Face มีประสิทธิภาพเหนือกว่าขั้นตอนวิธีการไอเกนเฟสบนฐานข้อมูลใบหน้าที่มีความหลากหลายในสภาพแสง [14, 15]

การแปลมาตราส่วน และรูปแบบการหมุนเวียนควรจัดการในขั้นตอนการตรวจจับใบหน้า [16 - 18] ในบรรดารูปแบบต่าง ๆ ทั้งสามรูปแบบ การแปลเป็นวิธีแก้ไขที่ง่ายที่สุด วิธีการทำหน้าต่าแบบเรียบง่ายก็สามารถทำงานได้ดี ปัญหามาตราส่วน (แตกต่างขนาดใบหน้า) ก็แก้ได้ง่ายเช่นกันหากเราสร้างภาพพีระมิดเพื่อแสดงภาพที่ป้อน (ภาพพีระมิดคือชุดของภาพเดียวกันที่มีความละเอียดต่างกัน) หมุนตามแกน Z (แกนที่ตั้งฉากกับระนาบภาพ) ซึ่งจะมีความยากขึ้นและใช้เวลานาน [8] สร้าง “เครือข่ายเราเตอร์” ต่อหน้าเครื่องตรวจจับใบหน้าเพื่อกำหนดมุมการหมุนแกน Z ของแพทช์รูปภาพ แพทช์รูปภาพจะหมุนกลับไปตั้งตรงตำแหน่งตามเอาต์พุตของเครือข่ายเราเตอร์ ปัญหาที่ยากที่สุดคือการจัดการการหมุนตามแนว แกน X แกน Y หรือทั้งสองอย่างรวมกัน การหมุนแบบนี้อาจทำให้เกิดการอุดตันของใบหน้า ปกติหน้าบึ้งไม่เหมาะสำหรับการรับรู้ ดังนั้นระบบการรับรู้ที่ออกแบบมักจะข้ามปัญหานี้โดยใช้เครื่องตรวจจับใบหน้า que เลือกเฉพาะภาพใบหน้าส่วนหน้าจากวิดีโอสตรีม [19] รูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบเครื่องตรวจจับใบหน้า que ออกแบบมาเพื่อรู้จำใบหน้าเท่านั้น



รูปที่ 5 การตรวจจับใบหน้าของเครื่องตรวจจับใบหน้า

การแสดงออกทางสีหน้าและการเปลี่ยนแปลงทรงผมเป็นอีกสองรูปแบบที่สำคัญ ใบหน้าที่ยิ้มแย้มและใบหน้าที่ขมวดคิ้วถือเป็นเทมเพลตรูปภาพสองแบบที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิงในแง่ของร่าง กายที่ซับซ้อน เพื่อที่จะเอาชนะ “การเสียรูปของพื้นผิว” นี้ขั้นตอนวิธีการการจับคู่แบบยืดหยุ่นจะฝึกโครงข่ายประสาทเทียมแบบตาข่าย 2 มิติเพื่อสร้างแบบจำลองพื้นผิวใบหน้า [20]

5. ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ นำเสนอวิธีสำหรับการรู้จำหน้าใบหน้า วิธีการรู้จำหน้าใบหน้าที่บุคคลใช้หลักการไอเกนเฟส และโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเอกสารนี้จะทำงานกับภาพใบหน้าบุคคลระดับสีขนาดสองมิติ ในขั้นตอนแรกใช้ฮาร์โลคฟ์เฟอร์ และให้ไอเกนเฟส (Eigenface) ในการหาคุณลักษณะเด่น เพื่อให้ได้ไอเกนเวกเตอร์ หลังจากนั้นนำไอเกนเวกเตอร์ของทั้งภาพทดลองและภาพทดสอบทั้งหมดในการรู้จำใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

โดยที่นำเสนอสำหรับวิธีการรู้จำใบหน้าบุคคลโดยใช้ไอเกนเฟสได้ ในบทความนี้ได้เสนอให้มีการสร้าง Back - Propagation เพื่อเรียนรู้กฎหลายชั้น เครือข่ายได้รับการฝึกอบรมโดยวิธีการเรียนรู้ อินพุตเวกเตอร์ และเวกเตอร์เป้าหมายที่เกี่ยวข้องกันถูกใช้เพื่อฝึกเครือข่ายจนกว่าจะสามารถประมาณฟังก์ชันได้ การเชื่อมโยงเวกเตอร์อินพุตกับเวกเตอร์เอาต์พุตเฉพาะ หรือจำแนกเวกเตอร์อินพุตด้วยวิธีที่เหมาะสมตามที่ผู้ใช้กำหนด

ขั้นตอนในการทำวิจัยนี้คือ สร้างโมเดลการตรวจจับและรู้จำใบหน้า ด้วยภาษา Python ไลบรารี OpenCV, พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วยภาษา Python และระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL และทำการประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตรวจจับและการรู้จำใบหน้าแต่ละวิธีด้วยการคำนวณหาความถูกต้องในการตรวจจับใบหน้าและรู้จำใบหน้า

ในบทความนี้ มีการใช้วิธีการอัตโนมัติในการตรวจจับใบหน้า ทำการทดลองและวัดผลบนพีซีที่มี CPU P4 - 3.2 GHz และ RAM 1024 MB สำหรับข้อมูลการทดสอบ ฐานข้อมูลใบหน้าถูกผลิตขึ้นมาเอง โดยมี 40 คนในฐานข้อมูลและ 10 ภาพต่อคนมีการแสดงออกทางสีหน้าที่หลากหลาย (เปิด/ปิดตา, ยิ้ม/ขมวดคิ้ว) รายละเอียดใบหน้า (มีหรือไม่มีแว่น) มาตราส่วน (สูงสุดร้อยละ 10) ขนาดภาพ 512 x 512 และการวางแนว (สูงสุด 20 องศา) 5 ขั้นตอนวิธีการรู้จำใบหน้าถูกเปรียบเทียบในการทดลองนี้ ตัวรู้จำ โครงข่ายประสาทเทียม มีอัตราข้อผิดพลาดร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพดีกว่าตัวจำแนกตามไอเกนเฟส ซึ่งมีอัตราความผิดพลาดร้อยละ 9 อีกสามขั้นตอนวิธีการคือ SOM+CN (แผนที่จัดระเบียบตัวเองด้วยโครงข่ายประสาทเทียม), Hidden Markov Model (HMM) (แบบจำลอง Markov ที่ซ่อนอยู่) และ Pseudo 2D - HMM ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนวิธีการรู้จำ

System	Error rate	Classification Time	Training time
Deep Neural Network	5%	< 1.2 sec	50 min
SOM+CN [21]	4.5%	< 0.7 sec	6 Hrs.
Pseudo 2D-HMM [22]	6%	120 sec	7 Hrs.
Eigenface	9%	< 1.7 sec	40 min
Hidden Markov Model [23]	15%	< 2 sec	5 Hrs.

ในตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของแต่ละวิธีในการรู้จำใบหน้า สมการที่ (2) คือวิธีในการทดสอบของงานวิจัยนี้

$$Accuracy(\%) = \left(\frac{In-Out}{total} \right) \times 100 \quad (2)$$

In คือ จำนวนของภาพทดสอบทั้งหมด
 Out คือ จำนวนของภาพทดสอบที่ตอบผิด
 Total คือ จำนวนของภาพทดสอบทั้งหมด

ตารางที่ 2 ผลการทดลองของของแต่ละวิธีในการรู้จำใบหน้า

	Neural Network	SOM+CN	Pseudo 2D-HMM	Eigenface	HMM
อัตราความถูกต้อง (%)	95	96.5	94	91	85

6. บทสรุป

การรู้จำใบหน้าเป็นเทคนิคการรู้จำทั้งที่ท้าทายและมีความสำคัญในบรรดาเทคนิคไบโอเมตริกซ์ วิธีการรู้จำใบหน้ามีข้อดีอย่างหนึ่งคือเป็นมิตรกับผู้ใช้ (หรือไม่ล่วงล้ำ) ในบทความนี้ได้จัดทำแบบสำรวจเบื้องต้นสำหรับการรู้จำใบหน้าเทคโนโลยีให้ครอบคลุมประเด็นต่าง ๆ เช่น เรื่องทั่วไป กรอบการรู้จำใบหน้า ปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของตัวจำแนก และความล้าสมัยของขั้นตอนวิธีการรู้จำใบหน้า หวังว่าเอกสารฉบับนี้จะสามารถทำให้อ่านเข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับการรู้จำใบหน้าและสามารถนำไปต่อยอดและพัฒนาองค์ความรู้ในด้านนี้มากยิ่งขึ้นไปอีก

เอกสารอ้างอิง

- [1] Belhumeur PN, Hespanha JP, Kriegman DJ. Eigenfaces vs. Fisherfaces: recognition using class specific linear projection. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell [Internet]. 1997 [cited 2022 Apr 5];19(7):711–20. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/34.598228>
- [2] Brunelli R, Poggio T. Face recognition: features versus templates. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell [Internet]. 1993 [cited 2022 Apr 9];15(10):1042–52. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/34.254061>
- [3] Chan Y, Lin SH, Kung SY. Video Indexing and Retrieval. Multimedia Technology for Applications. 1998:253-81.
- [4] Chellappa R, Wilson CL, Sirohey S. Human and machine recognition of faces: a survey. Proc IEEE Inst Electr Electron Eng [Internet]. 1995 [cited 2022 Apr 11];83(5):705–41. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/5.381842>
- [5] Dempster AP, Laird N, Rubin D. Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm. J R Stat Soc Ser C Appl Stat [Internet]. 1977 [cited 2022 Apr 16];39(1):1-38. Available from: <https://www.jstor.org/stable/2984875>
- [6] Kelly MD. Visual Identification of People by Computer [Doctoral thesis]. CA: Stanford University; 1970.

- [7] Lades M, Vorbruggen JC, Buhmann J, Lange J, von der Malsburg C, Wurtz RP, et al. Distortion invariant object recognition in the dynamic link architecture. *IEEE Trans Comput* [Internet]. 1993 [cited 2022 Apr 20];42(3):300–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/12.210173>
- [8] Li H, Roivainen P, Forchheimer R. 3-D motion estimation in model-based facial image coding. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* [Internet]. 1993 [cited 2022 Apr 30];15(6):545–55. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/34.216724>
- [9] Lin SH, Kung SY, Lin LJ. Face recognition/detection by probabilistic decision-based neural network. *IEEE Trans Neural Netw* [Internet]. 1997 [cited 2022 May 3];8(1):114–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1109/72.554196>
- [10] Pentland A, Moghaddam B, Starner T. View based and Modular Eigenspaces for Face Recognition. *IEEE Comput Soc Conf Comput Vis Pattern Recognit* [Internet]. 1994 [cited 2022 May 10];245:[about 7 p.]. Available from: <https://vismod.media.mit.edu/pub/facereco/papers/TR-245.pdf>
- [11] Rowley HA, Baluja S, Kanade T. Rotation invariant neural network-based face detection. In: *Proceedings 1998 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Cat No98CB36231)*. IEEE Comput. Soc; 2005.
- [12] Reuters News [Internet]. London: Reuters; c2022. Computer Security Threat On Rise – U.S. Survey; 1999 [cited 2022 May 19]. Available from: <https://www.reuters.com/>
- [13] Sung K-K, Poggio S. Learning a distribution-based face model for human face detection. In: *Proceedings of 1995 IEEE Workshop on Neural Networks for Signal Processing*. IEEE; 2002.
- [14] Zhang J, Yan Y, Lades M. Face Recognition: Eigenfaces, Elastic Matching, and Neural Nets. *Proc. IEEE* [Internet]. 1997 Sep [cited 2022 May 25];85(9):1423–35. Available from: https://www.academia.edu/7052960/Face_recognition_eigenface_elastic_matching_and_neural_nets
- [15] Yan H, Wang P, Chen WD, Liu J. Face Recognition Based on Global Wavelet Transform and Modular 2DPCA. In: *International Conference on Power Electronics and Energy Engineering*; 2015 Apr 19-20; Hong Kong, China: Atlantis Press; 2015. p. 245-8.
- [16] Gupta P, Saxena N, Sharma M, Tripathi J. Deep neural network for human face recognition. *Int J Eng Manuf* [Internet]. 2018 [cited 2022 May 30];8(1):63–71. Available from: <http://dx.doi.org/10.5815/ijem.2018.01.06>

-
- [17] Aledhari M, Razzak R, Parizi RM, Srivastava G. Deep Neural Networks for Detecting Real Emotions Using Biofeedback and Voice. In: , et al. Pattern Recognition. ICPR International Workshops and Challenges. ICPR 2021. Lecture Notes in Computer Science; 2021 Jan 10-15. New York: Springer; 2021.
- [18] Mondal SK, Mukhopadhyay I, Dutta S. Review and comparison of face detection techniques. In: Proceedings of International Ethical Hacking Conference 2019. Singapore: Springer Singapore; 2020. p. 3–14.
- [19] Ganakwar DG, Kadam VK. Comparative analysis of various face detection methods. In: 2019 IEEE Pune Section International Conference (PuneCon). IEEE; 2019.
- [20] Rai L, Wang Z, Rodrigo A, Deng Z, Liu H. Software development framework for real-time face detection and recognition in mobile devices. *Int J Interact Mob Technol* [Internet]. 2020;14(04):103. Available from: <http://dx.doi.org/10.3991/ijim.v14i04.12077>
- [21] Neagoe V-E, Mugioiu A-C, Stanculescu I-A. Face Recognition using PCA versus ICA versus LDA cascaded with the neural classifier of Concurrent Self-Organizing Maps. In: 2010 8th International Conference on Communications. IEEE; 2010.
- [22] Bevilacqua V, Cariello L, Carro G, Daleno D, Mastronardi G. A face recognition system based on Pseudo 2D HMM applied to neural network coefficients. *Soft Comput* [Internet]. 2008;12(7):615–21. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00500-007-0253-0>
- [23] Nefian AV, Hayes MH. Hidden Markov models for face recognition. In: Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP '98 (Cat No98CH36181). IEEE; 2002. p. 2721–4 vol.5.

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง : กรณีศึกษาหาดท้ายเหมือง

อำเภอท้ายเหมือง จังหวัดพังงา

Coastal Change Study : A Case Study of Thai Mueang Beach

Thai Mueang District, Phang Nga Province

รณกร ธาราเวชรักษ์¹

Ronakorn Tharawechrak¹

Received : May 5, 2022

Revised : July 6, 2022

Accepted : July 11, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจข้อมูลอุทกศาสตร์สำหรับสนับสนุนการปฏิบัติการทางเรือของกองทัพเรือและเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณชายฝั่งด้านใต้ของเขาน้ำยักษ์ ซึ่งอยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติเขาลำปี – หาดท้ายเหมือง จังหวัดพังงา ระยะทางตามแนวชายฝั่งประมาณ 5 กิโลเมตร และมีระยะห่างจากฝั่งประมาณ 2 กิโลเมตร ดำเนินการโดยการสำรวจความลาดชันตามแนวชายหาดและเก็บรายละเอียดขอบฝั่ง การสำรวจหยั่งน้ำบริเวณหน้าหาด มาตราส่วน 1 : 5,000 เนื้อที่ประมาณ 10 ตารางกิโลเมตร เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความลึกพื้นท้องทะเล การตรวจกระแสน้ำประจำที่ จำนวน 2 จุด บริเวณชายฝั่งตอนบนและตอนล่างของพื้นที่สำรวจ และการเก็บตัวอย่างตะกอนชายฝั่ง เพื่อวิเคราะห์ขนาดของตะกอนในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแผนที่แสดงความลาดชันและรายละเอียดขอบฝั่ง แผนที่แสดงความลึกพื้นท้องทะเลบริเวณหน้าหาด ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งบริเวณหาด ข้อมูลการไหลเวียนของกระแสน้ำบริเวณหน้าหาด และข้อมูลลักษณะทางอุทุนิยมวิทยา ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งบริเวณหาดท้ายเหมืองมีลักษณะเป็นแบบสภาวะสมดุลพลวัต (Dynamic Equilibrium) กล่าวคือในช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีกำลังแรงระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม คลื่นจะกัดเซาะชายหาดออกไปเป็นแนวตรงดิ่ง (Scarp)

¹หัวหน้าแผนกกำลังพล กรมอุทกศาสตร์

¹Head of Personnel Section, Hydrographic Department

E-mail : ronakorn.t@outlook.com

ทรายจะถูกคลื่นหอบออกสู่ทะเลกลายเป็นสันทรายใต้น้ำ ทำให้ความลาดชันของหาดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อคลื่นลมสงบ (Calm Wave) คือ ช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมตะวันออกเฉียงใต้ คลื่นจะพัดพาทรายกลับเข้าหาฝั่งอย่างช้า ๆ และก่อตัวเป็นชายหาดดั้งเดิม การศึกษาเพื่อให้ได้ข้อสรุปเช่นนี้ จะต้องทำการศึกษาซ้ำบริเวณพื้นที่เดิมให้ครอบคลุมช่วงเวลาทุกฤดูกาลตลอดทั้งปี

คำสำคัญ: การปฏิบัติการทางเรือ, ฤดูมรสุม, การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง, สมดุลพลวัต

Abstract

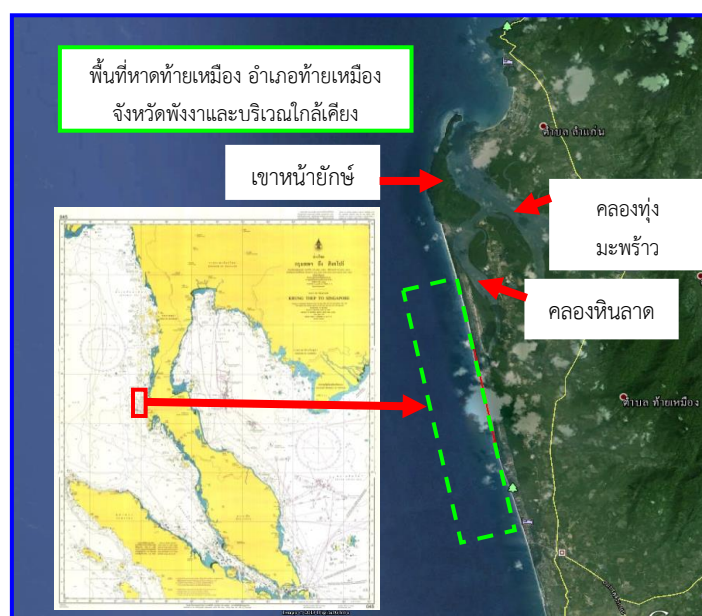
This research aims to study hydrographic data for support of naval operations and the changes of the coast at Thai Mueang Beach, Phang Nga Province. The length of study area is about 5 kilometers along the coast and about 2 kilometers from the shore. The surveys were conducted by beach profiling along the beach and also bathymetric surveying for the scale 1: 5,000 with the area of about 10 square kilometers. The littoral current was measured at the upper and lower of the surveying area whereas the sediment samples were collected along the coast. The field measurements were evaluations for beach slope, coastal bathymetry, longshore currents and coastal changes during northeast and southwest monsoon. The results reveal that the characteristic of changes in the coastal area of Thai Mueang Beach is the dynamic equilibrium. During the southwest monsoon, large waves in vertical line (scarp) cause beach to be eroded and transferred offshore to form underwater sand dune. The beach slope increases. During a period of lower mean sea level or during the northeast monsoon, the beach becomes emergent because of swash and wind-carried sand. The beach slope decreases. To reach this conclusion, the study must be repeated in the same area throughout the year for covering all seasons.

Keywords: Naval Operations, Monsoon, Coastal Changes, Dynamic Equilibrium

1. บทนำ

ข้อมูลอุทกศาสตร์มีความสำคัญในการสนับสนุนการปฏิบัติการทางเรือและมีประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศในด้านอื่น ๆ เช่น การประมง การท่องเที่ยว งานด้านวิศวกรรมชายฝั่ง และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมทางทะเล ตลอดจนการนำไปใช้ประกอบการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ ทั้งในส่วนของภาครัฐและเอกชน [1] ปัจจุบันข้อมูลอุทกศาสตร์ไม่ครอบคลุมพื้นที่รับผิดชอบของกองทัพเรือ โดยเฉพาะข้อมูลอุทกศาสตร์บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน ข้อมูลลักษณะอุทกศาสตร์ตามแนวชายฝั่งซึ่งเป็นบริเวณรอยต่อพื้นที่ชายฝั่งกับทะเลนั้น มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้ลักษณะโครงสร้างของชายฝั่งมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาต่างๆ [2] จึงมีความจำเป็นต้องสำรวจข้อมูลอุทกศาสตร์ในรายละเอียดให้ครอบคลุมช่วงเวลาทุกฤดูกาลตลอดทั้งปี บริเวณหาดท้ายเหมืองซึ่งอยู่ริมทะเลอันดามัน เป็นที่ราบชายฝั่งด้านตะวันตกเป็นหาดทรายขาว ด้านตะวันออกติดป่าชายเลน มีชายหาดยาวประมาณ 13.6 กิโลเมตร มีส่วนที่กว้างที่สุดประมาณ 1.6 กิโลเมตร ส่วนที่แคบที่สุดประมาณ 350 เมตร ปลายสุดของหาดเป็นแหลม เรียกว่าแหลมอ่าวขาม (เขาหน้ายักษ์) ทางด้านตะวันออกของพื้นที่มีคลองน้ำกร่อยขนาดใหญ่คือ คลองทุ่งมะพร้าว และ

คลองหินลาด ซึ่งน้ำส่วนใหญ่ไหลมาจากเทือกเขาลำปี เป็นภูเขาสลับซับซ้อนเรียงตัวยาวไปตามแนวเหนือ - ใต้ บริเวณชายหาดท้ายเหมืองเป็นหาดทรายหน้าหาดกว้างประมาณ 20 - 40 เมตร จากหาดทรายขึ้นมาจะเป็นป่าชายหาดมีสนทะเล จิกทะเล หูกวาง มะพร้าว รักทะเล และพืชพื้นล่าง ได้แก่ ประทุษทะเล เตยทะเล และ ผักบู่ทะเล เป็นต้น ด้านหลังหาดกว้างประมาณ 20 - 50 เมตร มีถนนลาดยางขนาดมาตรฐานเลียบชายหาดจากถนนขึ้นไป พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่สลับกับแนวมะพร้าว ไม่มีประชาชนอยู่อาศัย การใช้ประโยชน์ที่ดินอยู่ในเขตรับผิดชอบของอุทยานแห่งชาติเขาลำปี - หาดท้ายเหมือง กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช โดยในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีคลื่นลมแรงทำให้ชายฝั่งมีความลาดชันมาก [3] ดังนั้น เพื่อให้การสนับสนุนข้อมูลอุทกศาสตร์สำหรับใช้ประกอบในการวางแผนการปฏิบัติการทางเรือได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ จึงได้ดำเนินการสำรวจข้อมูลอุทกศาสตร์ชายฝั่งทะเลและศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกของเขานายักษ์ ซึ่งอยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติเขาลำปี - หาดท้ายเหมือง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 พื้นที่การสำรวจ

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อสำรวจข้อมูลอุทกศาสตร์ชายฝั่งทะเลบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกของเขานายักษ์ อุทยานแห่งชาติเขาลำปี - หาดท้ายเหมือง สำหรับเป็นข้อมูลในการสนับสนุนปฏิบัติการทางเรือของกองทัพเรือ
- 2.2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณหาดท้ายเหมือง อำเภอท้ายเหมือง จังหวัดพังงา

3. ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการดำเนินการสำรวจเฉพาะข้อมูลอุทกศาสตร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสนับสนุนการปฏิบัติการทางเรือของกองทัพเรือ และเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งบริเวณหาดท้ายเหมือง

อำเภอท้ายเหมือง จังหวัดพังงา เท่านั้น ครอบคลุมพื้นที่บริเวณหาดท้ายเหมือง จังหวัดพังงาโดยมีขอบเขตระหว่างละติจูด $08^{\circ}26' 13.30''$ เหนือ ถึงละติจูด $08^{\circ}29' 09.30''$ เหนือ ลองจิจูด $098^{\circ}12' 44.30''$ ตะวันออก ถึง ลองจิจูด $098^{\circ}14' 12.96''$ ตะวันออก หรือระหว่างพิกัด U.T.M กริด 932700.00 เหนือ ถึง 938100.00 เหนือ และ 413300.00 ตะวันออก ถึง 416000.00 ตะวันออก ระยะทางตามแนวชายฝั่งประมาณ 5 กิโลเมตร และมีระยะห่างจากฝั่งประมาณ 2 กิโลเมตร

4. วิธีดำเนินการ

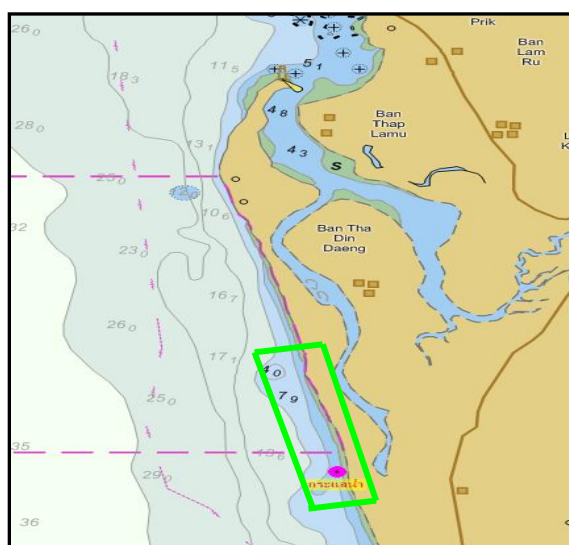
4.1 ดำเนินการเก็บรายละเอียดของพื้นที่โดยการจดบันทึก และถ่ายภาพประกอบ รวมทั้งรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ วางมุมระดับหลักทุกระยะ 200 เมตร และมุมระดับย่อยทุกระยะ 100 เมตร และ 50 เมตร จำนวน 101 แนว เป็นระยะทางตามแนวชายฝั่งประมาณ 5 กิโลเมตร เพื่อใช้เป็นหมุดหลักฐานอ้างอิงในการสำรวจแต่ละวงรอบ โยงถ่ายค่าระดับจากมุมระดับชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร (BMP 2021) บริเวณโรงเรียนวัดเหมืองประชาราม อำเภอท้ายเหมือง จังหวัดพังงา ไปยังมุมระดับบริเวณชายฝั่งระยะทางประมาณ 12 กิโลเมตร

4.2 ศึกษาข้อมูลอุตุนิยมวิทยา จากกองอุตุนิยมวิทยา ศูนย์ข้อมูลข่าวกรองภูมิสารสนเทศทางอุทกศาสตร์ กรมอุทกศาสตร์

4.3 สำรวจลักษณะทางอุทกศาสตร์

4.3.1 ระดับน้ำขึ้น – ลง อ้างอิงจากสถานีวัดระดับน้ำอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา ของกรมอุทกศาสตร์

4.3.2 ความลึกน้ำ สำรวจความลึกพื้นที่ท้องทะเลครอบคลุมพื้นที่หน้าหาดที่มีความยาวประมาณ 5 กิโลเมตร มีระยะห่างจากฝั่งประมาณ 2 กิโลเมตร โดยกำหนดแนวหยั่งน้ำ จำนวน 110 แนว เพื่อทำแผนที่มาตราส่วน 1: 5,000 การหักน้ำอ้างอิงจากสถานีวัดระดับน้ำอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา โดยหักลงหาระดับน้ำลงต่ำสุด (Lowest Low Water) และระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 พื้นที่สำรวจความลึกพื้นที่ท้องทะเล

4.3.3 ความลาดชันของชายฝั่ง สํารวจความลาดชันตามแนวชายฝั่งระยะห่างระหว่างแนวทุก 50 เมตร และเก็บรายละเอียดขอบฝั่งระยะทางประมาณ 5 กิโลเมตร จำนวน 3 ครั้ง ในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ คลื่นลมค่อนข้างสงบ ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ คลื่นลมแรงชายฝั่งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง และช่วงเดือนสิงหาคม เป็นช่วงปลายฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

4.3.4 กระแสน้ำ ตรวจกระแสน้ำประจำที่ เพื่อหาความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำ ด้วยเครื่องตรวจกระแสน้ำชนิดบันทึกต่อเนื่องแบบ Vale Port บริเวณ ละติจูด 8 องศา 26.4 ลิปดาเหนือ ลองจิจูด 98 องศา 13.66 ลิปดาตะวันออก ที่ระดับความลึก 2 เมตร จากผิวน้ำทะเล

4.3.5 ลักษณะตะกอนชายฝั่ง เก็บตัวอย่างตะกอนบริเวณชายฝั่งทุกระยะ 600 เมตร จำนวน 9 แนว แนวละ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ 1 บริเวณขอบฝั่งที่มีวัชพืชปกคลุม ตัวอย่างที่ 2 แนวน้ำขึ้นสูงสุด ตัวอย่างที่ 3 แนวน้ำลงต่ำสุด เพื่อนำมาวิเคราะห์หาชนิดและขนาดของตะกอน

5. ผลการศึกษา

5.1 ข้อมูลความลึกน้ำ แนวระดับน้ำลงต่ำที่สุดอยู่ห่างจากแนวขอบฝั่งประมาณ 100 - 125 เมตร แนวน้ำลึก 5 เมตร อยู่ห่างจากแนวขอบฝั่งประมาณ 200 - 220 เมตร และแนวน้ำลึก 10 เมตร อยู่ห่างจากขอบฝั่งประมาณ 500 - 600 เมตร

5.2 ข้อมูลความลาดชันของชายฝั่ง ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ คลื่นลมค่อนข้างสงบ มีการพัดพาตะกอนทรายมาสะสมบริเวณชายหาด หน้าหาดมีความกว้างประมาณ 16 - 30 เมตร เฉลี่ย 23 เมตร ความลาดชัน เฉลี่ย 1 : 25 ช่วงเดือนมิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เป็นช่วงที่คลื่นลมแรง ชายฝั่งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง มีการพัดพาตะกอนทรายออกไปจากชายฝั่ง ความลาดชันเพิ่มมากขึ้น หน้าหาดมีความกว้างประมาณ 7 - 22 เมตร เฉลี่ย 13 เมตร ความลาดชัน เฉลี่ย 1 : 15 และช่วงเดือนสิงหาคม เป็นปลายฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ คลื่นลมมีกำลังลดลง ทำให้ชายฝั่งมีความลาดชันน้อยลง เริ่มมีการพัดพาตะกอนมาสะสมบริเวณชายหาด หน้าหาดมีความกว้างประมาณ 5 - 23 เมตร เฉลี่ย 16 เมตร ความลาดชัน เฉลี่ย 1 : 18

5.3 กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งหาดท้ายเหมือง มีลักษณะการไหลขนานกับฝั่ง (Longshore Current) ขณะน้ำขึ้นกระแสน้ำมีความเร็วสูงสุด 0.39 นอต ไหลไปทางทิศ 160 องศา ขณะน้ำลงกระแสน้ำมีความเร็วสูงสุด 0.42 นอต ไหลไปทางทิศ 175 องศา

5.4 ลักษณะตะกอนชายฝั่ง แบ่งเป็น 3 บริเวณ ได้แก่บริเวณที่มีวัชพืชปกคลุม บริเวณแนวน้ำขึ้นสูงสุด และบริเวณแนวน้ำลงต่ำสุด โดยมีผลการวิเคราะห์หาชนิดและขนาดของตะกอน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาชนิดและขนาดของตะกอนชายฝั่ง

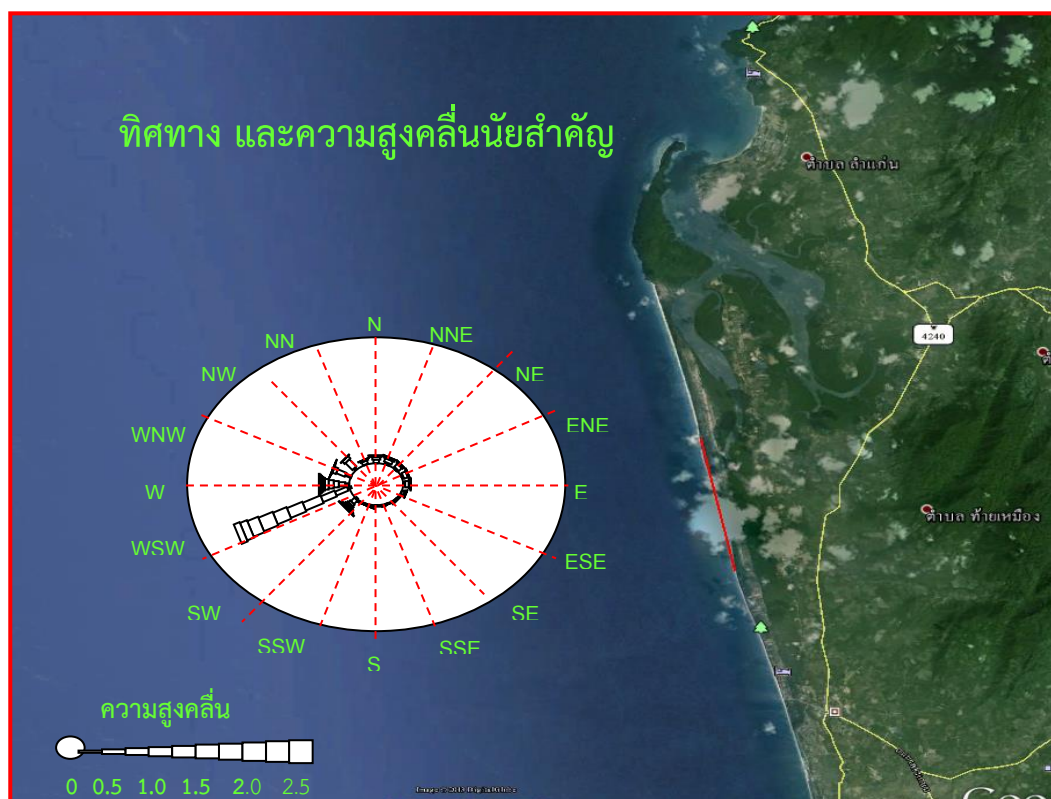
พื้นที่ของตะกอนชายฝั่ง	ชนิด	ขนาด (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร)
บริเวณที่มีวัชพืชปกคลุม	ทราย	0.27 - 0.45	0.36
บริเวณแนวน้ำขึ้นสูงสุด	ทราย	0.31 - 0.46	0.37
บริเวณแนวน้ำลงต่ำสุด	ทราย	0.23 - 0.44	0.32

5.5 ข้อมูลคลื่นจาก WAM (Wave Forecasting Model) คลื่นนัยสำคัญ (Significant Wave) มีความสูงระหว่าง 0.5 – 2.5 เมตร คาบคลื่น 2 – 5 วินาที โดยแบ่งข้อมูลคลื่นตามช่วงเวลา ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลคลื่นจาก WAM (Wave Forecasting Model) ตามช่วงเวลา

ข้อมูลคลื่นตามช่วงเวลา	ความสูงคลื่น (เมตร)	คาบคลื่น (วินาที)
ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (มีนาคม – เมษายน)	0.25 – 0.75	3 – 5
ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม – กันยายน)	0.25 – 2.5	4 – 6
ช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์)	0.25 – 1.0	2 – 4

คลื่นที่มีอิทธิพลต่อชายฝั่งหาดท้ายเหมือง ได้แก่ ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พฤษภาคม – กันยายน) และคลื่นในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (มีนาคม – เมษายน) ทิศทางของคลื่นส่วนใหญ่ทิศ 225 – 270 ประมาณ 99.25% คาบเวลาคลื่นส่วนใหญ่ 4 – 6 วินาที 74% รองลงมาช่วง 3 – 4 วินาที 15% ความสูงคลื่น ช่วง 0.5 – 1.0 เมตร 26% ความสูงคลื่น ช่วง 1.0 – 1.5 เมตร 30.6% ความสูงคลื่น ช่วง 1.5 – 2.0 เมตร 26.3% ความสูงคลื่นมากกว่า 2 เมตร 14% [4] ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ทิศทางและความสูงคลื่นนัยสำคัญบริเวณชายฝั่งพื้นที่สำรวจหาดท้ายเหมือง

5.6 ระดับน้ำขึ้น – ลง ลักษณะการขึ้นลงของน้ำทะเลบริเวณหน้าหาดท้ายเหมือง มีลักษณะเป็นน้ำคู่ คือ มีการขึ้นและลงของน้ำทะเล 2 ครั้ง ใน 1 วัน ระดับน้ำขึ้นสูงสุดสูงกว่าระดับทะเลปานกลาง 1.46 เมตร ค่าระดับน้ำลงต่ำสุด อยู่ต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง 2.04 เมตร และพิสัยน้ำเฉลี่ยมีค่า 1.61 เมตร อ้างอิงจากสถานีวัดระดับน้ำอ่าวทับละมุ จังหวัดพังงา [5]

6. สรุปและอภิปรายผล

6.1 บริเวณหาดท้ายเหมืองมีลักษณะเป็นหาดทรายทอดยาวในแนวทิศเหนือ – ใต้ ไม่มีเกาะแก่งและสิ่งก่อสร้างบังคลื่นลมและมีสภาพภูมิอากาศที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีกำลังแรงระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ทำให้เกิดฝนตกชุกและคลื่นลมแรงในช่วงดังกล่าว ความสูงคลื่นประมาณ 1.0 - 2.0 เมตร ห่างฝั่งความสูงคลื่นมากกว่า 2.0 เมตร โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือน้อย เนื่องจากมีเทือกเขาสูงทอดตัวในแนวเหนือ – ใต้ เป็นแนวกั้น ทำให้ลมมีกำลังอ่อนลงในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน ลักษณะการขึ้นลงของน้ำทะเลบริเวณหน้าหาดท้ายเหมืองมีลักษณะเป็นน้ำคู่ ระดับน้ำขึ้นสูงสุด อยู่สูงกว่าระดับทะเลปานกลาง 1.46 เมตร ระดับน้ำลงต่ำสุด อยู่ต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง 2.04 เมตร และพิสัยน้ำเฉลี่ยมีค่า 1.61 เมตร แนวระดับน้ำลงต่ำที่สุด อยู่ห่างจากแนวขอบฝั่งประมาณ 100 - 125 เมตร แนวน้ำลึก 5 เมตร อยู่ห่างจากขอบฝั่งประมาณ 200 - 220 เมตร แนวน้ำลึก 10 เมตร อยู่ห่างจากขอบฝั่งประมาณ 500 - 600 เมตร กระแสน้ำบริเวณชายฝั่งหาดท้ายเหมือง มีลักษณะการไหลขนานกับฝั่ง (Longshore Current) ขณะน้ำขึ้นกระแสน้ำมีความเร็วสูงสุด 0.39 นอต ไหลไปทางทิศ 160 องศา ขณะน้ำลงกระแสน้ำมีความเร็วสูงสุด 0.42 นอต ไหลไปทางทิศ 175 องศา

6.2 การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งบริเวณหาดท้ายเหมืองมีลักษณะเป็นแบบสภาวะสมดุลพลวัต (Dynamic Equilibrium) ซึ่งหมายถึง สมดุลบนความเปลี่ยนแปลง กล่าวคือในช่วงที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีกำลังแรงระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม คลื่นจะกัดเซาะชายหาดออกไปเป็นแนวตรงดิ่ง (Scarp) ทรายจะถูกคลื่นหอบออกสู่ทะเลกลายเป็นสันทรายใต้น้ำ ความลาดชันเพิ่มมากขึ้นหน้าหาดมีความกว้างประมาณ 7 – 22 เมตร เฉลี่ย 13 เมตร ความลาดชันเฉลี่ย 1 : 15 แต่เมื่อคลื่นลมสงบ (Calm Wave) คือ ช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายนซึ่งเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมตะวันออกเฉียงใต้ คลื่นจะพัดพาทรายกลับเข้าหาฝั่งอย่างช้า ๆ และก่อตัวเป็นชายหาดดั้งเดิม หน้าหาดมีความกว้างประมาณ 16 – 30 เมตร เฉลี่ย 23 เมตร ความลาดชันเฉลี่ย 1 : 25

6.3 การศึกษาและเก็บข้อมูลทุกช่วงฤดูจนครบปีทำให้รู้กระบวนการของชายฝั่งบริเวณหาดท้ายเหมือง ที่มีความสมดุลบนความเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ซึ่งความสมดุลของชายฝั่งแห่งนี้อาจเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพื้นที่ที่อาจเกิดจากธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ เช่น สิ่งก่อสร้างบริเวณชายฝั่ง อย่างไรก็ตามกระบวนการชายฝั่งก็จะปรับสภาพให้เข้าสู่สภาวะสมดุลอีกครั้งตามธรรมชาติ

6.4 วิธีการและเครื่องมือสำรวจที่ใช้ในการศึกษาแต่ละครั้งมีการควบคุมและตรวจสอบความถูกต้องเสมอเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องครบถ้วน แต่การทำงานบนพื้นที่ชายฝั่งและในทะเลมักพบอุปสรรคจากสภาพอากาศและคลื่นลม ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและเครื่องมือสำรวจ อีกทั้งต้องใช้ระยะเวลาในการสำรวจต่อครั้งมาก ซึ่งต่อไปถ้ามีการนำเทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกลมาใช้ ก็จะทำให้การสำรวจเก็บข้อมูลมีความรวดเร็วและมีความละเอียดถูกต้องมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] พันธนาถ นาคบุปผา, นาวาตรี. เอกสารวิจัยหลักสูตรเสนาธิการทหารเรือ การพัฒนางานด้านระดับน้ำของกรมอุทกศาสตร์. [นครปฐม]: [โรงเรียนเสนาธิการทหารเรือ]; 2549.
- [2] สุวลักษณ์ สาธุนันท์. การจัดการชายฝั่ง: การบูรณาการสู่ความยั่งยืน. นครปฐม: มหาวิทยาลัยมหิดล; 2554.
- [3] กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, สำนักอุทยานแห่งชาติ [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: สำนักอุทยานแห่งชาติ; c2015 [เข้าถึงเมื่อ 25 ก.ย. 2561]. เข้าถึงได้จาก:
http://park.dnp.go.th/visitor/nationparkshow.php?PTA_CODE=1052
- [4] กรมอุทกศาสตร์, กองสมุทรศาสตร์. รายงานการวิเคราะห์คลื่นจากข้อมูลลม (WAM) บริเวณฝั่งตะวันตกของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กอง; 2560.
- [5] กรมอุทกศาสตร์, กองสมุทรศาสตร์, แผนกสมุทรศาสตร์และระดับน้ำ. ค่ารายการน้ำ (TIDAL INFORMATION). กรุงเทพฯ: แผนก; 2559.

การพัฒนาชุดทดลองการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกด้วยตัวตรวจวัดเวลา

แบบดิจิทัลพร้อมโปรแกรมแสดงผลอัตโนมัติด้วย IoT บน Smartphone

สำหรับห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ โรงเรียนนายเรือ

Development of an Apparatus for Determination of Gravitational

Acceleration with Digital Timer with IoT AutoPlay Program on

a Smartphone for Physical Laboratory, Royal Thai Naval Academy

วีระ บุญผุด¹

Veera Boonphud¹

Received : April 26, 2022

Revised : July 7, 2022

Accepted : July 11, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีความสำคัญเป็นอย่างมากในสาขาวิชาฟิสิกส์ที่ส่งผลต่อการสร้างความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับแรงดึงดูดระหว่างมวล น้ำหนักและพลังงานศักย์โน้มถ่วง การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดทดลองในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์เพื่อวัดค่าเวลาด้วยตัวตรวจวัดเปียโซอิเล็กทริกและค่าการกระตุ้นด้วยตัวตรวจวัดอัลตราโซนิก ร่วมกับการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอร์ด Arduino Mega2560 R3 ควบคุมและแสดงผลอัตโนมัติบนจอภาพชนิดสัมผัส นอกจากนี้ยังใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งควบคุมและแสดงผลบนสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชันบลิงค์ ค่าเวลาและค่าการกระตุ้นที่วัดได้นี้จะนำมาวิเคราะห์หาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยวิธีคำนวณจากสูตรการตกอย่างอิสระและวิธีทางกราฟ ผลจากการทดสอบพบว่าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่วัดได้จากชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน โดยผลการทดสอบของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้มีความแม่นยำถึงร้อยละ 99.51 จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้ทดลองวัดความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในการศึกษาเรื่องการตกอย่างอิสระของวัตถุได้อย่างแม่นยำ

คำสำคัญ: การตกอย่างอิสระ, ไมโครคอนโทรลเลอร์, ตัวตรวจวัดเปียโซอิเล็กทริก, ตัวตรวจวัดอัลตราโซนิก, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Assistant Professor, Department of Physics and Chemistry, Academy Branch, Royal Thai Naval Academy.

E-mail: veeraboonthud@gmail.com

Abstract

The study of gravity is important in order to get to the basic understanding of physics regarding the gravitational force, weight and potential energy. This research aims to develop apparatus for determination of gravitational acceleration by using a digital piezoelectric sensor to measure change in time and a digital ultrasonic sensor to measure change in displacement. using an Arduino Mega2560 R3. The data was sent via the Internet of Thing controller and displayed on Blynk application installed on smartphone. For finding the gravitational acceleration, recorded falling time at different falling displacement were analyzed by free fall formula physics and slope of the graph. The results showed that the value of measured gravitational acceleration was very close to the standard value. Its percentage of accuracy from the standard value was 99.51. This experimental set demonstrated that it was applicable for measuring the gravitational acceleration effectively.

Keywords: Free Fall, Arduino Microcontroller, Piezoelectric Sensor, Ultrasonic Sensor, Internet of Thing (IoT)

1. บทนำ

แผนหลักสูตรโรงเรียนนายเรือ (ฉบับปรับปรุง) 5 ปี (พ.ศ.2563 - 2567) นโยบายด้านการศึกษาข้อที่ (3) ด้านการพัฒนาการเรียนการสอน ให้พัฒนากระบวนการเรียนการสอนให้ทันสมัยสอดคล้องตามหลักการศึกษา รวมทั้งพัฒนาสื่อการเรียนการสอนและห้องสมุดให้ทันสมัยและเอื้ออำนวยต่อการใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1] ซึ่งสอดคล้องกับแผนอุดมศึกษาระยะยาว 20 ปี (พ.ศ.2561 – 2580) ให้ปฏิรูปอุดมศึกษาเพื่อกำหนดบทบาทของสถาบันอุดมศึกษาในฐานะผู้ให้บริการ (Service Provider) ผลผลิตที่เกิดจากอุดมศึกษาต้องมีคุณภาพมาตรฐานเป็นที่ยอมรับและกลไกการขับเคลื่อนในระบบอุดมศึกษาที่จะสร้างคุณภาพในการบริหารให้เกิดธรรมาภิบาลรวมทั้งการนำดิจิทัลเทคโนโลยีมาใช้ในการเรียนการสอนและการบริหารจัดการ [2]

กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ มีหน้าที่รับผิดชอบการศึกษาในแขนงวิชาฟิสิกส์และเคมีพื้นฐาน ให้กับ 4 หลักสูตรปริญญาในหมวดวิชาเฉพาะด้าน กลุ่มวิชาพื้นฐานคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ซึ่งหนึ่งในรายวิชานั้นคือ วิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 (0402) เนื่องจากปัจจุบันชุดทดลองในวิชาฟิสิกส์ 1 ส่วนใหญ่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งแต่ละชุดทดลองมีราคาสูง ประกอบกับเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ในปัจจุบัน ทำให้มีแนวคิดสร้างอุปกรณ์การทดลองในวิชาฟิสิกส์พื้นฐานขึ้น เริ่มต้นโดยใช้อุปกรณ์ที่ง่ายต่อการสร้างและวัสดุหาซื้อได้ภายในประเทศ เพื่อตอบสนองต่อยุทธศาสตร์ศึกษา การศึกษาการพัฒนาอุปกรณ์โดยหาจุดบกพร่องต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ แล้วนำข้อมูลมาปรับปรุงและพัฒนาเพื่อให้ได้อุปกรณ์การทดลองที่ดีที่สุด เริ่มต้นการ พัฒนาอุปกรณ์การทดลองเรื่องการตกอย่างอิสระ

ซึ่งการทดลองเรื่องการตกอย่างอิสระนี้เป็นการทดลองที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งแบบความเร่งคงที่ โดยกำหนดตัวแปรสำคัญของการทดลองคือกำหนดให้ความเร็วต้นของการเคลื่อนที่มีค่าเป็นศูนย์ โดยความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการกระจัดสามารถนำไปคำนวณหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ได้จากสูตรการตกอย่างอิสระ [3] ตามสมการที่ (1) ดังนี้

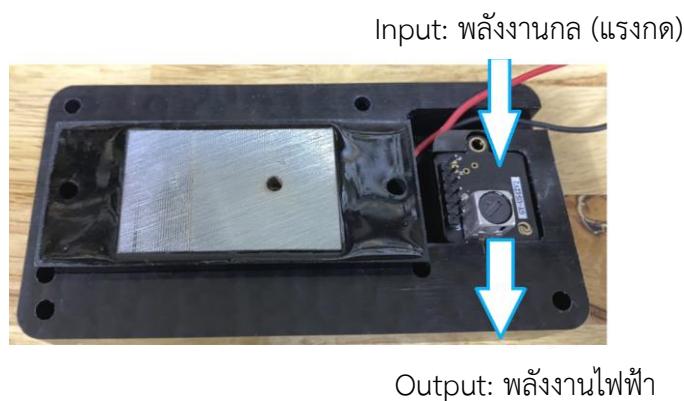
$$y = U_{y0} + 0.5 gt^2 \quad (1)$$

เมื่อ y คือการกระจัดของลูกเหล็กหล่นในแนวตั้ง (เมตร) U_{y0} คือความเร็วต้นของลูกเหล็กหล่นที่เวลาเริ่มต้น (เมตรต่อวินาที) ซึ่งในกรณีนี้มีค่าเป็นศูนย์ และ t คือ เวลาของลูกเหล็กในอากาศ (วินาที) นอกจากนั้นสามารถหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) โดยความชันของกราฟเส้นตรงจากความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับกำลังสองของเวลา ค่า $0.5a_y$ หรือ $0.5g$ ในสมการที่ (1) เท่ากับค่าความชันกราฟ (Slope) นำไปคำนวณหาค่า g ซึ่งจะได้ค่า g จากการทดลอง [4]

ซึ่งค่าความแม่นยำของชุดทดลองเกิดจากการเปรียบเทียบค่า g ที่ได้จากสูตรคำนวณโดยตรงและวิธีทางกราฟจากข้อมูลชุดทดลองกับค่า g มาตรฐาน วัดที่กรุงเทพมหานครโดยสถาบันมาตรวิทยา [5] จากแนวคิดดังที่กล่าวมาข้างต้น มีบริษัทต่างชาติที่จำหน่ายชุดอุปกรณ์การทดลอง พัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุเทียบกับการกระจัด โดยมีจุดเด่นในด้านเทคโนโลยีความแม่นยำของการตรวจวัดเวลา ซึ่งอุปกรณ์ที่นำมาช่วยในการตรวจวัดเวลาคือไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เหมือนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก มีส่วนประกอบที่คล้ายกันคือหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ ส่วนเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก และหน่วยแสดงผล โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ของวัตถุ และนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลและแสดงข้อมูลของเวลาของการเคลื่อนที่ผ่านทางหน้าจอแสดงผล นอกจากนั้นยังสามารถแสดงข้อมูลประมวลผล และควบคุมการทำงานจากแอปพลิเคชัน Blynk ที่ติดตั้งบนสมาร์ตโฟน โดยส่งข้อมูลผ่านการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต

ในปัจจุบันการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบการตกอิสระของวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 ใช้การตรวจวัดเวลาแบบโซลินอยด์กับวงจรรนาฬิกาจับเวลาซึ่งเป็นแบบดั้งเดิม ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ตรวจวัดเวลาด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดแบบเปียโซอิเล็กทริก คือเมื่อมีแรงกดทับบนตัวตรวจวัด อุปกรณ์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลที่เกิดจากการกดทับนั้นไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของความคิดที่จะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดการตกของวัตถุ คือเมื่อวัตถุตกกระทบแผ่นเปียโซอิเล็กทริก อุปกรณ์จะส่งกระแสไฟฟ้าออกมาทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รู้ว่าวัตถุตกถึงพื้นแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลออกมาเป็นค่าของเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งข้อมูลที่ได้จะมีความเที่ยงตรงสูง รวมถึงเทคโนโลยีวัดการกระจัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดแบบอาศัยการสะท้อนของเสียง เมื่อวัตถุตกถึงพื้นแล้วสะท้อนกลับไปที่เดิม ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลออกมาเป็นค่าการกระจัด

หลักการของการสร้างอุปกรณ์การทดลองเรื่องการตกอย่างอิสระแบบใช้อุปกรณ์ตรวจวัดการตกของลูกเหล็กกลมโดยอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Material) คือ วัสดุเซรามิกคริสตอล หรือโพลิเมอร์ที่เมื่อได้รับแรงกดหรือแรงดึงจะเปลี่ยนรูปพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า และในงานวิจัย ๓ นี้ได้ประยุกต์นำอิเล็กทรอนิกส์แบบไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ไฟฟ้า เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าขั้วของรีเลย์ จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็กดูดวัตถุที่จะทำการทดลอง ซึ่งในที่นี้เป็นโลหะทรงกลม และเมื่อตัดกระแสไฟฟ้าออก สนามแม่เหล็กจะหายไปทำให้วัตถุตกลงมาได้ ซึ่งเมื่อตัดกระแสไฟฟ้าที่รีเลย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับรู้และเริ่มจับเวลา หลังจากวัตถุตกถึงพื้น สัญญาณไฟฟ้าจากตัวตรวจจับแบบเพียโซอิเล็กทริกจะส่งไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อหยุดเวลา ซึ่งการใช้ตัวตรวจวัดเวลาแบบเพียโซอิเล็กทริกจะมีประสิทธิภาพสูงและแม่นยำกว่าการจับเวลาแบบเดิม นอกจากนี้การวัดการกระจัดด้วยอุปกรณ์แบบอัลตราโซนิก ซึ่งใช้อุปกรณ์ส่งคลื่นเสียงไปกระทบพื้นและสะท้อนกลับมายังตัวรับคลื่นเสียงที่ติดตั้งอยู่ที่จุดปล่อยวัตถุ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลออกมาเป็นค่าการกระจัด โดยทั้งค่าเวลาและค่าการกระจัดจะแสดงผลบนกล่องควบคุมและบนสมาร์ตโฟน



รูปที่ 1 การทำงานของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้า (Direct Effect)

จากข้อมูลที่ผ่านมาทั้งหมดนั้นเป็นที่มาของการพัฒนาอุปกรณ์การทดลองเรื่องการพัฒนาชุดทดลองเพื่อศึกษาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกด้วยตัวตรวจวัดเวลาแบบดิจิทัล พร้อมโปรแกรมแสดงผลอัตโนมัติด้วย IoT บน สมาร์ทโฟนสำหรับห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ โรงเรียนนายเรือ

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อพัฒนาชุดทดลองทางฟิสิกส์และนำไปใช้วัดค่าเวลาและค่าการกระจัดของการตกอย่างอิสระของลูกเหล็กทรงกลม ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดเวลาและค่าการกระจัดแบบดิจิทัลพร้อมโปรแกรมแสดงผลอัตโนมัติด้วย IoT บนสมาร์ตโฟนสำหรับห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ โรงเรียนนายเรือ

2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากชุดทดลองกับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มาตรฐานวัดที่กรุงเทพมหานครโดยสถาบันมาตรวิทยา

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดิเรก บุญธรรม [6] ได้ทำการศึกษาการตกอิสระของวัตถุโดยอาศัยอุปกรณ์เปียโซอิเล็กทริก เริ่มจากการนำเทคนิคไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการออกแบบโดยใช้ตัวตรวจจับการตกของวัตถุแบบตรวจจับการสั่นสะเทือนแทนการใช้ตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบแสงแสดงผลบนจอ ซึ่งพบว่าข้อดีของตัวตรวจจับการตกของวัตถุแบบตรวจจับการสั่นสะเทือนดีกว่าตัวตรวจจับแบบแสงในแง่ของความเที่ยงตรงและความแม่นยำของช่วงเวลา เพื่อศึกษาการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยวิธีการตกอย่างอิสระ ผลการทดลองพบว่า ความสัมพันธ์ของการกระจัดกับกำลังสองของเวลา มีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น เมื่อนำความชันของกราฟมาคำนวณหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกพบว่ามีความคลาดเคลื่อน 0.61% เมื่อเทียบกับค่าจริงที่ได้จากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (National Institute of Metrology (Thailand)) เป็นค่าที่วัดหาค่า g ที่กรุงเทพฯ มีค่าคือ 9.78297 m/s^2

อภิรักษ์ พันธุ์พาสกุล [7] ได้พัฒนาระบบควบคุมเปิด - ปิดไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศผ่านสมาร์ทโฟนโดยศึกษาการทำงานชุดควบคุมการเปิด - ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าและศึกษาลักษณะการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เพื่อประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบเปิด - ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศผ่านสมาร์ทโฟนและได้มีการนำแอปพลิเคชัน Blynk มาใช้ในการตั้งค่าเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino โดยสามารถตรวจสอบการเข้าใช้งานและการเรียกดูรายงานในแต่ละวันและย้อนหลังได้โดยการตรวจสอบผ่านแอปพลิเคชัน Blynk การประเมินคุณภาพของระบบควบคุมเปิด - ปิดไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศผ่านสมาร์ทโฟนมีการประเมิน 2 รูปแบบ คือการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ผลการประเมินโดยผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องพบว่าประสิทธิภาพของระบบที่ได้พัฒนาอยู่ในระดับที่ดี (คะแนนเฉลี่ย 4.05 จากคะแนนเต็ม 5) ส่วนผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานเครื่องมือโดยผู้ใช้งานพบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นโดยรวมอยู่ในระดับดี (คะแนนเฉลี่ย 4.15 จากคะแนนเต็ม 5)

ชาโรณี ชาญดนตรีกิจ และณัฐกร สืบบุก [8] ได้ศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ ภาษา C/C++ สร้างเว็บไซต์มีการตอบสนองแบบ Real - time ด้วยเทคโนโลยี AJAX ออกแบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ผ่านระบบเน็ตเวิร์ค ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมผ่านหน้าเว็บเพจ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากการส่งผ่านหน้าเว็บเพจส่งไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เราต้องการจะควบคุมและยังสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านั้นได้

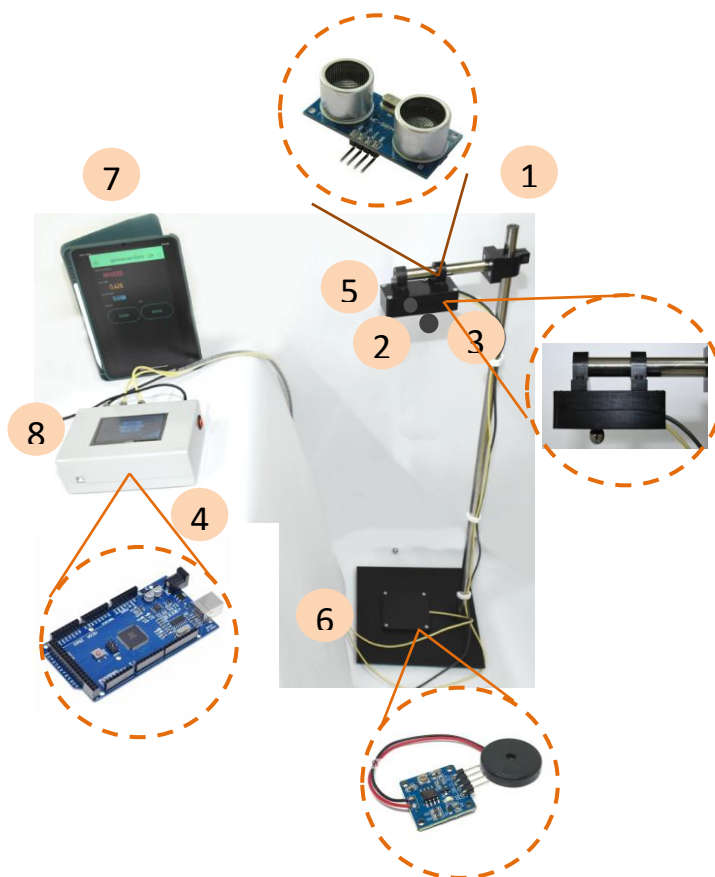
4. วิธีการดำเนินการ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ชุดการทดลองการตกอิสระ หาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอร์ด Arduino Mega2560 R3

4.1 การสร้างชุดการทดลองดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

4.1.1 สร้างชุดทดลองการตกอิสระ เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกโดยใช้ Arduino Mega2560 R3

(ก) อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชุดการทดลองตักอิสระโดยใช้ Arudino

1. ขาตั้ง
2. ลูกเหล็กทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร
3. Solenoid โมดูลสวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Door Switch) รุ่น MC-3
4. Arduino รุ่น ATmega2560
5. Ultrasonic Module HC-SR04
6. Piezoelectric Shock Tap Sensor Vibration Switch Module
7. สมาร์ทโฟน (ระบบปฏิบัติการ IOS)
8. จอแสดงผล LCD แบบสี รุ่น Touch screen Nextion 4.3 นิ้ว

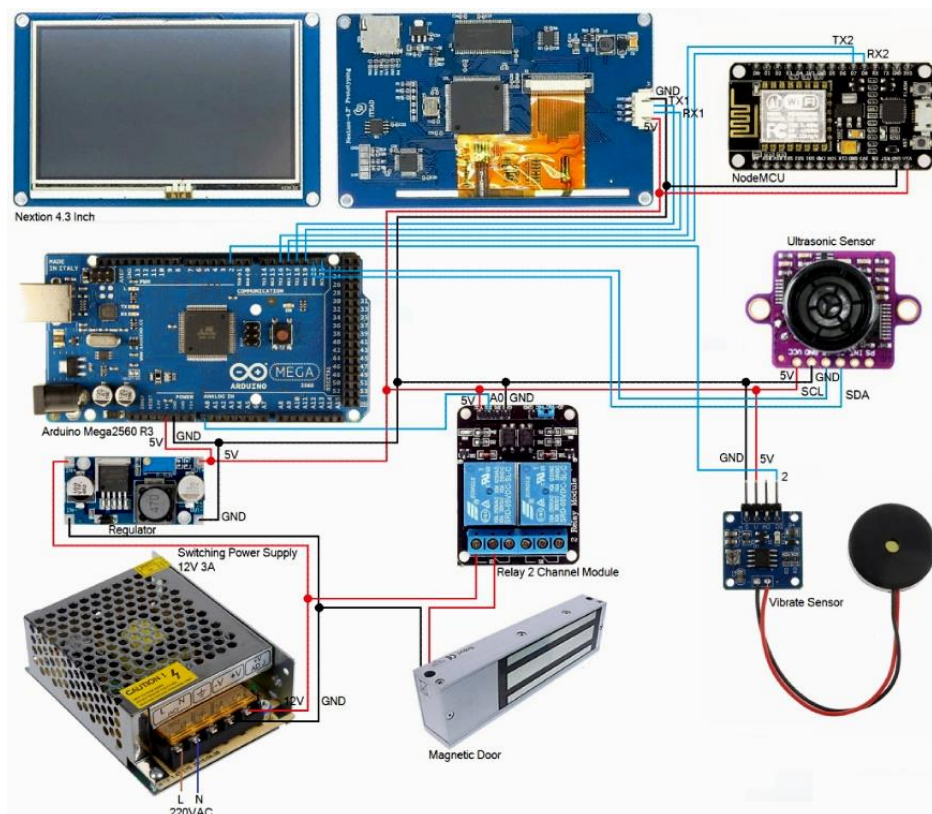
(ข) ขั้นตอนการออกแบบ

อุปกรณ์ประกอบชุดทดลองมีดังนี้ รีเลย์ขนาด 5 โวลต์ ทำหน้าที่เป็นตัวปล่อยลูกเหล็ก ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega2560 R3 ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลและแสดงบนหน้าจอ มีความละเอียด 480 × 272 พิกเซล ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ และ 500 มิลลิแอมแปร์ อุปกรณ์สมาร์ตโฟนใช้ระบบปฏิบัติการ IOS อุปกรณ์แสดงผลบนจอทาง Serial ที่อัตราความเร็วในการสื่อสาร 9,600 บิตต่อวินาที และในแอปพลิเคชัน Blynk

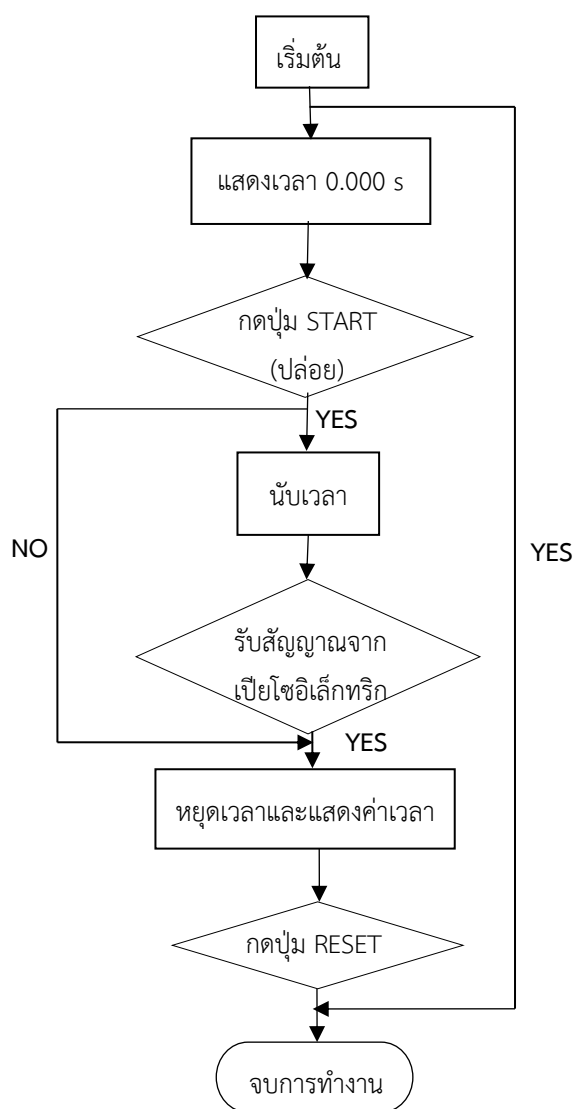
นอกจากนี้ยังประกอบด้วยตัวตรวจวัดการตกของวัตถุแบบสัมผัสเปียโซอิเล็กทริก รุ่น Piezoelectric Shock Tap Sensor Vibration Switch Module ปฏิบัติงานในช่วงแรงดัน 5 โวลต์ ผลิตแรงดันได้ไม่เกิน 12 โวลต์ และผลิตกระแสไฟฟ้าสูงสุด 1 แอมแปร์ โดยใช้แทนยัตวัตถุแบบเลื่อนได้เป็นตัวเปลี่ยนการกระจัด รีเลย์โมดูล สวิตช์แม่เหล็ก (Magnetic Door Switch) รุ่น MC-38 ขนาด 27 × 14 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร Magnetic Door ทำหน้าที่ควบคุมการปล่อยลูกเหล็ก โดยใช้บอร์ดรีเลย์ขนาด 12 โวลต์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ เปิด - ปิดวงจร และมีแหล่งจ่ายพลังงานขนาด 12 โวลต์ อุปกรณ์วัดระยะกระจัด Ultrasonic รุ่น HC-SR04 การทำงานจะส่งสัญญาณคลื่นเสียงความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่แรงดัน 5 โวลต์ ย่านระยะการกระจัดที่วัดได้ 2 – 400 เซนติเมตร ดังผังวงจรรูปที่ 3

(ค) ขั้นตอนการสร้าง

วิธีการสร้างอุปกรณ์การทดลองเรื่องการตกอิสระคือเชื่อมสายสัญญาณออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ กับรีเลย์เพื่อเป็นตัวสั่งให้เริ่มการทำงาน ส่วนของตัวสั่งให้หยุดการทำงานคือสัญญาณจากตัวตรวจวัดการตกของวัตถุแบบสัมผัสเปียโซอิเล็กทริกซึ่งจะส่งเข้ามาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ การทำงานและแสดงผลผ่าน 2 ช่องทาง คือจอแบบสัมผัสกับสมาร์ตโฟน การทำงานทั้งหมดนั้นทำงานภายใต้การสั่งที่โปรแกรมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาษาที่ใช้ในการสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์คือภาษาซี C++ กระบวนการการทำงานของอุปกรณ์ติดตามการตกอิสระของวัตถุนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ผังการออกแบบชุดทดลองการตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4 ผังการออกแบบชุดทดลองการตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

4.2.1 หาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกโดยชุดทดลองการตกอย่างอิสระ

วิธีการทดลองโดยนักเรียนนายเรือจะนำลูกเหล็กทรงกลมมาติดกับรีเลย์ตามรูปที่ 1 จากนั้น กดปุ่มปล่อยวัตถุ (Start) บนกล่องควบคุมหรือเลือกกดบนสมาร์ตโฟนอย่างใดอย่างหนึ่งได้เช่นเดียวกันตามรูปที่ 4 ขณะลูกเหล็กกลมหล่นจากรีเลย์ วงจรนาฬิกาจับเวลาบนไมโครคอนโทรลเลอร์จะเริ่มจับเวลาทันที กระทั่งลูกเหล็กกลมตกถึงพื้นตัวตรวจจับแบบเปียโซอิเล็กทริกจะส่งสัญญาณหยุดวงจรนาฬิกาจับเวลา ผลค่าเวลาและค่าการกระจัดจะแสดงทั้งบนหน้าจอกล่องควบคุมและบนหน้าจอสมาทโฟนพร้อมกัน หากจะทดลองใหม่ให้เลือกกดเมนู Reset ก่อนทุกครั้งเพื่อทำการทดลองใหม่อีก 9 ระยะ ตามตารางที่ 1 นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่า g จากสมการที่ 1 และเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกับค่ามาตรฐานเพื่อวิเคราะห์หาค่าความแม่นยำของการทดลอง

4.2.2 หาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกจากความชันของกราฟ

นำข้อมูลในตารางที่ 1 ใช้ความสัมพันธ์การจัดกับกำลังสองของเวลาพล็อตกราฟเส้นตรงตามรูปที่ 5 ความชันบนกราฟเส้นตรงนี้จะเท่ากับความชันในสมการที่ 1 คือ $0.5g$ แล้วคำนวณหาค่า g ต่อไป



รูปที่ 5 การแสดงผลเวลาและการกระจัดบนจอภาพและบนจอสมาร์ตโฟน

5. ผลการวิจัย

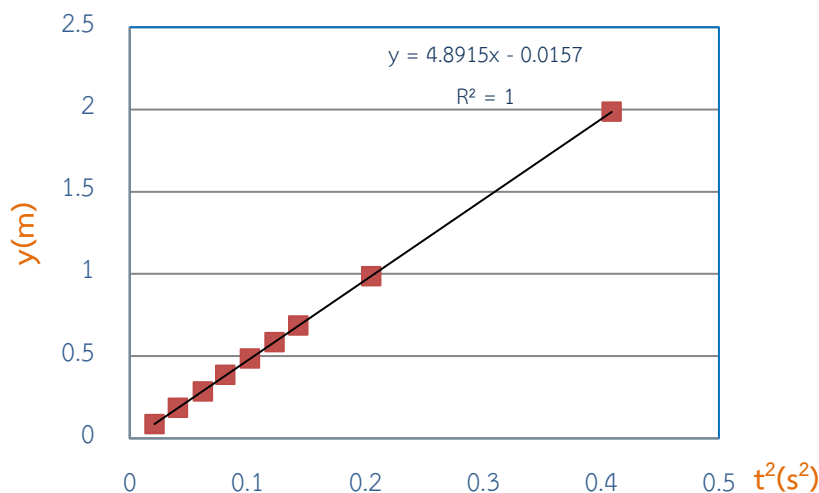
5.1 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกโดยชุดทดลองการตกอย่างอิสระร่วมกับ Arduino แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการตกอย่างอิสระที่ได้จากการวัดโดย Arduino

ระยะกระจัด y (m)	เวลา t (s)				t_{av}^2 (sec) ²	g (m/s ²)
	t_1	t_2	t_3	t_{av}		
1.985	0.637	0.644	0.637	0.639	0.409	9.706
0.985	0.453	0.452	0.451	0.452	0.205	9.609
0.685	0.379	0.378	0.340	0.379	0.143	9.580
0.585	0.351	0.350	0.352	0.351	0.123	9.512
0.485	0.320	0.321	0.320	0.320	0.102	9.509
0.385	0.285	0.286	0.285	0.285	0.081	9.506
0.285	0.254	0.246	0.246	0.248	0.062	9.193
0.185	0.205	0.201	0.200	0.202	0.041	9.024
0.085	0.144	0.147	0.141	0.144	0.021	8.095
ค่า g เฉลี่ย						9.310

หมายเหตุ: กระจัดคือระยะที่หักขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลูกเหล็กกลม 1.50 เซนติเมตร

5.2 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากกราฟจากผลการทดลองตามตารางที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดและกำลังสองของเวลาแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดและกำลังสองของเวลา

6. สรุปและอภิปรายผล/ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดทดลองสำหรับวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อใช้ศึกษาเรื่องการตกอย่างอิสระ โดยชุดทดลองนี้จะใช้การจับเวลาที่ลูกเหล็กกลมเคลื่อนที่ตกลงมา รวมถึงการวัดระยะกระจัดที่ระยะต่างๆ แล้ววิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้โดยสมการการตกอย่างอิสระและการเขียนกราฟเพื่อนำไปสู่การหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก หลักการทำงานของชุดทดลองในการวัดระยะเวลาและที่ลูกเหล็กกลมตกลงมาใช้ตัวตรวจวัดแบบสัมผัสผู้วิจัยนำมาใช้ในการส่งสัญญาณให้เริ่มนับและหยุดเวลา และการวัดระยะกระจัดใช้ตัวตรวจวัดแบบอัลตราโซนิกอัตโนมัติ โดยจะทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุดทดลองผ่านกล่องควบคุมและสมาร์ทโฟน

การทำงานและส่งข้อมูลที่วัดได้จะแสดงบนจอภาพของกล่องควบคุม และแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน ทำให้นักเรียนนายเรือสามารถบันทึกค่าเวลาที่ลูกเหล็กใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงมาได้ทันที และวิเคราะห์ผลค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกสะดวกยิ่งขึ้น ผลการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเฉลี่ยโดยชุดทดลอง ฯ ที่พัฒนาขึ้น พบว่าได้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกคือ 9.310 m/s^2 เปรียบเทียบกับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมาตรฐานที่กรุงเทพมหานคร (9.7829 m/s^2) ผลการทดลองพบว่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่วัดได้จากชุดทดลอง ฯ ที่พัฒนาขึ้น มีค่าความคลาดเคลื่อนเพียงร้อยละ 4.83 หรือมีความแม่นยำร้อยละ 95.17 ตามลำดับและมีแนวโน้มลดลงที่ระยะมากกว่า 30 เซนติเมตร ซึ่งผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าชุดทดลอง ฯ ที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้วัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้อย่างแม่นยำ

ดังนั้นชุดทดลอง ฯ ที่พัฒนาขึ้น กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ สามารถนำไปสร้างเป็นชุดทดลองให้นักเรียนนายเรือใช้ทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์เรื่องการตกแบบอิสระได้ นอกจากนี้การนำ IOT มาประยุกต์ใช้กับชุดทดลองจึงสอดคล้องกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 โดยนักเรียนนายเรือสามารถเลือกทดลองผ่านสมาร์ทโฟนทั้งควบคุมและแสดงผลได้ด้วยตนเองที่ระยะเกินกว่า 2 เมตรขึ้นไป แทนกล่องควบคุมเพื่อลดโอกาสการสัมผัสและติดเชื้อ ฯ

ในการนำไปใช้มีข้อเสนอแนะที่ควรระวังเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำ ดังนี้ ในส่วนของลูกเหล็กกลมควรมีขนาดมวลมากพอที่จะทำให้ตัวตรวจจับสัมผัสกันในทันทีที่ลูกเหล็กตกกระทบและระยะปล่อยตกควรสูงไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณในเครื่องมือวัดต่อค่าที่วัดได้ อีกทั้งการใช้ระบบอินเตอร์เน็ตมีข้อจำกัดตรงที่บางห้องไม่มีสัญญาณ ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ แนะนำควรใช้ระบบบลูทูธเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนแทนเพื่อลดปัญหาเรื่องสัญญาณอินเตอร์เน็ต

เอกสารอ้างอิง

- [1] โรงเรียนนายเรือ [อินเทอร์เน็ต]. สมุทรปราการ: สำนักงาน; c2020 [เข้าถึงเมื่อ 25 เม.ย. 2565]. เข้าถึงได้ จาก: [https:// www.rtna.ac.th/download/education_63.pdf](https://www.rtna.ac.th/download/education_63.pdf)
- [2] สำนักงานการอุดมศึกษา [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพมหานคร: สำนักงาน; c2019 [เข้าถึงเมื่อ 25 เม.ย.2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://op.chandra.ac.th/plan/images/pdf/plan20yrs%20education%2061-80.pdf>
- [3] ปิยพงษ์ สัทธิต. ฟิสิกส์ 1 ระดับอุดมศึกษา. กรุงเทพฯ: ท็อป; 2559.
- [4] Serway RA, Jewett JW. Physics for scientists and engineers. 9th ed. Belmont, CA: Brooks/Cole; 2012.
- [5] ทศนีย์ ไพรรณมัย, ณัฐนันท์ วรเดช. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ. [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพมหานคร: สำนักงาน; c2022 [เข้าถึงเมื่อ 24 เม.ย. 2565]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.nimt.or.th/main/?p=21307& fbclid=IwAR2xzP44rY5B4oUBuNOPMLZG-855 - oNwS-NKnVTNY6>
- [6] ดิเรก บุญธรรม, สันติภาพ สระบัว, อภิชาติ พองพลา, อุดมเดช รักดี, ชุตติมา อุปถัมภ์. การพัฒนาอุปกรณ์ใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อติดตามการตกอิสระของวัตถุโดยอาศัยอุปกรณ์เปียโซอิเล็กทริก. วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) [อินเทอร์เน็ต]. ม.ค.-มี.ค.2555 [เข้าถึงเมื่อ 24 เม.ย. 2565];21(1): 41-47. เข้าถึงได้จาก: <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUJournal/article/view/ 12118/10268>
- [7] อภิรักษ์ พันธุ์พัฒนสกุล, อดิรัตน์ ศรีระสันต์, ภูวนาท จันทร์ขาว, กนกรัตน์ จันทรมโน. การพัฒนาระบบควบคุมเปิด-ปิดไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศผ่านสมาร์ทโฟน. ใน: The 10th Hatyai National and International Conference. การประชุมมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10 The 10th Hatyai National and International Conference; 12-13 ก.ค. 2562; สงขลา. [สงขลา]: [มหาวิทยาลัยหาดใหญ่]; 2562. น. 645-59.

- [8] ชาริณี ขาญดนตรีกิจ, ณัฐการ สืบบุก. ระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ต [อินเทอร์เน็ต] [ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2553 [เข้าถึงเมื่อ 24 เม.ย. 2565]. เข้าถึงได้จาก:
http://www.hu.ac.th/conference/conference2019/proceedings_2019/FullText



ปณิธาน โรงเรียนนายเรือ

" ให้การศึกษาและฝึกอบรมนักเรียนนายเรือ
เพื่อให้เป็นนายทหารสัญญาบัตรที่มีความรู้
ความสามารถ ความคิดริเริ่ม มีความเป็นผู้นำ
เพียบพร้อมด้วยคุณธรรมจริยธรรม
สำหรับปฏิบัติราชการในกองทัพเรือ
รวมทั้งมีความจงรักภักดีต่อชาติ ศาสนา
และพระมหากษัตริย์ "

