



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ

NKRAFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 ก.ค. - ธ.ค. 64

Contents

บทความวิจัย

- ชุดสถิติทางทหารในการส่งสัญญาณแสงด้วยเทคนิคการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 1-16
ชนะ จันทรอัม
- สถานภาพความพร้อมและดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ 17-30
สุภาพร พรหมโส
- การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวล 31-44
ปราโมทย์ สุขศิริศักดิ์
- การแจกแจงของจำนวนพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย 45-53
บุญฤทธิ์ ชูประดิษฐ์
- การศึกษาการเพิ่มขีดความสามารถด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม ของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ 54-68
ธนินทร์รัฐ สิทธิเวชธนาศิริ
- การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากกาแฟ 69-78
อภิชาติ จินนแพทย์

บทความวิชาการ

- การออกแบบระบบป้องกันการกัดเซาะดินริมตลิ่งด้วยกระสอบเส้นใยธรรมชาติประสาน 79-92
นัยางพาราและหยู้าแฝก บริเวณพื้นที่ ตำบลหนองบัว อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง
- อริสมันต์ แสงธงทอง





วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564

NKRAFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ที่ปรึกษาเกิตติมศักดิ์

พลอากาศโท ณรงค์ อินทชาติ _____ ผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

พลอากาศตรี ณรงค์ศักดิ์ พิษิตชโลธร _____ รองผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

พลอากาศตรี ศศ.ชาดิชยา คงเจริญสุข _____ รองผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

พลอากาศตรี จักรกฤษณ์ ธรรมวิชัย _____ เสนาธิการ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

พลอากาศตรี รศ.ปริพนธ์ สุขพิมาย _____ ผู้อำนวยการ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

พลอากาศตรี บุญเลิศ อังคารา _____ ผู้อำนวยการ สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

ที่ปรึกษาวิชาการ

นาวาอากาศเอก ศ.ดร.ประสงค์ ประณีตพลกั _____ รองเสนาธิการ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

บรรณาธิการ

นาวาอากาศเอก รศ.ดร.เจนวิทย์ คำฟู _____ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณค่าแก่ผู้ที่สนใจ
2. เพื่อเป็นสื่อกลางรายงานความก้าวหน้าผลงานด้านการวิจัย
3. เพื่อแลกเปลี่ยนแนวความคิด ความรู้ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิชาการด้านอากาศยาน การบิน อวกาศ คอมพิวเตอร์ ไซเบอร์ และเทคโนโลยีป้องกันประเทศ และวิศวกรรมศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

ขอบเขต

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ จัดทำขึ้นตามวัตถุประสงค์ข้างต้น โดยส่งในรูปแบบบทความทาง Online ซึ่งบทความทุกเรื่องจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Reviewer) อย่างน้อย 2 คน โดยเป็นการประเมินแบบผู้ประเมินบทความไม่ทราบชื่อผู้แต่ง และผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ประเมินบทความ (Double-blind) กองบรรณาธิการ ฯ จะเป็นผู้พิจารณาในกระบวนการสุดท้ายในการรับตีพิมพ์ บทความที่รับแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ บทความวิชาการ (Academic Articles) และบทความวิจัย (Research Articles) จะต้องเป็นผลงานที่ใหม่ และไม่มีการคัดลอกผลงานจากผู้อื่น มีกำหนดตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี ฉบับที่ 2

มกราคม-มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม
ของทุกปี

สถานที่ติดต่อ

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

171/1 ถ.พหลโยธิน คลองถนน สายไหม กทม. 10220

โทรศัพท์ 08 3061 9278

E-mail : janewit_kamp@rtaf.mi.th

Website: <https://nkrafa.rtaf.mi.th>

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/nkrafa-sct>

ดูแลระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์

นาวาอากาศเอก ดร.พงศ์เทพ จันทน์เสนะ

นาวาอากาศเอก ศศ.ดร.เกียรติกุล ไชย จิตต์เอื้อ

นาวาอากาศเอก รศ.ธนินทร์รัฐ สิทธิเวชธานี

เรืออากาศเอก อภิรักษ์ โกษพิพิธ

เรืออากาศโท ดร.วิศรุต คล้ายแจ้ง

เรืออากาศโท ณรงค์เดช พงษ์ประเทศ

ออกแบบปกและจัดรูปเล่ม พันจ่าอากาศตรี อิสรา ใต้รูป

ISSN(Print) : 2651-1134

ISSN(Online) : 2651-1002

บทบรรณาธิการ

ตลอดทั้งปีเราชาวไทยต้องต่อสู้กับการระบาดระลอกใหม่ของเชื้อกลายพันธุ์ของ COVID-19 และต้องดำเนินชีวิตส่วนตัวและการทำงานตามวิถีใหม่ ถึงแม้จะได้รับวัคซีนป้องกันแล้วก็ตาม เรายังคงต้องรับมือกับเชื้อ COVID-19 โอมิครอน กันต่อไปอย่างน้อยอีกหนึ่งปี ขอให้เราชาวไทยทุกคนปลอดภัยกันทุกคน ขณะเดียวกันการทำงานของกองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ (NKRAFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) ซึ่งฉบับนี้เป็น ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564 วารสารออนไลน์ใช้ระบบ Thaijo2.0 มีหมายเลข ISSN (Online) คือ 2651-1002 และวารสารเป็นเล่ม มี ISSN (Print) คือ 2651-1134 ได้ทุ่มเททำงานเพื่อดำรงความมีคุณค่าของงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารฯ และยังมุ่งมั่นที่จะปรับระดับคุณภาพของวารสารฯ ให้พร้อมที่จะเข้าสู่การประเมินเพื่อเลื่อนขึ้นสู่ วารสารกลุ่มที่ 1 ต่อไป

กองบรรณาธิการ ฯ ขอขอบคุณผู้สนับสนุนบทความทุกท่านที่ให้ความไว้วางใจในการส่งบทความ จำนวน 7 บทความ (บทความภายนอก 4 บทความ บทความภายใน 3 บทความ) เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564 ขอขอบคุณที่ปรึกษา ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาสละเวลาในการตรวจสอบคุณภาพของบทความและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ยิ่ง ขอขอบคุณ กองบรรณาธิการ ฯ และทีมงานทุกคน ที่ทำให้รูปเล่มของวารสารมีความสมบูรณ์และสวยงาม จนเกิดความสำเร็จทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณตามมาตรฐานคุณภาพของ TCI

นาวาอากาศเอก รองศาสตราจารย์ เจนวิทย์ คำพูล

บรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ

ชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณแสงด้วยเทคนิคการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

The Military Demonstration Kit of Optical Transmission using Time Division Multiplexing Technique

¹ชนะ จันทรอิม

¹กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

¹ Chana Jan im

¹ Department of Electrical Engineering, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy

chana.ja@crma.ac.th

บทคัดย่อ

Received : May 11, 2021

Revised : September 20, 2021

Accepted : November 30, 2021

งานวิจัยนี้นำเสนอชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณแสงโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา ที่ถูกออกแบบและพัฒนาให้มีลักษณะการทำงานเสมือนวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A โดยใช้หลักการวางจรร่วมสร้างสัญญาณดิจิทัลด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาวิจัยการรับ-ส่งสัญญาณผ่านใบงานการทดลองและคำนวณหาค่าอัตราความผิดพลาดบิตของสัญญาณที่วัดได้ในสัญญาณที่ผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A โดยใช้แผนภาพดวงตา (Eye Diagram) และใบงานการทดลองที่ใช้ในการวิจัยเป็นสื่อการเรียนสอนในวิชาการปฏิบัติการสื่อสารและวิชาการสื่อสารทางยุทธวิธี จากการวิจัยพบว่า ชุดสาธิตสามารถรับส่งสัญญาณทั้ง 4 สัญญาณและสามารถปรับความถี่ได้ตามกำหนด จากการทดสอบความรู้ทฤษฎีของนักเรียนนายร้อยจำนวน 12 นาย ก่อนและหลังการนำชุดสาธิตมาประกอบการทดลอง พบว่าก่อนการทดลองคะแนนเฉลี่ย 6.83 คะแนน (เต็ม 15 คะแนน) และหลังการทดลองการคะแนนเฉลี่ย 13.5 คะแนน สรุปได้ว่าการนำชุดสาธิตประกอบใบงานการทดลองมาเป็นสื่อการเรียนการสอนนั้นเพิ่มทักษะทางการใช้งานและความรู้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของนักเรียนนายร้อย

คำสำคัญ: การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา, แผนภาพดวงตา, วิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A

Abstract

This research presents a military demonstration kit of optical transmission using Time-Division Multiplexing. It is designed and developed to behave like a tactical radio series RL 422A relay based on the principle of digital transmission using TDM through an optical fiber communication system. The experiments focus on the calculation of the bit error rate using an eye diagram of the signals measured both in the optical fiber signal and

through the machine and tactical broadcast radio in order to be the military demonstration kit for Communication Systems Laboratory subject. The results show that this kit can transmit 4 digital signals and also its frequency can be adjusted accordingly. Also, the eye diagram is used to calculate the signal bit error rate in fiber optic and tactical radio relay. The researchers also performed the experiments on 12 cadets which aimed to verify their knowledge improvement before and after using this kit. The results show that an average score of 6.83 out of 15 on a pre-test and an average score of 13.5 after working on this kit. In conclusion, this demonstration kit can be used effectively for learning and teaching on Optical Communication theory.

Keywords: Time Division Multiplexing, Eye pattern, Tactical Radio Transmitting series RL 422A

1. บทนำ

จากการศึกษาข้อมูลจากโรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร เป็นหน่วยงาน ให้การฝึกศึกษาแก่กำลังพลสายงานสื่อสารทางทหารและมีการพัฒนาทางด้านงานวิจัยเกี่ยวกับสิ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในงานของเหล่าทหารสื่อสาร เช่น เครื่องมือวัดความถี่วิทยุ ความถี่ไมโครเวฟ และทางแสงที่ใช้งานกับชุดโพรบสัญญาณสายสื่อสาร ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ความละเอียดและซับซ้อนสูง ทางผู้วิจัยเล็งเห็นได้ว่าโดยปกติเครื่องมือและอุปกรณ์ดังกล่าวที่มีการจัดหาให้กับหน่วยผู้ใช้งานจะมีการถ่ายทอดความรู้ให้กับเจ้าหน้าที่รับผิดชอบโดยจะจัดการอบรมการใช้งานทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติในการใช้งานตามหลักการให้ครบทุกฟังก์ชัน ซึ่งในทางปฏิบัติบางฟังก์ชันจำเป็นต้องมีชุดสาธิตฯเพื่อประกอบประกอบการอบรม ถ่ายทอดองค์ความรู้แก่ผู้ใช้งานโดยแสดงสถานการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งจำเป็นต้องมีการทดสอบเครื่องมือและอธิบายหลักการเบื้องต้นแก่ผู้ใช้งานและนักเรียนหลักสูตรทางทหารของโรงเรียนทหารสื่อสารที่จะต้องเข้าใจถึงระบบการทำงานของเครื่องมือและสามารถแก้ไขข้อขัดข้องเบื้องต้นได้ตามหลักการทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง

นอกจากนี้สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ยังได้มีหลักสูตรการเรียนการสอนในวิชาการสื่อสารทางแสงและวิชาปฏิบัติการสื่อสารทำให้นอกจากการสอนและบรรยายหลักการทางทฤษฎีของรายวิชาดังกล่าวแล้ว การมีชุดสื่อการเรียนการสอนประกอบในรายวิชาให้กับนักเรียนนายร้อยเพื่อสร้างความเข้าใจหลักการภาคปฏิบัติและแนวทางการแก้ไขข้อขัดข้องเบื้องต้นได้ เนื่องจากนักเรียนนายร้อยเมื่อสำเร็จการศึกษาแล้วจำเป็นต้องใช้งานชุดโพรบที่มีประสิทธิภาพสูงได้อย่างเข้าใจ ปลอดภัยและ สามารถประยุกต์ให้เหมาะสมกับการกิจ

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงขอนำเสนอชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา (TDM) โดยใบบางการทดลองถูกแบ่งออกเป็น 5 ใบบางการทดลองคือ 1. ใบบางการทดลองวิเคราะห์วงจรลอจิก 2. ใบบางการทดลองการรวมสัญญาณดิจิทัลโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 3. ใบบางการทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตา 4. ใบบางการทดลองการส่งสัญญาณแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสง และ 5. ใบบางการทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตาผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A โดยทำการคำนวณหาอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เพื่อเปรียบเทียบกับค่า BER ของเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A จาก Eye diagram ของสัญญาณที่วัดได้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงสถานภาพความพร้อมการใช้งานของชุดโพรบ

2. ขอบเขตงานวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนการสอนให้กับนักเรียนนาร้อยได้เรียนรู้และเข้าใจหลักการของการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

2.2 เพื่อศึกษารูปแบบแผนภาพดวงตาของวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธีที่มีการใช้งานอยู่ในกองทัพบก

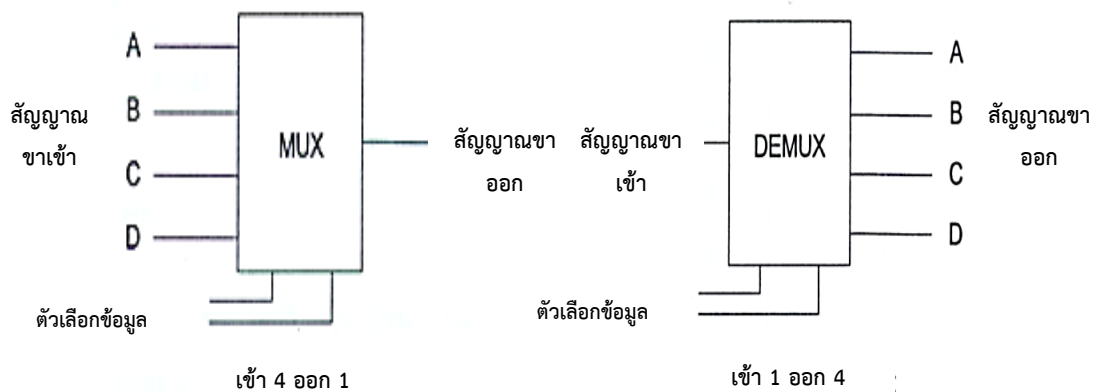
3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 การรวมสัญญาณ (Multiplexing) และการแยกสัญญาณ (Demultiplexer)

Multiplexing คือเทคนิคที่ใช้สำหรับบริหารจัดการตัวกลางการสื่อสาร 1 เส้นทาง เพื่อให้สามารถใช้ส่งสัญญาณหลายสัญญาณรวมกันได้ ส่วนปลายทางจะมีการแยกสัญญาณ (Demultiplexer) เพื่อกระจายสัญญาณที่รวมไว้ไปยังคู่สื่อสารภาครับที่เหมาะสม โดยการรวมสัญญาณจะเลือกช่องสัญญาณที่มีข้อมูลช่องหนึ่งจากหลายช่องสัญญาณมาเป็นอินพุต และต่อช่องสัญญาณที่มีข้อมูลนั้นเข้าเป็นสัญญาณเอาต์พุตเพียงสัญญาณเดียว สามารถแยกความแตกต่างของสัญญาณต่างๆ เช่น แยกเวลา, แยกพื้นที่ และแยกความถี่ของสัญญาณแต่ละชนิดออกจากกัน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการรวมสัญญาณเข้าด้วยกันนั้นจะเรียกว่า มัลติเพล็กซ์เซอร์ (Multiplexer : Mux) โดยมัลติเพล็กซ์เซอร์จะมีระบบการทำงานเป็นคู่ คือรับ-ส่งสัญญาณซึ่งหลักการทำงานนี้ตัวส่งสัญญาณจะเป็นมัลติเพล็กซ์เซอร์ที่ทำการรวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ แล้วส่งข้อมูลนั้นออกไปพร้อมกันด้วยอัตราการส่งสูงไปยังตัวรับ หรือดีมัลติเพล็กซ์เซอร์ (Demultiplexer) เมื่อรับสัญญาณแล้วจะทำการแยกสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณเดิม และทำการแยกออกไปตามแต่ละอุปกรณ์การสื่อสารที่ได้ส่งมา นอกจากนี้มัลติเพล็กซ์เซอร์ถูกนำมาใช้งานสำหรับการติดต่อสื่อสารที่เป็นระยะทางไกล (Long-haul communication) ชุดของสายสัญญาณ (Trunk) ที่นำมาใช้ในการติดต่อระยะทางไกล (Long-haul network) เป็นเส้นใยนำแสงที่มีประสิทธิภาพสูง

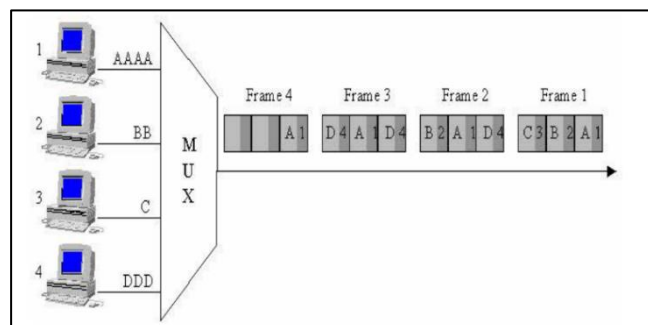
โดยส่วนใหญ่อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์เซอร์ยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแบ่งความสามารถในการส่งข้อมูลของสื่อกลางซึ่งแบ่งออกเป็นอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์เซอร์แบบแบ่งตามความถี่ (Frequency Division Multiplexing :FDM), อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์เซอร์แบบแบ่งตามความยาวคลื่น (Wavelength Division Multiplexing :WDM), อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์เซอร์แบบแบ่งตามเวลา (Time Division Multiplexing :TDM) และอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์เซอร์แบบแบ่งเวลาด้วยสถิติ Statistical time division Multiplexing :STDM) โดยสามารถดูขั้นตอนการทำงานคร่าวๆของการรวมสัญญาณ (Multiplexing) และการแยกสัญญาณ (Demultiplexer) [1] ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพประกอบขั้นตอนการทำงานของกรรวมสัญญาณและการแยกสัญญาณ

3.1.2 การรวมสัญญาณแบบแบ่งเวลา

การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDM) เหมาะกับสัญญาณแทนข้อมูลแบบดิจิทัล เนื่องจากสัญญาณดิจิทัลนั้นจะมีช่วงเวลาที่แน่นอนของบิต จึงสามารถมัลติเพล็กซ์ด้วยการแบ่งเวลาให้มีความสอดคล้องกับเวลาของบิตได้ แต่อย่างไรก็ตาม การมัลติเพล็กซ์แบบ TDM นี้จะเกี่ยวข้องกับอัตราความเร็วของสื่อนำสัญญาณเป็นสำคัญ โดยสัญญาณที่มีอัตราความเร็วต่ำหลายๆสัญญาณ เมื่อนำมามัลติเพล็กซ์รวมกันก็จะได้สัญญาณที่มีอัตราความเร็วสูงขึ้น จะมีหลักการทำงาน [2] ตามรูปที่ 2

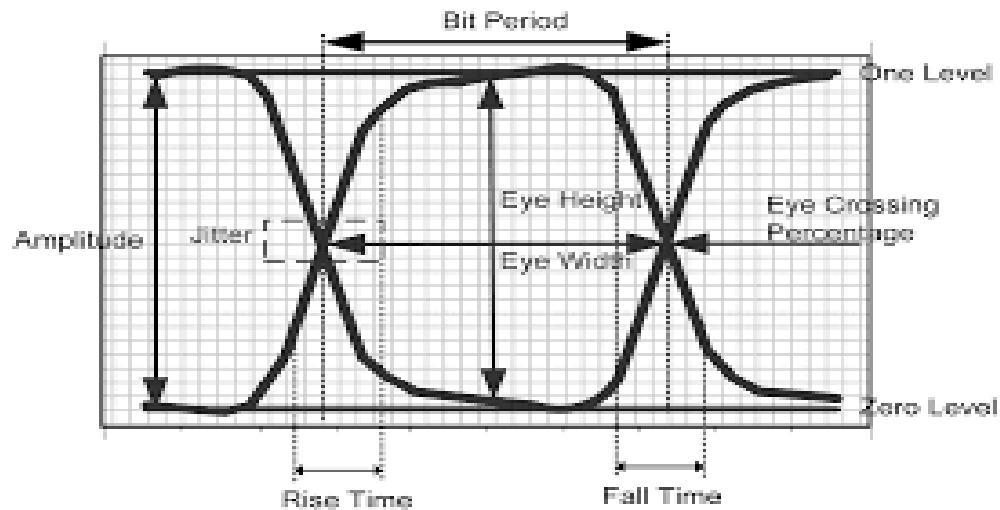


รูปที่ 2 หลักการรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลา

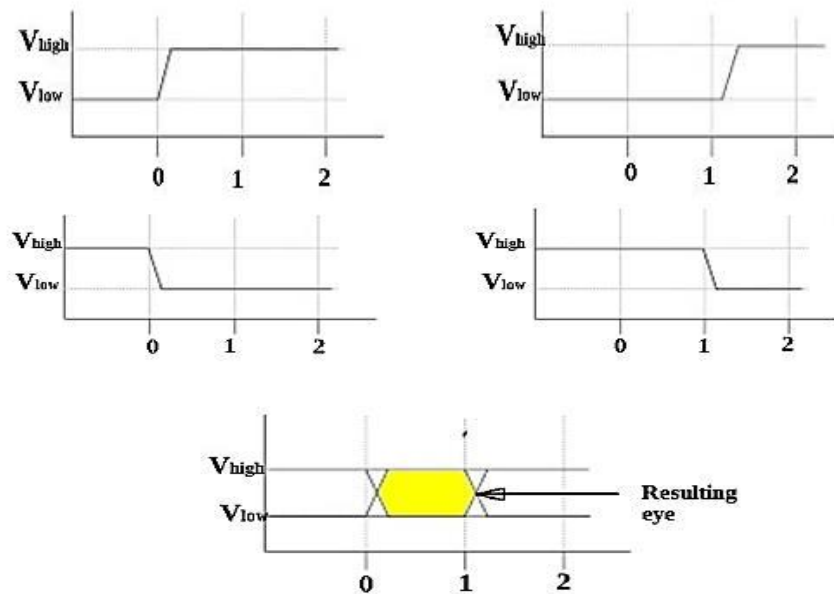
3.1.3 แผนภาพดวงตา

แผนภาพดวงตา (Eye diagram) สามารถบ่งบอกถึงอัตราความกว้างของแบนด์วิธที่ลดลง โดยสังเกตจากพื้นที่ช่องว่างตรงกลาง (ที่มีลักษณะคล้ายตา) และส่วนประกอบต่างๆ หากระยะดวงตาที่แคบลงมากเท่าไรจะหมายถึงคุณสมบัติการคงรูปสัญญาณของสายสัญญาณ ซึ่งผลความผิดปกติของรูปสัญญาณตรงนี้จะส่งผลกระทบไปถึงคุณภาพของภาพและเสียง โดยประเด็นนี้จะส่งผลกระทบต่อเนื้อ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของคุณสมบัติของสายส่งที่เป็นสายคุณภาพสูงกับสายคุณภาพต่ำ [3] ตามรูปที่ 3

ข้อมูลที่ประมวลผลจะมีความแตกต่างกันโดยวิเคราะห์ผ่าน Eye diagram ที่บริเวณความสูงของตาและความกว้างของข้อมูลฮิสโทแกรมของสัญญาณแรงดันสูง (V_{high}) และแรงดันต่ำ (V_{low}) ที่เกิดจากนำภาพคลื่นมาซ้อนทับกันในลักษณะของคลื่นต่อเนื่องโดยใช้รูปแบบภาพคอมโพสิต [4] ตามรูปที่ 4



รูปที่ 3 ลักษณะของแผนภาพดวงตา



รูปที่ 4 ลักษณะการซ้อนทับของภาพดวงตา

3.1.4 ค่าอัตราความผิดพลาดบิต

ค่าอัตราความผิดพลาดบิตเป็นค่าที่แสดงถึงความผิดพลาดของการรับข้อมูลในระบบดิจิทัล หาก BER เป็น 0 หรือต่ำมาก ๆ แสดงว่า เราได้รับสัญญาณดิจิทัลได้สมบูรณ์ครบถ้วนในแต่ละบิต ในที่นี้เรายังสามารถประมาณค่าอัตราความผิดพลาดบิตจากแผนภาพดวงตา (Eye diagram) ในหัวข้อดังกล่าวได้ดังต่อไปนี้ [5]

$$BER = \frac{1}{2} \text{erfc}(x) \quad (1)$$

$$\sigma_1, \sigma_0 = V_{\max} - V_{\min} \quad (2)$$

$$u_1 = V_{\max} - \frac{\sigma_1}{2}, u_0 = V_{\max} - \frac{\sigma_0}{2} \quad (3)$$

$$Q = \frac{u_1 - u_0}{\sigma_1 + \sigma_0}, \frac{Q}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\frac{Q}{\sqrt{2}}}^{\frac{Q}{\sqrt{2}}} e^{-t^2} dt \quad (5)$$

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) \quad (6)$$

โดย BER : Bit Error Rate

$\operatorname{erf}(x)$: Error Function

u_1, u_0 : ค่ากึ่งกลางของขอบขาบน และขอบล่างของสัญญาณ

σ_1, σ_0 : ค่าความแปรปรวนของสัญญาณ

จากความสัมพันธ์ตามข้อ 3.1.3 และ 3.1.4 แสดงถึงค่าสัญญาณแรงดันสูงและแรงต่ำของภาพสัญญาณ Eye diagram ที่จะบ่งบอกถึงค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) ตามสมการข้อที่ 3.1.4 ผู้วิจัยจึงนำคุณสมบัติดังกล่าวนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่า BER เพื่อให้ผู้ทำการทดลองทำการประเมินคุณสมบัติของเครื่องรับส่งสัญญาณแบบ TDM ได้ โดยขั้นตอนการทดลองจะกล่าวต่อไป

3.1.5 วิเคราะห์ทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A

วิทยุถ่ายทอด RL 422A เป็นชุดโพรโทคอลหลักที่ใช้ในหน่วยทหารระดับกองพันทหารสื่อสารขึ้นไป เพื่อให้การสนับสนุนในการจัดทำข่ายวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี โดยที่ทำงานในย่าน 610 – 960 MHz ทำการรับส่งสัญญาณดิจิทัล ในระบบ TDM สามารถเลือกทำงานในโหมด Automatic Power เพื่อที่จะให้เครื่องจะปรับค่า Power ให้มีค่าเหมาะสมได้ จากคุณสมบัติดังกล่าว ผู้วิจัยเล็งเห็นการช่องว่างที่จะทำให้ง่ายต่อการใช้งานชุดวิทยุถ่ายทอด RL 422A ที่จะเข้าใจหลักการรับส่งข้อมูลแบบ TDM อีกทั้งยังสามารถคำนวณค่า BER เพื่อสามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของเครื่องสามารถนำไปปฏิบัติงานได้หรือไม่ [6] ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 วิเคราะห์ทอดทางยุทธวิธี RL 422A

3.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลานี้ ผู้วิจัยได้มีการค้นคว้าหาข้อมูล ให้นำบทความวิจัยต่างๆ มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและจัดทำชุดสาธิตนี้ขึ้นมา โดยในส่วนของภาคทฤษฎีของการทดลองต่างๆ เช่น ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรและ 1,310 นาโนเมตรได้รับการวิจัยพัฒนาจากกองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ประจำปี 2563 ชุดสาธิตนี้ที่จัดทำขึ้นได้ต้นแบบมาจากชุดสาธิตประกอบการทดลอง Light Runner เป็นชุดสาธิตการทดลองทางแสง Fiber Optic มีใบงานการทดลองต่างๆ อาทิเช่นการทดลอง WDM Fiber Optic Link (การทดลองการสูญเสียในระบบ WDM), การทดลอง Characterization of WDM Mux & Demux (การทดลองการส่งสัญญาณในระบบ WDM) และการทดลอง Characterization of Erbium Doped Fiber Amplifier (การทดลองการขยายสัญญาณแสงผ่าน EDFA) โดยชุดสาธิตการทดลองที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นนั้นจะสามารถใช้งานประกอบกับเครื่องมือวัดทางแสง เช่น Optical Spectrum Analyzer, Optical Time Domain Reflectometer เป็นต้น อีกทั้งภายในชุดสาธิตดังกล่าวมีสายใยแก้วนำแสงยาวถึง 500 เมตร ซึ่งทางผู้วิจัยสามารถนำชุดสาธิตการส่งสัญญาณด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาไปใช้ประกอบรวมเพื่อดูลักษณะของแผนภาพดวงตาเมื่อรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงระยะ 500 เมตร และวิเคราะห์หาค่า BER ที่เกิดขึ้นในการรับส่งสัญญาณดังกล่าวเช่นกัน [7] ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรและ 1,310 นาโนเมตร

การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการด้านการสื่อสารทางแสงแบบประหยัด โดยการนำเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ใหม่และพัฒนาให้เป็นชุดฝึกปฏิบัติการ ซึ่งผู้ทำการสอนสามารถซ่อมแซมชุดฝึกปฏิบัติการได้ด้วยตนเอง โดยง่ายและใช้ต้นทุนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ชุดฝึกปฏิบัติการที่นำเข้าจากต่างประเทศ ผลการทดสอบการใช้งานโดยนักศึกษาพบว่าชุดฝึกปฏิบัติการนี้สามารถฝึกฝนและเพิ่มทักษะให้นักศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเหมาะสมแก่การนำมาใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน ซึ่งหนึ่งในวิชาเหล่านั้นก็คือวิชาในภาคทฤษฎีและปฏิบัติด้านการสื่อสารทางแสง (Optical communications), การกระจายของคลื่น, ชนิดคุณสมบัติ, ขบวนการผลิตของเส้นใยแก้วนำแสง, การประมาณการระบบการเชื่อมต่อ, แหล่งกำเนิดแสงและการตรวจจับสัญญาณ, การเข้ารหัส, การมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์ เป็นต้น ในปัจจุบันมีการจัดเตรียมชุดฝึกปฏิบัติการเพื่อรองรับการสอนในเทคโนโลยีต่างๆ ด้วยที่ชุดฝึกปฏิบัติการส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการฝึกปฏิบัติการทดลองด้านทฤษฎีต่างๆ ของการ

สื่อสารทางแสง อย่างไรก็ตามการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่ได้ครอบคลุมสำหรับการควบคุมการทำงานของระบบสื่อสารทางแสง ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างชุดปฏิบัติการมีขึ้นมา [8]

4. การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการสร้างชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

4.1 แนวคิดในการออกแบบการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการจัดทำใบงานประกอบการทดลองนั้นเพื่อที่จะอธิบายถึงทฤษฎีที่นำมาใช้โดยผ่านการปฏิบัติโดยทุกทฤษฎีที่นำมาใช้จะมีใบงานประกอบการทดลองทั้งหมดโดยผู้วิจัยออกแบบ 5 ใบงานการทดลอง

4.1.1 ใบงานการทดลองที่ 1 การทดลองวงจรลอจิก และการวัดประสิทธิภาพ

การทดลองตรวจสอบความสัมพันธ์ของตารางค่าความจริงของวงจรการรวมสัญญาณและวงจรการแยกสัญญาณ โดยจะมีการทดสอบประสิทธิภาพของข้อจำกัดของอุปกรณ์วงจรรวมรวมสัญญาณ และการแยกสัญญาณที่สามารถรองรับได้

4.1.2 ใบงานการทดลองที่ 2 การรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลา

การคำนวณหา Bit Rate, Bit Interval ของความถี่ และคำนวณการจัด Slot ของการรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลา รวมทั้งมีการทดลองการรวมสัญญาณแบบแบ่งเวลาในรูปแบบเชิงโครนัสและ รูปแบบอะซิงโครนัส

4.1.3 ใบงานการทดลองที่ 3 แผนภาพดวงตา (Eye pattern)

การสอนคำนวณหาความผิดพลาดของสัญญาณ (Bit Error Rate) ในรูปแบบของแผนภาพดวงตา

4.1.4 ใบงานการทดลองที่ 4 การส่งสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลาด้วยเส้นใยนำแสง

การทดลองการรวมสัญญาณแบบแบ่งเวลาผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยการนำชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรและ 1310 นาโนเมตรนำมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกันและคำนวณหาความผิดพลาดของสัญญาณ (Bit Error Rate) ในรูปแบบของแผนภาพดวงตาเมื่อผ่านเส้นใยนำแสง

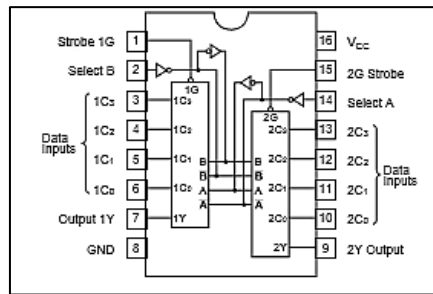
4.1.5 ใบงานการทดลองที่ 5 การทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตาผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี

การทดลองการรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลาผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดย การนำชุดวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A นำมาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกันและคำนวณหาความผิดพลาดของสัญญาณ (Bit Error Rate) ในรูปแบบของแผนภาพดวงตาเมื่อผ่านเส้นใยนำแสง

4.2 การนำอุปกรณ์มาสร้างชุดสาธิต

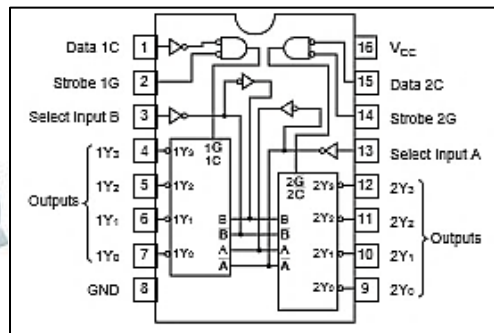
4.2.1 วงจรรวมเบอร์ 74153 และ 74155

วงจรรวมเบอร์ 74153 ซึ่งทำหน้าที่ในการรวมสัญญาณ แบบ 4 สัญญาณขาเข้าเป็น 1 สัญญาณขาออกมีทั้งหมด 16 ขา โดยมีฝั่งซ้าย 8 ขา และฝั่งขวา 8 ขา ซึ่งแต่ละฝั่งสามารถทำการรวมสัญญาณได้ โดยสามารถใช้ไฟเลี้ยงภายในอุปกรณ์ 5 โวลต์ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวผู้วิจัยสามารถนำวงจรนี้ไปใช้ได้และสามารถรองรับความถี่ของอินพุตสัญญาณสูงสุดถึงระดับเมกะเฮิรตซ์ ตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 วงจรรวมเบอร์ 74153 และ Pin Arrangement (MUX)

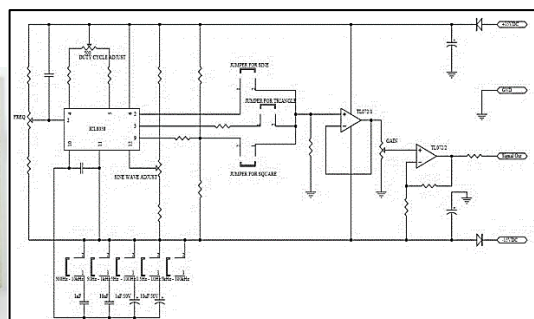
วงจรรวมเบอร์ 74155 ซึ่งทำหน้าที่ในการรวมสัญญาณ แบบ 1 สัญญาณขาเข้าเป็น 4 สัญญาณขาออก และสามารถนำมาใช้เป็นวงจรถอดรหัสได้ มีทั้งหมด 16 ขา โดยมีฝั่งซ้าย 8 ขา เหมาะสำหรับนำไปใช้ในการเชื่อมต่อแบบการถอดรหัส และฝั่งขวา 8 ขา ใช้สำหรับการแยกสัญญาณ โดยสามารถใช้ไฟเลี้ยงภายในอุปกรณ์ 5 โวลต์ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวผู้วิจัยสามารถใช้ร่วมกับวงจรรวมเบอร์ 74153 ประเภท MUX 4:1 และสามารถรองรับความถี่ของอินพุตสัญญาณสูงสุดถึง 3 เมกะเฮิร์ตซ์ ตามรูปที่ 8



รูปที่ 8 วงจรรวมเบอร์ 74155 และ Pin Arrangement (DEMUX)

4.2.2 วงจรสำเร็จรูปผลิตความถี่ 0.5 เฮิร์ตซ์-100 กิโลเฮิร์ตซ์ คลื่นไซน์, สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม

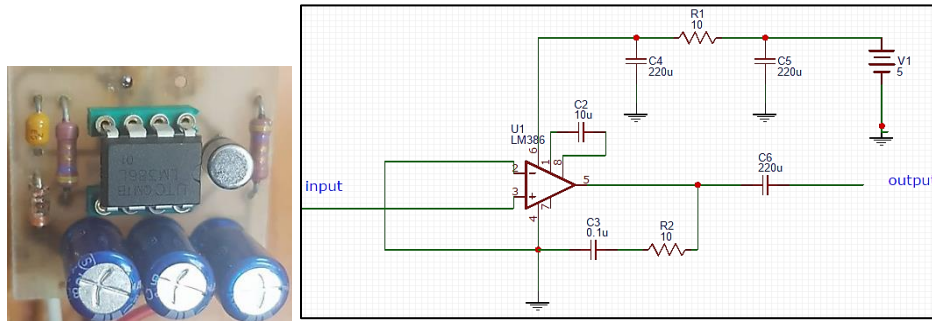
เป็นวงจรผลิตความถี่สามรูปแบบคลื่นคือคลื่นไซน์, สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม ให้สัญญาณที่ออกมามีความสมมาตร เนื่องจากใช้แหล่งจ่ายไฟคู่ บวก-ลบ ที่แรงดัน 12 โวลต์-15 โวลต์ สามารถเลือกความถี่โดยการเสียบ Jumper ได้ในย่านความถี่ 0.5 เฮิร์ตซ์-100 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาดแผ่นวงจร 6.9 เซนติเมตร x 7.3 เซนติเมตร ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวผู้วิจัยสามารถนำอุปกรณ์ตัวนี้ที่เป็นวงจรสำเร็จรูปและสะดวกในการใช้งาน ตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 วงจรผลิตความถี่ 0.5 เฮิร์ตซ์-100 กิโลเฮิร์ตซ์ และแผ่นผังวงจร

4.2.3 วงจรขยายสัญญาณ

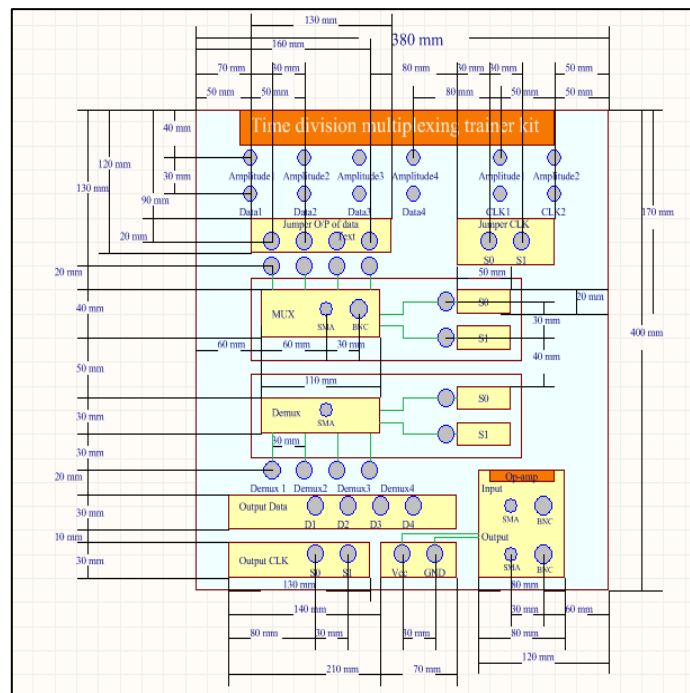
ผู้วิจัยได้นำวงจรขยาย (Op Amp) เชื่อมต่อสัญญาณสัญญาณขาเข้าเข้าไป C2 จะทำหน้าที่ป้อนกลับสัญญาณเพื่อรักษาเสถียรภาพของการทำงานของวงจรรวม ส่วน R1, C4 และ C5 ทำหน้าที่รักษาไฟเลี้ยงวงจรให้เรียบ และป้องกันไม่ให้สัญญาณรบกวนที่ปะปนกับแหล่งจ่ายเข้าไปในวงจรรวม วงจรดังกล่าวก็สามารถตอบสนองให้สามารถขยายสัญญาณได้ตามรูปที่ 10



รูปที่ 10 วงจรขยายสัญญาณ และแผนผังวงจร

4.3 การออกแบบ

ทางผู้วิจัยได้จัดทำชุดสาริตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา โดยใช้โปรแกรม Corel draw ช่วยในการออกแบบ โดยมีขนาด 530 x 380 มิลลิเมตร โดยจะมีการควบคุมด้วยสวิทช์ในการเปิด-ปิดด้านหน้ากล่อง สามารถปรับความถี่ (Data1-CLK2) และปรับแรงดันไฟของความถี่ (Amplitude1-Amplitude6) ด้วยการหมุน ส่วนทางด้าน Output Data, Output CLK, Output Mux และ Output Demux จะใช้หัวเอาต์พุตเป็นแบบ BNC เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานในการวัดค่าในออสซิลโลสโคป ส่วนทางด้านหัว SMA นั้นจะคู่กับสาย SMA RG178 เพื่อเป็นการเชื่อมต่อข้อมูลของฝั่ง Mux และ Demux ทางด้าน S0, S1 จะต้องเชื่อมต่อโดยใช้สายจัมป์แบบหัวเสียบในการต่อเชื่อมของฝั่ง Mux และ Demux ส่วน Vcc จะใช้ไฟ +5V และ GND จะใช้เป็นกราวของแหล่งจ่าย 5V ออกแบบเพื่อไว้ใช้ในการทดลองส่วนของ Op-amp จะทำหน้าที่ไว้สำหรับขยายสัญญาณ แต่ว่าไม่ได้ใช้งานในการทดลอง ทางด้านเอาต์พุตเป็นแบบ BNC และ SMA ซึ่งการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ตามรูปที่ 11



รูปที่ 11 ร่างแผงวงจรภายในชุดสาธิต

5. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณแสงโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาผ่านใบงานการทดลองทั้ง 5 ใบงานการทดลองกับนักเรียนนายร้อย (นร.) ชั้นปีที่ 4 และ 5 จำนวน 15 นาย ได้ผลการทดลองดังนี้

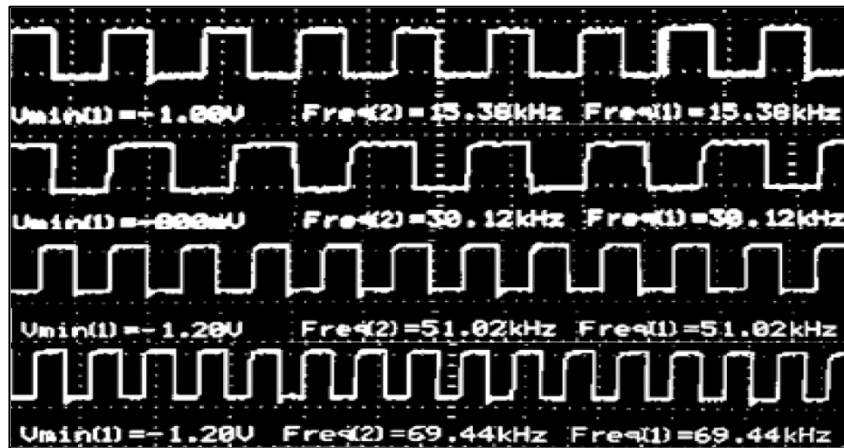
5.1 ผลการทดลองจากการศึกษาผ่านใบงานการทดลอง

5.1.1 ใบงานการทดลองที่ 1 การวิเคราะห์วงจรลอจิก

จากการทดลองทราบว่า ค่าความถี่ข้อมูลขาออกของวงจรแยกสัญญาณ (Demux) และค่าความถี่ข้อมูลขาเข้าของวงจรรวมสัญญาณ (Mux) มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะตรงไปตามหลักทฤษฎีของการรวมสัญญาณ และการแยกสัญญาณและตรงตามตารางค่าความจริง ดังนี้

ตารางที่ 1 ตารางผลการทดลองความถี่ Demux

สัญญาณขาเข้า		ความถี่การรวมสัญญาณ (KHz)	สัญญาณขาออก (KHz)			
ตัวเลือกข้อมูล			สัญญาณ ขาออก1	สัญญาณ ขาออก2	สัญญาณ ขาออก3	สัญญาณ ขาออก4
A	B					
L	L	100	100	0	0	0
H	L	50	0	50	0	0
L	H	10	0	0	10	0
L	L	5	0	0	0	5

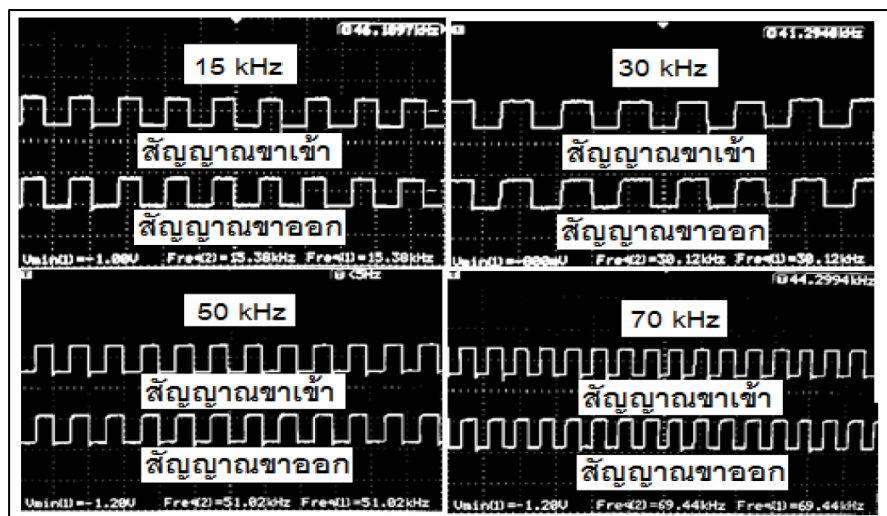


รูปที่ 12 สัญญาณดิจิทัลทั้ง 4 สัญญาณขาออก

จากผลการทดลอง พบว่าคลื่นสัญญาณทั้ง 4 สัญญาณ จะอยู่ในช่วงที่ 15 -70 KHz เป็นความถี่ที่สามารถใช้งานได้ดี โดยจะมีค่าแรงดัน (Vpp) อยู่ในช่วง 5-6 V จะสามารถใช้งานได้ดี สังเกตได้จากรูปสัญญาณขาออกที่ได้จะมีลักษณะเหมือนสัญญาณขาเข้า และสามารถนำค่าตามตารางความจริงได้อย่างถูกต้อง ตามรูปที่ 12

5.1.2 ใบงานการทดลองที่ 2 การทดลองการรวมสัญญาณดิจิทัลโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

จากการศึกษาทำการทดลองผ่านใบงานการทดลองที่ 2 การทดลองการรวมสัญญาณแบบ TDM โดยทำการพิสูจน์หลักการทำงานในระบบการรวมสัญญาณและแยกสัญญาณของการรวมสัญญาณแบบแบ่งเชิงเวลา



รูปที่ 13 สัญญาณขาเข้าและขาออกของทั้ง 4 สัญญาณ ก่อนและหลัง TDM

จากผลการทดลอง ได้นำสัญญาณดิจิทัลทั้ง 4 ความถี่คือ 15, 30, 50, และ 70 KHz ที่ถูกมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณแบบ TDM ทำให้เป็นการยืนยันว่าทั้ง 4 สัญญาณสามารถถูกส่งผ่านด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาได้จริง ตามรูปที่ 13

5.1.3 ใบงานการทดลองที่ 3 การทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตา

จากการศึกษาทำการทดลองผ่านใบงานการทดลองที่ 3 การทดลองทฤษฎีแผนภาพดวงตา เพื่อเป็นการคำนวณหาค่า BER เพื่อพิสูจน์ตามทฤษฎีของแผนภาพดวงตา

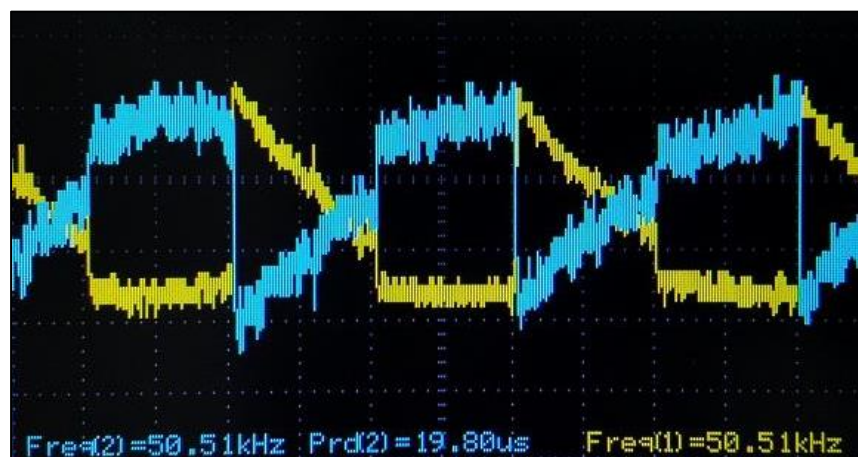


รูปที่ 14 แผนภาพดวงตาของสัญญาณขาออก 60 KHz

จากผลการทดลอง จะสามารถคำนวณหาค่า BER ของสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบ Eye diagram จากสัญญาณเชิงไฟฟ้า โดยการนำสัญญาณมาอินเวอร์สกันและนำมาทับซ้อนกันจนเกิดเป็นแผนภาพดวงตาขึ้น ตามสมการค่าความผิดพลาดบิต ซึ่งจากสัญญาณขาออก 60 KHz จะได้ แรงดันที่ขอบขาบน: $\max = 4.00 \text{ V}$, $\min = 3.76 \text{ V}$ และ แรงดันที่ขอบขาล่าง: $\max = -3.76 \text{ V}$, $\min = -4.00 \text{ V}$ เมื่อนำคำนวณหาค่า BER มีค่าเท่ากับ 0.0013 ตามรูปที่ 14

5.1.4 ใบงานการทดลองที่ 4 การทดลองส่งสัญญาณแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

จากการศึกษาผ่านใบงานการทดลองที่ 4 การทดลองการส่งสัญญาณแสงโดยผ่านเส้นใยแก้วนำแสง โดยทำการศึกษาผ่านชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร และ 1310 นาโนเมตร และทำการคำนวณหา BER ผ่าน Eye diagram

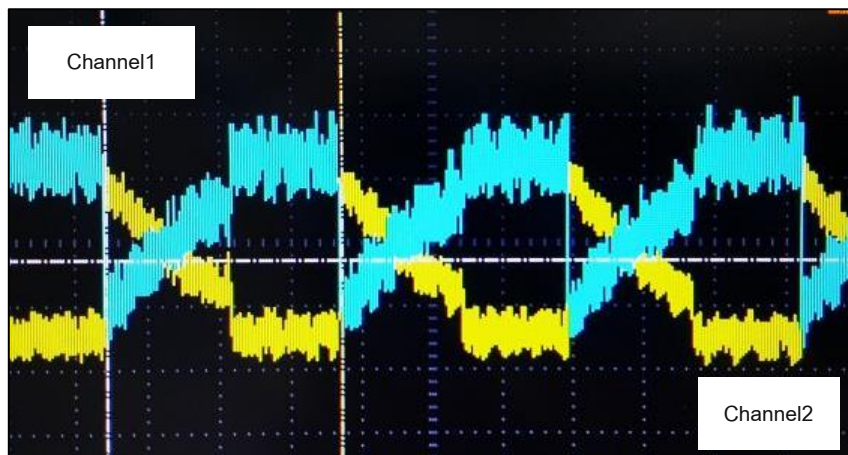


รูปที่ 15 แผนภาพดวงตาของสัญญาณขาออกของ Demux ที่ความถี่ 50 KHz

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อนำเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความยาวมากขึ้นเชื่อมต่อกับชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 และ 1,310 นาโนเมตร ที่มีความยาว 500 เมตรโดยผ่านอุปกรณ์ WDM แสดงให้เห็นถึงแผนภาพดวงตาภายหลังผ่านระบบเส้นใยนำแสง จะพบว่ารูปร่างดวงตามีลักษณะปิดลงมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่มากขึ้น ส่งผลทำให้เกิดอัตราความผิดพลาดของบิตที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน ตามรูปที่ 15

5.1.5 ใบงานการทดลองที่ 5 การทดลองการส่งสัญญาณผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A

จากการศึกษาผ่านใบงานการทดลองที่ 5 การทดลองการส่งสัญญาณผ่านเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A โดยการคำนวณหาค่าความผิดพลาด (BER)

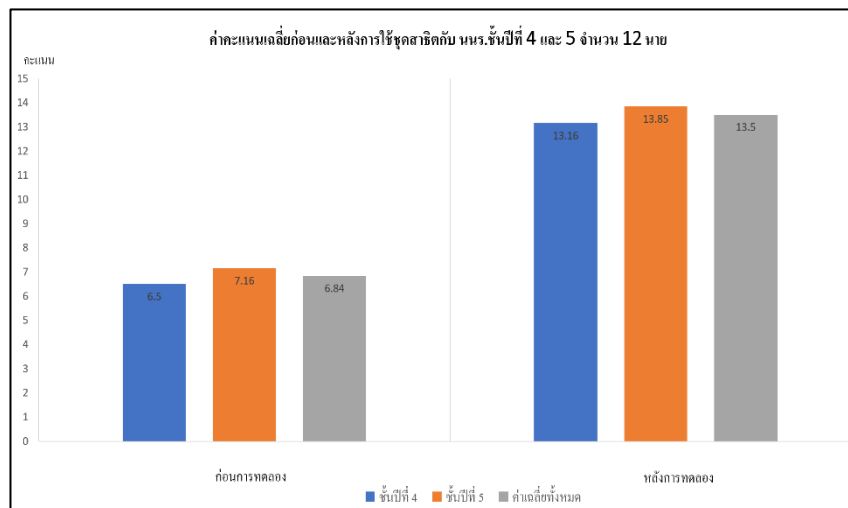


รูปที่ 16 แผนภาพดวงตาของสัญญาณขาออกของ Demux ที่ความถี่ 650 MHz

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อนำสัญญาณแสงเข้ามาทำงานร่วมกับเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี RL 422A แสดงให้เห็นถึงแผนภาพดวงตา ที่มีลักษณะบิดลงมากขึ้น ก็ส่งผลให้เกิดค่า BER สูงมากขึ้นด้วย อันเนื่องจากการรบกวนของสัญญาณและกำลังที่ใช้ในการส่งออกด้วยเช่นกัน ซึ่งเมื่อทำการคำนวณค่า BER มีค่าเท่ากับ 0.692 พบว่าเป็นค่าอัตราความผิดพลาดของบิต (BER) ที่น้อยมาก ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงยุทธโปกรณ์ชุดนี้สามารถนำไปปฏิบัติการกิจได้ ตามรูปที่ 16

5.2 ผลการทดสอบและความพึงพอใจ

จากการให้ นนร.ทำการทดสอบก่อนหลังการใช้งานชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณแสงโดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา จำนวน 12 นาย โดย นนร. กลุ่มดังกล่าวได้เรียนวิชาการปฏิบัติการสื่อสารและวิชาการระบบการสื่อสารดิจิทัล ได้ทำการทดสอบก่อนทดลอง จำนวน 15 ข้อ มีคะแนนเฉลี่ย 6.84 คะแนน แล้วทำการทดสอบหลังการใช้งานชุดสาธิตประกอบใบงานการทดลองจำนวน 15 ข้อมีคะแนนเฉลี่ย 13.5 คะแนน ซึ่ง นนร.กลุ่มดังกล่าวมีความพึงพอใจมากในการใช้สื่อการเรียนการสอนที่จะเชื่อมโยงกับยุทธโปกรณ์ที่มีอยู่จริง อีกทั้งให้ นนร.ได้แสดงความคิดเห็นควรมีการเพิ่มขั้นตอนในการรับส่งข้อมูลเทคนิคหรือรูปแบบอื่นๆ ที่ใช้ในการสื่อสารทางทหารด้วย ตามรูปที่ 17



รูปที่ 17 กราฟเปรียบเทียบค่าคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังการใช้งานชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา

6. สรุป

ชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา ไปบนระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงสามารถทำการรับ-ส่ง ข้อมูลดิจิทัลทั้ง 4 สัญญาณ โดยที่สัญญาณดิจิทัลทั้ง 4 สัญญาณสามารถถูกปรับค่าความถี่ได้และสามารถรวมสัญญาณในรูปแบบการมัลติเพล็กซ์แบบ TDM อีกทั้งสามารถนำ Eye diagram มาวิเคราะห์และคำนวณหาค่า BER ได้และทำการประยุกต์ใช้กับเครื่องวิทยุถ่ายทอดทางยุทธวิธี รุ่น RL 422A ในโหมด TDM ได้คำนวณหาค่า BER เพื่อเป็นการตรวจสอบสถานะภาพของยุทธโปกรณ์ที่พร้อมใช้งานได้เช่นกัน อีกทั้งทำการทดสอบก่อนและหลังทำการทดลองกับนักเรียนนายร้อย จำนวน 12 นาย ผลการทดสอบมีคะแนนเฉลี่ยสูงขึ้น พร้อมทั้งมีข้อเสนอแนะในข้อควรพัฒนาให้รองรับทั้งระบบข้อมูลโครงข่ายทางทหารและโครงข่ายพลเรือนเป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยชุดสาธิตทางทหารในการส่งสัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งทางเวลา สำเร็จลุล่วงด้วยดีนั้น ขอขอบคุณ บริษัท ลูเมนต้า อินเทอร์เน็ต เนชั่นเนล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้ยืมอุปกรณ์ในการใช้งานวิจัย ทั้งการวิเคราะห์และประมวลผล ขอขอบคุณโรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร ที่สนับสนุนยุทธโปกรณ์ที่นำมาทดลองและต้องขอขอบคุณ กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิทวัส สิริฐกุล, การสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง, 1st ed. ประเทศไทย, สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2560
- [2] Pedram Keirkhah Sangdeh, "Overview of Multiplexing Techniques in Wireless Networks" Published on September 2019 from <https://www.intechopen.com/books/multiplexing/overview-of-multiplexing-techniques-in-wireless-networks>

- [3] Shiva Kumar, M.Jamal Deen, “Fiber Optic Communication: Fundamentals and Application” John Wiley and Son, 2014
- [4] R.Sokullu, “Digital Communication Systems”, chapter 6, 2012.
- [5] วิทวัส สัญญกุล จิรจิตต์ เตรียมสกุล และ ปรีชา เกิดเจริญ. (2560). ชุดสาริตการจำลองเหตุการณ์ผิดปกติบนสายใยแก้วนำแสง.การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 9
- [6] แผนกการสื่อสารประเภทสาย ส่วนการศึกษา โรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร, 2550
- [7] ชนะ จันทร์อ้อม. (2563). ชุดสาริตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 และ 1,310 นาโนเมตร. เอกสารงานวิจัย กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า.
- [8] ดิสพล น้าเนี่ยวกุล. การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการด้านการสื่อสารทางแสงแบบประหยัด. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ สถาบันวิจัยและพัฒนา; 2557.
- [9] STMicroelectronics. (2001). Datasheet Series 74HC. Retrieved on December 6, 2020, from <https://datasheetz.com>
- [10] ภัทรพงษ์ รักน้อย, ปรีชา ยูพาปิน. (2539). การตรวจวัดระยะไกลทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้เส้นใยนำแสง. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ปีที่ 4 เล่มที่ 2. 72-77

สถานภาพความพร้อมและดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ

Cybersecurity Readiness and Index of Rajabhat University

^{1*}สุภาพร พรหมโส, ^{2#}ปราณี มณีรัตน์ และ ^{3#}ประสงค์ ประณีตพลกรัง

^{1,2}สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

³กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1*} papim1968@kru.ac.th, ^{2#} paralee.ma@spu.ac.th, ^{3#} prasong_pr@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ

Received : July 23, 2021

Revised : July 29, 2021

Accepted : November 17, 2021

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ 1) ปัญหาด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ 2) อุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่อพัฒนาสมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของบุคลากร 3) ความพร้อมของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏที่มีต่อความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์และ 4) พัฒนาตัวแบบสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ งานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ โดยทำการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 25 คน ด้วยการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง ประกอบกับการสนทนากลุ่ม จากนั้นได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า ปัญหาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ ได้แก่ ปัญหาเกี่ยวกับมาตรการด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ การกำหนดนโยบายองค์กร ปัญหาด้านบุคลากร และปัญหาการถูกโจมตี อุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่อพัฒนาสมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของบุคลากร พบว่ามหาวิทยาลัยราชภัฏ มีอุปสรรค ด้านนโยบายผู้บริหาร ด้านทักษะความรู้ ด้านวัฒนธรรมองค์กร ด้านความไม่เสถียรของระบบ ด้านสภาพความพร้อม และดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ ผู้วิจัยได้นำเสนอตัวแบบตัวแบบสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ประกอบด้วย มาตรฐานของระบบ การปรับด้านโครงสร้างพื้นฐาน การใช้ประโยชน์ทางเทคโนโลยีดิจิทัล การพัฒนาศักยภาพบุคลากร สมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์และการเปลี่ยนผ่านทางความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ อีกทั้งได้ค้นพบดัชนีความพร้อมด้านความปลอดภัยไซเบอร์ที่ประกอบด้วยปัจจัยหลัก 7 ด้าน และมี 24 ปัจจัยย่อย

คำสำคัญ : ความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์, ความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์, ดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

Abstract

This study aims to study and analyze 1) the problems of cybersecurity in Rajabhat University, 2) obstacles affecting the development of personnel cybersecurity competency, 3) personnel readiness in cybersecurity of Rajabhat University and 4) to develop a model for cybersecurity readiness. A qualitative research method was performed in this study. Twenty-five experts were selected for in-depth semi-structured interview, including a focus group that approach to achieve cybersecurity problems, obstacles and cybersecurity readiness index of Rajabhat University, prior to the content analysis was done. The analysis of results concluded that the cybersecurity problems of Rajabhat University include: problems with cybersecurity measures, determination of organizational policy, personnel problems, and attack problems. The obstacles affected to develop personal's competencies of Rajabhat University are as follows: executive policy, knowledge skill, organizational culture and instability of network systems. In terms of readiness condition and cybersecurity readiness index of Rajabhat University, this study introduced a cybersecurity readiness model which comprised of system standard, infrastructure adjustment, digital technology utilization, personnel potential development, cybersecurity competency and cybersecurity transformation. In addition, the cybersecurity readiness index, contained 7 main factors and 24 sub-factors.

Keywords: Cybersecurity, Cybersecurity Readiness, Cybersecurity Index

1. บทนำ

ปัจจุบันความก้าวหน้าและอรรถประโยชน์ของเทคโนโลยีดิจิทัลได้นำมาใช้ในการจัดการงานต่าง ๆ ภายในองค์กรทุกภาคส่วน ทั้งภาครัฐและเอกชนมีการปรับเปลี่ยนระบบการดำเนินงานเข้าสู่ยุคดิจิทัลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน [1] ซึ่งรัฐบาลไทยเล็งเห็นความสำคัญของเทคโนโลยีดิจิทัลที่มีต่อการพัฒนาประเทศ จึงกำหนดนโยบาย แผนแม่บทหลักในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมดิจิทัลของประเทศระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561 – 2580) ให้มีการขับเคลื่อนประเทศสู่ความยั่งยืนโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัล [2] จึงพบการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดิจิทัลที่มีความหลากหลายในงานประเภทต่าง ๆ เช่น การส่งเสริมการเรียนรู้ การส่งเสริมสุขภาพ การศึกษา การสร้างธุรกิจใหม่ ๆ และการคมนาคมขนส่ง เป็นต้น

ทั้งนี้ เทคโนโลยีดิจิทัลที่มีการใช้งานมากที่สุดคือ การใช้อินเทอร์เน็ต เนื่องจากประชาชนสามารถเข้าถึงและใช้บริการด้านข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ไม่จำกัดเวลา สถานที่ ทำให้เกิดความสะดวกสบายในการบริหารจัดการ และการดำรงชีวิตเพิ่มขึ้น [3] แต่ขณะเดียวกันอาจมีการใช้อินเทอร์เน็ตที่ก่อให้เกิดภัยคุกคามทางไซเบอร์ (Cyber Threats) ซึ่งเป็นภัยคุกคามที่ไร้พรมแดน มีหลากหลายรูปแบบ เช่น การพยายามบุกรุกเข้าระบบ การโจมตีระบบ การพัฒนาโปรแกรมที่ไม่พึงประสงค์ การเผยแพร่ข้อมูลที่ไม่เป็นความจริง โดยการสร้างเว็บไซต์ปลอมเพื่อการหลอกลวง เป็นต้น [4], [5], [6] จากข้อมูลสถิติภัยคุกคามทางไซเบอร์ของไทยในปี พ.ศ. 2561 พบว่าการพยายามบุกรุกเข้าระบบ (Intrusion Attempts) เป็นภัยคุกคามไซเบอร์ที่มีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 43.3 จากภัยคุกคามทั้งหมด 2,520 เรื่อง [7] สาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาภัยคุกคามไซเบอร์มีหลายประการ เช่น ความไม่พร้อมของระบบเทคโนโลยีดิจิทัล การขาดระบบการ

บริหารจัดการเครือข่ายที่ดี การขาดแคลนบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีดิจิทัลและด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ เป็นต้น [8]

เทคโนโลยีดิจิทัลเป็นเสมือนการสร้างเครือข่ายการทำงานแบบไฮแมงมูม ผลจากภัยคุกคามทางไซเบอร์สามารถสร้างความเสียหายให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องได้ไม่มากนักน้อย การรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ (Cybersecurity) จึงเป็นสิ่งที่ไม่สามารถมองข้ามได้ สถานภาพความพร้อมและดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ [9] จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกองค์กรทั้งภาครัฐและเอกชนที่จะนำไปใช้ในการกำหนดทิศทางในการรับมือต่อการโจมตีทางไซเบอร์ที่ไม่อาจทราบได้ว่าจะเกิดขึ้นเมื่อไหร่ โดยเฉพาะในภาคการศึกษาที่มีฐานข้อมูลที่มีความสำคัญยิ่งทั้งบุคลากรสายวิชาการ และสายสนับสนุน รวมไปถึงการให้บริการข้อมูลต่าง ๆ ทั้งนักศึกษา บุคคลภายนอกที่มีความสนใจ [10], [11]

มหาวิทยาลัยราชภัฏทั้ง 38 แห่งของประเทศไทย เป็นหน่วยงานหนึ่งที่มีการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ในการจัดการข้อมูลเกือบทุกประเภทภายในองค์กรด้วยจำนวนข้อมูลและจำนวนผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตที่มีความหลากหลาย ทั้งนักศึกษา บุคลากรสายการสอน และสายสนับสนุนรวมถึงความรู้และทักษะในการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล จึงเป็นเงื่อนไขของการออกแบบระบบความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ที่อาจส่งผลกระทบให้การใช้งานเกิดความไม่สะดวก แต่ในทางกลับกันอาจเกิดความเสี่ยงที่ไซเบอร์จะถูกคุกคามหากระบบป้องกันข้อมูลมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ

อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีดิจิทัลในยุคปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การสร้างระบบป้องกันอันตรายจากภัยคุกคามไซเบอร์ จึงควรพิจารณาปัจจัยแวดล้อมและความพร้อมของหน่วยงานทุกมิติ เพื่อนำมาสู่การวางแผนจัดการระบบที่เท่าทันต่อการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีดิจิทัล ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้ จึงต้องการวิเคราะห์สถานภาพความพร้อมและตัวชี้วัดความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ทั้งในด้านปัญหาและอุปสรรคที่มีผลกระทบต่อความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ รวมถึงความพร้อมของมหาวิทยาลัยราชภัฏแต่ละแห่ง เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเปลี่ยนผ่านทางความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์แก่มหาวิทยาลัยราชภัฏในประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาปัญหาด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ
- 2.2 เพื่อศึกษาอุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่อพัฒนาสมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏ
- 2.3 เพื่อวิเคราะห์ความพร้อมของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏที่มีต่อความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์
- 2.4 เพื่อพัฒนาตัวแบบสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

3. ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีขอบเขตด้านเนื้อหาครอบคลุมการศึกษาปัญหา อุปสรรค และความพร้อมของบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏทั้ง 38 แห่ง ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือนธันวาคม 2563 ถึงเดือนมีนาคม 2564

4. แนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 แนวคิดด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา [12] ให้นิยามของ ความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ (Cybersecurity) ว่าเป็น ภาวะที่เครือข่าย ระบบคอมพิวเตอร์ โปรแกรม และข้อมูล พ้นจากภัยคุกคาม มีลักษณะสำคัญ 3 ประการ คือ คงความลับ คงความถูกต้องครบถ้วน และคงความพร้อมใช้งาน ภาวะดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยบุคลากร กระบวนการทำงาน และเครื่องมือที่เหมาะสม สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union : ITU) กล่าวถึง “ความมั่นคง

ปลอดภัยไซเบอร์ (Cybersecurity)” ว่าเป็นนโยบายที่สร้างเครื่องมือในการรักษาความปลอดภัยทางไซเบอร์ให้แก่องค์กร และทรัพย์สินของผู้ใช้งาน รวมถึงการบริหารความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ด้วยวิธีต่างๆ เช่น การปฏิบัติการอบรม และการรับประกันทางเทคโนโลยีดิจิทัล [13] ในวารสารสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ นิยาม “ความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์” ว่าเป็นกระบวนการดำเนินงานเพื่อให้องค์กรปราศจากความเสี่ยงและความเสียหายของข้อมูลข่าวสาร จากอาชญากรรม การโจมตี การบ่อนทำลาย การจารกรรม และความผิดพลาดต่าง ๆ โดยคำนึงถึงองค์ประกอบพื้นฐานของ ความปลอดภัยของข้อมูล 3 ประการ ได้แก่ (1) การรักษาความลับของข้อมูล (2) การรักษาความสมบูรณ์ของข้อมูล และ (3) การดูแลรักษาสภาพของข้อมูลให้สามารถเข้าถึงและพร้อมเรียกใช้งานได้ตลอดเวลา [14] ขณะที่ในมาตรา 3 ของ พระราชบัญญัติว่าด้วยการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์กล่าวถึงความหมายของ “ความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์” ไว้ว่า เป็นมาตรการและการดำเนินงานเพื่อรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของประเทศทุกรูปแบบโดยเน้นเพื่อการสร้าง ความมั่นคงของชาติ ทั้งในทางทหาร สังคม และเศรษฐกิจ [15]

4.2 กรอบแนวคิด NICE Workforce Model

สถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Institute of Standards and Technology: NIST) เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่สร้างมาตรฐานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและส่งเสริมการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่จะเป็นประโยชน์ต่อมวลมนุษยชาติ ได้ริเริ่มสร้างกรอบการดำเนินงานที่เรียกว่า แนวทางการทำงานสำหรับผู้ปฏิบัติงานด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ (The National Initiative for Cybersecurity Education : NICE) เพื่อให้ทุกหน่วยงาน ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน สถาบันการศึกษา ใช้เป็นมาตรฐานดำเนินงานหรือนำไปประยุกต์ใช้กำหนดความรู้ ทักษะ และความสามารถของบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ อย่างไรก็ตาม NICE แบ่งกลุ่มความชำนาญพิเศษ ออกเป็น 7 กลุ่มดังนี้

- (1) กลุ่มปฏิบัติการและบำรุงรักษา เป็นกลุ่มผู้มีความสามารถในการให้บริการ และบำรุงรักษาระบบไอที
- (2) กลุ่มป้องกันและรับมือ เป็นกลุ่มผู้มีความชำนาญพิเศษ ด้านการระบุและจัดการภัยคุกคามต่อระบบไอที
- (3) กลุ่มตรวจสอบ เป็นกลุ่มผู้มีความชำนาญ ด้านการตรวจสอบเหตุการณ์หรือการกระทำผิดที่เกี่ยวกับระบบไอที
- (4) กลุ่มเก็บรวบรวมและปฏิบัติการ เป็นกลุ่มผู้มีความชำนาญด้านการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อตัดสินใจ
- (5) กลุ่มวิเคราะห์ เป็นกลุ่มผู้มีความชำนาญพิเศษด้านการวิเคราะห์ ตรวจสอบ และการประเมินผล
- (6) กลุ่มจัดทำและส่งมอบ เป็นกลุ่มผู้มีความชำนาญพิเศษด้านการออกแบบ และจัดสร้างระบบไอที ที่มั่นคงปลอดภัย
- (7) กลุ่มควบคุมและพัฒนา เป็นกลุ่มผู้มีความชำนาญพิเศษด้านการบริหาร กำหนดทิศทาง และการพัฒนา

ด้วยบทบาทหน้าที่ของกลุ่มงานตามกรอบการดำเนินงานของ NICE จึงเกิดเป็นแนวทางการกำหนดความรู้ (Knowledge) ความสามารถ (Ability) และทักษะ (Skill) หรือ KSA ให้เกิดความเหมาะสมกับตำแหน่งงานด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ [16] ควบคู่กับการกำหนดแนวทางในการประเมินสมรรถนะ ที่จำเป็นในการปฏิบัติงาน หากประเมินสมรรถนะตามความหมายของจิระประภา อัครบวร [17] หมายถึงความรู้ (Knowledge) ทักษะ (Skills) และคุณลักษณะ (Attributes) ที่ทำให้ประสบความสำเร็จและมีความโดดเด่น ทั้งนี้ นอกจากองค์ประกอบสำคัญข้างต้นแล้ว การทำให้เกิดความสำเร็จตามเกณฑ์มาตรฐานหรือสูงกว่า ควรมีพฤติกรรมที่ถึงพร้อมด้วยจริยธรรม บุคลิกภาพ คุณลักษณะทางกายภาพ และอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับภาระงานตามตำแหน่งนั้น ๆ [18]

4.3 โครงสร้างพื้นฐานทางระบบเทคโนโลยีดิจิทัล

ปัญหาโดยรวมของระบบเทคโนโลยีดิจิทัลสมัยใหม่ ในองค์กรขนาดใหญ่ส่วนหนึ่งเกิดจากการขาดแคลนโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นในการสนับสนุนระบบงานต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น โครงสร้างพื้นฐานระบบเทคโนโลยีดิจิทัลสามารถแยกส่วนเป็นระบบเครือข่ายอุปกรณ์ คอมพิวเตอร์ ระบบข้อมูลเป็นหลัก รวมไปถึงระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ครอบคลุมทุกหน่วยงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ระบบงานที่พัฒนาขึ้นสามารถติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูล สามารถกระจายไปถึงจุดการใช้งานต่าง ๆ ได้อย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเทคโนโลยีดิจิทัลในปัจจุบันอ้างอิงการพัฒนาแบบรวมศูนย์ให้มีการกระจายการใช้งานข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเรียนรู้ถึงความยุ่งยากซับซ้อนของระบบงาน เพียงแต่มุ่งเน้นการใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด ส่วนความยุ่งยากซับซ้อนในการพัฒนาหรือบริหารจัดการระบบ และติดตั้งเทคโนโลยีดิจิทัล เป็นหน้าที่ของผู้เชี่ยวชาญด้านดิจิทัล โดยเฉพาะเท่านั้น เมื่อเรียกรวมกันทั้งระบบดิจิทัลจะได้ว่า “โครงสร้างพื้นฐานดิจิทัล” อันประกอบไปด้วย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (เช่น PC, Tablet, iPad, Note 10.1 หรือ Smart Phone เป็นต้น)
2. โปรแกรมระบบปฏิบัติการ (Windows, Linux, RedHat, Unix, MacOS เป็นต้น)
3. โปรแกรมสำเร็จรูป (Word, Excel, PowerPoint เป็นต้น)
4. ระบบเครือข่ายสื่อสารข้อมูล (ระบบอินเทอร์เน็ต อินทราเน็ต ระบบ LAN ระบบ WAN เป็นต้น)
5. ระบบเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (เช่น Internet Server, Proxy Server, Mail Server, Application Server, Database Server เป็นต้น) ระบบแอปพลิเคชัน (Application) หรือระบบ โปรแกรมประยุกต์ของแต่ละฟังก์ชันงาน เช่น ระบบบริหารงานบุคคล ระบบการเงินการคลังและงบประมาณ ระบบงานบัญชี และอื่น ๆ ซึ่งมีการพัฒนาให้สามารถใช้งานได้ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต/ติดตั้งใช้งานเฉพาะที่เครื่องคอมพิวเตอร์
6. การบริหารความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ เช่น การโจมตีระบบสารสนเทศผ่านอินเทอร์เน็ต ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายไม่ทำงาน หรือปิดการทำงาน (Shutdown) หรือติดไวรัส เป็นต้น นอกจากนั้น กรณีที่เครื่องแม่ข่ายให้บริการเกี่ยวกับงานการเงินการคลัง ควรมีการเฝ้าระวังเป็นพิเศษ เป็นต้น

4.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณรงค์เวทย์ เรืองจวง [19] ศึกษาแนวทางการพัฒนาขีดความสามารถบุคลากรด้านไซเบอร์ของกองทัพอากาศพบว่า บุคลากรมีระดับความสามารถด้านการปฏิบัติเชิงรับอยู่ในระดับดี และการปฏิบัติเชิงรุกอยู่ในระดับปานกลาง การปฏิบัติงานเกือบทุกด้านมีการกำหนดนโยบาย กระบวนการแผนแม่บท และแผนงานเพื่อรองรับการใช้งาน แต่ขาดแนวความคิดการปฏิบัติการด้านไซเบอร์ หากพิจารณาด้านระบบและอุปกรณ์ พบว่ามีความทันสมัย มีประสิทธิภาพสูง แต่บุคลากรที่ปฏิบัติงานด้านไซเบอร์มีจำนวนไม่เพียงพอ ขาดความรู้และทักษะในการปฏิบัติงานด้านไซเบอร์ อีกทั้งโครงสร้างการจัดหน่วยข้อมูลสามารถรองรับบุคลากรที่ปฏิบัติงานได้ในปัจจุบันเท่านั้น

Cheang, S. [20] ประเมินความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของสถาบันอุดมศึกษา เพื่อการพัฒนาประเทศกัมพูชา ผลการวิจัยพบว่า ประเทศกัมพูชามีความพร้อมด้านทรัพยากรมนุษย์ ด้านโครงสร้างพื้นฐาน และด้านสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการสร้างระบบความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของหน่วยงานภาครัฐ

Wendy และ Gunawan [21] ศึกษางานด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ในหัวข้อเรื่อง Manage Security (APO13), Manage Security Services (DSS05) ภายใต้ COBIT5.0 เพื่อประเมินผู้ปฏิบัติงานในแผนกไอทีของมหาวิทยาลัย XYZ โดยใช้ค่าเฉลี่ยมาจัดระดับความสามารถเพื่อตรวจหาช่องโหว่ของความมั่นคงปลอดภัยในระบบประมวลผลแบบคลาวด์ พร้อมกับเสนอวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ด้วยกระบวนการของ COBIT5.0 และ ISO27001: 2013

Obi และ Iwasaki [22] กำหนดว่า ความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ควรประกอบด้วยดัชนีความพร้อม 3 ด้าน คือ ด้านกฎหมายไซเบอร์ ด้านองค์การการรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางอินเทอร์เน็ต และด้านอาชญากรรมไซเบอร์

5. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงคุณภาพ เริ่มต้นจากการค้นคว้าเอกสารนโยบาย บทความ รวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมากำหนดเป็นคำถามเชิงลึกสำหรับการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) กับผู้ทรงคุณวุฒิ และการสนทนากลุ่ม (Focus Group) กับผู้เชี่ยวชาญด้านดิจิทัลและด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ผ่านทางโทรศัพท์และระบบออนไลน์ เช่น Google Meet, Zoom ควบคู่กับการจดบันทึกและบันทึกเสียงการสนทนา สำหรับนำข้อมูลมาวิเคราะห์เขียนสรุป และนำเสนอข้อมูลเชิงพรรณนา

องค์ประกอบของการทำวิจัยดังนี้

5.1 กลุ่มผู้ให้ข้อมูล (Key Informant) คัดเลือกจากบุคลากรสายวิชาการของมหาวิทยาลัยราชภัฏจำนวน 38 แห่ง ได้จำนวนทั้งสิ้น 25 คน คัดเลือกด้วยวิธีแบบเฉพาะเจาะจงจากเกณฑ์ต่อไปนี้ (1) เป็นผู้มีประสบการณ์การทำงานในมหาวิทยาลัยราชภัฏอย่างน้อย 3 ปี และ (2) เป็นผู้ปฏิบัติงานในตำแหน่งต่อไปนี้ เป็นผู้บริหารของมหาวิทยาลัยราชภัฏที่ดูแลงานด้านสารสนเทศ เป็นอาจารย์ผู้สอนเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์เป็นผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานด้านระบบไอทีตำแหน่งละ 5 คน

5.2 เครื่องมือในการวิจัยนี้ใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview) ที่ใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างจำนวน 7 ข้อ

ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกและการสนทนากลุ่ม จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์แก่นสาระ (Thematic Analysis) และนำเสนอข้อมูลในรูปแบบร้อยละร่วมกับการบรรยายเชิงพรรณนา

6. ผลการวิจัย

6.1 ผลการศึกษาปัญหาด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ

การศึกษสาเหตุของปัญหาที่มีผลต่อความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏ พบว่ามาตรการด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ เป็นปัจจัยสำคัญที่สุด คิดเป็น 33% รองลงมาคือ ปัญหาด้านบุคลากร การกำหนดนโยบาย การถูกโจมตีจากภายนอก คิดเป็น 31%, 27% และ 10% ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จากการศึกษาได้ข้อค้นพบเพิ่มเติมว่า ผู้บริหารควรกำหนดนโยบายรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ที่ชัดเจนและมีมาตรฐาน มีการส่งเสริมความรู้ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ให้แก่บุคลากรในองค์กร ควบคู่กับการสร้างความตระหนักถึงความสำคัญของความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

ตารางที่ 1 ปัญหาด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ

สาเหตุของปัญหา	ระดับ (%)
1. มาตรการความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์	33%
2. การกำหนดนโยบาย	27%
3. บุคลากร	31%
4. การถูกโจมตีจากภายนอก	10%

6.2 ผลการศึกษาอุปสรรคที่ส่งผลต่อการพัฒนาสมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏ

การศึกษารูปแบบของการพัฒนาสมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏพบว่า อุปสรรคที่เป็นประเด็นสำคัญที่สุด คือ การกำหนดนโยบายของผู้บริหารคิดเป็น 30% สืบเนื่องมาจากผู้บริหารให้ความสำคัญด้านความมั่นคงปลอดภัยกับองค์กรค่อนข้างน้อย รองลงมาคือ อุปสรรคด้านทักษะความรู้ คิดเป็น 29% มีข้อมูลการสำรวจที่น่าสนใจเพิ่มเติมกล่าวคือ ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็นว่า บุคลากรในองค์กรยังขาดความรู้และทักษะด้านการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ส่วนใหญ่เป็นการปฏิบัติงานด้านการบริหารจัดการข้อมูล และบุคลากรมีการพัฒนาตนเองในงานด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ค่อนข้างน้อย สำหรับอุปสรรคด้านวัฒนธรรมองค์กร คิดเป็น 21% และด้านความไม่เสถียรของระบบอินเทอร์เน็ต คิดเป็น 20% ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 อุปสรรคของการพัฒนาสมรรถนะบุคลากรด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

อุปสรรคของการพัฒนาสมรรถนะ	ระดับ (%)
1. ด้านนโยบายผู้บริหาร	30%
2. ด้านทักษะความรู้	29%
3. ด้านวัฒนธรรมองค์กร	21%
4. ด้านความไม่เสถียรของระบบอินเทอร์เน็ต	20%

6.3 ผลการศึกษาความพร้อมของมหาวิทยาลัยราชภัฏที่มีต่อความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

ตารางที่ 3 พบว่าความพร้อมของบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏต่อความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ด้านความพร้อมขององค์กร คิดเป็น 33% ด้านความพร้อมบุคลากรคิดเป็น 28% ความพร้อมด้านกระบวนการคิดเป็น 22% ความพร้อมด้านเทคโนโลยี 17% ตามลำดับ จากการศึกษา จึงได้ข้อค้นพบ ความพร้อมด้านองค์กร ในมุมมองงบประมาณสนับสนุนในแต่ละองค์กรมีความพร้อมแตกต่างกันตามแต่ขนาด จึงส่งผลถึงความพร้อมด้านบุคลากร ที่มีความแตกต่างกันในเรื่องความรู้ ทักษะ ความสามารถด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ที่ทำให้องค์กรยังขาดบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ อีกทั้ง ยังส่งผลถึงกระบวนการทำงานในองค์กรที่ขาดการประเมินกระบวนการ ติดตามผล และความพร้อมด้านเทคโนโลยี บางองค์กรที่มีงบประมาณสนับสนุนเพียงพอแต่องค์กรที่มีขนาดเล็กมักขาดเงินทุนสนับสนุนเพื่อจัดหาเทคโนโลยีดิจิทัลที่สมัยและเพียงพอ

ตารางที่ 3 ความพร้อมของบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏต่อความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

ความพร้อมของบุคลากร	ระดับ (%)
1. ความพร้อมขององค์กร	33%
2. ความพร้อมด้านบุคลากร	28%
3. ความพร้อมด้านกระบวนการ	22%
4. ความพร้อมด้านเทคโนโลยี	17%

6.4 สภาพความพร้อมขององค์กร 5 ด้าน ได้แก่ นโยบายขององค์กร สภาพแวดล้อมภายในองค์กร ด้านขีดความสามารถทางความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ด้านสิ่งสนับสนุนทางเทคโนโลยี และด้านการบริหารจัดการ ส่งผลต่อการ

พัฒนาสมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของบุคลากร จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญรวมทั้งการสนทนากลุ่ม พบข้อมูลเรียงตามลำดับความสำคัญ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สภาพความพร้อมองค์กร 5 ด้าน

ความพร้อมองค์กร	ลำดับความสำคัญ
1. นโยบายขององค์กร	ลำดับที่ 1
2. สิ่งสนับสนุนการเรียนรู้	ลำดับที่ 2
3. สิ่งสนับสนุนทางเทคโนโลยี	ลำดับที่ 3
4. ชีตความสามารถทางความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์	ลำดับที่ 4
5. สภาพแวดล้อมภายใน	ลำดับที่ 5

ในตารางที่ 4 พบว่า เมื่อเรียงลำดับความสำคัญสภาพแวดล้อมองค์กร 5 ด้านพบว่า นโยบายองค์กร จัดอยู่ในลำดับที่ 1 รองลงมาคือ สิ่งสนับสนุนการเรียนรู้ สิ่งสนับสนุนทางเทคโนโลยี ชีตความสามารถทางความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ และลำดับสุดท้ายคือสภาพแวดล้อมภายใน ตามลำดับ จากการศึกษาได้ข้อค้นพบว่า นโยบายองค์กร ถือเป็นหัวใจหลักด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ที่องค์กรต้องมึนโยบายชัดเจนในการป้องกันปัญหาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ซึ่งจะส่งผลไปถึงองค์ประกอบอื่นด้วย

6.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาสมรรถนะความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏ จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญรวมทั้งการสนทนากลุ่ม ได้ข้อสรุปดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาสมรรถนะความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของบุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏ

ความพร้อมของบุคลากร	ระดับ (%)
1. ปัจจัยด้านคน	28%
2. ปัจจัยด้านงบประมาณ	14%
3. ปัจจัยด้านบริหารจัดการ	22%
4. ปัจจัยด้านแรงจูงใจ	18%
5. ปัจจัยด้านการตระหนักรู้	19%

6.6 ดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ

จากการศึกษาปัญหา อุปสรรค และสถานภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏตามข้อที่ 6.1 – 6.5 ข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ที่อิงดัชนีชี้วัดระดับของการพัฒนาการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ระดับโลก (Global Cybersecurity Index : GCI) ที่จัดทำโดยสหภาพโทรคมนาคมสากล ร่วมกับสถาบัน ABI Research [23] ประกอบด้วย 5 ด้าน ได้แก่ มาตรการทางกฎหมาย (Legal Measures) มาตรการเทคนิค (Technical Measures) มาตรการการจัดสร้างองค์กร (Organizational Measures) การพัฒนาศักยภาพบุคลากร (Capacity Building) และการสร้างความร่วมมือ (Cooperation) จากปัจจัยหลัก 5 ด้าน ประกอบด้วย 17 ปัจจัยย่อย

ผู้วิจัยพิจารณาถึงปัจจัยดังกล่าวผ่านทางการสนทนากลุ่มกับผู้เชี่ยวชาญ พบว่าควรเพิ่มปัจจัยหลัก/ปัจจัยย่อย เพื่อพัฒนาเป็นดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ ดังที่นำเสนอจะเห็นได้ว่ามีรายละเอียดความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ 7 ด้าน 24 ปัจจัยย่อย

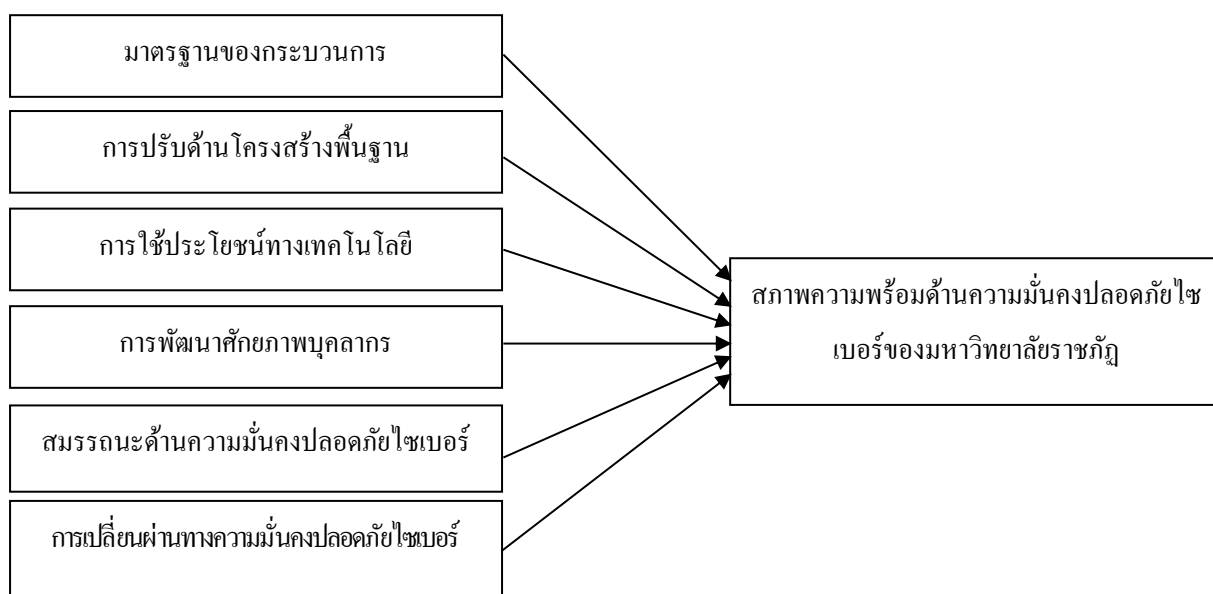
ตารางที่ 6 ดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย
1. มาตรฐานทางกฎหมาย (Legal Measures)	1.1 กฎหมายอาญา (Criminal Legislation) เกี่ยวกับการควบคุมการกระทำความผิดทางคอมพิวเตอร์
	1.2 การมีกฎระเบียบและการปฏิบัติตามกฎระเบียบ Regulation and Compliance) หมายถึง การมีกฎที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์เฉพาะเรื่อง เช่น กฎหมายการใช้ลายเซ็นอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น
2. มาตรการทางเทคนิค (Technical Measures)	2.1 การจัดตั้งหน่วยงานระดับ ชาติเพื่อตอบสนองเหตุการณ์ที่ละเมิดความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ (Computer Incident Response Team (CIRT), Computer Emergency Response Team (CERT), Computer Security incident Response Team (CSIRT))
	2.2 มาตรฐาน (Standards)
	2.3 การออกใบรับรอง (Certifications)
3. มาตรฐานด้านโครงสร้างองค์กร (Organizational Measures)	3.1 นโยบาย (Policy)
	3.2 แผนด้านการกำกับข้อมูลดูแล (Roadmap for Governance)
	3.3 หน่วยงานที่รับผิดชอบ (Response Agency)
	3.4 การเทียบเคียงกับหน่วยงานระดับชาติ (National Benchmarking)
4. การพัฒนาศักยภาพบุคลากร (Capacity Building)	4.1 การกำหนดมาตรฐานในการพัฒนาบุคลากร (Standardization Development)
	4.2 การพัฒนาบุคลากร (Manpower Development)
	4.3 การให้การรับรองแก่ผู้เชี่ยวชาญ (Professional Certification)
	4.4 การให้การรับรองหน่วยงาน (Agency Certification)
5. การสร้างความร่วมมือ (Cooperation)	5.1 การสร้างความร่วมมือระหว่างรัฐ (Intra-State Cooperation)
	5.2 การสร้างความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน (Intra-Agency Cooperation)
	5.3 การสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐและภาคเอกชน (Public-private partnerships (PPP))
	5.4 การสร้างความร่วมมือระหว่างประเทศ (International Cooperation)
6. การเปลี่ยนผ่านทางความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์	6.1 การสร้างความตระหนักรู้ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์
	6.2 ด้านการยอมรับในเทคโนโลยี
	6.3 ด้านบุคลากร
	6.4 ด้านความพร้อมใช้งาน
7. ความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์	7.1 ความพร้อมด้านบุคลากร
	7.2 ความพร้อมด้านกระบวนการ
	7.3 ความพร้อมด้านเทคโนโลยี

อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยสามารถสรุปปัญหาและอุปสรรคที่มีผลต่อการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏทั้ง 38 แห่ง ได้ดังนี้

- (1) ขาดระบบการเฝ้าระวังและเตือนภัยด้านไซเบอร์ที่มีประสิทธิภาพ
- (2) ขาดแคลนบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านเกี่ยวกับความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์
- (3) ขาดนโยบายและแนวปฏิบัติตามกฎหมายเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัยไซเบอร์ที่ชัดเจนเป็นรูปธรรม
- (4) งบประมาณที่จัดสรรเพื่อส่งเสริมการจัดระบบเฝ้าระวังและเตือนภัยด้านไซเบอร์มีจำกัด

ผู้วิจัยนำผลการศึกษาทั้งหมดมาพัฒนาเป็นตัวแบบสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ ด้วยการนำเสนอไว้ในรูปที่ 1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 ตัวแบบสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

1. มาตรฐานของกระบวนการคือ กลไกในการบริหารจัดการของมหาวิทยาลัยราชภัฏต่อความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์
2. การปรับด้านโครงสร้างพื้นฐานคือ แนวทางนโยบาย ข้อปฏิบัติและแผนด้านการกำกับข้อมูล ดูแลข้อมูล ความเสี่ยงด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์
3. การใช้ประโยชน์ทางเทคโนโลยี คือมหาวิทยาลัยที่มีความพร้อมด้านเทคโนโลยีที่ทันสมัย มีงบประมาณเพียงพอที่สามารถจัดสรรจัดสรรในการจัดซื้อจัดจ้างหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับองค์กรได้
4. การพัฒนาศักยภาพบุคลากรคือ การพัฒนาบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏแต่ละแห่งให้มี ความรู้ ทักษะ และความสามารถ รวมทั้งสามารถแก้ไขปัญหาได้ด้วยตนเองและเท่าเทียมกันต่อความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์
5. สมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์คือ บุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏ มีความรู้ ทักษะและความสามารถในการป้องกัน ภาวะพ้นจากภัยคุกคามที่มีต่อระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โปรแกรม และข้อมูล เพื่อรักษาไว้ซึ่งลักษณะสำคัญ 3 ประการ คือ ความลับ ความถูกต้องครบถ้วนและความพร้อมใช้งาน

6. การเปลี่ยนผ่านทางความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์คือ กระบวนการสร้างความตระหนักรู้ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ เป็นการเปลี่ยนทัศนคติและสร้างวัฒนธรรมทางความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ที่ยั่งยืนในระดับบุคคล และองค์กรให้เกิดภูมิคุ้มกันและมีจริยธรรมทางความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ทั้งนี้เพื่อสร้างความพร้อมในการรับมือกับภัยคุกคามทางไซเบอร์ อีกทั้งยังทำให้บุคคลและองค์กรมีความสามารถด้านไซเบอร์ในอันที่จะป้องกัน ต่อต้าน ตรวจจับและตอบสนองต่อการบุกรุก การจารกรรม หรือการหลอกลวงที่จะทำให้เกิดความเสียหายได้

7. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยสถานภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์และดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ พบว่า สถานภาพทั้งหมดด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ประเด็นหลักที่เป็นปัญหาคือ มาตรการด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ เป็นการกำหนดนโยบายองค์กร ปัญหาบุคลากร (People) กระบวนการ (Process) และเทคโนโลยี (Technology) ส่วนอุปสรรคพบว่า ด้านนโยบายผู้บริหาร อุปสรรคด้านความไม่มีเสถียรภาพของระบบอินเทอร์เน็ต อุปสรรคด้านวัฒนธรรมองค์กร อุปสรรคด้านทักษะความรู้ ความสามารถและความเชี่ยวชาญ และอุปสรรคด้านงบประมาณที่จะสนับสนุนการป้องกันและรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์นั้นมีจำกัด

สำหรับการวิจัยสถานภาพความพร้อมและดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ ในครั้งนี้ยังได้ค้นพบตัวแบบสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ ประกอบด้วย 6 ด้าน ได้แก่ 1) มาตรฐานของกระบวนการ 2) การปรับด้านโครงสร้างพื้นฐาน 3) การใช้ประโยชน์ทางเทคโนโลยี 4) การพัฒนาศักยภาพบุคลากร 5) สมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ และ 6) การเปลี่ยนผ่านทางความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

8. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยมีประเด็นที่น่าสนใจในการอภิปรายผลดังนี้

8.1 ผลการศึกษา ปัญหาด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ จากการสัมภาษณ์เชิงลึกรวมทั้งการสนทนากลุ่มกับผู้เชี่ยวชาญ ในมุมมองของแต่ละท่านและนำมาวิเคราะห์ ผลการวิจัยพบว่า สาเหตุของปัญหา ได้แก่ มาตรการด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ การกำหนดนโยบาย บุคลากร และการถูกโจมตีทางไซเบอร์ ผลการค้นพบคือ ผู้บริหารควรมีนโยบายพัฒนาความรู้ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ให้แก่ บุคลากรในองค์กรให้เกิดความตระหนักรู้ถึงความสำคัญของความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

8.2 อุปสรรคที่ส่งผลต่อสมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ค้นพบว่า ผู้บริหารยังให้ความสำคัญด้านความมั่นคงปลอดภัยน้อย บุคลากร ไม่มีความเชี่ยวชาญด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ องค์กรจึงควรส่งเสริมและพัฒนาทักษะให้กับบุคลากรให้มีความรู้ ความเชี่ยวชาญด้านไซเบอร์

8.3 การศึกษาเพื่อวิเคราะห์ดัชนีความพร้อมความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหา อุปสรรครวมถึงสถานภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ที่อิงดัชนีชี้วัดระดับของการพัฒนาการรักษามั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ระดับโลก (Global Cybersecurity Index : GCI) ที่ประกอบด้วย 5 ด้าน ได้แก่ มาตรการทางกฎหมาย (Legal Measures) มาตรการเทคนิค (Technical Measures) มาตรการการจัดสร้างองค์กร (Organizational Measures) การพัฒนาศักยภาพบุคลากร (Capacity Building) และการสร้างความร่วมมือ (Cooperation) จากปัจจัยหลัก 5 ด้าน ประกอบด้วย 17 ปัจจัยย่อยเพื่อนำมาประกอบการพัฒนาตัวชี้วัด [24]

ผู้วิจัย ได้พิจารณาถึงปัจจัยดังกล่าว และได้นำเข้าสู่การสนทนากลุ่ม ทำให้ได้ปัจจัยหลัก/ปัจจัยย่อย เพื่อพัฒนาเป็นดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ มีรายละเอียด จำนวน 7 ด้าน และประกอบด้วย 24 ปัจจัย และการศึกษาวิจัยได้ค้นพบตัวแบบสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ ประกอบด้วย 6 ด้าน ได้แก่ 1) มาตรฐานของกระบวนการ 2) การปรับด้าน โครงสร้างพื้นฐาน 3) การใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยี 4) การพัฒนาศักยภาพบุคลากร 5) สมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ และ 6) การเปลี่ยนผ่านทางความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

9. ข้อเสนอแนะ

สืบเนื่องจากข้อมูลที่ค้นพบในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลงานวิจัยไปใช้งานในแต่ละมิติ ดังนี้

9.1 ข้อเสนอแนะสำหรับองค์กร

(1) งานวิจัยนี้ ทำให้ทราบถึงระดับความสำคัญของปัญหาในมหาวิทยาลัยราชภัฏ ที่มีผลต่อความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ซึ่งองค์กรสามารถนำข้อมูลที่ได้มาวางแผนกำหนดมาตรการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ด้วยการออกข้อกำหนดนโยบาย กำหนดทิศทางและกิจกรรมการทำงานให้แก่หน่วยงาน มีการเปิดโอกาสให้บุคลากรเข้ารับการพัฒนาตนด้านการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ให้กับองค์กร

(2) จากงานวิจัยนี้ ทำให้พบอุปสรรคที่สำคัญของมหาวิทยาลัยราชภัฏในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์นั้น อยู่ที่ความสามารถในการนำนโยบายขององค์กรที่เกี่ยวกับความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ไปใช้ในเชิงปฏิบัติ ดังนั้น องค์กรควรมีการกำหนดแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจน ควบคู่กับการกำหนดระดับมาตรฐานของความเข้มงวดในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ เพื่อให้ผู้บริหารระดับต่าง ๆ ภายในองค์กรสามารถนำนโยบายไปบริหารจัดการสารสนเทศ และรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ได้อย่างเป็นรูปธรรม

(3) มหาวิทยาลัยราชภัฏอาจนำข้อมูลที่ได้ในครั้งนี้นำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ด้วยวิธีการที่เหมาะสมกับบริบทของแต่ละมหาวิทยาลัย

(4) จากปัญหาและอุปสรรคด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนั้น มาตรการแก้ปัญหาที่สามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืนคือการพัฒนาระดับทักษะความเข้าใจและใช้เทคโนโลยีดิจิทัล หรือสมรรถนะด้านการใช้ดิจิทัล (Digital Literacy) ให้แก่บุคลากรในทุกระดับของมหาวิทยาลัยราชภัฏ อีกทั้งยังต้องทำการจัดการความรู้ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ทั้งนี้ อาจทำการพัฒนาแพลตฟอร์มสถานการณ์จำลองสำหรับการทดลองเจาะระบบ ป้องกันระบบ หรือการแข่งขันทางไซเบอร์ ซึ่งจะทำให้บุคลากรมีองค์ความรู้ใหม่ มีความชำนาญในการป้องกันตนเองและสามารถรับมือกับภัยคุกคามทางไซเบอร์ได้ หรือองค์กรสามารถคืนสภาพได้ทางไซเบอร์ (Cyber Resilience) รวมทั้งยังจะสามารถช่วยลดภาระทางงบประมาณและลดการพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญจากภายนอกหน่วยงานได้อีกด้วย

9.2 ข้อเสนอแนะเชิงสาธารณะ

(1) การนำประเด็นปัญหา อุปสรรค และการเตรียมความพร้อมของการพัฒนา/รักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ในระดับมหาวิทยาลัยราชภัฏไปต่อขอต่อองค์กรภาครัฐและเอกชน ด้วยการกำหนดนโยบาย วางแผนยุทธศาสตร์ และตัวชี้วัด ที่ครอบคลุมและสอดคล้องบริบทแวดล้อมของการทำงานในแต่ละองค์กร

(2) ในส่วนของการสร้างความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ควรเกิดจากความร่วมมือร่วมใจของทุกมิติของการดำเนินงานทุกภาคส่วนในองค์กร ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดนโยบาย การกำหนดขั้นตอนการดำเนินงาน การสนับสนุนทรัพยากรการทำงาน และการปฏิบัติตนด้วยความรู้ความสามารถอย่างเต็มที่ ควบคู่กับการสร้างจิตสำนึกให้มีส่วนร่วมในการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลร่วมกันรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ พร้อมกับการละเว้นการ

ปฏิบัติหน้าที่อาจเป็นการคุกคามไซเบอร์ไม่ว่าทางใดทางหนึ่ง จึงจะเป็นการสร้างความเข้มแข็งด้านเทคโนโลยีให้กับองค์กรได้อย่างแท้จริง

9.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

- (1) ควรนำข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ไปพัฒนาตัวแบบสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏที่มีความแตกต่างกันตามบริบทของแต่ละสถาบัน
- (2) ควรนำผลการวิจัยไปขยายผลเพื่อการพัฒนาตัวแบบสถานการณ์ความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ในหน่วยงานการศึกษาในระดับมหาวิทยาลัยทั่วประเทศ ทั้งมหาวิทยาลัยแห่งรัฐและเอกชน

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dutta, S., Geiger, T. and Lanvin, B. (2015). **The global information technology report 2015: ICTs for inclusive growth**. Geneva: World Economic Forum.
- [2] แผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม, กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. (2559). แผนพัฒนารัฐบาลดิจิทัลของประเทศไทย ระยะ 3 ปี พ.ศ. 2559-2561.
- [3] Irfan, M., Putra, S. J., & Ramdhani, M. A. (2019, March). **The readiness model of information technology implementation among universities in Indonesia**. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1175, No. 1, p. 012267). IOP Publishing.
- [4] Narwal, B., Mohapatra, A. K., & Usmani, K. A. (2019). **Towards a taxonomy of cyber threats against target applications**. *Journal of Statistics and Management Systems*, 22(2), 301-325.
- [5] Assenza, G., Faramondi, L., Oliva, G., & Setola, R. (2020). **Cyber threats for operational technologies**. *International Journal of System of Systems Engineering*, 10(2), 128-142.
- [6] Sapienza, A., Ernala, S. K., Bessi, A., Lerman, K., & Ferrara, E. (2018, April). **Discover: Mining online chatter for emerging cyber threats**. In *Companion Proceedings of the The Web Conference 2018* (pp. 983-990).
- [7] ThaiCERT ETDA. (2018). สถิติภัยคุกคาม. สืบค้น 23 มกราคม 2563, จาก thaicert.or.th/statistic 2018.html.
- [8] สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ ณ กรุงเฮก ประเทศเนเธอร์แลนด์. (2017). ความปลอดภัยทางไซเบอร์. สืบค้น 23 มกราคม 2563 จาก https://www.ditp.go.th/contents_attach/207952/207952.pdf.
- [9] Bahuguna, A., Bisht, R. K., & Pande, J. (2019). **Assessing Cybersecurity maturity of organizations: An empirical investigation in the Indian context**. *Information Security Journal: A Global Perspective*, 28(6), 164-177.
- [10] Lehto, M. (2018). **Cybersecurity Education and Research in the Finland's Universities and Universities of Applied Sciences**. In *Cybersecurity and Threats: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 248-267). IGI Global.
- [11] Fatokun, F. B., Hamid, S., Norman, A., & Fatokun, J. O. (2019, December). **The impact of age, gender, and educational level on the Cybersecurity behaviors of tertiary institution students: An empirical investigation on Malaysian universities**. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1339, No. 1, p. 012098). IOP Publishing.
- [12] คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมศัพท์คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ. มติเมื่อ 28 มิถุนายน 2562, สำนักงานราชบัณฑิตยสภา.

- [13] ศิวสิทธิ์ ธีรโรจน์บริรักษ์. (2015). การพัฒนามาตรฐานการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ (Cybersecurity) ของกระทรวงกลาโหม, วารสารสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ. ปีที่ 6 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม-สิงหาคม 2558. หน้า 21.
- [14] ยุทธนา เข็มตระกูล. (2561). การจัดการความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่. (รายงานวิจัยตามหลักสูตรการป้องกันราชอาณาจักร รุ่นที่ 60, วิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร).
- [15] ราชกิจจานุเบกษา. (2562). พระราชบัญญัติการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ พ.ศ. 2562.
- [16] กิตติ โฆษะวิสุทธิ, ธาวิณี วงศ์วิเศษ, กิตติศักดิ์ จิร วรรณกุล, ปิณฑญา เขิญธนอมวงศ์ และชญานิน แก้วหาญ. (2564). ศูนย์ประสานงานความมั่นคงปลอดภัยเทคโนโลยีสารสนเทศภาคการธนาคาร. สมาคมธนาคารไทย, นนทบุรี. 78 หน้า.
- [17] จิรประภา อัครบวร. (2549). สร้างคนสร้างผลงาน. กรุงเทพมหานคร: ก.พลพิมพ์ (1996).
- [18] อนันต์ นามทองต้น. (2554). มองทางลัดสู่การปฏิบัติที่เป็นเลิศ. พิมพ์ครั้งที่ 3. นนทบุรี: สหมิตรพรินติ้งแอนพับลิชชิง.
- [19] ณรงค์เวทย์ เรืองจวง. (2561). แนวทางการพัฒนาขีดความสามารถบุคลากรด้านไซเบอร์ของกองทัพอากาศ. รัฐสารกิจ, 60 (3): 22-33.
- [20] S. Cheang. (2009). Conceptual Model for Cybersecurity Readiness Assessment for Public Institutions in Developing Country: Cambodia. 4th International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology.
- [21] Wendy and W. Gunawan. (2019). Measuring information security and Cybersecurity on private cloud computing. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 96 (1): 156-168.
- [22] Obi, T., and Iwasaki, N. (2015). **The Waseda University E-Government Rankings**. IOS Press.
- [23] Global Cybersecurity Index (2015). The Global Cybersecurity Index and Cyber Wellness Profiles Report. International Telecommunication Union and ABI Research. สืบค้นจาก http://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/str/D-STR-SECU-2015-PDF-E.pdf.
- [24]. สำนักงานรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (องค์กรมหาชน). 2559 . **Global Cybersecurity Index**. International Telecommunication Union (ITU), <https://www.dga.or.th/wp-content/uploads/2021/02/7.pdf>, online.

การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวล

Study and Comparison of Thermal Efficiency of Briquettes Fuel from Biomass Materials

^{1*}นเรศ สิริวารวุธ ^{2#}ปราโมทย์ สุขศิริศักดิ์ ^{3#}นุกูล สุขุประการ และ ^{4#}ประยูร กันอยู่

¹Narade Sirivarawuth, ²Pramote Suksirisak, ³Nukul Sukuprakarn, ⁴Prayoon Kunyoo

^{1,2,3,4} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม

กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1,2,3,4} Mechanical Engineering Department, Mechanical and Industrial Engineering Division

Faculty of Academic, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

*narade_s@rtaf.mi.th, #pramote_suk@rtaf.mi.th, #nukul_s@rtaf.mi.th, #prayoon_k@rtaf.mi.th

Received : July 23, 2021

Revised : December 2, 2021

Accepted : December 18, 2021

บทคัดย่อ

ปัจจุบันโลกมีขยะจำนวนมากทั้งวัสดุที่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ได้และไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งประเภทของขยะที่สามารถนำมาใช้ใหม่ที่พบมากในแหล่งชุมชนคือวัสดุชีวมวล โดยวัสดุชีวมวลเหลือใช้บางประเภทสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อเป็นการลดปริมาณขยะให้โลก งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาอัตราการให้ความร้อนของวัสดุชีวมวล 4 ประเภท ได้แก่ กากชา ช้างข้าวโพด ใบสน และกระดาดชานอ้อย โดยใช้ตัวประสาน 2 ชนิด ได้แก่ พาราฟินและแป้งมันสำปะหลัง และทำการอัดแท่งเป็น 3 รูปทรง ได้แก่ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม และวงกลม รวมไปถึงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้ความร้อนของวัสดุชีวมวลอัดแท่งแต่ละประเภทที่จัดทำขึ้นมา โดยใช้ถ่านไม้อัดแท่งเป็นเกณฑ์ในการวัด จากผลการทดสอบพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวลจากกระดาดชานอ้อยรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ใช้พาราฟินเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 1 : 1 ให้ค่าความร้อนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชีวมวลชนิดอื่น ๆ ที่ 6,942.67 แคลอรีต่อกรัม และให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเทียบกับถ่านไม้อัดแท่งเป็น 97.1%

คำสำคัญ : วัสดุชีวมวล, ค่าความร้อน, ตัวประสาน, ประสิทธิภาพ

Abstract

Nowadays, the world has a lot of waste, both recyclable and non-recyclable materials. The type of waste that can be reused most commonly found in community sources is biomass material. Biomass materials could be used to make fuel pellets. The objective of this research was studying the heating rate of 4 types of biomass materials: tea residue, corncob, pine leaves, and bagasse paper. By using two types of binder which were paraffin and tapioca starch. Our biomass was formed into 3 shape of briquette including triangle, square, and circle. The heating efficiency of each type of the biomass briquette was compared to charcoal as the base reformed. The results showed that the briquette from square bagasse paper with paraffin as a binder at a ratio of 1:1 yielded a calorific value of 6,942.67 calories per gram. The heating efficiency of the bagasse paper briquet is 97.1% when comparing with charcoal.

Keywords: Biomass Material, Calorific Value, Binder, Efficiency

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกกำลังเผชิญกับปัญหาขยะล้นโลกซึ่งเกิดมาจากการอุปโภคบริโภคทรัพยากรอย่างไม่จำกัดของมนุษย์ ซึ่งทำให้ไม่สามารถกำจัดขยะทั้งหมดได้อย่างถูกต้องตามวิธีการ ทำให้มีขยะบางส่วนถูกนำไปทิ้งในทะเล ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ บางส่วนถูกนำไปเผาอย่างไม่ถูกวิธี ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ สำหรับประเทศไทยก็ประสบปัญหาขยะเช่นเดียวกัน ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมพบว่า ปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยจากแหล่งต่าง ๆ 27.93 ล้านตัน เฉลี่ยคิดเป็น 76,529 ตันต่อวัน แต่ถูกกำจัดอย่างถูกต้องเพียง 10.85 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็น 26% ของขยะทั้งหมด [1] ทำให้ขยะส่วนที่เหลือถูกกำจัดอย่างไม่ถูกต้องส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมา ทำให้ปี พ.ศ. 2563 รัฐบาลได้ออกนโยบายลดการใช้ขยะที่กำจัดได้ยาก เช่น โฟม พลาสติก กระจก ให้นำใช้ถุงผ้าแทนถุงพลาสติก ให้ใช้ภาชนะบรรจุอาหารที่สามารถใช้ได้หลายครั้ง หรือภาชนะที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น กระดาษชานอ้อย

ประกอบกับต้นทุนในการผลิตพลังงานนั้นสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ หรือพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล ทำให้รัฐบาลได้ออกนโยบายด้านพลังงาน โดยส่งเสริมให้ภาครัฐและเอกชนใช้พลังงานทางเลือกเพื่อลดการใช้พลังงานจากหลักเช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานจากวัสดุชีวมวลและ พลังงานจากขยะ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานจากขยะนั้นเป็นเรื่องใหม่ที่ได้รับความสนใจอย่างมาก เพราะยังเป็นการแก้ปัญหาปริมาณขยะอีกทางหนึ่งด้วย [2]

จากปัญหาและสถานการณ์ดังกล่าว ทำให้คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการนำเศษวัสดุชีวมวล และเศษขยะ ในโรงเรียนนายเรืออากาศ นวมินทราชูทิศชิราษ มาผ่านกระบวนการผลิต แล้วอัดขึ้นรูปเป็นรูปทรงลักษณะแท่ง เพื่อเป็นแหล่งพลังงานความร้อนในการหุงต้ม อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปริมาณขยะได้อีกด้วย ตลอดจนเป็นการนำวัสดุที่ไม่ได้ใช้งานแล้วกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกครั้ง

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาและสร้างเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งอย่างง่าย
- 2.2 เพื่อศึกษาและสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวล และเศษขยะ ใน โรงเรียนนายเรืออากาศ นวมินทราชูทิศชิราษ
- 2.3 เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้
- 2.4 เพื่อเป็นแนวทางในการลดปริมาณขยะใน โรงเรียนนายเรืออากาศ นวมินทราชูทิศชิราษ

3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 ศึกษาและสร้างเครื่องอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งอย่างง่าย โดยใช้ขนาดแรงกดไม่เกิน 5 ตัน

3.2 ศึกษาและสร้างเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวลและเศษขยะเหลือใช้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ใช้วัสดุชีวมวล 4 ประเภท ได้แก่ กากชา ชังข้าวโพด ใบสน และกระดากชานอ้อย ใช้ตัวประสาน 2 ประเภท ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และพาราฟิน และใช้อัตราส่วนโดยมวล ระหว่างตัวประสานกับวัสดุชีวมวลเป็น 1 : 1, 1 : 2 และ 1 : 3

3.2.2 ขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวลใน 3 รูปทรง ได้แก่ สามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม และวงกลม

3.2.3 ใช้ค่าความร้อนของถ่านไม้แข็ง เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับเชื้อเพลิงแข็งจากวัสดุชีวมวลที่ผลิตได้

4. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

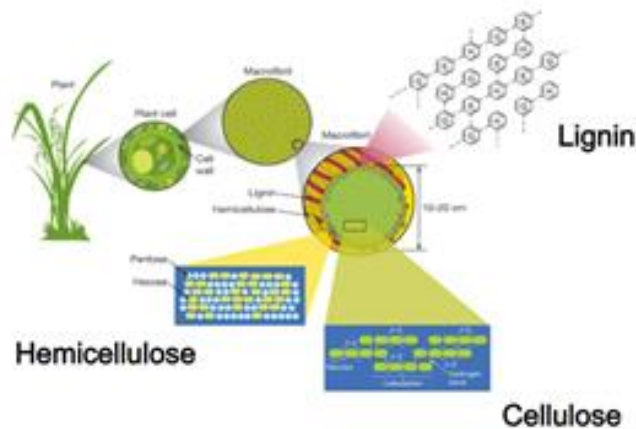
4.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4.1.1 เชื้อเพลิง หมายถึง สารที่สามารถเผาไหม้ได้โดยง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจน สามารถปลดปล่อยพลังงานผ่านปฏิกิริยาเคมี เช่น การเผาไหม้ หรือปฏิกิริยานิวเคลียร์ เช่น การแตกตัวหรือการรวมตัวกันของนิวเคลียสอย่างใดอย่างหนึ่ง คุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงที่มีประโยชน์คือพลังงานที่มีอยู่สามารถปลดปล่อยได้ตามต้องการ และการปลดปล่อยนั้นถูกควบคุมในทางใดทางหนึ่งเพื่อให้สามารถใช้งานทางวิศวกรรมได้ เชื้อเพลิง คือ สารซึ่งเมื่อเผาไหม้แล้วให้พลังงานความร้อนออกมาในปริมาณสูงพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ และอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้อยู่ในระดับที่ควบคุมได้ ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นสามารถนำมาใช้งานได้ อย่างคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ดังนั้น การจะนำสิ่งใดมาเป็นเชื้อเพลิงได้นั้น จำเป็นต้องผลิตได้เป็นจำนวนมาก สามารถจัดหามาใช้ได้อย่างสะดวก เก็บรักษายาวนานและส่งใช้งานได้ง่าย นอกจากนี้สารที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น ไอเสีย ฝุ่นละออง เป็นต้น ต้องไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

เชื้อเพลิงแข็ง หมายถึง เชื้อเพลิงที่ใช้ในงานในสภาพที่เป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ และธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชนิดนี้ส่วนมากจะประกอบไปด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) และ ไนโตรเจน (N) เมื่อทำปฏิกิริยาทางเคมีกับออกซิเจนในอากาศแล้วจะให้พลังงานความร้อนออกมา โดยปกติเมื่อเกิดการเผาไหม้คาร์บอนจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ ส่วน ไนโตรเจนเมื่อเกิดการเผาไหม้จะได้ไนโตรเจนไดออกไซด์ เชื้อเพลิงแข็งที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ ถ่านหิน ลิกไนต์ ถ่านพีท ถ่านไม้ และเชื้อเพลิงที่ได้จากการนำเชื้อเพลิงธรรมชาติมาเผาถ่าน (Carbonization) เช่น ถ่านโค้ก ถ่านเคมีโค้ก ถ่านลิกไนต์โค้ก ถ่านไม้แป้น [3]

4.1.2 พลังงานชีวมวล (Bio-energy) หมายถึง พลังงานที่ได้จากชีวมวลต่าง ๆ โดยกระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นรูปแบบต่าง ๆ ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ และสามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากสัตว์และพืชต่าง ๆ เช่น เศษไม้ ขยะวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การใช้งานชีวมวลเพื่อให้ได้พลังงานอาจจะทำได้โดยกระบวนการเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนจากฟอสซิล เช่น น้ำมัน ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด และอาจหมดลงได้ ชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งที่มาต่าง ๆ ได้แก่ พืชผลทางการเกษตร (Agricultural Crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร (Agricultural Residues) ของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน เช่น ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัส ชังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำมาผลิตคอก

โครงสร้างของชีวมวลประกอบด้วยธาตุหลัก ๆ คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน รวมทั้งมีปริมาณของไนโตรเจนและธาตุอื่น ๆ อีกเล็กน้อยในรูปของคาร์โบไฮเดรตหรือเซลลูโลส ดังแสดงในรูปที่ 1 ชีวมวลนั้นมีอยู่หลายชนิด ทั้งที่ได้จากสิ่งมีชีวิตและยังรวมไปถึงสิ่งต่าง ๆ ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาโดยมีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ โดยทั่วไปชีวมวลสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ ชีวมวลแบบไม้ (Woody) ชีวมวลแบบไม้ไม่ใช่ไม้ (Non Woody) และชีวมวลที่ได้จากของเสียจากสัตว์ ในทางเคมีชีวมวลประกอบไปด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และ ลิกนิน (Lignin) [4]



รูปที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของวัสดุชีวมวล

กระบวนการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงานนั้นสามารถทำได้หลายวิธี โดยสามารถแบ่งได้ 4 วิธีหลัก ได้แก่ การเผาไหม้โดยตรง (Combustion) การผลิตก๊าซ (Gasification) การหมัก (Fermentation) และการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกล่าวเฉพาะวิธีการเผาไหม้โดยตรงเท่านั้น การเผาไหม้โดยตรงเป็นการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็วพร้อมเกิดการลุกไหม้และคายความร้อน ในการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนส่วนๆ แต่จะใช้อากาศแทนเนื่องจากอากาศมีออกซิเจนอยู่ 21% โดยปริมาตร หรือ 23% โดยน้ำหนัก การเผาไหม้หรือการสันดาปเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงาน การเผาไหม้ส่วนใหญ่จะใช้วัตถุดิบที่เป็นไม้หรือเปลือกไม้ชนิดต่างๆ ในรูปของฟืน เมื่อนำชีวมวลมาเผาจะได้ความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวล ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการเผาไหม้โดยการเพิ่มความดันในการเผาไหม้และกำจัดออกซิเจนในเตาเผา นอกจากนี้แล้วยังมีการพัฒนาประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยการนำชีวมวลต่างๆ ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แกลบ ฟางข้าว กาบมะพร้าว ขี้เถ้า ช้างพังโศ มาทำให้แห้งก่อนแล้วจึงนำชีวมวลนั้นมาเผาซึ่งเป็นการให้ความร้อนโดยตรง ซึ่งถ้ามีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และ น้ำ (H₂O) ตามสมการที่ (1) และ (2)



และถ้าการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ดังสมการที่ (3) และ (4)



4.1.3 การวัดค่าความร้อนจากเชื้อเพลิง เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีที่สะสมในเชื้อเพลิงเป็นพลังงานความร้อน โดยทั่วไปจะทำได้โดยการนำเชื้อเพลิงนั้น ไปเผาไหม้เพื่อนำความร้อนที่ได้ไปเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำ พลังงานความร้อนมีหน่วยเป็นจูล (J) ในระบบเอสไอ (SI) แต่บางครั้งอาจบอกเป็นหน่วยอื่นได้ เช่น แคลอรี (cal) และ บีทียู (BTU) พลังงานความร้อน 1 แคลอรี คือ พลังงานความร้อนที่ทำให้ให้น้ำมวล 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) พลังงานความร้อน 1 บีทียู คือ พลังงานความร้อนที่ทำให้ให้น้ำมวล 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}\text{F}$) จากการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ของหน่วยวัดพลังงานเป็นดังสมการที่ (5),(6)

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J} \quad (5)$$

$$1 \text{ BTU} = 252 \text{ cal} = 1,055 \text{ J} \quad (6)$$

ความจุความร้อนของสาร คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิของระบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความร้อนเข้าไปในระบบ ค่าปริมาณความร้อนที่ให้เข้าไป (Q) เมื่อเปรียบเทียบกับ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (ΔT) เรียกว่าค่าความจุความร้อน (C) ซึ่งมีค่าแตกต่างกันและเป็นค่าเฉพาะของแต่ละสาร ดังสมการที่ 7

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (7)$$

เมื่อ C คือ ความจุความร้อน (cal/g)
Q คือ พลังงานความร้อน (cal)
 ΔT คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ($^{\circ}\text{C}$)

ค่า C ส่วนใหญ่จะใช้เป็นค่าต่อโมล (n) หรือต่อมวล (m) เป็นกรัมของสารซึ่งเป็นค่าคงที่ของสารแต่ละชนิด เรียกว่า ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (c) ดังนั้นค่าพลังงานความร้อนในสมการที่ 7 สามารถแสดงได้อีกในรูปแบบในสมการที่ 8 [5]

$$Q = mc\Delta T \quad \text{หรือ} \quad Q = nc\Delta T \quad (8)$$

เมื่อ Q คือ พลังงานความร้อน (cal)
m คือ มวลของสาร (g)
n คือ ปริมาณสาร (mol)
c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (cal/g $^{\circ}\text{C}$) หรือ (cal/mol $^{\circ}\text{C}$)
 ΔT คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ($^{\circ}\text{C}$)

ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงได้ทุกชนิด เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ไม่ต้องใช้อุปกรณ์เยอะ อย่างไรก็ตาม การวัดค่าความร้อนวิธีนี้จะมีการสูญเสียพลังงานความร้อนบางส่วนให้กับสิ่งแวดล้อม ทำให้ค่าพลังงานความร้อนที่คำนวณได้ไม่ใช่ค่าความร้อนที่แท้จริง ปัจจุบันจึงได้มีการนำบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ มาใช้เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวัด



รูปที่ 2 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์

4.1.4 การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Heat Produced}}{\text{Reference Heat}} \times 100\% \quad (9)$$

เมื่อ Heat Produced คือ ความร้อนที่เชื้อเพลิงอัดแท่งผลิตได้ (cal/g)
 Reference Heat คือ ความร้อนที่ใช้อ้างอิง (ถ่านไม้อัดแท่ง) = 7,150 cal/g

4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาขยะล้นโลกมนุษย์ไม่สามารถกำจัดขยะได้อย่างถูกต้อง ทำให้ปริมาณขยะที่เหลือนั้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประกอบกับการใช้พลังงานอย่างไม่จำกัดของมนุษย์ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ทำให้มีนักวิจัยเริ่มทำการศึกษานำเศษขยะหรือวัสดุเหลือใช้มาผ่านกระบวนการผลิตเพื่อเป็นแหล่งพลังงานทางเลือก โดยโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช เริ่มศึกษาใน พ.ศ. 2557 [6] พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษหญ้าแห้งผสมกับฟาราฟินด้วยอัตราส่วนน้ำหนักเศษหญ้าแห้ง 25 กรัม ต่อฟาราฟิน 25 กรัม ให้ค่าความร้อน 6,290 แคลอรีต่อกรัม หลังจากนั้น เอกอัคร และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผักตบชวา โดยสร้างให้มีโพรงอากาศและใช้ฟาราฟินเป็นวัสดุประสาน พบว่าอัตราส่วนของผักตบชวาต่อฟาราฟินเป็น 1 : 2 และ โพรงอากาศคิดเป็น 4 % ของปริมาตรแท่งเชื้อเพลิงให้ค่าความร้อนสูงที่สุดที่ 3,150 แคลอรีต่อกรัม

หลังจากที่ได้มีการริเริ่มนำวัสดุชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอย่างง่ายอย่างแพร่หลายก็ได้มีนักวิชาการหลายท่านได้ทำวิจัยเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ปฐมศก และคณะ [8] ได้วิเคราะห์ส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากเศษถ่านจากการเผาอิฐมอญ โดยมีแป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุประสาน พบว่าอัตราส่วนของเศษถ่านต่อน้ำต่อแป้งมันสำปะหลังเป็น 45: 45:10 ให้ค่าความร้อนได้สูงที่สุด นฤภัทร และ พัชร [9] ได้นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากกากชาและกากกาแฟไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์ พบว่าทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสูงขึ้น 24.9 % รมนันท์ และคณะ [10] ได้นำแอลกอฮอล์มาผสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกิ่งมะม่วง ผลวิจัยพบว่าให้ค่าความร้อน 5,030 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งเพิ่มขึ้น 4.36 % เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกิ่งมะม่วงที่ไม่ผสมแอลกอฮอล์

นอกเหนือจากการศึกษานิคมของวัสดุ ส่วนผสมกับวัสดุประสานที่นำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งแล้ว [11] ได้ศึกษาและสร้างเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงโดยเปรียบเทียบกับเครื่องอัดจากมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องอัดที่ขับเคลื่อนจากจักรยาน พบว่า มอเตอร์ไฟฟ้าใช้ระยะเวลาในการอัดเฉลี่ย 4.29 นาที และจักรยานอัดแท่งใช้เวลาในการอัดเฉลี่ย 4.50 นาที ให้ค่าความร้อน 2,280 แคลอรีต่อกรัม และ 2,334 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ปกรณ์ และ รชต [12] ได้สร้างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งจากฝักราชพฤกษ์ โดยนำฝักราชพฤกษ์แถมเผาด้วยกระบวนการคาร์บอน

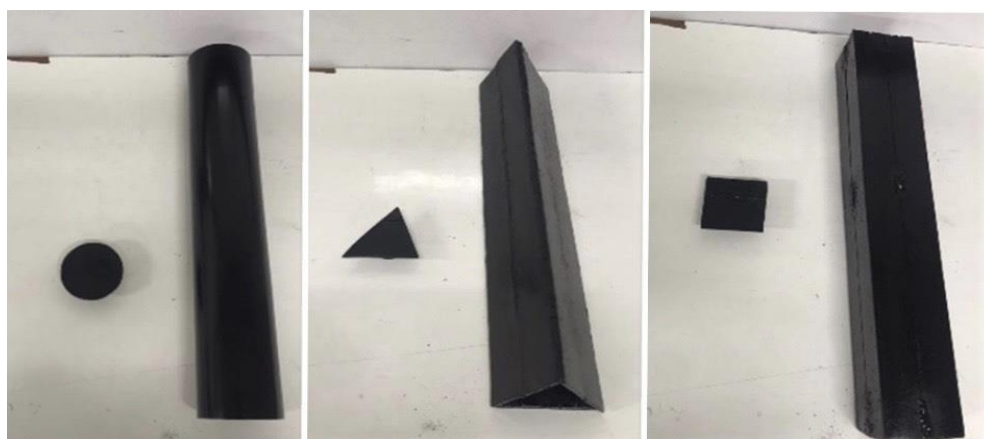
ในเซชันให้กลายเป็นถ่านแล้วทำการบดผสมด้วย ถ่านฝักราชพฤกษ์ แป้งมันสำปะหลัง และน้ำ และอัดด้วยเครื่องอัดแท่งถ่านด้วยสกรูแบบอัดเย็น ผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนผสมของถ่านฝักราชพฤกษ์ แป้งมันสำปะหลัง และน้ำ ที่ 2 : 1 : 0.5 ให้ค่าความร้อนและประสิทธิภาพการใช้งานดีที่สุด คือ 5,394 แคลอรีต่อกรัม

5. วิธีดำเนินการวิจัย

5.1 ออกแบบและสร้างเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง และแม่พิมพ์ 3 แบบ ได้แก่ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม และวงกลม โดยใช้แม่แรงขนาด 5 ตัน เป็นอุปกรณ์ขึ้นรูป โครงเครื่องอัดทำจากเหล็กฉากและเหล็กแบน โดยนำมาเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ขนาดสูง 120 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร กว้าง 40 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3 แม่พิมพ์แบบสามเหลี่ยมทำจากเหล็กแบนเชื่อมกัน สูง 50 เซนติเมตร หน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่ายาวด้านละ 17 เซนติเมตร แม่พิมพ์แบบสี่เหลี่ยมทำจากเหล็กฉากเชื่อมกัน สูง 50 เซนติเมตร หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 11.25 เซนติเมตร และแม่พิมพ์วงกลมทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 เครื่องอัดเชื้อเพลิงอัดแท่ง



รูปที่ 4 แม่พิมพ์แท่งเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.2 เตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบด้วยวัสดุชีวมวล 4 ชนิด ได้แก่ กากชา ใบสน กระดาษชานอ้อย และขี้ข้าวโพด วัสดุประสาน 2 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และพาราฟิน จากนั้นนำวัสดุชีวมวลทั้ง 4 ชนิด ผสมกับวัสดุประสานทั้ง 2 ชนิด สำหรับพาราฟินให้นำไปเคี่ยวให้ละลายด้วยความร้อนก่อน สำหรับแป้งมันสำปะหลังให้ทำการผสมกับน้ำเพียงเล็กน้อย จากนั้นนำไปผสมกับวัสดุชีวมวลทั้ง 4 ชนิด ในอัตราส่วนโดยมวล ตัวประสานต่อวัสดุชีวมวลเป็น 1 : 1, 1 : 2 และ 1 : 3 ตามลำดับ



รูปที่ 5 วัสดุชีวมวลที่นำมาทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.3 นำวัสดุชีวมวลและตัวประสานที่ผสมกันแล้ว มาอัดขึ้นรูปในแม่พิมพ์ทั้ง 3 แบบ ได้แก่ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม และวงกลม จากนั้นนำไปตากแดด 2 วัน เพื่อนำความชื้นออกจากเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เชื้อเพลิงอัดแท่งที่สมบูรณ์แล้ว

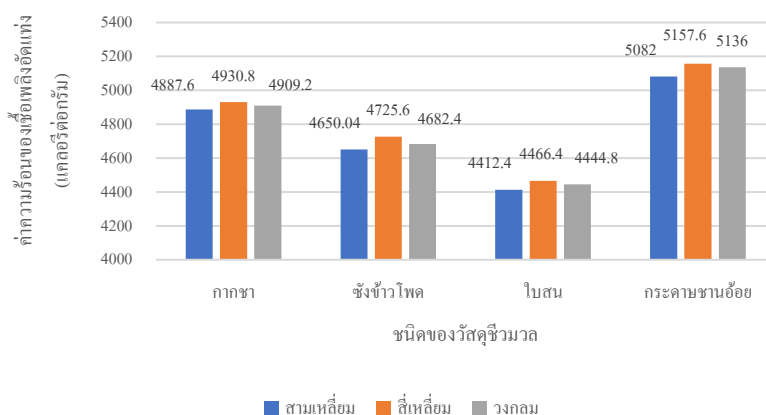
5.4 นำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้ไปวัดค่าความร้อนโดยใช้บอมแคลอรีมิเตอร์ โดยทำการวัดเฉลี่ย 3 ครั้งต่อหนึ่งชนิดวัสดุชีวมวล ต่อหนึ่งชนิดวัสดุประสาน และต่อหนึ่งอัตราส่วนผสมวัสดุชีวมวลกับวัสดุประสาน จากนั้นนำค่าความร้อนที่ได้สูงที่สุดมาเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของถ่านไม้อัดแท่งเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพความสามารถในการให้ความร้อน

6. ผลการวิจัย

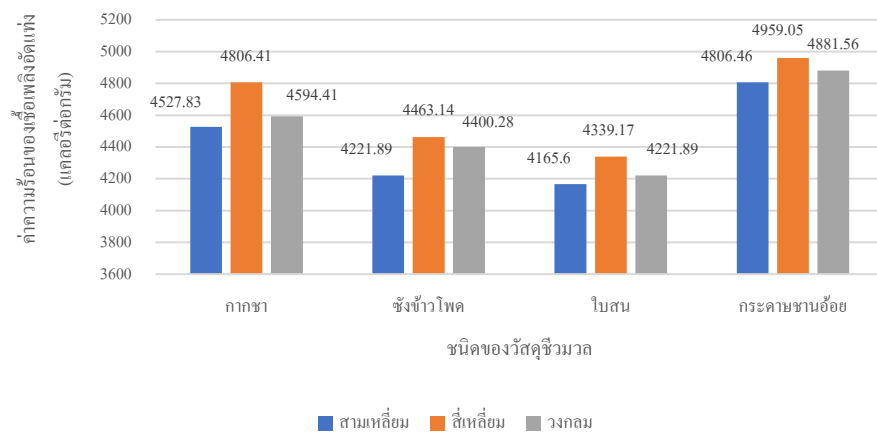
6.1 คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวลโดยใช้แบริ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวลที่ใช้แบริ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน

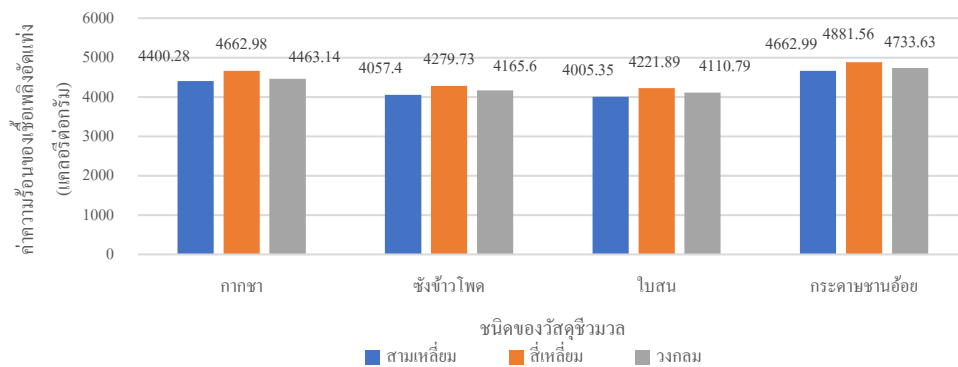
ประเภท	รูปทรง	ค่าความร้อน (cal/g)		
		อัตราส่วน (ตัวประสาน : วัสดุชีวมวล)		
		1:1	1:2	1:3
กากชา	Δ	4,887.60	4,527.83	4,400.28
	□	4,930.80	4,806.41	4,662.98
	○	4,909.20	4,594.41	4,463.14
ขี้ังข้าวโพด	Δ	4,650.04	4,221.89	4,057.40
	□	4,725.60	4,463.14	4,279.73
	○	4,682.40	4,400.28	4,165.60
ใบสน	Δ	4,412.40	4,165.60	4,005.38
	□	4,466.40	4,339.17	4,221.89
	○	4,444.80	4,221.89	4,110.79
กระดาดชานอ้อย	Δ	5,082.00	4,806.46	4,662.99
	□	5,157.60	4,959.05	4,881.56
	○	5,136.00	4,881.56	4,733.63



รูปที่ 7 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้มันสำปะหลังเป็นตัวประสานอัตราส่วน 1 : 1



รูปที่ 8 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้ไม้สนสำปะหลังเป็นตัวประสานอัตราส่วน 1 : 2

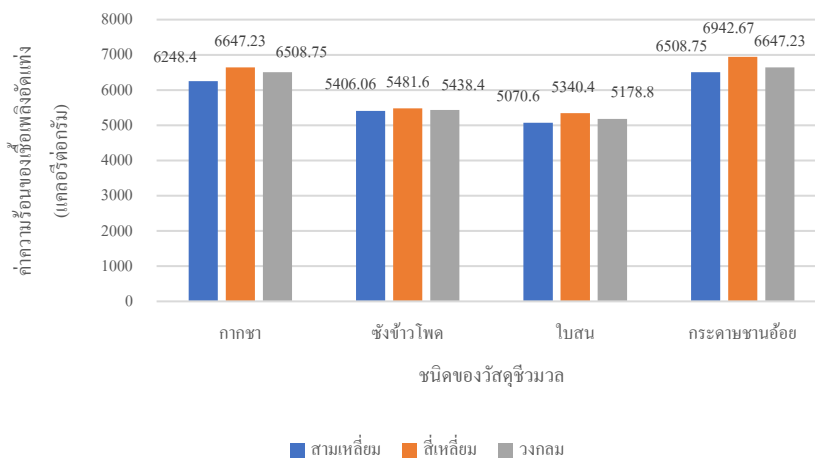


รูปที่ 9 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้ไม้สนสำปะหลังเป็นตัวประสานอัตราส่วน 1 : 3

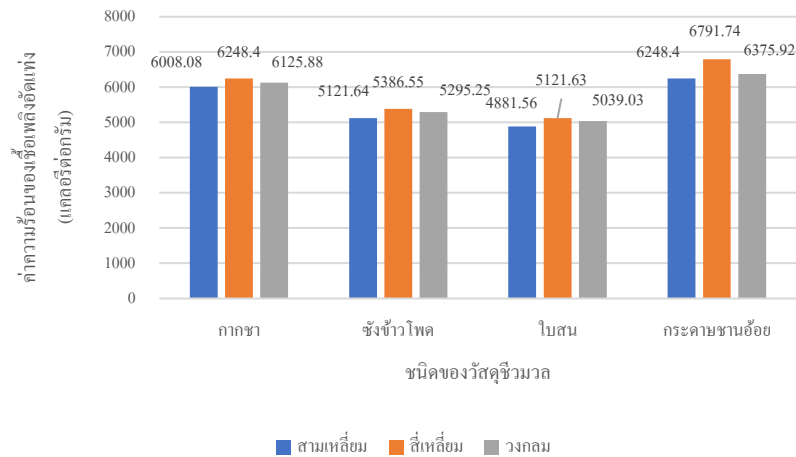
6.2 จากการทดลองหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวลโดยใช้พาราฟินเป็นตัวประสานได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุชีวมวลที่ใช้พาราฟินเป็นตัวประสาน

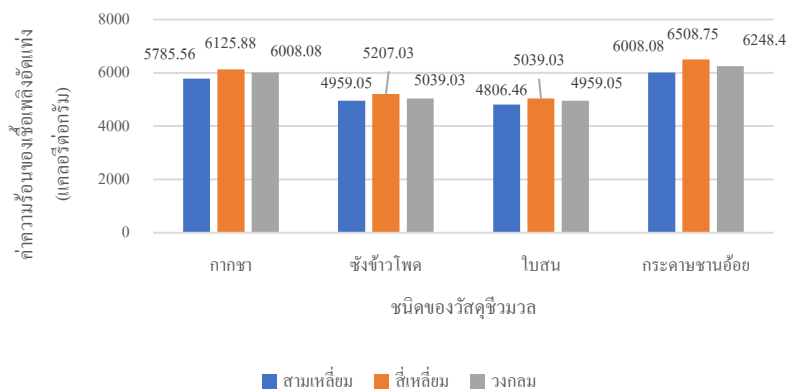
ประเภท	รูปทรง	ค่าความร้อน (cal/g)		
		อัตราส่วน (ตัวประสาน : วัสดุชีวมวล)		
		1:1	1:2	1:3
กากชา	Δ	6,248.40	6,008.08	5,785.56
	$\square$	6,647.23	6,248.40	6,125.88
	O	6,508.75	6,125.88	6,008.08
ขี้ข้าวโพด	Δ	5,406.06	5,121.64	4,959.05
	$\square$	5,481.60	5,386.55	5,207.03
	O	5,438.40	5,295.25	5,039.03
ใบสน	Δ	5,070.60	4,881.56	4,806.46
	$\square$	5,340.40	5,121.63	5,039.03
	O	5,178.80	5,039.03	4,959.05
กระดาดขาน้อย	Δ	6,508.75	6,248.40	6,008.08
	$\square$	6,942.67	6,791.74	6,508.75
	O	6,647.23	6,375.92	6,248.40



รูปที่ 10 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้พาราฟินเป็นตัวประสานอัตราส่วน 1 : 1



รูปที่ 11 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้พาราฟินเป็นตัวประสานอัตราส่วน 1 : 2



รูปที่ 12 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้พาราฟินเป็นตัวประสานอัตราส่วน 1 : 3

6.3 จากการทดลองค่าหาความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุขี้มวล 4 ชนิด กับตัวประสาน 2 ชนิด ตามข้อ 6.1 และ 6.2 พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ผลิตจากกระดาษขานอ้อยและใช้พาราฟินเป็นตัวประสานในอัตราส่วนผสม 1:1 ให้ค่าความร้อนสูงที่สุดที่ 6,942.67 แคลอรีต่อกรัม จากนั้นนำค่าความร้อนที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าความร้อนเฉลี่ยของถ่านไม้อัดแท่ง (ถ่านคั่วที่ใช้ประกอบอาหารในท้องถิ่น) ในสมการที่ (9) ซึ่งข้อมูลจากสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [13] ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยของถ่านไม้อัดแท่งที่ 7,150 แคลอรีต่อกรัม

$$\text{Efficiency} = \frac{6,942.67}{7,150} \times 100\% = 97.1\%$$

7. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการนำวัสดุชีวมวล 4 ประเภท ประกอบด้วย กากชา ใบสน ช้างข้าวโพด และกระดากชานอ้อย ผสมกับ ตัวประสาน 2 ชนิด ได้แก่ พาราฟิน และแป้งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วนโดยมวลของตัวประสานต่อวัสดุชีวมวลเป็น 1:1, 1:2 และ 1:3 มาผ่านกระบวนการอัดด้วยเครื่องอัดอย่างง่ายด้วยแรงอัดไม่เกิน 5 ตัน ในลักษณะแท่งอัด 3 รูปทรงประกอบด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยม วงกลม และสามเหลี่ยม พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้รูปทรงสี่เหลี่ยม ผลิตจากกระดากชานอ้อยโดยใช้พาราฟินเป็นตัวประสานในอัตราส่วนผสม 1:1 ให้ค่าความร้อนสูงที่สุดที่ 6,942.67 แคลอรีต่อกรัม และเมื่อนำไปคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยเปรียบเทียบกับถ่านไม้อัดแท่งพบว่าคิดเป็น 97.1%

จากผลการทดสอบ ทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้นี้สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทางเลือกในการให้ความร้อนสำหรับการหุงต้มประกอบอาหาร อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปริมาณขยะในโรงเรียนเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชอีกทางหนึ่งด้วย ตลอดจนนักวิจัยหรือผู้สนใจสามารถข้อมูลวิจัยนี้เป็นพื้นฐานในการศึกษาหรือพัฒนาต่อยอดในเรื่องของต้นทุนการผลิต ความคุ้มค่าในการผลิต ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง และการพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องอัดต่อไปได้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Information on. สถานการณ์ขยะในไทย. สืบค้น 10 มิถุนายน 2564, <https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/863554>
- [2] Information on. สรุปสถานการณ์พลังงานปี 2564 สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. สืบค้น 8 มิถุนายน 2564, <https://www.eppo.go.th/epposite/index.php>
- [3] Information on. เชื้อเพลิงแข็ง. สืบค้น 7 พฤษภาคม 2564, <https://dmf.go.th/public/>
- [4] วันวิสา ภูจินดา และ สิริสุดา หนูทิมทอง. (2557). การศึกษาการใช้พลังงานชีวมวลเพื่อผลิตพลังงานความร้อนในระดับครัวเรือนและระดับชุมชน. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา*. 2(2): 67-82.
- [5] Irvin, G., & Richard, A.Y. (2008). **Combustion**. New York: Academic Press.
- [6] อนุรักษ์ บุญรุ่ง, ภูริวัธ อาศิริวาท, ธรรมรัตน์ สุขไพบูลย์ และ พิชาญ พิชัยณรงค์. (2558). วัสดุชีวมวลกับการนำมาผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งเพื่อศึกษาสมรรถนะ. *วารสารวิชาการนายเรืออากาศ*. 11(1): 44-48.
- [7] เอกอัคร โพธิ์ทอง และ กษิตศ พัทธศาสตร์. (2559). รายงานโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาวัสดุชีวมวลกับการทำเชื้อเพลิงแข็ง. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
- [8] ปฐมศก วิไลพล และคณะ. (2561). การวิเคราะห์อัตราส่วนผสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษถ่านของกระบวนการเผาอิฐมอญ. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*. 4(1): 43-50.
- [9] นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล และ พัชรี ปริดาสุริยะชัย. (2558). การศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*. 7(13): 15-26.
- [10] ชมนันท์ คำพา, เชียรวุฒิ ดนตรี และ นัจกัก สุขสวัสดิ์. (2563). การใช้วัสดุทางการเกษตรในการผลิตแอลกอฮอล์เชื้อเพลิงแข็งและไขมันเชื้อเพลิงอัดแท่ง. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 30(2): 186-198.
- [11] ดวงกมล ดังโพนทอง, วสันต์ ปิ่นะเต และ อติศักดิ์ ฤาชา. (2559). การเปรียบเทียบค่าความร้อนและ ความหนาแน่นของถ่านไม้อัดแท่งจากมอเตอร์ไฟฟ้าและจักรยานขับเคลื่อน. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*. 9(1): 1-13.

- [12] ปกรณ์ อุ่นโธสง และ รชต มณีโชติ. (2562). การสร้างเครื่องและหาประสิทธิภาพถ่านอัดแท่งจากฝักราชพฤกษ์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*. 7(2): 147-156.
- [13] Information on. การแปรรูปพลังงานจากไม้และ ชีวมวล. สืบค้น 5 มิถุนายน 2564, <https://forprod.forest.go.th/forprod/woodenergy/PDF/public>

การแจกแจงของจำนวนพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย

Distribution of Tropical Cyclone Counts Moving into Thailand

¹บุญฤทธิ์ ชูประดิษฐ์ และ ^{2*}ศิริทิพ วะสินรัตน์

¹ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

¹Boonyarit Choopradit and ^{2*}Sirithip Wasinrat

¹Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

²Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

¹boonyarit@mathstat.sci.tu.ac.th, ^{2*}sirithip.w@chandra.ac.th

Received : July 30, 2021

Revised : December 28, 2021

Accepted : December 28, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้น พร้อมทั้งหาการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย 69 ปี (พ.ศ. 2494 – 2562) และทำการประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับการแจกแจงที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยเท่ากับ 2.8986 ลูกต่อปี มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.9937 ลูก การแจกแจงทวินามเชิงลบเป็นการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลชุดนี้ ใช้การประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด โดยมีค่าประมาณของพารามิเตอร์ r และ μ เท่ากับ 8.9991 และ 2.8986 ตามลำดับ

คำสำคัญ: พายุหมุนเขตร้อน, การประมาณค่าพารามิเตอร์, การแจกแจงทวินามเชิงลบ, การแจกแจงเรขาคณิต, การแจกแจงปัวซอง

Abstract

The annual number of tropical cyclones moving into Thailand over 69 years from 1951 to 2019 were studied. The aim was to evaluate preliminary data and determine best-fit distribution. Results were that mean annual number of tropical cyclones moving into Thailand was 2.8986 units, with a standard deviation of 1.9937 units. The data was well represented by negative binomial distribution. The maximum likelihood estimation (MLE) was used for parameter estimates. Estimated values for r and μ parameters were 8.9991 and 2.8986, respectively.

Keywords: Tropical cyclone, Parameter estimation, Negative binomial distribution, Geometric Distribution, Poisson Distribution,

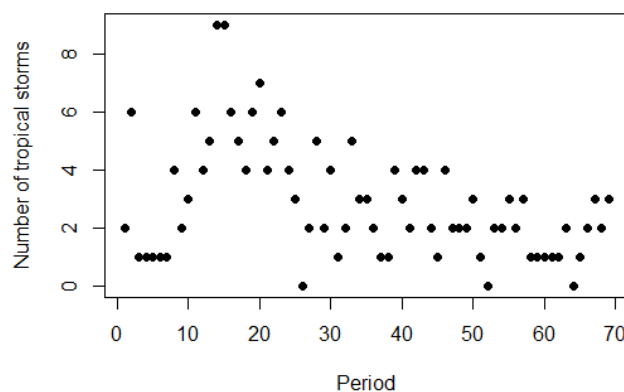
1. บทนำ

พายุไต้ฝุ่น (Typhoon) มักจะมาพร้อมกับปริมาณฝนที่ตกหนักและลมแรง ส่งผลทำให้เกิดความสูญเสียทรัพย์สินและชีวิตมนุษย์อย่างมากมาหลายทศวรรษ ตัวอย่างคือ ไต้ฝุ่นเกย์ เมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2532 พายุที่ทรงพลังที่สุดในรอบกว่า 35 ปี ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายอย่างไม่เคยปรากฏมาก่อนในพื้นที่จังหวัดชุมพร [1] ปริมาณน้ำฝนสูงสุดวัดได้ 194 มิลลิเมตร สร้างความเสียหายและทำลายบ้านเรือนหลายพันหลัง สร้างความเสียหายเป็นมูลค่าถึง 480 ล้านดอลลาร์สหรัฐ [2] โดยไต้ฝุ่นเป็นชื่อเรียกประเภทหนึ่งของพายุหมุนเขตร้อน (Tropical Cyclone) ที่พัฒนามาจากหย่อมความกดอากาศต่ำกำลังแรงเหนือทะเลและมหาสมุทรในเขตร้อน เกิดอยู่ในบริเวณละติจูดประมาณ 5-20 องศาเหนือและใต้ ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่อยู่ในเขตร้อนและได้รับอิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อน 2 แห่ง ได้แก่ ฝั่งตะวันออกจากมหาสมุทรแปซิฟิกและทะเลจีนใต้ และฝั่งตะวันตกจากอ่าวเบงกอลและทะเลอันดามัน ส่วนใหญ่พายุจะเกิดขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคมของทุกปี โดยปกติประเทศไทยจะมีพายุเคลื่อนผ่านเข้ามาเฉลี่ยประมาณ 3 - 4 ลูกต่อปี [3]

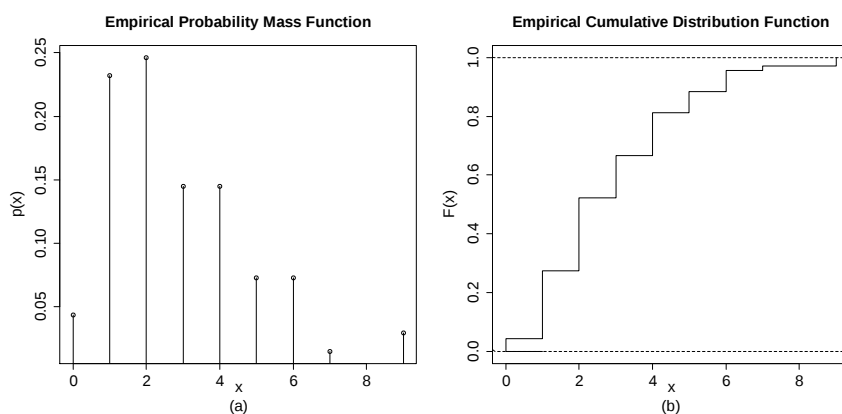
การศึกษาเกี่ยวกับฟังก์ชันการแจกแจง (Distribution Function) และการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter Estimation) ของฟังก์ชันการแจกแจงที่เหมาะสมข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยามีการศึกษาในหลายแง่มุม เช่น มีการเก็บรวบรวมข้อมูลคลื่นจำนวน 19 ปี ที่เกิดนอกชายฝั่งซิดนีย์ในทะเลแทสมัน (Tasman Sea) เพื่อให้ได้ตัวอย่างขนาดใหญ่เกี่ยวกับความสูงของคลื่น แล้วทำการหาการแจกแจงที่เหมาะสม พบว่าการแจกแจง FT-I และการแจกแจงไวบูลมีความเหมาะสมพอ ๆ กัน [4] เมื่อปี 2012 มีการวิเคราะห์เหตุการณ์ปริมาณน้ำฝนที่กรุงโซลในปี 2010 และปริมาณน้ำฝนสูงสุดประจำปี ระหว่างปี 1961 ถึงปี 2010 แนะนำวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงเบตา [5] หรือแม้แต่มีการศึกษาลักษณะการกระจายของขนาดน้ำฝนในไต้ฝุ่นมรกตที่ผ่านประเทศจีน โดยมีลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบจุดยอดเดียว (Unimodal Probability Distribution) และพบว่าข้อมูลชุดนี้เหมาะสมกับการแจกแจงแกมมา [6]

ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา รายงานพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยรายเดือนคาบ 69 ปี (พ.ศ. 2494 – 2562) [7] โดยได้แสดงจำนวนพายุรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยคาบที่ 1 ถึง คาบที่ 69 ดังรูปที่ 1 เมื่อพิจารณาฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นเชิงประจักษ์ (Empirical Probability Mass Function) ดังรูปที่ 2 (a) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสมเชิงประจักษ์ (Empirical Cumulative Distribution Function: ECDF) ดังรูปที่ 2 (b) พบว่าจำนวนพายุรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยน่าจะมีการแจกแจงเบ้ขวา (Right-skewed Distribution) การเข้าใจในข้อมูลจำนวนพายุรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยจะทำให้สามารถหาตัวแบบการแจกแจงเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์จำนวนพายุในแต่ละปี และทราบถึงความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่สนใจได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้น พร้อมทั้งหาการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย 69 ปี (พ.ศ. 2494 – 2562) และทำการประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับการแจกแจงที่เหมาะสม



รูปที่ 1 จำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย 69 ปี (พ.ศ. 2494 – 2562)



รูปที่ 2 (a) ฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นเชิงประจักษ์ของจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปี

(b) ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมเชิงประจักษ์ของจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปี

2. ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยจากรายงานพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยรายเดือนคาบ 69 ปี (พ.ศ. 2494 – 2562) ของศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา หาฟังก์ชันการแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูล และประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันการแจกแจง

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.1 ฟังก์ชันการแจกแจง (Distribution Function)

3.1.1 การแจกแจงทวินามเชิงลบ (Negative Binomial Distribution)

ให้ X เป็นตัวแปรสุ่มแทนจำนวนครั้งของการเกิดความล้มเหลว (Failure) ที่เป็นอิสระกันจนกระทั่งได้ความสำเร็จครบ r ครั้ง โดยมีฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็น ดังนี้

$$f(x; r, p) = \binom{x+r-1}{r-1} p^r (1-p)^x, x = 0, 1, 2, \dots$$

p แทนความน่าจะเป็นของการเกิดความสำเ็จในแต่ละครั้ง และ $q=1-p$ แทนความน่าจะเป็นของการเกิดความล้มเหลวในแต่ละครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ย $\mu = r(1-p)/p$ และความแปรปรวน $\sigma^2 = r(1-p)/p^2$ ฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นของการแจกแจงทวินามเชิงลบสามารถเขียนในอีกรูปหนึ่งดังนี้

$$f(x; r, \mu) = \frac{\Gamma(r+x)}{x! \Gamma(r)} \left(\frac{r}{r+\mu} \right)^r \left(\frac{\mu}{r+\mu} \right)^x, x = 0, 1, 2, \dots$$

โดย $\Gamma(\cdot)$ คือ ฟังก์ชันแกมมา (Gamma Function) มี μ และ r เป็นพารามิเตอร์ของการแจกแจง และมี

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม ดังนี้

$$F(x; r, \mu) = \sum_{i=0}^x \binom{i+r-1}{r-1} \left(\frac{r}{r+\mu} \right)^r \left(\frac{\mu}{r+\mu} \right)^i$$

3.1.2 การแจกแจงเรขาคณิต (Geometric Distribution)

ให้ X เป็นตัวแปรสุ่มแทนจำนวนครั้งของการเกิดความล้มเหลวซ้ำ ๆ ที่เป็นอิสระกันจนกระทั่งได้ความสำเร็จเป็นครั้งแรก โดยมีฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นของ X เป็นดังนี้

$$f(x;p) = (1-p)^x p, x = 0,1,2,\dots$$

โดย $p \in (0,1)$ แทนความน่าจะเป็นของความสำเร็จ เป็นพารามิเตอร์ของการแจกแจง โดยมีค่าเฉลี่ย $\mu = (1-p)/p$ และความแปรปรวน $\sigma^2 = p/(1-p)^2$ และมีฟังก์ชันการแจกแจงสะสม เป็นดังนี้

$$F(x;p) = 1 - (1-p)^{x+1}$$

3.1.3 การแจกแจงปัวซอง (Poisson Distribution)

ให้ X เป็นตัวแปรสุ่มแทนจำนวนครั้งของความสำเร็จที่เกิดขึ้นภายในขอบเขตหรือระยะเวลาที่กำหนด โดยมีฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นของ X เมื่อมีพารามิเตอร์ λ เป็นดังนี้

$$f(x;\lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}, x = 0,1,2,\dots$$

โดยที่ $\lambda > 0$ แทนจำนวนครั้งเฉลี่ยของการเกิดความสำเร็จ เป็นพารามิเตอร์ของการแจกแจง โดยมีค่าเฉลี่ย $\mu = \lambda$ และความแปรปรวน $\sigma^2 = \lambda$ และมีฟังก์ชันการแจกแจงสะสม เป็นดังนี้

$$F(x;\lambda) = \sum_{i=0}^x \frac{e^{-\lambda} \lambda^i}{i!}$$

3.2 วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parameter Estimation Methods)

3.2.1 การประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum likelihood estimation: MLE)

การประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์ของประชากรที่ทำให้ฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็นของตัวอย่างสุ่มมีค่าสูงที่สุด ตัวประมาณภาวะน่าจะเป็นสูงสุดคือผลเฉลยของสมการภาวะน่าจะเป็นต่อไปนี้

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(\theta; x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

โดยที่ $L(\theta; x_1, x_2, \dots, x_n)$ คือ ฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็นของตัวอย่างสุ่ม

3.2.2 การประมาณค่าด้วยวิธีโมเมนต์ (Moment matching estimation: MME)

ประมาณค่าพารามิเตอร์จากการหาผลเฉลยของ k สมการ ดังนี้

$$\mu'_t = E(X'_t) = M'_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^t$$

เมื่อ k คือจำนวนพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า และ $t = 1, 2, \dots, k$ โดยที่ μ'_t แทน โมเมนต์ของประชากรที่ t และ M'_t แทน โมเมนต์ตัวอย่างที่ t

3.2.3 การประมาณค่าด้วยวิธีภาวะการสุกปรักสูงสุด (Maximum goodness-of-fit estimation: MGE)

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงโดยการลดขนาดเชิงตัวเลขของสถิติของฟังก์ชันการแจกแจงเชิงประจักษ์ เช่น แอนเดอร์สัน-ดาร์ลิง (Anderson–Darling) เมื่อเทียบกับพารามิเตอร์ของประชากร [8]

3.3 เกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสม

ในงานวิจัยนี้ใช้เกณฑ์พิจารณาการคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสม ดังนี้

3.3.1 เกณฑ์สารสนเทศของอะไคเกะ (Akaike's information criterion: AIC)

$$AIC = 2k - 2\ln L(\theta)$$

โดยที่ k คือ จำนวนพารามิเตอร์ในตัวแบบ และ

$\ln L(\theta)$ คือ ฟังก์ชันลอการิทึมของค่าความน่าจะเป็น

3.3.2 เกณฑ์สารสนเทศของเบย์ส์ (Bayesian information criterion: BIC)

$$BIC = -2\ln L(\theta) + k\ln(n)$$

โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูลที่นำมาพิจารณา และ

$\ln L(\theta)$ คือ ฟังก์ชันลอการิทึมของค่าความน่าจะเป็น

3.4 การทดสอบภาวะสารูปดี (Goodness-of-fit test)

การทดสอบภาวะสารูปดีใช้การทดสอบไคกำลังสอง (Chi-squared test) สำหรับการทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบโดยพิจารณาจากค่าสังเกตสอดคล้องกับตัวแบบ โดยพิจารณาจากความแตกต่างต่างระหว่างค่าสังเกตกับค่าคาดหวังตามตัวแบบ [9]

4. การดำเนินการวิจัย

นำข้อมูลจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย 69 ปี (พ.ศ. 2494 – 2562) มาหาการแจกแจงที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลักษณะการแจกแจง ใช้โปรแกรมอาร์ (R) ฟังก์ชัน `fitdist` แพคเกจ `fitdistrplus` ในการคัดเลือกตัวแบบการแจกแจงที่เหมาะสม โดยใช้เกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบ ตรวจสอบความเหมาะสมของการแจกแจงด้วยกราฟความหนาแน่นและฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF) ประมาณค่าพารามิเตอร์สำหรับการแจกแจงด้วยวิธี MLE, MME และ MGE และแสดงการเปรียบเทียบค่าสังเกต (Observed Values) และค่าคาดหวัง (Expected Values) ของจำนวนปีแยกตามจำนวนพายุหมุนรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย

5. ผลการวิจัย

ข้อมูลจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย 69 ปี (พ.ศ. 2494 – 2562) หากค่าสถิติลักษณะเฉพาะของข้อมูลดังตารางที่ 1 พบว่า ค่าเฉลี่ยของจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยเท่ากับ 2.8986 ลูกต่อปี มีค่ามัธยฐานและค่าฐานนิยมเท่ากับ 2 ลูกต่อปี จำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยสูงสุดเท่ากับ 9 ลูก และต่ำสุดคือ ไม่มีพายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย ค่าความเบ้เท่ากับ 1.0269 และค่าความโด่งเท่ากับ 0.9910 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.9937 ลูก อีกทั้งยังพบว่าค่ามัธยฐานมีค่าใกล้เคียงค่าควอร์ไทล์ที่ 1 มากกว่าค่าควอร์ไทล์ที่ 3 และค่าเฉลี่ยมีค่ามากกว่าค่ามัธยฐาน ดังนั้นลักษณะของข้อมูลจำนวนพายุรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยน่าจะมีการแจกแจงแบบเบ้ขวา ผู้วิจัยจึงเลือกการแจกแจงที่น่าจะเหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้ ได้แก่ การแจกแจงทวินามเชิงลบ การแจกแจงเรขาคณิต และการแจกแจงปัวซอง

ตารางที่ 1 ค่าสถิติลักษณะเฉพาะของจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เกิดขึ้นเข้าสู่ประเทศไทย 69 ปี (พ.ศ. 2494 – 2562)

Statistical characteristics	Value
Mean	2.8986
Skewness	1.0269
Kurtosis	0.9910
Standard deviation	1.9937
Variance	3.9749
Min	0
Q1	1
Q2(Median)	2
Q3	4
Max	9
Mode	2

ตารางที่ 2 การวัดความเหมาะสมของการแจกแจงของข้อมูลจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปี

การแจกแจง	วิธี	การวัดความเหมาะสม			
		Goodness-of-fit test	LL	AIC	BIC
ทวินามเชิงลบ	MLE	$\chi^2 = 1.2691$ p-value = 0.7365	-138.0415	280.0831	284.5513
	MME	$\chi^2 = 1.2413$ p-value = 0.7431	-138.0497	280.0994	284.5676
	MGE	$\chi^2 = 25.6989$ p-value < 0.0001	-154.3247	312.6494	317.1176
เรขาคณิต	MLE	$\chi^2 = 19.7782$ p-value = 0.0006	-153.1605	308.3211	310.5552
	MME	$\chi^2 = 19.7782$ p-value = 0.0006	-153.1605	308.3211	310.5552
	MGE	$\chi^2 = 30.8724$ p-value < 0.0001	-160.8839	323.7678	326.0019
ปัวซอง	MLE	$\chi^2 = 3.8253$ p-value = 0.4302	-139.6020	281.2040	283.4381
	MME	$\chi^2 = 3.8253$ p-value = 0.4302	-139.6020	281.2040	283.4381
	MGE	$\chi^2 = 95.7695$ p-value < 0.0001	-167.1766	336.3532	338.5873

หาการแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูลจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย 69 ปี (พ.ศ. 2494 – 2562) ดังตารางที่ 2 ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลักษณะการแจกแจง โดยพิจารณาจาก การแจกแจงทวินามเชิงลบ การแจกแจงเรขาคณิต การแจกแจงปัวซอง พิจารณาการแจกแจงที่เหมาะสมโดย AIC, BIC และการทดสอบภาวะสารูปดี ประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี MLE, MME และ MGE พบว่า เมื่อพิจารณาจากค่า AIC การแจกแจงทวินามเชิงลบที่ประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี MLE ให้ค่า AIC ต่ำที่สุดเท่ากับ 280.0831 และเมื่อพิจารณาจากค่า BIC การแจกแจงปัวซองที่ประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี MLE และ MME ให้ค่า BIC ต่ำที่สุดเท่ากับ 283.4381 แต่เนื่องจากค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้น การแจกแจงทวินามเชิงลบเป็นการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ โดยให้ค่า $\chi^2 = 1.2691$ และ $p\text{-value} = 0.7365$ สำหรับค่าประมาณของพารามิเตอร์และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 3 และการเปรียบเทียบค่าสังเกต (Observed Values) และค่าคาดหวัง (Expected Values) ของจำนวนปีแยกตามจำนวนพายุหมุนรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการแจกแจงทวินามเชิงลบด้วยค่าประมาณพารามิเตอร์โดยวิธี MLE แสดงดังตารางที่ 4

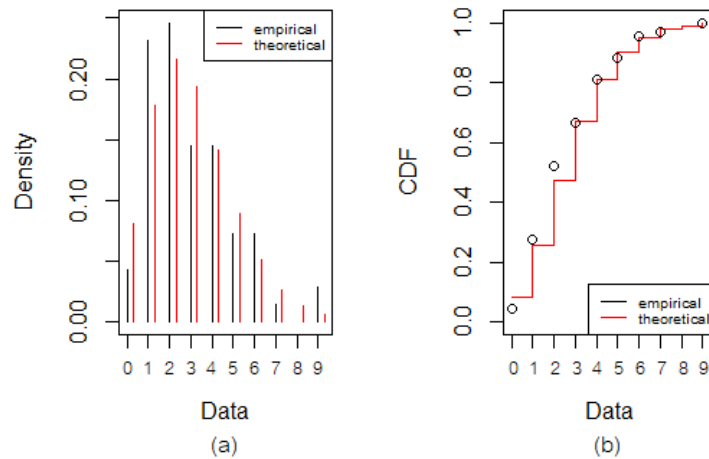
เมื่อพิจารณากราฟความหนาแน่นและ CDF ของข้อมูลจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย ดังรูปที่ 3 (a) และ (b) พบว่า ฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นเชิงประจักษ์เทียบกับฟังก์ชันเชิงทฤษฎีมีค่าใกล้เคียงกัน และฟังก์ชันการแจกแจงสะสมเชิงประจักษ์เทียบกับฟังก์ชันเชิงทฤษฎีเกือบจะซ้อนทับกันสนิท แสดงว่าการแจกแจงทวินามเชิงลบด้วยวิธี MLE เป็นการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้

ตารางที่ 3 ค่าประมาณของพารามิเตอร์การแจกแจงทวินามเชิงลบด้วยวิธี MLE

พารามิเตอร์	ค่าประมาณ	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
r	8.9991	6.2694
μ	2.8986	0.2357

ตารางที่ 4 ค่าสังเกตและค่าคาดหวังของจำนวนปีแยกตามจำนวนพายุหมุนรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย

จำนวนพายุหมุนรายปี (ลูก)	จำนวนปี	
	ค่าสังเกต	ค่าคาดหวัง
0	3	5.5921
1	16	12.2604
2	17	14.9335
3	10	13.3390
4	10	9.7486
5	5	6.1746
6	5	3.5098
7	1	1.8322
8	0	0.8927
9	2	0.4108



รูปที่ 3 (a) ฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นเชิงประจักษ์เทียบกับฟังก์ชันเชิงทฤษฎีของจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปี
(b) ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมเชิงประจักษ์เทียบกับฟังก์ชันเชิงทฤษฎีของจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปี

6. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพร้อมทั้งหาการแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูลจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย 69 ปี (พ.ศ. 2494 – 2562) โดยพิจารณาการแจกแจงทวินามเชิงลบ การแจกแจงเรขาคณิต และการแจกแจงปัวซอง เพื่อหาการแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูลที่สุด พร้อมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี MLE, MME และ MGE จากการศึกษาพบว่า การแจกแจงทวินามเชิงลบเป็นการแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลชุดนี้ ใช้การประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงด้วยวิธี MLE โดยมีค่าประมาณของพารามิเตอร์ $r = 8.9991$ และ $\mu = 2.8986$

7. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี MLE ของการแจกแจงทวินามเชิงลบสำหรับข้อมูลจำนวนพายุหมุนเขตร้อนรวมรายปีที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทย 69 ปี ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาค้างต่อไป เนื่องจากข้อมูลมีลักษณะการกระจายเกินเกณฑ์ (Overdispersion) ผู้ศึกษาอาจใช้การแจกแจงปัวซองเกาส์เซียนผกผัน (Poisson-Inverse Gaussian Distribution) ในการหาการแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูล หรือพิจารณาเลือกการแจกแจงที่มีพารามิเตอร์มากกว่า 2 ค่า รวมทั้งอาจใช้การประมาณค่าพารามิเตอร์วิธีอื่น เช่น การประมาณของเบย์ส์ (Bayes' Estimation)

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Vongvisessomjai, S. (2009). Tropical cyclone disasters in the Gulf of Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 31(2): 213–227.
- [2] Asian Disaster Reduction Center. (1999). Thailand Country Report. Retrieved on June 21, 2021, from <https://www.adrc.asia/countryreport/THA/THAeng99/Thailand99.pdf>
- [3] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2559). หนังสืออุตุนิยมวิทยา. สืบค้น 18 มิถุนายน 2564, จาก <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=58>
- [4] You Z.J. (2011). Extrapolation of historical coastal storm wave data with best-fit distribution function. *Australian Journal of Civil Engineering*. 9(1):73-82.
- [5] Jun, C.H., & Yoo, C. (2012). Application of the Beta Distribution for the Temporal Quantification of Storm Events.

- Journal of Korea Water Resources Association*. 45(6): 531–544.
- [6] Chen, B.-J., Wang, Y., & Ming, J. (2012). Microphysical characteristics of the raindrop size distribution in Typhoon Morakot (2009). *Journal of Tropical Meteorology*. 18(2): 162– 171.
- [7] ศูนย์ภูมิอากาศ. (2564). พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยคาบ 69 ปี(พ.ศ.2494-2562). สืบค้น 1 มิถุนายน 2564, จาก <http://climate.tmd.go.th/content/file/1574>
- [8] Luceño, A. (2008). Maximum likelihood vs. maximum goodness of fit estimation of the three-parameter Weibull distribution. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 78(10): 941-949.
- [9] Snedecor, G. W., & Cochran, W. G. (1989). **Statistical Methods**. 8th Edition, Iowa State University Press.

การศึกษาการเพิ่มขีดความสามารถด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม ของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

A study of science, technology and innovation enhancement for defense industry

^{1*} ธนินทร์รัฐ สิทธิเวชธานี, ^{2#} ละอองดาว วรรณฤทธิ และ ^{3#} ยศพล พงษ์แก้ว

^{1,3} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการการบิน กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ กองการศึกษา
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

² วิทยาลัยพยาบาลทหารอากาศ

^{1*} Thaninrat Sittiwatethanasiri, ^{2#} La-Onгдаo Wannarit and ^{3#} Yossapol Pongkaew

^{1,3} Industrial Engineering and Aviation management Department Division of Education Navaminda Kasatriyadhiraj

Royal Air Force Academy

² Royal Thai Air Force Nursing College

*amarit@rtaf.mi.th, #Lchumthi@gmail.com, #yossapol_pong@rtaf.mi.th

Received : October 31, 2021

Revised : December 16, 2021

Accepted : December 2, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถด้านเทคโนโลยี (Technology Capability) ของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทยในปัจจุบันและความต้องการ (Needs) ของผู้ประกอบการในการพัฒนากำลังคน ด้านความรู้ และทักษะที่สำคัญโดยนำเสนอ ในรูปแบบของแผนงานในการเพิ่มขีดความสามารถด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

ผลการวิจัยจากการสัมภาษณ์เชิงลึกของผู้บริหาร พบว่าอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของประเทศไทยที่มีขีดความสามารถสูงสุด คือ กลุ่มอุตสาหกรรมประเภทต่อเรือ ที่หน่วยงานภาครัฐดำเนินการร่วมกับภาคเอกชนจากต่างประเทศ อีกทั้งความสามารถด้านเทคโนโลยี (Technology Capability) ที่ต้องส่งเสริมประกอบด้วย เทคโนโลยีหุ่นยนต์ (Robotics) และปัญญาประดิษฐ์ (AI) ซึ่งจำเป็นต้องอยู่บนพื้นฐานความเป็นมาตรฐานทางทหารเช่นเดียวกับอุตสาหกรรมการบิน นอกจากนี้ ในความต้องการ (Needs) ในการพัฒนากำลังคน พบว่าคนต้องได้รับการพัฒนาอย่างเร่งด่วนจากสถาบันการศึกษาผ่านการดำเนินนโยบายออฟเซต (Offset Policy) เพื่อมุ่งเน้นทักษะเฉพาะด้านในระดับปริญญาตรีหรือต่ำกว่า เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้ในประเภทอุตสาหกรรมกลุ่มอาวุธกระสุนและวัตถุระเบิด กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ กลุ่มอุตสาหกรรมทางทะเล กลุ่มอุตสาหกรรมอากาศยาน กลุ่มเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กลุ่มเครื่องช่วยฝึก และกลุ่มอุปกรณ์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

นอกจากนี้ ผู้เชี่ยวชาญให้ความสำคัญกับจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรคต่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม โดยมีกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP: Analytic Hierarchy Process) เพื่อนำมากำหนดกลยุทธ์จากการสร้างตาราง TOWS Matrix เป็นมาตรการเชิงรุก ซึ่งกลยุทธ์นี้จะใช้ในการกำหนดนโยบายและแผน เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ, การวิเคราะห์ตามลำดับชั้น, การกำหนดกลยุทธ์

Abstract

This research aimed to study the technology capability and skill of the Thai defense Industry. The study's objectives included the needs of entrepreneurs in developing manpower in terms of knowledge and essential skills by presenting in the form of a roadmap to increase the scientific capacity, technology, and innovation of the national defense industry.

The results from in-depth interviews with the executives found the highest capacity of the technology capability of Thailand's defense industry was the building of ships industry, which government agencies work with the private sector from abroad. Besides, the technology capability needed to be promoted consists of robotics and artificial intelligence (AI), based on the same military standards as the aviation industry. In addition, development needs showed that it is necessary to urgently develop people's knowledge and skills from educational institutions through the Offset Policy. The development must focus on specific skills at the bachelor's degree or lower so that people can work in the groups of weapons ammunition and explosives industry, automotive industry, marine industry, aerospace industry, information and communication technology, training aid, and disaster prevention and mitigation equipment.

Furthermore, the experts focused on strengths, weaknesses, opportunities, and obstacles to developing science, technology, and innovation by employing a hierarchical analysis process (AHP: Analytic Hierarchy Process) to formulate a strategy based on the TOWS Matrix generation. This strategy will be used to formulate policies and plans to develop the defense industry in the future.

Keywords: Defense Industry, Analytic Hierarchy Process (AHP), TOWS Matrix

1. บทนำ

ภายใต้นโยบายด้านความมั่นคง และการสนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจตามนโยบาย Thailand 4.0 ของรัฐบาลนั้น กองทัพจำเป็นต้องมีการพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพของระบบป้องกันประเทศให้ทันสมัย มีความพร้อมในการรักษาอธิปไตยและผลประโยชน์แห่งชาติ ปลอดภัยจากภัยคุกคามทุกรูปแบบ อีกทั้ง มีการส่งเสริมและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการป้องกันประเทศ การวิจัยและพัฒนา และการถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อนำไปสู่การพึ่งพาตนเองในการผลิตอาวุธยุทโธปกรณ์ สามารถบูรณาการความร่วมมือระหว่างภาครัฐกับภาคเอกชน โดยมีเครือข่ายทั้งในและต่างประเทศ มุ่งเน้นให้เกิดการบูรณาการ ความเป็นมาตรฐานความมั่นคงปลอดภัย ของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารภายในกระทรวงกลาโหมและความสามารถในการรับมือสงคราม [8]

จากนโยบายดังกล่าว การพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยี (Technology Capability) ของกองทัพ จึงมีความสำคัญเพื่อให้บุคลากรมีความสามารถในการใช้ความรู้ทางเทคโนโลยี ในการระบุนความต้องการ การเรียนรู้อย่างถึงแก่น การใช้ การดัดแปลง เปลี่ยนแปลง รวมทั้งการสร้างเทคโนโลยีใหม่ อีกทั้งอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทยในปัจจุบันเป็นส่วนสำคัญที่จะสร้างและพัฒนาความสามารถด้านเทคโนโลยี ให้ตอบสนองตรงตามความต้องการด้านยุทธโธปกรณ์ของกองทัพ และก่อให้เกิดประโยชน์ต่อภาคเศรษฐกิจของประเทศ ดังเช่นหลายประเทศในโลก รวมถึงประเทศอาเซียน เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย และสิงคโปร์ ที่ได้พัฒนาอุตสาหกรรมด้านนี้อย่างจริงจังจึงเกิดผลลัพธ์ในการสร้างความมั่นคงในด้านการทหารของชาติ การนำรายได้เข้าสู่ประเทศ และสร้างงานให้แก่ประชาชน

อย่างไรก็ตามในการพัฒนาขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีของไทย กองทัพจำเป็นต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับบทบาทและทิศทางของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศต่ออุตสาหกรรมป้องกันประเทศ การรับรู้ของผู้บังคับบัญชาในปัจจุบันและในอนาคต ต่อการส่งเสริมความสามารถด้านเทคโนโลยี และการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ยิ่งไปกว่านั้น การรับรู้ถึงความต้องการ (Needs) ของผู้ประกอบการหรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการพัฒนาคน ด้านความรู้และทักษะที่สำคัญ ตลอดจนปัญหาอุปสรรคในการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทยปัจจุบันจะนำไปสู่การพัฒนาความสามารถด้านเทคโนโลยีต่อไป

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงพัฒนาโครงการวิจัยเพื่อศึกษาการเพิ่มขีดความสามารถด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถด้านเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทยในปัจจุบัน ตลอดจนความต้องการ (Needs) ของผู้ประกอบการในการพัฒนากำลังคน ด้านความรู้และทักษะที่สำคัญซึ่งผลการศึกษาจะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการเพิ่มขีดความสามารถดังกล่าว สอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาวissenschaft เทคโนโลยี อุตสาหกรรมป้องกันประเทศกระทรวงกลาโหม พ.ศ.2560 – 2579 โดยการบูรณาการความร่วมมือระหว่างส่วนราชการในการสนับสนุนการวิจัยพัฒนา และอุตสาหกรรมป้องกันประเทศบนพื้นฐานความต้องการที่แท้จริงตามขีดความสามารถ ความเชี่ยวชาญและศักยภาพของส่วนราชการเกิดผลเป็นรูปธรรม ตลอดจนสอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันที่สามารถนำผลการศึกษาไปเสริมสร้างขีดความสามารถ ของผู้ประกอบการในการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมป้องกันประเทศให้เข้มแข็งและยั่งยืน อันจะนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศไทยในระดับนานาชาติต่อไป

2. ขอบเขตงานวิจัย

กำหนดกรอบความสามารถด้านเทคโนโลยี (Technology Capability) และความต้องการ (Needs) ของผู้ประกอบการในการพัฒนากำลังคนด้านความรู้และทักษะที่สำคัญของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการเพิ่มขีดความสามารถด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ สามารถสรุปได้ดังนี้

3.1 ยุทธศาสตร์การพัฒนา วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ กระทรวงกลาโหม พ.ศ.2560 – 2579

จากนโยบายของรัฐบาลที่ให้อุตสาหกรรมป้องกันประเทศเป็น “อุตสาหกรรมเป้าหมายที่ 11” (S - Curve 11) ที่จะนำพาประเทศไปสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง ยั่งยืน ร่วมกับเป้าหมายอื่น ๆ ด้วย การพัฒนาเทคโนโลยีนวัตกรรม และความคิดสร้างสรรค์เพื่อขับเคลื่อนไปสู่ประเทศไทย 4.0 อุตสาหกรรมป้องกันประเทศของกระทรวงกลาโหมในระยะยาวมีเป้าหมายให้อุตสาหกรรมป้องกันประเทศเป็นเครื่องมือในการรักษาความมั่นคงแห่งรัฐ ด้วยการพึ่งพาตนเองได้ในด้านยุทธโประกรณ์ทางทหารของประเทศอย่างเพียงพอ ทันเวลา และมีประสิทธิภาพ โดยบูรณาการขีดความสามารถทุกภาคส่วน มุ่งเน้นการสนับสนุนให้ภาคเอกชนสามารถทำการผลิตเพื่อใช้ในราชการและการพาณิชย์ภายใต้พันธกิจสำคัญ 5 ประการ คือ การวิจัยและพัฒนาการผลิต การควบคุม การส่งเสริม และความร่วมมือ ทั้งนี้องค์หลักที่มีบทบาทสำคัญในการดำเนินการภายใต้ความร่วมมือและการสนับสนุนจากทุกภาคส่วน คือ กระทรวงกลาโหม สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ และภาคเอกชน โดยจากการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีอุตสาหกรรมป้องกันประเทศซึ่งอ้างอิงมาจากแผนปฏิบัติการด้านการพัฒนา วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรมป้องกันประเทศกระทรวงกลาโหม พ.ศ. 2563 -2580 สรุปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมด้านอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ (SWOT Analysis)

จุดแข็ง (S)	จุดอ่อน (W)
S1 มีหน่วยงานและบุคลากรที่รับผิดชอบงานอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ	W1 บุคลากรยังขาดความรู้และประสบการณ์ในการบริหารจัดการในเชิงธุรกิจรวมถึงการพัฒนาทรัพยากรบุคคลที่ดี

จุดแข็ง (S)	จุดอ่อน (W)
S2 มีนโยบายและแผนการพัฒนาระดับชาติ	W2 การกำหนดความต้องการผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีด้านอุตสาหกรรมป้องกันประเทศแบบแยกกัน
S3 มีหน่วยงานกำหนดมาตรฐานกลางยุทธศาสตร์	W3 การยอมรับในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของผู้ใช้
S4 มีกฎหมายควบคุมการนำเข้า-ส่งออกด้านยุทธภัณฑ์	W4 ผลกระทบการผลิตเป็นชิ้นประกอบและไม่ใช่ต้นตุนแท้จริง
S5 การพัฒนางานวิจัยสู่สายการผลิตใช้ในราชการ/เชิงพาณิชย์ของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศตาม พ.ร.บ.เทคโนโลยีป้องกันประเทศ พ.ศ.2562	W5 ขาดองค์กร/ระบบงานการผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์เพื่อนำผลงานวิจัยไปสู่การผลิตโดยเอกชน
S6 โรงงานอุตสาหกรรมมีมากมายและรองรับความต้องการทุกเหล่าทัพ	W6 ขาดพื้นที่เขตส่งเสริมอุตสาหกรรมเฉพาะเพื่อรวมคลัสเตอร์
โอกาส (O)	อุปสรรค (T)
O1 อุตสาหกรรมป้องกันประเทศเป็น “อุตสาหกรรมเป้าหมาย ที่ 11” (S-Curve 11)	T1 มาตรการกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษี (NTB : Non Tariff Barrier) เช่น เรื่องการจัดสรรค่าอุตสาหกรรม และสิ่งแวดล้อม
O2 ข้อตกลงระหว่างประเทศที่เอื้อประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรม	T2 การแข่งขันสูงและถูกครองตลาดโดยประเทศพัฒนาแล้ว
O3 การรวมกลุ่มทางเศรษฐกิจของอาเซียน (ASEAN Economic Community : AEC)	T3 ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น
O4 การลงทุนโครงสร้างพื้นฐานของรัฐ	T4 เทคโนโลยีพัฒนารวดเร็วหน่วยผลิตเป็นผู้ซื้อมากกว่าผู้คิดค้น
O5 ผู้ใช้ให้ความสำคัญกับสินค้าที่มีมาตรฐาน	T5 ผู้ประกอบการขาดการพัฒนานวัตกรรมโดยยังคงเป็นการรับจ้างผลิต (OEM) มากกว่าการผลิตตามรูปแบบของตนเอง (ODM) หรือการผลิตภายใต้รูปแบบและตราสินค้าของตนเอง (OBM)
O6 มีเทคโนโลยีให้เลือกหลากหลาย	T6 ขาดการวิจัยและพัฒนาต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

3.2 กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP)

กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ เป็นกระบวนการที่ใช้ในการ “วัดค่าระดับ” ของการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลการตัดสินใจที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมายของการตัดสินใจได้มากที่สุด [11]

Kahraman และคณะ (2003) ได้เสนอแนะกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ใด ๆ ควรจะประกอบด้วยระดับชั้นต่าง ๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

(1) วัตถุประสงค์ (Goal or Objective) เพื่อให้ทราบถึงความต้องการที่ชัดเจนที่ต้องการจะได้รับจากการใช้กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์

(2) หลักเกณฑ์ในการพิจารณา (Criteria) เพื่อให้ทราบว่าหลักเกณฑ์หลักและหลักเกณฑ์ย่อยใดบ้างที่ต้องนำมาใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

(3) ทางเลือก (Alternatives) ทางเลือกหรือแนวทางที่เป็นไปได้ที่ต้องการพิจารณาว่าทางเลือกใด คือ ทางเลือกที่ดีที่สุดที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่วางไว้

กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์จะเป็นการคำนวณค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการพิจารณานั้น จะใช้การเปรียบเทียบความสำคัญกันระหว่างหลักเกณฑ์ที่ละคู่ (Pair wise Comparison) ซึ่งในการประเมินคะแนนให้กับหลักเกณฑ์นั้นจะใช้มาตราส่วน 1-9 ของ Saaty ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบเชิงคู่ [11]

ค่าระดับ	ความหมายของระดับความสำคัญ	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน (Equality important)	2 บ่งชี้มีความสำคัญต่อวัตถุประสงค์เท่ากัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง (Moderate more important)	บ่งชี้ที่พิจารณาที่มีความสำคัญมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก (Strongly more important)	บ่งชี้ที่พิจารณาที่มีความสำคัญกว่าอีกปัจจัยอย่างมาก

ลำดับ	ความหมายของระดับความสำคัญ	คำอธิบาย
7	สำคัญกว่ามากที่สุด (Very strongly more important)	ปัจจัยที่พิจารณามีความสำคัญกว่าอีกปัจจัยอย่างมากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด (Extremely more important)	ปัจจัยที่พิจารณามีความสำคัญสูงสุดที่จะเป็นไปได้ในการพิจารณาเปรียบเทียบ
2,4,6,8	ความสำคัญที่อยู่ระหว่างแต่ละระดับ	ความสำคัญที่อยู่ระหว่างความสำคัญแต่ละระดับตามลำดับตัวเลข

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เป็นกระบวนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพมากเริ่มต้นด้วยการเปรียบเทียบ “ความสำคัญ” ของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเพื่อหา “น้ำหนัก” ของแต่ละเกณฑ์ก่อนหลังจากนั้นจึงนำ “ทางเลือก” ที่มีทั้งหมดมาประเมินผ่านเกณฑ์ดังกล่าว เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือก โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

- (1) กำหนดกรอบปัญหา โดยพิจารณาเป้าหมายและระดับชั้นและเกณฑ์การตัดสินใจจากนั้นสร้างแผนภูมิลำดับชั้นซึ่งโครงสร้างของแผนภูมิ
- (2) เปรียบเทียบความสำคัญของหลักเกณฑ์หรือวัตถุประสงค์ย่อยที่ละคู่โดยอาศัยมาตราส่วน 1-9 [11]
- (3) เปรียบเทียบทางเลือก หรือปัจจัยที่ละคู่และสร้างตารางเมตริกซ์ในลักษณะเดียวกับการเปรียบเทียบเกณฑ์
- (4) นำผลที่ได้มาสังเคราะห์โดยนำเอาลำดับความสำคัญของปัจจัยในระดับล่างมาถ่วงน้ำหนักกับลำดับความสำคัญของแบบจำลองทั้งหมด
- (5) คำนวณค่าความสอดคล้องของการตัดสินใจของทั้งแผนภูมิเพื่อทดสอบว่าการวินิจฉัยทั่วทั้งแผนภูมิสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยตรวจสอบจากค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio, CR) ว่ายอมรับได้หรือไม่จากการคำนวณ ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index, CI)

พลตรี เอกชัย หาญพูนวิทยา (2561) วิจัยและศึกษาเรื่องการขับเคลื่อนกิจการอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของประเทศไทยให้เป็นรูปธรรม เพื่อศึกษายุทธศาสตร์การพัฒนา วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรมป้องกันประเทศกระทรวงกลาโหม พ.ศ.2560 – 2579 การปรับระบบการบริหารจัดการภาครัฐให้เกิดประสิทธิภาพและการสร้างระบบข้อมูลสารสนเทศของการวิจัยและนวัตกรรมให้มีลักษณะบูรณาการและเชื่อมโยงกัน มุ่งเน้นการปฏิรูประบบวิจัยและนวัตกรรมของประเทศเพื่อการใช้ประโยชน์ในทุกมิติ และแผนที่นำทาง Roadmap การพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศกระทรวงกลาโหม และศึกษาเปรียบเทียบการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของประเทศต่าง ๆ ทั้งยังเสนอแนะแนวทาง การสนับสนุนภาคเอกชนของไทยให้มีขีดความสามารถในการผลิต [8]

วิญญู มั่งคั่ง (2560) ศึกษาแนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศภายใต้กรอบยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี สรุปว่า อุตสาหกรรมป้องกันประเทศเป็นโครงสร้างพื้นฐานและหลักประกันทางด้านความมั่นคงของประเทศต่อความพร้อมรบของกองทัพในด้านยุทธโธปกรณ์และขีดความสามารถในการพึ่งพาตนเอง โดยมีการบรรจุประเด็นนี้ไว้ในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 และนโยบายรัฐมนตรีว่าการกระทรวงกลาโหม เพื่อให้การพัฒนาเกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรมอย่างรวดเร็วเป็นระบบและมีความยั่งยืน จึงควรมีการกำหนดแนวทางในการพัฒนาขึ้นมา ด้วยการศึกษารวบรวม และวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศจากกลุ่มประเทศตัวอย่างที่ประสบความสำเร็จ [7]

จุฬาลักษณ์ กองเพชร (2559) ทำการวิจัยการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการคัดเลือกบรรจุภัณฑ์ของบริษัทผลิตเลนส์และกล้องถ่ายรูป โดยการสัมภาษณ์ผู้บริหารและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการตัดสินใจคัดเลือกบริษัทผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์และการให้น้ำหนักคะแนนจากฝ่ายจัดซื้อจัดหารวมถึงธุรกิจอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ปัจจัยสำคัญที่ได้จากศึกษาประกอบไปด้วย 6 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ความน่าเชื่อถือของบริษัทผู้ผลิต คุณภาพของผลิตภัณฑ์ราคาของผลิตภัณฑ์ การส่งมอบและ

ส่งเสริมการขาย และได้นำปัจจัยเหล่านี้มาใช้ในการประเมินผู้ส่งมอบบรรจุภัณฑ์ก่อนทำการจัดซื้อ โดยทำการให้คะแนนก่อนการสั่งซื้อบรรจุภัณฑ์ทุกครั้ง [1]

ณัยศักดิ์ หงส์พันธุ์ (2560) ทำการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นสำหรับการเลือกสถานที่ตั้งรีไซเคิลในเขตอำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี โดยใช้แบบสัมภาษณ์และวิเคราะห์ข้อมูล ผลการศึกษาแบบจำลอง AHP พบว่า ลำดับความสำคัญของเกณฑ์หลักและเกณฑ์ย่อยด้าน ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเลือกสถานที่ตั้งรีไซเคิลเรียงตามน้ำหนักความสำคัญดังนี้ ราคาที่ดินเป็นเกณฑ์หลักที่สำคัญที่สุด (49.40%) แล้วเกณฑ์หลักที่สำคัญรองลงมาใกล้แหล่งท่องเที่ยว (14.04%) เกณฑ์หลักลำดับต่อมาคือ การเดินทาง (9.53%) ใกล้ย่านชุมชน (7.03%) ใกล้สถานียขนส่งสาธารณะ (6.71%) และเกณฑ์หลักที่สำคัญน้อยที่สุดคือ ใกล้สถานที่ขายของอุปโภคบริโภค (6.21%) ส่งผลกระทบในการใช้พิจารณาการเลือกทำเลในการเลือกสถานที่ตั้งรีไซเคิลของผู้ประกอบการ [2]

4. การดำเนินการวิจัย

4.1 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องและการเก็บข้อมูลเบื้องต้น

ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องและการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับระดับความสามารถด้านเทคโนโลยี (Technology Capability) ของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศในประเทศไทยความรู้และทักษะที่ภาคอุตสาหกรรมต้องการสำหรับการพัฒนากำลังคน โดยพิจารณาจากยุทธศาสตร์การพัฒนา วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ กระทรวงกลาโหม พ.ศ. 2560 – 2579

4.2 การสัมภาษณ์เชิงลึก (In depth interview)

ผู้บริหารระดับสูงที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ประกอบด้วยเจ้ากรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงกลาโหม ผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ และ กรรมการผู้จัดการบริษัท อุตสาหกรรมการบิน จำกัด เพื่อให้ข้อคิดเห็นในเรื่องระดับความสามารถด้านเทคโนโลยีและความต้องการพัฒนาความรู้และทักษะที่เกี่ยวข้อง

4.3 นำข้อมูลการวิเคราะห์จุดแข็งจุดอ่อนโอกาสและอุปสรรคมาสร้างแบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญ

การนำข้อมูลการวิเคราะห์จุดแข็งจุดอ่อนโอกาสและอุปสรรคมาสร้างแบบสอบถามผู้เชี่ยวชาญในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ โดยมุ่งเน้นภาคเอกชนประกอบด้วยบริษัททั้งหมด 9 บริษัท เพื่อจัดลำดับความสำคัญของแต่ละประเด็นตามกระบวนการตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP)

4.4 การจัดลำดับความสำคัญในแต่ละประเด็นของจุดแข็งจุดอ่อนโอกาสและอุปสรรค

จากการจัดลำดับความสำคัญในแต่ละประเด็นของจุดแข็งจุดอ่อนโอกาสและอุปสรรค นำมาสร้างเป็นตาราง TOWS Matrix เพื่อกำหนดกลยุทธ์ในการดำเนินการจัดทำแผนการเพิ่มขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีในประเทศไทยเพื่อเป็นการเตรียมพร้อมด้านความรู้ ทักษะในการใช้เทคโนโลยีขั้นสูงพร้อมทั้งเป็นข้อมูลในการปรับปรุงยุทธศาสตร์การพัฒนา วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ กระทรวงกลาโหมต่อไปในอนาคต

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการวิเคราะห์การสัมภาษณ์เชิงลึก

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้บริหารระดับสูงในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ประกอบด้วยผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (ผอ.สทป.) รองเจ้ากรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม (รอง จก.วท.ภท.) และกรรมการผู้จัดการบริษัท อุตสาหกรรมการบิน จำกัด ซึ่งสำหรับ ผอ.สทป.เข้าพบท่านเมื่อวันจันทร์ที่ 21 มิ.ย.64 เวลา 0900-1030 แสดงดังรูปที่ 1



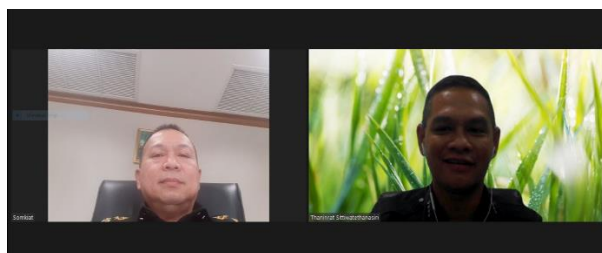
รูปที่ 1 สัมภาษณ์เชิงลึก ผอ.สทป.เกี่ยวกับอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

โดยการเข้าสัมภาษณ์ท่านได้เตรียมข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยและได้ให้เวลาตอบคำถามในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ครบถ้วนและตรงประเด็น รายละเอียดประกอบด้วย

5.1.1 สัมภาษณ์ พล.อ.ดร.ปรีชา ประดับมุข ผอ.สทป.สรุปประเด็นคำถามได้ดังต่อไปนี้

สรุปความสามารถด้านเทคโนโลยี (Technology Capability) ของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของประเทศไทยที่มีขีดความสามารถสูงสุด คือ ภาคอุตสาหกรรมต่อเรือที่หน่วยงานภาครัฐและเอกชนมีขีดความสามารถรวมทั้งดำเนินการร่วมกับภาคเอกชนจากต่างประเทศ มีศักยภาพทางบกขีดความสามารถผลิตกระสุนและวัตถุระเบิดที่ไม่ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงรวมถึงรถเกราะล้อยางของบริษัทซีเอสทีที่สามารถส่งออกไปขายในต่างประเทศ มีดีทางอากาศยังไม่มีขีดความสามารถที่จะผลิตได้แต่มีขีดความสามารถการซ่อมบำรุงและการปรับปรุงภายใต้การให้คำปรึกษาของบริษัทผู้ผลิตปัจจุบันมีการวิจัยพัฒนาและผลิตระบบอากาศยานไร้คนขับแต่ยังต้องนำเข้าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบขับเคลื่อนจากต่างประเทศซึ่งในอนาคตควรส่งเสริมเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ พลังงานหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติของอากาศยานไร้คนขับ สำหรับความต้องการ (Need) ในการพัฒนาคนด้านความรู้และทักษะจำเป็นต้องพัฒนาอย่างเร่งด่วนจากสถาบันการศึกษาผ่านการดำเนินนโยบายออฟเซต (Offset Policy) โดยหลักสูตรการศึกษาเป็นระดับปริญญาโททั้งสิ้นซึ่งถ้าขยายไปในระดับปริญญาตรีหรือระดับอาชีวศึกษาก็จะทำให้มีบุคลากรรองรับอุตสาหกรรมป้องกันประเทศในอนาคต

สำหรับการสัมภาษณ์ จก.วท.ภท.เนื่องจากท่านติดภารกิจจึงมอบหมายให้ รอง จก.วท.ภท.ให้ข้อมูลแทน โดยผ่านระบบออนไลน์เมื่อวันที่ 24 มิ.ย.64 เวลา 1300-1320 แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สัมภาษณ์เชิงลึก รอง จก.วท.ภท.เกี่ยวกับอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

โดยการเข้าสัมภาษณ์ท่านเนื่องจากเวลามีจำกัดทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประเด็นสำคัญและตรงต่อวัตถุประสงค์ของงานวิจัยรายละเอียด ประกอบด้วย

5.1.2 สัมภาษณ์ พล.ต.สมเกียรติ สัมพันธ์ รองจก.วท.ภท.สรุปประเด็นคำถามได้ดังต่อไปนี้

อุตสาหกรรมป้องกันประเทศสำหรับบทบาทของ วท.ภท.อยู่ในลักษณะของการดำเนินการดำเนินงานซึ่งอยู่ในลำดับการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ซึ่งมาจากแต่ละเหล่าทัพโดยประกอบด้วยการศึกษาความเป็นไปได้และการวิจัย

เพื่อพัฒนาต้นแบบวิศวกรรมจนกระทั่งถึงการรับรองมาตรฐานยุทธภัณฑ์ทางทหารโดยแนวทางของ วท.ภท.ก็จะเป็นการผลักดันและส่งเสริมให้เกิดการวิจัยพัฒนาเพื่อต่อยอดภายใต้การบริหารงบประมาณร่วมกันเพื่อให้เกิดการนำผลงานไปใช้ประโยชน์ของหน่วยผู้ต่อไป บทบาทในการกำหนดทิศทางการวิจัยและพัฒนาเพื่อขับเคลื่อนตามยุทธศาสตร์การพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศตามที่ได้กำหนดไว้เป็น New S-Curve ที่ 11 ความสามารถด้านเทคโนโลยี (Technology Capability)

สำหรับการสัมภาษณ์กรรมการผู้จัดการบริษัท อุตสาหกรรมการบิน จำกัด เป็นการสัมภาษณ์เชิงลึกโดยตรงจากท่านเมื่อวันอังคารที่ 22 มิ.ย.64 เวลา 1000-1030 แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สัมภาษณ์เชิงลึกกรรมการผู้จัดการบริษัท อุตสาหกรรมการบิน จำกัด เกี่ยวกับอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

โดยการเข้าสัมภาษณ์ท่านเนื่องจากเวลามีจำกัดทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประเด็นสำคัญและตรงต่อวัตถุประสงค์ของงานวิจัยรายละเอียด ประกอบด้วย

5.1.3 สัมภาษณ์ พล.อ.อ.สุภชัย สายเงิน กรรมการผู้จัดการบริษัท อุตสาหกรรมการบิน จำกัด

บทบาทของบริษัท อุตสาหกรรมการบิน จำกัด ต่ออุตสาหกรรมป้องกันประเทศเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมระดับโลก ปัจจุบันกองทัพอากาศมีการจัดตั้งหน่วยงานสำนักงานการบินทางทหารเพื่อสามารถรับรองความเป็นมาตรฐานในส่วนของการเดินอากาศอย่างน้อยตามมาตรฐานที่สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย ซึ่งในปัจจุบันดำเนินการรับรองมาตรฐานนักบินในกองทัพอากาศเท่านั้นโดยในอนาคตอาจจะขยายภาระหน้าที่ในการรับรองมาตรฐานนักบินในหน่วยงานทั้งหมดเพื่อเป็นมาตรฐานทางทหารเพื่อความปลอดภัย เนื่องจากสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทยรับรองมาตรฐานเฉพาะการบินพลเรือนเชิงพาณิชย์เท่านั้น

สรุปจากการสัมภาษณ์เชิงลึกจากผู้บริหารในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศทั้งสามท่าน พบว่าประเภทของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของประเทศไทยที่มีขีดความสามารถสูงสุดที่สุด คือ ภาคอุตสาหกรรมต่อเรือที่หน่วยงานภาครัฐและเอกชนมีขีดความสามารถรวมทั้งดำเนินการร่วมกับภาคเอกชนจากต่างประเทศ มีศักยภาพทางเทคนิคความสามารถผลิตกระสุนและวัตถุระเบิดที่ไม่ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงรวมถึงรถเกราะล้อของ บริษัทชัยเสรีที่สามารถส่งออกไปขายในต่างประเทศ มีดีทางอากาศยังไม่มีขีดความสามารถที่จะผลิตได้แต่มีขีดความสามารถการซ่อมบำรุงและการปรับปรุงภายใต้การให้คำปรึกษาของบริษัทผู้ผลิตปัจจุบันมีการวิจัยพัฒนาและผลิตรบบอากาศยานไร้คนขับแต่ยังต้องนำเข้าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบขับเคลื่อนจากต่างประเทศซึ่งความสามารถด้านเทคโนโลยี (Technology Capability) ในอนาคตควรส่งเสริมเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เทคโนโลยีหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ (Robotics) ซึ่งจำเป็นต้องสร้างความเป็นมาตรฐานทางทหารให้เทียบเคียงกับอุตสาหกรรมการบินเพื่อสามารถนำไปสู่การพึ่งพาตนเองผ่านความร่วมมือกับภาคเอกชนในประเทศที่มีศักยภาพ สำหรับความต้องการ (Need) ในการพัฒนาค้นด้านความรู้และทักษะจำเป็นต้องพัฒนาอย่างเร่งด่วนจากสถาบันการศึกษาผ่านการดำเนินนโยบายออฟเซต (Offset Policy) และการพัฒนาเทคโนโลยีผ่านกระบวนการ reverse engineering เพื่อลดระยะเวลาในการวิจัยและพัฒนาที่ใช้เวลาที่ค่อนข้างยาวนานโดยอาจเป็นการวิจัยและพัฒนาแบบนำไปใช้สองทาง (Dual user) เพื่อเกิดความร่วมมือทั้งภาครัฐและเอกชนในการผลักดันการวิจัยนำไปใช้เชิงพาณิชย์มากขึ้นเพื่อเป็น

ประโยชน์ในการพึ่งพาตนเอง สำหรับหลักสูตรการศึกษาเป็นระดับปริญญาโททั้งสิ้นซึ่งถ้าขยายไปในระดับปริญญาตรีหรือระดับอาชีวศึกษาเฉพาะด้านก็จะทำให้มีบุคลากรรองรับอุตสาหกรรมป้องกันประเทศในอนาคต

5.2 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามตามกระบวนการ AHP

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการให้คะแนนในแต่ละปัจจัยหลัก ปัจจัยรอง และทางเลือกโดยการส่งสอบถามให้ผู้เชี่ยวชาญในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศทั้งหมด 9 ท่านซึ่งได้ตอบแบบสอบถามกลับมาเพียง 7 ท่านถือว่าอยู่ในเกณฑ์ความน่าเชื่อถือเนื่องจากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นจะพิจารณาเฉพาะกลุ่มย่อยไม่เกิน 10 คน [11] เพราะรูปแบบเป็นการเปรียบเทียบข้อคำถามแต่ละประเด็นโดยจะมีเครื่องมือที่ใช้วัดความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) ของแบบสอบถามเพื่อยืนยันความสมเหตุสมผลของการตอบคำถามจากผู้เชี่ยวชาญได้ผลการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

5.2.1 ผลการประเมินปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการกำหนดทิศทางการยุทธศาสตร์อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

ในส่วนของการประเมินปัจจัยหลักข้อมูลมาจากการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน ซึ่งแสดงผลการประเมินตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินปัจจัยหลักจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน

ปัจจัยหลัก	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	ความสำคัญ
จุดแข็ง	0.189	0.523	0.168	0.268	0.051	0.163	0.305	1.667	0.238	3
จุดอ่อน	0.175	0.057	0.048	0.072	0.53	0.326	0.057	1.265	0.181	4
โอกาส	0.596	0.298	0.097	0.279	0.111	0.148	0.343	1.872	0.267	2
อุปสรรค	0.04	0.122	0.687	0.381	0.308	0.363	0.295	2.196	0.314	1
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	

อัตราความสอดคล้อง	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7
(Consistency Ratio: CR)	0.090	0.025	0.047	0.034	0.033	0.008	0.005

จากการประมวลผลจากโปรแกรมอัตราความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) ปรากฏว่าถ้ามีการเปรียบเทียบ 4 ปัจจัย ค่า CR ไม่ควรเกิน 0.09 ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าผู้ตัดสินใจทำการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยต่าง ๆ และให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยได้สอดคล้องกันและแสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่มีความสำคัญอันดับหนึ่ง คือ อุปสรรค มีคะแนนความสำคัญ 0.314 อันดับสอง คือ โอกาส มีคะแนนความสำคัญ 0.267 อันดับสาม คือ จุดแข็ง มีคะแนนความสำคัญ 0.238 และอันดับสี่ คือ จุดอ่อน มีคะแนนความสำคัญ 0.181

5.2.2 ผลการประเมินปัจจัยรองของปัจจัยหลักด้านจุดแข็ง

ในส่วนของการประเมินปัจจัยรองของปัจจัยหลักด้านจุดแข็งข้อมูลมาจากการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน ซึ่งแสดงผลการประเมินตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินปัจจัยรองของปัจจัยหลักด้านจุดแข็งจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน

ปัจจัยรอง	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	ความสำคัญ
S1	0.501	0.157	0.031	0.272	0.086	0.182	0.26	1.489	0.213	2
S2	0.265	0.493	0.505	0.076	0.522	0.333	0.126	2.32	0.331	1

ปัจจัยรอง	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	ความสำคัญ
S3	0.046	0.175	0.234	0.055	0.112	0.106	0.273	1.001	0.143	3
S4	0.089	0.108	0.121	0.067	0.107	0.204	0.077	0.773	0.11	5
S5	0.052	0.036	0.085	0.269	0.146	0.118	0.119	0.825	0.118	4
S6	0.047	0.031	0.024	0.261	0.027	0.057	0.145	0.592	0.085	6
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	

อัตราความสอดคล้อง	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7
(Consistency Ratio: CR)	0.053	0.054	0.094	0.014	0.086	0.082	0.087

จากการประมวลผลจากโปรแกรมอัตราความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) ปรากฏว่าถ้ามีการเปรียบเทียบมากกว่า 5 ปัจจัยขึ้นไป ค่า CR ไม่ควรเกิน 0.1 ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าผู้ตัดสินใจทำการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยต่างๆ และให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยได้สอดคล้องกันและแสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่มีความสำคัญอันดับหนึ่ง คือ S2 มีคะแนนความสำคัญ 0.331 อันดับสอง คือ S2 มีคะแนนความสำคัญ 0.213 อันดับสาม คือ S3 มีคะแนนความสำคัญ 0.143 อันดับสี่ คือ S5 มีคะแนนความสำคัญ 0.118 อันดับห้า คือ S4 มีคะแนนความสำคัญ 0.11 และอันดับหกคือ S6 มีคะแนนความสำคัญ 0.085

5.2.3 ผลการประเมินปัจจัยรองของปัจจัยหลักด้านจุดอ่อน

ในส่วนของการประเมินปัจจัยรองของปัจจัยหลักด้านจุดอ่อนข้อมูลมาจากการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญ 7 ท่าน ซึ่งแสดงผลการประเมินตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการประเมินปัจจัยรองของปัจจัยหลักด้านจุดอ่อนจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน

ปัจจัยรอง	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	ความสำคัญ
W1	0.056	0.166	0.034	0.229	0.146	0.198	0.463	1.292	0.185	2
W2	0.025	0.274	0.316	0.08	0.12	0.119	0.16	1.094	0.156	4
W3	0.229	0.447	0.422	0.187	0.556	0.154	0.158	2.153	0.308	1
W4	0.214	0.038	0.057	0.213	0.043	0.178	0.121	0.864	0.123	5
W5	0.327	0.04	0.145	0.234	0.105	0.312	0.037	1.2	0.171	3
W6	0.149	0.035	0.026	0.057	0.03	0.039	0.061	0.397	0.057	6
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	

อัตราความสอดคล้อง	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7
(Consistency Ratio: CR)	0.096	0.03	0.056	0.043	0.068	0.074	0.049

จากการประมวลผลจากโปรแกรมอัตราความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) ปรากฏว่าถ้ามีการเปรียบเทียบมากกว่า 5 ปัจจัยขึ้นไป ค่า CR ไม่ควรเกิน 0.1 ซึ่งทำให้สรุปได้ว่า ผู้ตัดสินใจทำการเปรียบเทียบเป็นรายคู่

ของปัจจัยต่าง ๆ และให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัย ได้สอดคล้องกันและแสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่มีความสำคัญอันดับหนึ่ง คือ W3 มีคะแนนความสำคัญ 0.308 อันดับสอง คือ W1 มีคะแนนความสำคัญ 0.185 อันดับสาม คือ W5 มีคะแนนความสำคัญ 0.171 อันดับสี่ คือ W2 มีคะแนนความสำคัญ 0.156 อันดับห้า คือ W4 มีคะแนนความสำคัญ 0.123 และอันดับหก คือ W6 มีคะแนนความสำคัญ 0.057

5.2.4 ผลการประเมินปัจจัยรองของปัจจัยหลักด้านโอกาส

ในส่วนของการประเมินปัจจัยรองของปัจจัยหลักด้านโอกาสข้อมูลมาจากการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญ 7 ท่าน ซึ่งแสดงผลการประเมินตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการประเมินปัจจัยรองของปัจจัยหลักด้านโอกาสจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน

ปัจจัยรอง	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	ความสำคัญ
O1	0.067	0.028	0.036	0.2	0.161	0.119	0.302	0.913	0.131	5
O2	0.295	0.318	0.403	0.131	0.357	0.187	0.258	1.949	0.278	1
O3	0.163	0.085	0.191	0.059	0.059	0.072	0.146	0.775	0.111	6
O4	0.092	0.217	0.025	0.112	0.201	0.228	0.159	1.034	0.148	3
O5	0.177	0.289	0.295	0.24	0.154	0.109	0.096	1.36	0.194	2
O6	0.206	0.063	0.05	0.258	0.068	0.285	0.039	0.969	0.138	4
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	

อัตราความสอดคล้อง	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7
(Consistency Ratio: CR)	0.053	0.082	0.057	0.023	0.092	0.085	0.087

จากการประมวลผลจากโปรแกรมอัตราความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) ปรากฏว่าถ้ามีการเปรียบเทียบมากกว่า 5 ปัจจัยขึ้นไป ค่า CR ไม่ควรเกิน 0.1 ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าผู้ตัดสินใจทำการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยต่าง ๆ และให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยได้สอดคล้องกันและแสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่มีความสำคัญอันดับหนึ่ง คือ O2 มีคะแนนความสำคัญ 0.278 อันดับสอง คือ O5 มีคะแนนความสำคัญ 0.194 อันดับสาม คือ O4 มีคะแนนความสำคัญ 0.148 อันดับสี่ คือ O6 มีคะแนนความสำคัญ 0.138 อันดับห้า คือ O1 มีคะแนนความสำคัญ 0.131 และอันดับหก คือ O3 มีคะแนนความสำคัญ 0.111

5.2.5 ผลการประเมินปัจจัยรองของปัจจัยหลักด้านอุปสรรค

ในส่วนของการประเมินปัจจัยรองของปัจจัยหลักด้านอุปสรรคข้อมูลมาจากการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญ 7 ท่าน ซึ่งแสดงผลการประเมินตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการประเมินปัจจัยรองของปัจจัยหลักด้านอุปสรรคจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่าน

ปัจจัยรอง	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	ความสำคัญ
T1	0.223	0.299	0.022	0.044	0.113	0.047	0.386	1.134	0.162	3
T2	0.175	0.056	0.414	0.198	0.06	0.085	0.037	1.025	0.146	5
T3	0.187	0.331	0.259	0.084	0.035	0.132	0.24	1.268	0.181	2

ปัจจัย รอง	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	ความสำคัญ
T4	0.078	0.061	0.159	0.309	0.102	0.282	0.036	1.027	0.148	4
T5	0.187	0.058	0.039	0.153	0.13	0.267	0.144	0.978	0.139	6
T6	0.15	0.195	0.107	0.212	0.56	0.187	0.157	1.568	0.224	1
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		1.000	

อัตราความสอดคล้อง	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7
(Consistency Ratio: CR)	0.027	0.011	0.092	0.055	0.056	0.093	0.094

จากการประมวลผลจากโปรแกรมอัตราความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) ปรากฏว่าถ้ามีการเปรียบเทียบมากกว่า 5 ปัจจัยขึ้นไป ค่า CR ไม่ควรเกิน 0.1 ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าผู้ตัดสินใจทำการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยต่าง ๆ และให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยได้สอดคล้องกันและแสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่มีความสำคัญอันดับหนึ่ง คือ T6 มีคะแนนความสำคัญ 0.224 อันดับสอง คือ T3 มีคะแนนความสำคัญ 0.181 อันดับสาม คือ T1 มีคะแนนความสำคัญ 0.162 อันดับสี่ คือ T4 มีคะแนนความสำคัญ 0.148 อันดับห้า คือ T2 มีคะแนนความสำคัญ 0.146 และอันดับหก คือ T5 มีคะแนนความสำคัญ 0.139

5.2.6 สรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อทิศทางอุตสาหกรรมป้องกันประเทศด้วยกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

จากการประเมินปัจจัยหลักและรองสามารถนำมาสร้างตารางสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความสำคัญของปัจจัยหลักและปัจจัยรอง ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สรุปผลการจัดลำดับความสำคัญน้ำหนักคะแนนครอบคลุมทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยรอง

ปัจจัยหลัก	คะแนน (ปัจจัยหลัก)	ปัจจัยรอง	คะแนน (ปัจจัยรอง)	คะแนน (ปัจจัยหลักและรอง)	ลำดับความสำคัญ
จุดแข็ง (Strengths)	0.238	S1	0.213	0.451	11
		S2	0.331	0.569	1
		S3	0.143	0.381	15
		S4	0.11	0.348	20
		S5	0.118	0.356	18
		S6	0.085	0.323	22
จุดอ่อน (Weaknesses)	0.181	W1	0.185	0.366	17
		W2	0.156	0.337	21
		W3	0.308	0.489	5
		W4	0.123	0.304	23
		W5	0.171	0.352	19
		W6	0.057	0.238	24
โอกาส (Opportunities)	0.267	O1	0.131	0.398	14
		O2	0.278	0.545	2
		O3	0.111	0.378	16
		O4	0.148	0.415	12
		O5	0.194	0.461	8
		O6	0.138	0.405	13
อุปสรรค	0.314	T1	0.162	0.476	6
		T2	0.146	0.46	9
		T3	0.181	0.495	4

ปัจจัยหลัก	คะแนน (ปัจจัยหลัก)	ปัจจัยรอง	คะแนน (ปัจจัยรอง)	คะแนน (ปัจจัยหลักและรอง)	ลำดับความสำคัญ
(Threats)		T4	0.148	0.462	7
		T5	0.139	0.453	10
		T6	0.224	0.538	3

สำหรับการจัดลำดับของปัจจัยรองในแต่ละปัจจัยหลักเลือกมาสามลำดับเพื่อทำการสร้างตาราง TOWS Matrix ในการนำเสนอกลยุทธ์ที่มีความสำคัญในแต่ละลำดับซึ่งเป็นการสร้างกลยุทธ์ ที่มีการจัดลำดับความสำคัญอย่างมีความสอดคล้องสัมพันธ์กันจากแบบสอบถามโดยผู้เชี่ยวชาญทำให้มีความน่าเชื่อถือและทำให้ได้กลยุทธ์ที่มีความสำคัญที่สุดในการดำเนินการอย่างเร่งด่วน เพื่อกำหนดทิศทางของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม สำหรับปัจจัยรองซึ่งเป็นหัวข้อของปัจจัยหลักของจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค สามารถนำมาสร้างเป็นรูปแบบของ TOWS Matrix ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 TOWS Matrix วิเคราะห์กลยุทธ์ของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

ปัจจัยภายใน ปัจจัยภายนอก	จุดแข็ง (Strengths)	จุดอ่อน (Weaknesses)
	S2: มีนโยบายและแผนการพัฒนาที่ชัดเจน S1: มีหน่วยงานและบุคลากรที่รับผิดชอบงานอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ S3: มีหน่วยงานกำหนดมาตรฐานกลางยุทธโศปกรณ์	W3: การยอมรับในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของผู้ใช้ W1: บุคลากรยังขาดความรู้และประสบการณ์ในการบริหารจัดการ ในเชิงธุรกิจรวมถึงการพัฒนาทรัพยากรบุคคลที่ดี W5: ขาดองค์กร/ระบบงานการผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์เพื่อนำผลงานวิจัย ไปสู่ภาคการผลิตโดยเอกชน
โอกาส (Opportunities)	มาตรการเชิงรุก	มาตรการเชิงแก้ไข
O2: ข้อตกลงระหว่างประเทศที่เอื้อประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรม O5: ผู้ใช้ให้ความสำคัญกับสินค้าที่มีมาตรฐาน O4: การลงทุนโครงสร้างพื้นฐานของรัฐ	SO	WO
อุปสรรค (Threats)	มาตรการเชิงป้องกัน	มาตรการเชิงรับ
T6: ขาดการวิจัยและพัฒนาต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ T3: ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น T1: มาตรการกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษี (NTB : Non Tariff Barrier) เช่น เรื่องการจัดการกากอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม	ST	WT

จากตาราง TOWS Matrix สามารถนำมากำหนดกลยุทธ์ในการพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมของ อุตสาหกรรมป้องกันประเทศ ดังต่อไปนี้

มาตรการเชิงรุก (SO) กำหนดนโยบายและแผนการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศโดยทำข้อตกลงระหว่าง ประเทศที่มีอยู่แล้วเพื่อเอื้อประโยชน์ต่อการพัฒนา

มาตรการเชิงแก้ไข (WO) การยอมรับในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของผู้ใช้เป็นสิ่งที่ทำให้ต้องชะลอตัวถึงแม้ว่าจะมี ข้อตกลงระหว่างประเทศที่เอื้อประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรม

มาตรการเชิงป้องกัน (ST) กำหนดนโยบายและแผนการพัฒนาศักยภาพการวิจัยและพัฒนาของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศอย่างต่อเนื่องที่มีความเชี่ยวชาญเพื่อลดการพึ่งพาเทคโนโลยีต่างประเทศ

มาตรการเชิงรับ (WT) การยอมรับในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของผู้ใช้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ขาดการวิจัยและพัฒนาต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศจำเป็นต้องใช้เท่าที่มีอยู่อย่างจำกัด

6. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยการเพิ่มขีดความสามารถด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถด้านเทคโนโลยี (Technology Capability) ของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของไทยในปัจจุบันและความต้องการ (Needs) ของผู้ประกอบการในการพัฒนากำลังคน ด้านความรู้และทักษะที่สำคัญโดยนำเสนอในรูปแบบของแผนงานในการเพิ่มขีดความสามารถด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ

6.1 สรุปความสามารถด้านเทคโนโลยี (Technology Capability) และความต้องการ (Needs) การพัฒนากำลังคนด้านความรู้และทักษะที่สำคัญ

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกของผู้บริหาร สรุปได้ว่า ประเภทของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของประเทศไทยที่มีขีดความสามารถสูงสุด คือ ภาคอุตสาหกรรมต่อเรือที่หน่วยงานภาครัฐและเอกชนมีขีดความสามารถรวมทั้งดำเนินการร่วมกับภาคเอกชนจากต่างประเทศซึ่งความสามารถด้านเทคโนโลยี (Technology Capability) ที่ต้องส่งเสริมประกอบด้วย เทคโนโลยีหุ่นยนต์ (Robotics) และปัญญาประดิษฐ์ (AI) จำเป็นต้องอยู่บนพื้นฐานความเป็นมาตรฐานทางทหารเช่นเดียวกับอุตสาหกรรมการบินโดยความต้องการ (Need) ในการพัฒนากำลังคนด้านความรู้และทักษะจำเป็นต้องพัฒนาอย่างเร่งด่วนจากสถาบันการศึกษาผ่านการดำเนินนโยบายออฟเซต (Offset Policy) มุ่งเน้นทักษะเฉพาะด้านในระดับปริญญาตรีหรือต่ำกว่าเพื่อสามารถปฏิบัติงานในประเภทอุตสาหกรรมกลุ่มอาวุธกระสุนและวัตถุระเบิด กลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ กลุ่มอุตสาหกรรมทางทะเล กลุ่มอุตสาหกรรมอากาศยาน กลุ่มเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กลุ่มเครื่องช่วยฝึก กลุ่มอุปกรณ์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

6.2 สรุปแนวทางการเพิ่มขีดความสามารถด้านเทคโนโลยี และเตรียมการพัฒนากำลังคน

ผลจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญในการให้ความสำคัญกับจุดแข็งจุดอ่อนโอกาสและอุปสรรคต่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมโดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น (AHP: Analytic Hierarchy Process) เพื่อนำมากำหนดกลยุทธ์จากการสร้างตาราง TOWS Matrix ประกอบด้วยมาตรการเชิงรุกกำหนดนโยบายและแผนการพัฒนาศักยภาพอุตสาหกรรมป้องกันประเทศโดย ทำข้อตกลงระหว่างประเทศที่มีอยู่แล้วเพื่อเอื้อประโยชน์ต่อการพัฒนา มาตรการเชิงแก้ไขการยอมรับในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของผู้ใช้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ต้องชะลอตัวถึงแม้ว่าจะมีข้อตกลงระหว่างประเทศที่เอื้อประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรม มาตรการเชิงป้องกันกำหนดนโยบายและแผนการพัฒนาศักยภาพการวิจัยและพัฒนาของอุตสาหกรรมป้องกันประเทศอย่างต่อเนื่องที่มีความเชี่ยวชาญเพื่อลดการพึ่งพาเทคโนโลยีต่างประเทศ มาตรการเชิงรับการยอมรับในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของผู้ใช้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ขาดการวิจัยและพัฒนาต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศซึ่งจำเป็นต้องกำหนดมาตรการเชิงรุกเพื่อให้เกิดการผลักดันในอุตสาหกรรมป้องกันประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ควรระดมความคิดเห็นด้วยการจัดสัมมนากลุ่มเพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงแผนและปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ให้สอดคล้องต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป

7.2 การกำหนดจุดแข็งจุดอ่อนโอกาสและอุปสรรคควรมีคำอธิบายเพื่อให้เกิดความเข้าใจในทิศทางที่ตรงกันสำหรับการกำหนดกลยุทธ์ในแต่ละกลยุทธ์

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณประเภทงบดำรงคุณสมบัติอาจารย์ประจำปี 2564 เพื่อการตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการในการดำรงคุณสมบัติอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร ตามเกณฑ์ที่สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมกำหนด นอกจากนี้ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะเพื่อให้งานวิจัยมีความครบถ้วนสมบูรณ์

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] จุฬาลักษณ์ กองเพชร. (2559). การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการคัดเลือกบรรจุภัณฑ์ของบริษัทผลิตเลนส์และกล้องถ่ายรูป. การค้นคว้าอิสระหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรมภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [2] ดนัยศักดิ์ หงส์พันธุ์. (2560). การประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นสำหรับการเลือกสถานที่ตั้งรีสอร์ทในเขตอำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [3] นพรัตน์ นุ่มศิริ. (2564). การตัดสินใจเลือกรูปแบบในการจัดการมูลฝอยของกองทัพอากาศ ณ ที่ตั้งดอนเมือง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ. ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2564.
- [4] แผนปฏิบัติการด้านการพัฒนา วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรมป้องกันประเทศ (พ.ศ. 2563-2580) กระทรวงกลาโหม.
- [5] ยุทธศาสตร์การพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี อุตสาหกรรมป้องกันประเทศกระทรวงกลาโหม พ.ศ.2560 – 2579 (ฉบับเผยแพร่).
- [6] รัฐจัน ฐิตชาติธนวังศ์. (2557). การจัดลำดับปัจจัยความสำคัญในการเลือกเครื่องจักรโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น กรณีศึกษาโรงผลิตเครื่องประดับ. วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [7] วิชญ มั่งคั่ง. (2560). แนวทางการพัฒนาอุตสาหกรรมป้องกันประเทศภายใต้กรอบยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี. วารสารสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ. ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2560.
- [8] พลตรีเอกชัย หาญพูนวิทยา. (2560). เอกสารวิจัยวิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร เรื่อง การขับเคลื่อนกิจการอุตสาหกรรมป้องกันประเทศของประเทศไทยให้เป็นรูปธรรม.
- [9] Shinno, H., Yoshioka, H., Marpaung, S., and Hachiga S. (2006). Quantitative SWOT analysis on global competitiveness of machine tool industry. Journal of Engineering Design. Vol.17. pp. 251-258.
- [10] Mofofeng, T. & Mativenga, P.T., (2020). Analysis of aircraft maintenance processes and cost, Procedia CIRP. 90. 467-472.
- [11] Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
- [12] Kusonwattana, P., Liangrokapart, J. "Efficiency Enhancement in Rail Freight Service in Thailand Using Servqual Model". 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), Bangkok, Thailand, 2020, pp. 847-853, doi: 10.1109/ICIEA49774.2020.9102020.
- [13] Raka C., Liangrokapart J. (2017). An Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach to Risk Analysis: A Case Study of a New Generic Drug Development Process. Journal of Pharmaceutical Innovation, 12, p. 319-326.
- [14] Nitisaroj, Y., Liangrokapart, J. (2020). Third party logistics providers: Sustainability performance measurement framework. International Journal of Logistics Systems and Management, 37(3), pp. 352-370.

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากกาแฟ

A study of absorption capacity of zinc ions onto coffee residue activated carbon

^{1*}อภิชาติ จินนแพทย์ และ ^{2#}เอื้อมพร รัตนสิงห์

¹ภาควิชาวัสดุศาสตร์ทางการทหาร โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

²ภาควิชาเคมี-ฟิสิกส์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1*}Apichart Jinnapat and ^{2#}Auamporn Rattanasing

¹Department of Military and Aerospace Materials Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

²Department of Chemistry-Physics Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

* apichart_jin@rtaf.mi.th, # auamporn_r@rtaf.mi.th

Received : October 31, 2021

Revised : December 13, 2021

Accepted : December 18, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสังกะสีไอออน (Zn^{2+}) ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากกาแฟ โดยการกระตุ้นทางเคมีและการคาร์บอนไนซ์ ถ่านกัมมันต์ที่ได้ทำการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพในรูปของค่าการดูดซับไอโอดีน ตามมาตรฐาน ASTM D4607 - 94(2011) พื้นที่ผิวจำเพาะ BET ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ยตามมาตรฐาน ASTM D6556 - 10 สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากกาแฟ คือโดยใช้การกระตุ้นด้วย H_3PO_4 และเผาที่อุณหภูมิ $450\text{ }^{\circ}C$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุดเท่ากับ 587 mg/g พื้นที่ผิวจำเพาะ BET เท่ากับ $1,201\text{ m}^2/\text{g}$ ปริมาตรรูพรุนรวมเท่ากับ $0.799\text{ cm}^3/\text{g}$ และขนาดรูพรุนเฉลี่ย 2.71 nm นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสีไอออน (Zn^{2+}) พบว่า ความเข้มข้นของสังกะสีไอออน เท่ากับ 144 ppm และระยะเวลาการดูดซับที่ 24 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้สามารถดูดซับสังกะสีไอออน ได้เท่ากับ 3.771 mg/g

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์, กากกาแฟ, การดูดซับสังกะสีไอออน

Abstract

This research was focused on the adsorption capacity of zinc ion (Zn^{2+}) from activated carbon derived from coffee residue via chemical activation and carbonization processes. The derived activated carbon was characterized in physical terms of porosity, iodine adsorption capacity (followed by ASTM D4607 - 94(2011)), specific surface area, total pore volume and average pore diameters (followed by ASTM D6556 - 10). The optimum conditions were synthesized of activated carbon from coffee residue as follow: using H_3PO_4 as the activator, the activation temperature of $450\text{ }^{\circ}C$ and activation time of 3 hrs. The characteristics of the derived activated carbon produced under optimum conditions were an iodine number of 587 mg/g , specific surface area of $1,201\text{ m}^2/\text{g}$, total

pore volume of $0.799 \text{ cm}^3/\text{g}$ and average pore diameters of 2.71 nm. In addition, this research was studied the optimum condition for the adsorption of zinc ions by the derived activated carbon. The optimum conditions were composed of the concentration of lead (II) ions at 80.619 ppm and stirring time at 3 hrs.

Keywords: activated carbon, coffee residue, the adsorption of lead (II) ions

1. บทนำ

ตลาดกาแฟมีการขยายตัวอย่างมากในช่วงปี 2554 -2558 ทำให้เกษตรกรทำรายได้ปีละประมาณ 5,500 ล้านบาท [1] นอกจากนี้ในปี 2563 ตลาดกาแฟมีมูลค่า 356.57 พันล้านดอลลาร์ และคาดว่าจะสูงถึง 471.86 พันล้านดอลลาร์ในปี 2570 โดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ย 4.1% ซึ่งสอดคล้องกับการบริโภคกาแฟของคนไทยที่มีการบริโภคกาแฟในปี 2563 ประมาณการค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 300 แก้วต่อคนต่อปี และเมื่อเปรียบเทียบกับมีการบริโภคของประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น (400 แก้วต่อคนต่อปี) หรือฝั่งยุโรป (600 แก้วต่อคนต่อปี) และยังพบว่า พฤติกรรมการดื่มกาแฟของคนไทยเปลี่ยนไปค่อนข้างมากจากการดื่มเพื่อความสดชื่นสู่การดื่มเพื่อป้องกันโรคภัยไข้เจ็บและรสนิยมเฉพาะของตนสะท้อนให้เห็นว่า ความต้องการบริโภคกาแฟมีแนวโน้มเติบโตมากขึ้น [2] และได้มีการนำกากกาแฟที่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ เช่น การปรับปรุงคุณภาพของดิน [3] ผลิตภัณฑ์ชุดสปา [4] เชื้อเพลิงอัดแท่ง [5] และถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ เป็นวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเหมือนกับถ่าน แต่มีพื้นที่ผิวสูงกว่าเนื่องจากโครงสร้างที่มีรูพรุนแตกแขนงจำนวนมากและขนาดของรูพรุนเล็กระดับ microporosity ทำให้ความสามารถในการดูดซับสารต่างๆ ได้เพิ่มมากขึ้น จึงนิยมนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในการสกัดโลหะ ทำน้ำให้บริสุทธิ์ และหน้ากากกรอง [6] รวมทั้งนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เช่น การดูดซับสีย้อมผ้า [7] สารมลพิษในน้ำ [8] และโลหะหนัก [9] โดยในปี 2562 พบว่า คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินยังคงมีความเสื่อมโทรมส่วนใหญ่อยู่ในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ทำให้การระบายน้ำเสียเกินศักยภาพรองรับของแต่ละแหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน [10] ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียควรพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

กองทัพอากาศมีการกิจที่หลากหลายนอกเหนือ จากภารกิจหลักในการป้องกันประเทศแล้ว ยังมีการกิจด้านการสนับสนุนอื่นๆ ในบางกิจกรรมก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ เช่น กองโรงงาน 3 กรมสรรพาวุธ กองทัพอากาศ (กรว.3 สพ.ทอ.) เป็นหน่วยงานที่มีการกิจในการผลิตสร้างซ่อมดัดแปลงตัว ลูกกระเบิด ลูกระเบิดและชิ้นส่วนที่เป็นโลหะของจรวด ย่อมลีสปลอก กระสุน และน้ำเสียของกิจกรรมที่มีโลหะหนักปนเปื้อน เช่น สังกะสี ไอออน เลด (II) ไอออน ปัจจุบันน้ำเสียที่เกิดขึ้นถูกรวบรวมลงในถังพัก และมีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น ดังนั้นควรมีการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำกากกาแฟเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นใช้เองภายในประเทศ ลดต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์และสามารถใช้ลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียและเพิ่มมูลค่าของกากกาแฟอีกด้วย

2. ขอบเขตงานวิจัย

- 2.1 น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์จากสารเคมีที่ใช้จริงของ กรว.3 สพ.ทอ.
- 2.2 โลหะหนักที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับ คือ สังกะสี ในรูปของสังกะสีไอออน (Zn^{2+})
- 2.3 การวิเคราะห์คุณภาพของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ การวิเคราะห์พื้นที่ผิวสัมผัสของถ่านกัมมันต์ (BET) และค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ตามมาตรฐาน ASTM D4607 - 94(2011) Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณของสังกะสีไอออน โดยเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ธาตุ Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP- OES)

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ถ่านกัมมันต์ (ถ่านกรองประสิทธิภาพสูง) คือ ถ่านที่มีความพรุนสูงมาก ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์หรือการก่อกัมมันต์ โดยการนำวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น เปลือกไม้ ฝัสด่านหิน กะลามะพร้าว ซึ่งกระบวนการผลิตมี 2 วิธีคือ การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ โดยการนำไม้หรือวัสดุใกล้เคียงไม้อื่นๆ เช่นกะลามะพร้าวมาผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์ โดยการเผาและอัดแรงดันที่อุณหภูมิสูงๆ และการกระตุ้นด้วยสารเคมี นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ในการใช้ดูดซับสารต่างๆ การกำจัดคลอรีน การดูดสี และการกำจัดโลหะหนัก เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของการดูดซับ ลักษณะสารดูดซับ ค่าพีเอช อุณหภูมิ และเวลาในการสัมผัส

การก่อกัมมันต์ คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น สำหรับการก่อกัมมันต์ทางเคมี (chemical activation) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีนั้น มีข้อดีคือ ใช้อุณหภูมิที่ไม่สูงมาก ($400-600\text{ }^{\circ}\text{C}$) แต่มีข้อเสียคือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมี ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) [11] ในกระบวนการการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก โดยกรดฟอสฟอริกสามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของวัสดุดิบได้อย่างสม่ำเสมอและการใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลนั้นทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดการขยายตัว ส่งผลให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างหลังจากการให้ความร้อน

ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) เป็นค่าสำคัญที่ใช้บอกถึงประสิทธิภาพในการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์ ในหน่วยมิลลิกรัม (ของไอโอดีน) /น้ำหนักถ่าน 1 กรัม นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์ยังขึ้นอยู่กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดและปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์อีกด้วย

การวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนัก ใช้เครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) คือ การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุต่างๆ ในสารตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์ได้ 70 ธาตุ ใช้ประโยชน์ในการทดสอบตัวอย่างด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม วิทยาศาสตร์การแพทย์ เช่น การหาปริมาณธาตุในดิน การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่เป็นพิษในสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์หาชนิดแร่ธาตุในชั้นดินและหิน การวิเคราะห์หาแคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ในอาหารทะเล ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพวิเคราะห์และเชิงปริมาณวิเคราะห์

ัญญาลักษณ์ เกียรติธนาสกุล [12] ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสด้วยวิธีทางกายภาพเพื่อกำจัดตะกั่ว โดยการนำเปลือกไม้ยูคาลิปตัส มาทำการคาร์บอนไนซ์ พบว่าภาวะที่เหมาะสม คือที่อุณหภูมิ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 45 นาที โดยการใช้ไอน้ำเป็นตัวกระตุ้นที่อุณหภูมิ $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 120 นาที ถ่านที่ได้มีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร $0.37\text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}$ ค่าการดูดซับไอโอดีน 694 mg/L และพื้นที่ผิวแบบบีอีที (BET) $794\text{ m}^2/\text{g}$ การศึกษาความสามารถในการดูดซับตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกั่ว $10-15\text{ mg/mol}$ พบว่า การดูดซับสูงสุดของถ่านกัมมันต์ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 และการดูดซับเข้าสู่สมดุลภายในเวลา 30 นาที ตลอดช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักที่ใช้ในการทดลองที่ $10 - 50\text{ mg/L}$

อภิปรียา คงสุวรรณ [13] ศึกษาการก่อกัมมันต์จากสารละลายผสมของทองแดงและตะกั่ว โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) มาดูดซับน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักของทองแดงและตะกั่ว โดยค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมในการดูดซับคือ พีเอช 5 และอัตราเร็วในการดูดซับสูงสุดในการดูดซับทองแดงและตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.45 และ 0.53 mmol/g ความสามารถในการดูดซับพบว่า ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับตะกั่ว

ได้มากกว่าทองแดง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟริกและอุณหภูมิจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและทองแดงสูงขึ้น

Namane และคณะ [14] ได้สังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากของเมล็ดกาแฟ โดยใช้ $ZnCl_2$ ผสมกับ H_3PO_4 เป็นตัวกระตุ้น และนำถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาการดูดซับฟีนอล อนุพันธ์ของฟีนอล และสีต่าง ๆ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีผู้จำหน่ายพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากเมล็ดกาแฟมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า

4. การดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟด้วยกระบวนการคาร์บอนไนซ์และกระตุ้นทางเคมี และศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสังกะสีไอออนของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 4 ขั้นตอน ดังนี้

4.1 การเตรียมวัตถุดิบ ประกอบด้วยการเตรียมกากกาแฟและการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ดังนี้

การเตรียมกากกาแฟ โดยการเก็บรวบรวมกากกาแฟจากร้านกาแฟร้านใน จ.พระนครศรีอยุธยา จำนวน 2 กิโลกรัม นำมาหาค่าความชื้น และนำมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นกรองและนำไปอบที่อุณหภูมิ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการนำสารเบรนนเนอร์ไรต์ (Brennerite) และลอคเคเรเตอร์ (Lokereter) ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สำหรับการวิจัยนี้ปริมาตร 1 ลิตร โดยการนำสารเบรนนเนอร์ไรต์ (Brennerite) 30 cm^3 และสารลอคเคเรเตอร์ (Lokereter) 0.3 cm^3 โดยมีการเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร แล้วบรรจุลงขวดแก้วสีชา

4.2 การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

ซึ่งกากกาแฟที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ประมาณ 20 กรัม แล้วเติมกรด H_3PO_4 ความเข้มข้น 6.123 mol/L ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีการกวนและกระตุ้นด้วยเครื่องสั่นความถี่สูงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อมานำไปเผาที่อุณหภูมิ $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาล้างฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) ด้วยวิธีการสกัดแบบซอกเซต (soxhlet extraction) แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4.3 การวิเคราะห์คุณภาพของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ ซึ่งประกอบด้วยการหาค่าไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine Number) ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 (2011) และการหาพื้นที่ผิวจำเพาะ BET ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ย

4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่สังเคราะห์ได้ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

4.4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสีไอออน

เตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออน ความเข้มข้น 0.5, 3, 10, 20 และ 50 ppm นำมาวัดค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออนด้วยเครื่อง ICP-OES ที่ความยาวคลื่น 213.8 nm และสร้างกราฟมาตรฐานที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออนกับค่าความเข้มแสง

4.4.2 การศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีไอออนที่เหมาะสมของการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์

1) นำน้ำเสียสังเคราะห์ข้างต้นมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออน พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้นเท่ากับ 75, 144, 272, 454 และ 733 ppm ตามลำดับ

2) ตวงน้ำเสียสังเคราะห์ จำนวน 100 cm^3 และเติมถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จำนวน 0.5 g จากนั้นกวนแบบช้าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (อัตราเร็วในการกวนประมาณ 120 รอบต่อนาที)

3) นำมากรอง แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออน โดยใช้เครื่อง ICP-OES

4.4.3 การศึกษาระยะเวลาการกวนที่เหมาะสมของการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์

1) นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหมาะสมจากข้อ 6.4.2 จำนวน 100 cm^3

- 2) เติมน้ำมันที่สกัดได้จากจำนวน 0.5 g จากนั้นกวนแบบช้าเป็นเวลา 3, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง
- 3) นำมากรอง แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออน โดยใช้เครื่อง ICP- OES

5. ผลการวิจัย

5.1 การหาค่าความชื้นของกากกาแฟ

นำกากกาแฟที่เก็บรวบรวมได้มาชั่งน้ำหนัก 10 กรัม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 °C จนน้ำหนักคงที่ และนำมาคำนวณหาความชื้นของกากกาแฟพบว่า กากกาแฟตัวอย่างที่นำมาอบเพื่อหาปริมาณความชื้นที่อุณหภูมิ 103 ± 2 °C มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 10.1717 ± 0.0468 %

5.2 การสังเคราะห์น้ำมันจากกากกาแฟ

การสังเคราะห์น้ำมันจากกากกาแฟ โดยการกระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และใช้ความถี่สูง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า ปริมาณน้ำมันที่สังเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลผลิตร้อยละของการสังเคราะห์น้ำมันจากกากกาแฟ ที่อุณหภูมิ 450 °C

ระยะเวลา	น้ำหนัก	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1 ชั่วโมง	ก่อนเผา (g)	20.0012	20.0015	20.0009
	หลังเผา (g)	14.8915	14.9932	14.7582
	ผลผลิตร้อยละ	74.4530	74.9604	73.7877
	ค่าเฉลี่ย	74.4004 ± 0.5881		
2 ชั่วโมง	ก่อนเผา (g)	20.0013	20.0007	20.0009
	หลังเผา (g)	14.7443	14.6713	14.6139
	ผลผลิตร้อยละ	73.7167	73.3539	73.0662
	ค่าเฉลี่ย	73.3790 ± 0.3260		
3 ชั่วโมง	ก่อนเผา (g)	20.0005	20.0009	20.0010
	หลังเผา (g)	14.6973	14.5934	14.5523
	ผลผลิตร้อยละ	73.4847	72.9637	72.7579
	ค่าเฉลี่ย	73.0687 ± 0.3746		

จากตารางที่ 1 แสดงผลผลิตร้อยละของการสังเคราะห์น้ำมันจากกากกาแฟที่กระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่า ผลผลิตร้อยละมีค่าเท่ากับ 74.4004 ± 0.5881 , 73.3790 ± 0.3260 และ 73.0687 ± 0.3746 ตามลำดับ และน้ำมันที่ได้นั้นมีค่าผลผลิตร้อยละมากที่สุด ดังนั้นระยะเวลาการเผาเพิ่มขึ้น จะได้ปริมาณผลผลิตร้อยละของน้ำมันที่ลดลง

7.3 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันจากกากกาแฟ

น้ำมันจากกากกาแฟที่กระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 (2011) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิ 450 °C

ระยะเวลาเผา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)
1	376
2	300
3	587

จากตารางที่ 2 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่กระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่า ที่ระยะเวลาเผา 3 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด เท่ากับ 587 mg/g และที่ระยะเวลาเผา 1 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับไอโอดีนน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 376 mg/g ดังนั้นระยะเวลาเผาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ที่อุณหภูมิ 450 °C ระยะเวลา 3 ชั่วโมง จึงนำถ่านกัมมันต์นี้มาวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ BET ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ย พบว่า มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ได้ เท่ากับ 1201 m^2/g ปริมาตรรูพรุนรวม เท่ากับ 0.79 cm^3/g และค่าขนาดของรูพรุนเฉลี่ย เท่ากับ 2.71 nm จึงได้นำค่าเหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ได้จากสารกระตุ้นต่าง ๆ [15] ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากสารกระตุ้นต่าง ๆ กับถ่านกัมมันต์ ที่เผาที่อุณหภูมิ 450 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชนิดของสารกระตุ้น	พื้นที่ผิวจำเพาะ BET (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุนรวม (cm^3/g)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (nm)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)
ZnCl ₂	511.55	0.25	2.20	655
H ₃ PO ₄	259.53	0.14	2.19	320
H ₂ SO ₄	44.84	0.02	2.04	180
KOH	28.34	0.02	2.04	124
H ₃ PO ₄ และเผา 450 °C	1201	0.79	2.71	587

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าการใช้สารกระตุ้นด้วย H_3PO_4 , H_2SO_4 , KOH และ NaOH แต่มีค่าน้อยกว่าการกระตุ้นด้วย ZnCl₂ นอกจากนี้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ BET และปริมาตรรูพรุนรวมยังมีค่าสูงอีกด้วย ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโลหะหนักได้ดี และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยขนาดเล็ก (micropore) คือ มีค่ารัศมีของรูพรุนไม่เกิน 15 nm แสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย H_3PO_4 และเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลได้ดี จึงเหมาะสมในการนำมาใช้ในการดูดซับสังกะสีไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

7.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่สังเคราะห์

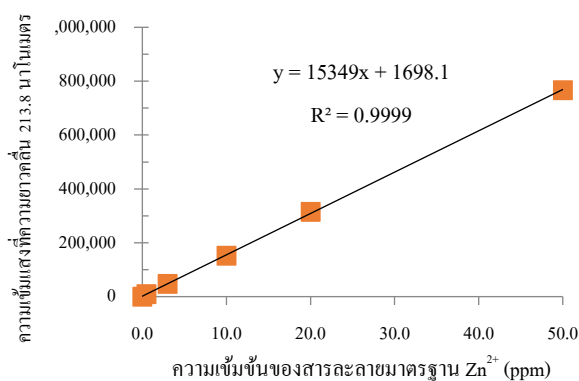
7.4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสีไอออน

นำสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออนความเข้มข้น 0.5, 3, 10, 20 และ 50 ppm นำมาวัดค่าความเข้มแสงที่ความยาวคลื่น 213.8 nm ด้วยเครื่อง ICP- OES ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออน ที่ความยาวคลื่น 213.8 nm

ความเข้มข้นของ Zn^{2+} (ppm)	ความเข้มแสง
0.5	9129.95
3	47921.98
10	152496.95
20	315233.14
50	767076.78

จากตารางที่ 4 แสดงค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออน ที่ 0.5, 3, 10, 20 และ 50 ppm ที่ความยาวคลื่น 213.8 nm เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานและค่าความเข้มแสงได้กราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสีไอออน

จากรูปที่ 1 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออนที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมนเท่ากับ 0.9999 และพบว่า สมการเชิงเส้นตรงของกราฟคือ $y=15349x + 1698.1$ เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้ (ก่อนการเจือจาง) มาวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออน พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนเจือจางเท่ากับ 1287 ppm

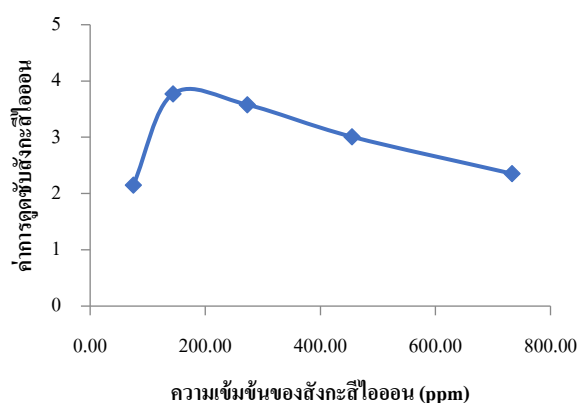
7.4.2 การศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีไอออนที่เหมาะสมของการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 75, 144, 273, 455 และ 733 ppm ตามลำดับ มาศึกษาการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ โดยการกวนด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมารองและนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออน ด้วยเครื่อง ICP-OES ที่ความยาวคลื่น 213.8 nm ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของการดูดซับ สังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์

ความเข้มข้นของสังกะสีไอออน (ppm)	ค่าการดูดซับสังกะสีไอออน (mg/g)
75	2.151
144	3.771
273	3.580
455	3.010
733	2.354

จากตารางที่ 5 แสดงค่าการดูดซับสังกะสี ด้วยถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้นของสังกะสีไอออนเท่ากับ 75, 144, 273, 455 และ 733 ppm และเมื่อนำค่าการดูดซับสังกะสีด้วยถ่านกัมมันต์มาสร้างความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีไอออน ได้กราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ค่าการดูดซับสังกะสีไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นของ Zn^{2+} ต่างๆ

จากรูปที่ 2 แสดงค่าการดูดซับสังกะสีไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นของสังกะสีไอออนที่ 75, 144, 273, 455 และ 733 ppm พบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นรูปประพงค์ว่า แสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้สามารถดูดซับสังกะสีไอออนสูงสุดที่ความเข้มข้น 144 ppm มีค่าดูดซับสังกะสีไอออน เท่ากับ 3.771 mg/g และนำผลดังกล่าวมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

7.4.3 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 144 ppm มาศึกษาการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้ระยะเวลาการกวนที่ 3, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที แล้วนำมากรองและวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออน ด้วยเครื่อง ICP-OES ที่ความยาวคลื่น 213.8 nm ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของการดูดซับ สังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์

เวลาการกวน (ชั่วโมง)	3	6	12	18	24
ค่าการดูดซับสังกะสีไอออน (mg/g)	2.015	2.126	1.633	2.014	3.771

จากตารางที่ 6 แสดงค่าการดูดซับสังกะสี ด้วยถ่านกัมมันต์ ที่ระยะเวลาการดูดซับ เท่ากับ 3, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่า ค่าการดูดซับสังกะสีด้วยถ่านกัมมันต์ที่เวลา 24 ชั่วโมง มีความการดูดซับสูงที่สุด และที่เวลา 12 ชั่วโมง มีความการดูดซับน้อยที่สุด ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสีไอออนที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ คือ ความเข้มข้นของสังกะสีไอออน เท่ากับ 144 ppm และระยะเวลาการดูดซับที่ 24 ชั่วโมง

6. สรุป

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการนำกากกาแฟที่เหลือทิ้งมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียด้วยการนำกากกาแฟมาวิเคราะห์หาค่าความชื้น แล้วนำมากระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และเผาที่อุณหภูมิ $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ที่ระยะเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพของถ่านกัมมันต์ด้วยการหาค่าการดูดซับไอโอดีน และค่าพื้นที่ผิว BET จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติที่ดีที่สุดมาศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสีไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการศึกษาที่ความเข้มข้นของสังกะสีไอออนเท่ากับ 75, 144, 273, 455 และ 733 ppm และระยะเวลาการกวนที่ 3, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ดังนี้

6.1 ค่าความชื้นของกากกาแฟตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.1717%

6.2 การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ พบว่า ที่ระยะเวลาเผา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ได้ผลผลิตร้อยละของถ่านกัมมันต์โดยน้ำหนักเท่ากับ 74.4004, 73.3790 และ 73.0687 ตามลำดับ

6.3 การวิเคราะห์คุณภาพถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

6.3.1 การหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ พบว่า การเผา 3 ชั่วโมง ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และมีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 587 mg/g และมีลักษณะทางกายภาพเป็นสีดำ ดังนั้นการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมคือ การเผาที่อุณหภูมิ $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และใช้เป็นตัวแทนของการศึกษาการดูดซับสังกะสีไอออนต่อไป

6.3.2 การหาค่าพื้นที่ผิว BET ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และเผาที่อุณหภูมิ $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ BET เท่ากับ $1,201\text{ m}^2/\text{g}$ ปริมาตรรูพรุนรวมเท่ากับ $0.799\text{ cm}^3/\text{g}$ และขนาดรูพรุนเฉลี่ย 2.71 nm

6.4 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่สังเคราะห์

ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่สังเคราะห์สามารถดูดซับสังกะสีไอออนได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 3.580 mg/g ที่สภาวะความเข้มข้นของสังกะสีไอออนที่ 144 ppm และระยะเวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมง

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ควรทำการทดลองต่อยอดโดยการเพิ่มอุณหภูมิการเผาถ่านกัมมันต์ให้สูงขึ้นเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถ่านกัมมันต์

7.2 ควรทดลองนำถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ไปทำการทดสอบการดูดซับกับโลหะชนิดอื่นต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. (2561). ยุทธศาสตร์กาแฟ ปี 2560 – 2564. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพืชสวน.
- [2] วรธีรพันธ์ ชุมประเสริฐ และคณะ. (2563). กาแฟคุณภาพ...ทางออกของเกษตรกรไทย. แบ่งปันความรู้...สู่ภูมิภาค. (2): 1-3.
- [3] ปัทมา หาญนอก, ภารดี ธรรมากิจ และกฤษฎา สารหงส์. (2563) การตรวจสอบเบื้องต้นลักษณะทางกายภาพของข้าวโพดปลูกในดินที่ประกอบด้วยกากกาแฟ. วารสารผลิตภัณฑ์การเกษตร. 2(3): 63-72.

- [4] อนุชา เสดานอก, ชีระยุทธ เฟื่องชัย และมาริญา ทรงปัญญา. (2561). การศึกษาแนวทางการนำกากกาแฟมาใช้เป็นวัตถุดิบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุดสปา. *วารสารวิจัยการออกแบบแห่งเอเชีย*. 1(1): 45-53.
- [5] นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล และพัชร ปรีดาสุริยะชัย. (2558). การศึกษากากกาแฟและกากขามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*. 7(13): 15-26.
- [6] ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก. (2558). ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่: ตลาดยังมีความต้องการสูง?. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 23(6): 945-954.
- [7] วิจิตรอง แสงอรุณเลิศ. (2558). การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกไข่และเปลือกหอยแครงโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*. 7(7): 97-110.
- [8] ชีรดิษฐ์ โพธิ์ตันติมงคล. (2560). ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยการกระตุ้นทางเคมีเพื่อประยุกต์ใช้กำจัดสารมลพิษในน้ำ. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 8(1): 196-214.
- [9] พัชร คำธิดา และธนกรกาญจน์ ลิ้มเลิศเจริญนิช. (2562). การบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยกรดอะซิติกพร้อมกับการดูดซับโลหะหนักด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 27(1): 56-67.
- [10] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2564). รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2563. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: หนึ่งเก้าสองเก้า.
- [11] จวีวรรณ เฟื่องพิทักษ์. (2562). ถ่านกัมมันต์. สารานุกรมกรมวิทยาศาสตร์บริการ, กุมภาพันธุ์.
- [12] ธัญญาลักษณ์ เกียรติธนาสกุล. (2552). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสด้วยวิธีทางกายภาพเพื่อกำจัดตะกั่ว (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- [13] อภิปริยา คงสุวรรณ. (2552). การคืนสภาพทองแดงจากสารละลายผสมของทองแดงและตะกั่ว. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- [14] Namane A., et. al. (2005). Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with $ZnCl_2$ and H_3PO_4 . *Journal of Hazardous Materials*, B119: 189–194.
- [15] เกศศิริ เหล่าวัชรสุวรรณ. (2552). การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*. 29(2):116-131.

การออกแบบระบบป้องกันการกัดเซาะดินริมตลิ่งด้วยกระสอบเส้นใยธรรมชาติประสาน น้ำยางพาราและหญ้าแฝก บริเวณพื้นที่ ตำบลหนองบัว อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง

Designing a riverbank soil erosion prevention system with natural fiber bag mixed with latex and vetiver grass in the area of Nong Bua Subdistrict, Ban Khai District, Rayong Province

^{1*} อริสมันต์ แสงธงทอง และ ^{2#} สมพงษ์ บุตรงาม

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา กองวิศวกรรมไฟฟ้าและโยธา กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1*} Arissaman Sangthongtong and ^{2#} Sompong Butngam

^{1,2} Civil Engineering Department Division of Education Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

*arissaman@rtaf.mi.th, #sompong_bu@rtaf.mi.th

Received : August 18, 2021

Revised : October 28, 2021

Accepted : November 17, 2021

บทคัดย่อ

ตำบลหนองบัว อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง ประสบปัญหาการกัดเซาะดินริมตลิ่ง อันเนื่องมาจากปัจจัยภายใน คือ ชั้นดินมีลักษณะเป็นดินร่วนที่เกิดจากตะกอนลำนํ้าหรือวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อหยาบ โดยเนื้อดินเป็นจำพวกดินร่วนละเอียดที่มีเนื้อดินชั้นบนเป็นดินร่วนปนทราย ส่วนดินชั้นล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และปัจจัยภายนอก คือ แรงกระแทกของน้ำฝน, แรงดันน้ำในตลิ่ง, สถานการณ์น้ำท่วม น้ำแล้ง และอื่น ๆ ทำให้ในบริเวณที่ดินมีความลาดชันสูง จะเกิดปัญหาการกัดเซาะและการชะล้างพังทลายของหน้าดินมาก สร้างความเดือดร้อนต่อประชาชนในพื้นที่ ดังนั้นการป้องกันการกัดเซาะของดิน จึงเป็นสิ่งสำคัญในการอนุรักษ์หน้าดินและดินขอบตลิ่ง ให้มีการพังทลายน้อยที่สุดและใช้เวลาในการเกิดการพังทลายของหน้าดินช้าที่สุด ในปัจจุบันมีการแก้ไขปัญหการกัดเซาะ โดยการคาดคอนกรีต, การเรียงหินหน้าตลิ่ง หรือการสร้างเขื่อนป้องกันตลิ่งพัง ซึ่งเป็นวิธีการแก้ไขที่ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมาเป็นวงกว้าง ดังนั้นบทความนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบระบบการกัดเซาะดินริมตลิ่ง โดยใช้หลักการธรรมชาติช่วยธรรมชาติ พร้อมน้อมนำหลักการแก้ไขดินเปรี้ยว, โครงการฝ้าห่มดิน และโครงการปลูกหญ้าแฝกของพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร มาเป็นต้นแบบเทคโนโลยี โดยเลือกใช้วัสดุท้องถิ่น ที่เป็นวัสดุจากธรรมชาติ 100% ประกอบไปด้วย กระสอบเส้นใยธรรมชาติ น้ำยางพารา และหญ้าแฝก (พันธุ์สุราษฎร์ธานี และพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์) เป็นวัสดุหลัก โดยกระสอบเส้นใยธรรมชาติ และน้ำยางพาราทำหน้าที่เป็นโครงสร้างคอมโพสิตที่ใช้ยึดหน้าดิน สำหรับการปลูกหญ้าแฝกจะปลูกในช่องว่างของกระสอบ โดยใช้หลักการดอกเส้าเข็มสั้น ซึ่งประยุกต์จากวิศวกรรมฐานราก โดยให้รากลงไปยึดกับชั้นดินแต่ละชั้น เพื่อทำหน้าที่ป้องกันดินในระยะยาวต่อไป (หลังจากระบบคงอยู่แล้ว หญ้าแฝกจะมีการงอกขึ้นมาเองได้จากกระบวนการธรรมชาติ) หลังจากกระสอบ และน้ำยางธรรมชาติย่อยสลายไปตามกาลเวลา

คำสำคัญ: กระสอบเส้นใยธรรมชาติ, ยางพารา, หญ้าแฝก, ดั้งกลม, ฝ้าห่มดิน

Abstract

At Nong Bua Subdistrict, Ban Khai District, Rayong Province facing problems with erosion of riverbank soil due to the internal factors that are the soil layer is loamy caused by river sediment or coarse parent soil. The soil texture is a type of fine loam with sandy loam on the topsoil and sandy clay loam on the subsoil. The soil reaction is high acidic, the drainage is good to good moderate and low abundance. For the external factors are the impact of the rain, water pressure on the riverbank, including flooding and drought situations. As a result, high slope areas are faced on a high risk of erosion on the topsoil which causing troubles for the people who live in Nong Bua Subdistrict, Ban Khai District. Therefore, soil erosion prevention is important for soil conservation and soil along the riverbank to have the least erosion and take the slowest time for topsoil erosion. Nowadays, there are many solutions to solve these problems by concrete lining, placed riprap in front of the riverbank or build a dam to prevent the riverbank from collapsing which these solutions are not environmentally friendly thus causing widespread environmental impacts. For these reasons, this article will focus on the design of riverbank soil erosion systems by using natural principles to conserve nature along with applying the principle of acid soil correction, erosion control blankets, and the vetiver grass planting project of His Majesty King Bhumibol Adulyadej Maha Bhumibol Adulyadej the Great as a model of technology by using local materials which are 100 % natural materials that consist of hemp bags, latex and vetiver grass (Surat Thani species and Prachuap Khiri Khan species) as the main material. Hemp bags and latex will be used as a composite structure to anchor the topsoil. For planting vetiver grass in the bag spaces will use the principle of short pile driving which applied from foundation engineering in order to anchor roots to each soil layer to continue protecting the soil in the long term (After the system is stable, vetiver grass can grow on its own with natural processes) after the bags and natural latex decomposes over time.

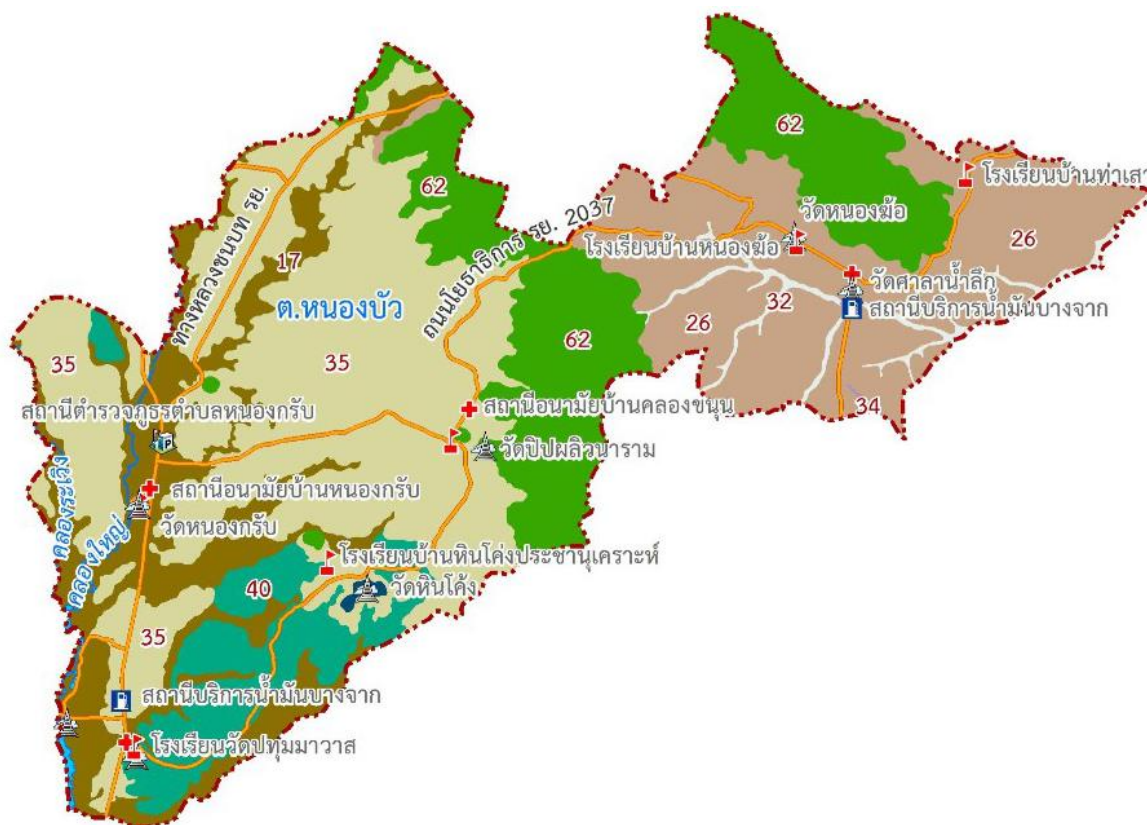
Keywords: Natural fiber bag, Rubber tree, Vetiver Grass, Bank collapse, Bio-Blanket

1. บทนำ

ปัจจุบันแหล่งน้ำในประเทศไทยประสบปัญหาการกัดเซาะที่ค่อนข้างรุนแรง ส่งผลให้เกิดการรुकืบของลำน้ำเข้ามาบนแผ่นดิน และทำให้สูญเสียพื้นที่รอบลำน้ำส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การสูญเสียพื้นที่ทางการเกษตร, การสูญเสียความสามารถในการระบายน้ำลงสู่แม่น้ำ เป็นต้น โดยเฉพาะพื้นที่ลำน้ำที่เป็นแหล่งชุมชนหรือแหล่งท่องเที่ยว ซึ่งทั้งภาครัฐ และภาคเอกชน ได้ดำเนินการจัดทำแนวป้องกันตลิ่ง เพื่อลดความรุนแรงของการพังทลาย และชะลอการกัดเซาะของตลิ่งอย่างต่อเนื่อง

ตัวอย่างพื้นที่ศึกษาที่ได้รับการกัดเซาะ คือ ตำบลหนองบัว อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง ชั้นดินมีความหลากหลายแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ บางจุดเป็นภูเขา บางจุดเป็นที่ราบลุ่ม ซึ่งสภาพโดยรวม ชั้นดินมีลักษณะเป็นดินร่วนที่เกิดจาก

ตะกอนล้นน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดดินเหนียวขาด โดยเนื้อดิน เป็นจำพวกดินร่วนละเอียดที่มีเนื้อดินชั้นบนเป็นดินร่วนปนทราย ส่วนดินชั้นล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ทำให้ในบริเวณที่มีความลาดชันสูงจะมีปัญหาเกี่ยวกับการชะล้างพังทลายของหน้าดินมาก [1] ดังแสดงตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนที่ขึ้นดิน ตำบลหนองบัว อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง [1]

จากรูปที่ 1 ชั้นดินของตำบลหนองบัว อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง แบ่งออกเป็น 7 ประเภท ดังนี้

กลุ่มชุดดินที่ 17 (สีน้ำตาลเข้ม) เป็นกลุ่มดินร่วนหยาบที่เกิดจากตะกอนลำนํ้า มีชั้นแน่นที่ปลายในความลึก 100 ซม. จากผิวดิน ดินล่างเป็นชั้นดินแน่นที่บิเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ปฏิภานดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นด่างเล็กน้อย การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ พบในบริเวณที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ ส่วนใหญ่มีนํ้าแข็งในช่วงฤดูฝน เป็นดินลึกที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็ว มีจุดประสีเหลืองหรือสีน้ำตาลแดงบางแห่งอาจมีศิลาแลงอ่อนปะปนอยู่ด้วย มีปฏิภานดินเป็นกรดจัดมากถึงด่างปานกลาง

กลุ่มชุดดินที่ 35 (สีเขียวย้ำ) เป็นกลุ่มดินร่วนหยาบลึกปานกลางที่เกิดจากการสลายตัวหรือพัดพาตะกอนเนื้อหยาบมาทับถมบนชั้นหินผุในช่วงความลึก 50-100 ซม.จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง พบบริเวณพื้นที่ดอน ที่มีสภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีการระบายน้ำดีปานกลาง เนื้อดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วน ส่วนดินชั้นล่างในระดับความลึก 50-100 ซม.เป็นดินเหนียว สีดินบนเป็นสีน้ำตาล ดินล่างเป็นสีน้ำตาลปนเทา บางแห่งมีจุดประสีแดงและมีสีลาแสงอ่อนปะปนอยู่จำนวนมาก ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง

กลุ่มชุดคนที่ 40 (สีเขียวน้ำทะเล) เป็นกลุ่มชุดคนที่พบบริเวณหาดทรายเก่าหรือสันทรายชายทะเล เกิดจากตะกอนทรายชายทะเลพบบนพื้นที่ดอนที่มีสภาพค่อนข้างราบเรียบถึงเป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย ดินสีปนกลางถึงชั้นดานอินทรีย์

มีการระบายน้ำดีปานกลาง เนื้อดินเป็นทรายจัด สีดินบนเป็นสีเทาแก่อคลงไปเป็นทรายสีขาว และดินล่าง ระหว่างความลึก 50-100 ซม.เป็นชั้นที่มีการเชื่อมตัวกันแน่นแข็งเป็นชั้นดานอินทรีย์ มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดปานกลาง

กลุ่มชุดดินที่ 56 (สีน้ำเงิน) ดินลึกปานกลางถึงชั้นหิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง เกิดจากการสลายตัวของหินตะกอนหรือหินอัคนีแล้วถูกทับถม พบบริเวณพื้นที่ดอนซึ่งเป็นลูกคลื่นลอนลาดจนถึงเนินเขา เป็นดินลึกปานกลาง มีการระบายน้ำดี ดินตอนบนช่วง 50 ซม.เป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทรายกว่า 100 ซม.สีดินเป็นสีน้ำตาล ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง

กลุ่มชุดดินที่ 34 (สีม่วง) ดินด้านบนเป็นดินร่วนละเอียด ส่วนดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย เกิดจากการสลายตัวของหินตะกอนอยู่กึ่งที่ พบบริเวณพื้นที่ดอนซึ่งเป็นลูกคลื่นลอนลาดจนถึงเนินเขา เป็นดินลึกที่มีการระบายน้ำดีถึงปานกลาง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง ดินชั้นบนส่วนใหญ่จะมีปฏิกริยาเป็นกรดจัดถึงเป็นกลางส่วนดินล่างจะมีปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่างปานกลาง

กลุ่มชุดดินที่ 32 (สีฟ้าอ่อน) เป็นกลุ่มดินที่พบในเขตที่มีฝนตกชุก และเป็นพื้นที่ดินดอน ที่มีสภาพเรียบถึงเป็นเนินเขา ซึ่งเป็นดินที่ลึกมากแต่ระบายน้ำได้ดี เนื้อดินด้านบนเป็นดินร่วนปนทราย ส่วนด้านล่างเป็นดินเหนียวปนทราย ปฏิกริยาเป็นกรดจัดถึงกรดจัดมาก

กลุ่มชุดดินที่ 26 (สีน้ำตาลอ่อน) มักพบบริเวณใกล้กับเขาหินปูนหรือหินภูเขาไฟ จึงมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างมาก เป็นดินลึกที่มีการระบายน้ำได้ดีถึงปานกลาง เนื้อดินด้านบนเป็นดินเหนียว ส่วนชั้นล่างอาจพบชั้นปูนมาร์ล สีดินเป็นสีดําสีเทา หรือสีน้ำตาล ปฏิกริยาดินเป็นด่างถึงปานกลาง

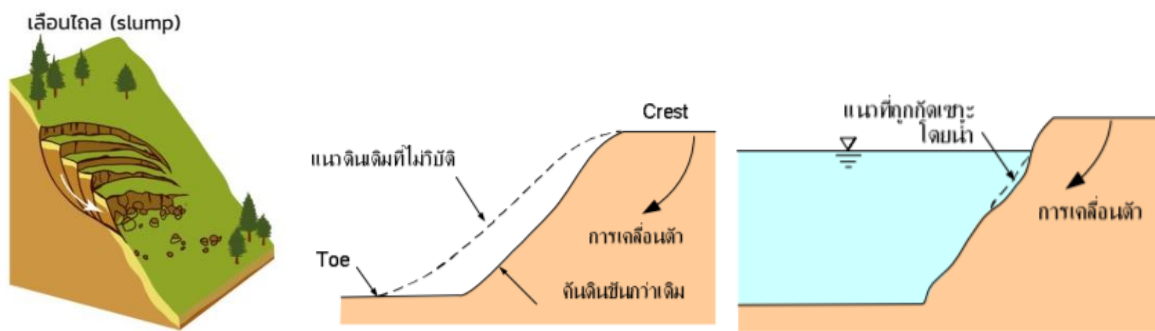
กลุ่มชุดดินที่ 62 (สีเขียว) ประกอบด้วยพื้นที่ภูเขา ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันไปตามแหล่งต้นกำเนิดจึงมีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกัน ส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยป่าไม้ ดินกลุ่มนี้ไม่ควรนำมาใช้ด้านการเกษตรเพราะจะส่งผลต่อระบบนิเวศของป่าไม้ได้

2. หลักการและเหตุผล

ตลิ่ง คือ แนวลาดดินของแม่น้ำลำคลอง มักเกิดการกัดเซาะจากการไหลผ่านของน้ำ ซึ่งเมื่อน้ำไหลผ่านจะทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนกระทำกับผิวดิน หากหน่วยแรงเฉือนมีขนาดสูงเกินกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของผิวดิน จะเกิดการพัดพาหรือกัดเซาะเอาผิวดินไหลหลุดออกไป ทำให้ตลิ่งเกิดทรุดตัวลง สาเหตุเกิดได้จากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแม่น้ำทำให้เกิดความต่างระดับของน้ำได้ดิน เช่น ระดับน้ำในแม่น้ำลดลงเนื่องจากเป็นฤดูแล้ง หรือเกิดจากความแรงของกระแสน้ำทำให้บริเวณทางน้ำโค้งวัดพังทลายด้วยกระแสน้ำในช่วงฤดูน้ำหลากตามธรรมชาติ หรือความคล้อยของลำน้ำที่ทำให้การไหลของน้ำรุนแรงจึงเกิดแรงเฉือนตลิ่งไปเรื่อย ๆ อีกทั้งยังมีสาเหตุจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างบริเวณริมน้ำ, การทำลายพืชคลุมดิน เป็นต้น [2]

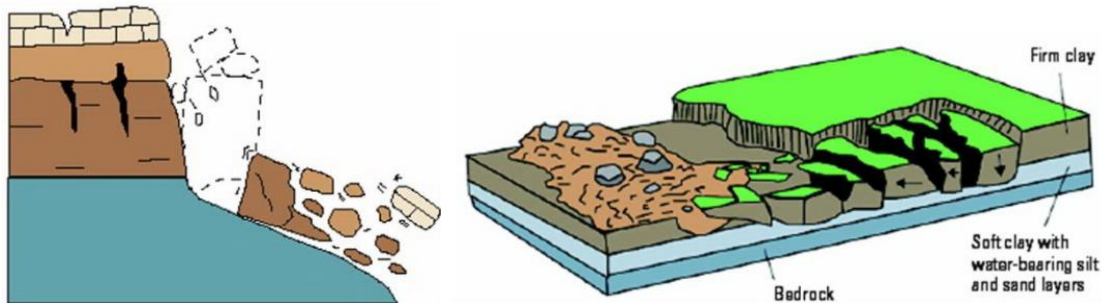
กระบวนการชะล้างพังทลายของดิน โดยพลังน้ำเริ่มต้นจากพลังงานของเม็ดฝนที่ตกลงมากระทบและปะทะกับหน้าดิน ทำให้อนุภาคดินที่ยึดเกาะกันอยู่เกิดการแตกแยกออกจากกันเมื่อมีปริมาณของฝนที่ตกมากขึ้นปริมาณของน้ำฝนนั้นจะรวมตัวกันเป็นน้ำไหลบ่าหน้าดิน และจากแรงของฝนที่ตกลงมาปะทะกับผิวน้ำที่ไหลบ่าหน้าดินจะทำให้เกิดการไหลของน้ำในลักษณะที่วกวนทำให้อนุภาคของดินเกิดการแตกกระจายมากขึ้นขณะเดียวกันอนุภาคของดินที่แตกกระจายก็จะถูกเคลื่อนที่ไปตามแนวราบหรือไปตามความลาดชันของพื้นที่ในลักษณะของการเคลื่อนที่ต่าง ๆ กัน เช่น กลิ้ง กระเด็น เคลื่อนหรือถูกพัดพาไปในสภาพแขวนลอยกับน้ำที่ไหลบ่าไปบนผิวดิน เป็นต้น โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินได้แก่ ปัจจัยเกี่ยวกับภูมิอากาศ, ภูมิประเทศ, ดิน, พืชพันธุ์ และกิจกรรมของมนุษย์ [3]

ฉะนั้นปัญหาตลิ่งทรุดตัว เป็นเหตุการณ์ที่ดินเกิดจากการเคลื่อนตัวของอนุภาคดิน จากจุดเดิมไปยังจุดใหม่ ซึ่งแต่ละปัจจัยที่ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินมีความเกี่ยวเนื่องกัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องศึกษารูปแบบการทรุดตัวหรือการวิบัติเพื่อหาแนวทางป้องกันแก้ไขต่อไป [3] สำหรับรูปแบบการทรุดตัวหรือการวิบัติของตลิ่ง มีดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 การวิบัติแบบเลื่อนไถล และแบบเป็นส่วนใหญ่ [4]

การวิบัติแบบเลื่อนไถล จะเกิดกับดินที่มีชั้นดินอ่อนแทรกอยู่ในชั้นดิน ส่วนการวิบัติแบบเป็นส่วนใหญ่ เกิดในชั้นดินที่เป็นดินเม็ดละเอียดและเป็นเนื้อเดียวกัน มี 3 รูปแบบ คือ การวิบัติเป็นส่วนใหญ่ของชั้นดินทั้งหมด, การวิบัติเป็นส่วนใหญ่ผ่านปลายชั้นดิน, และการวิบัติเป็นส่วนใหญ่ผ่านชั้นดิน



รูปที่ 3 การวิบัติแบบลื่นไถล และแบบแผ่ออกทางด้านข้าง [5]

การลื่นไถล เป็นการเคลื่อนที่ที่มีการหมุน หรือลื่นไถลลงมาตามลาดเขา มักพบที่เกิดเชิงหน้าผาดิน หรือหินที่มีรอยแตกรอยแยกมาก โดยกระบวนการเกิดดินถล่ม มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องน้อย หรือไม่น้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง

การแผ่ออกทางด้านข้าง ส่วนใหญ่เกิดจากความลาดชันน้อย และชั้นดินเป็นตะกอนขนาดเล็กที่อิ่มตัวด้วยน้ำ หรือจากการที่มีหินหรือดินที่แข็งและไม่อุ้มน้ำวางตัวอยู่บนชั้นดินที่อุ้มน้ำเมื่อชั้นดินที่อุ้มน้ำถูกทับด้วยน้ำหนักที่มากจะทำให้เกิดการไหลออกด้านข้าง ทำให้ชั้นดิน ชั้นหินที่อยู่ด้านบนแตกออกและยุบตัว

หลักการแก้ไขปัญหาดังกล่าวตามหลักวิศวกรรม คือ การจัดหาโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะ และเพิ่มเสถียรภาพของตลิ่ง ซึ่งมีหลากหลายวิธีการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ของการกัดเซาะของริมตลิ่งและผังเมือง, กรมทางหลวง, กรมชลประทาน, งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และอื่น ๆ (ที่มีใช้งานอยู่ในประเทศไทย) โดยมีรูปแบบการดำเนินงาน ดังนี้ [6], [7], [8]

1. การเรียงหินหน้าตลิ่ง (riprap) โดยการใช้หินก้อนใหญ่วางบริเวณตลิ่งที่เกิดการกัดเซาะบริเวณปลายของลาดคันทางสำหรับต้านแรงกระทำของกระแสน้ำ
2. การใช้ถุงปูนทราย (Sacked Soil Cement) โดยการใช้ถุงปูนซีเมนต์ผสมทรายวางบริเวณตลิ่งที่เกิดการกัดเซาะบริเวณปลายของลาดคันทางเช่นเดียวกับการเรียงหิน แต่ปูนซีเมนต์จะช่วยป้องกันไม่ให้ทรายหลุดไปกับกระแสน้ำ
3. การคาดตลิ่งด้วยฟูกคอนกรีต คือ การใช้ผ้าใยสังเคราะห์ผสมไมโครคอนกรีตทำให้มีลักษณะเป็นแผ่นและโครงสร้างเส้นใยรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับปูน มีความคงทนสูง
4. ถมถุงทรายและเสริมความแข็งแรงด้วยรั้วไม้ คือ การสร้างรั้วไม้ไปตามแนวคิ่งน้ำที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมถมทรายให้เป็นชั้นเพื่อลดความแรงของกระแสน้ำและรั้วไม้จะทำการพวงแนวถุงทรายและป้องกันวัสดุที่ลอยมากับน้ำกระแทกถุงทราย
5. ก่อตอม่อไม้บรรจุก้อนหินใหญ่/ถุงทราย นำก้อนไม้มาผูกด้วยลวดภายในก่อบรรจุหินหรือถุงทราย

6. การสร้างเขื่อนป้องกันคลื่นพัง โดยมีโครงสร้างของเสาเข็มและคานคอนกรีตเสริมเหล็กเพิ่ม เพื่อรับน้ำหนักโครงสร้าง มักใช้ร่วมกับวิธีการเรียงหินเพื่อป้องกันการกัดเซาะของน้ำ

7. กำแพงกันดิน การสร้างโครงสร้างคอนกรีตหรือคอนกรีตเสริมเหล็กในแนวดิ่ง สำหรับรับแรงกระทำด้านข้างจากลาดดินหลังกำแพงและป้องกันการกัดเซาะจากการไหลของน้ำ ในส่วนด้านล่างของกำแพงควรมีการเรียงหินเพื่อป้องกันการกัดเซาะใต้กำแพง

8. ผ้าห่มดิน การใช้เส้นใยธรรมชาติมาทำให้เป็นแผ่นแล้วประกบด้วยตาข่าย Polypropylene เพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้ทั้งแนวดิ่งและแนวนอนอย่างสม่ำเสมอ สามารถใช้ร่วมกับการปลูกพืชเพื่อกระตุ้นให้เมล็ดพืชงอกและเติบโตได้ ผ้าห่มดินสามารถทำหน้าที่ทดแทนพืชคลุมดินในการป้องกันน้ำกัดเซาะระหว่างที่พืชยังไม่เจริญเติบโตเพียงพอที่จะยึดหน้าดินไว้ได้

9. กระสอบมีปีก ทำการพัฒนาโดยบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) [9] ร่วมกับมูลนิธิชัยพัฒนา นำกระสอบพลาสติก Polypropylene มาทำเป็นผืน มีรูปแบบการเย็บระหว่างถุงกระสอบและปีก โดยเป็นการเย็บแบบเข็มคู่เข้ากับปีกของกระสอบอื่น ๆ เพื่อให้โครงสร้างถุงกระสอบมีความเหนียว แข็งแรง และทนทานกว่ากระสอบทั่วไป

นอกจากนี้ วิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีป้องกันการกัดเซาะตลิ่งโดยใช้วัสดุหรือพืชที่หาได้ในท้องถิ่น เรียกว่า “Soil Bioengineering” อาศัยความรู้ด้านชีววิทยาและนิเวศศาสตร์ ในการใช้พืชหรือส่วนของพืชมาปลูกบริเวณหน้าทางลาดหรือโครงสร้างดิน เพื่อเป็นการเพิ่มกำลังของดินริมตลิ่งและป้องกันการเกิดการเคลื่อนตัวของดิน วัสดุที่นำมาใช้ เช่น ท่อนไม้ขนาดใหญ่, หญ้าแฝก เป็นต้น วิธีนี้มีที่มาจากแนวคิดอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและเป็นที่ยอมรับในต่างประเทศ แต่ยังไม่เป็นที่นิยมในประเทศไทย [10]

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเส้นใยธรรมชาติที่มีการกระจายตัวและการยึดติดที่ดีเมื่อประสานด้วยน้ำยางพารา [11] มีความต้านทานแรงกระทำและความต้านทานแรงดึงสูงและสามารถดูดความชื้นได้มากขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำยางพารา [12] อย่างไรก็ตามน้ำยางพาราสามารถนำไปใส่สารเติมแต่งเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ต้องการ แต่จะย่อยสลายในสภาวะแวดล้อมที่มีความเป็นกรด-ด่าง และความร้อนจากแสงแดด [13] สำหรับการศึกษาการติดตั้งผ้าห่มดินจากเส้นใยธรรมชาติร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก ก่อให้เกิดแรงเชื่อมแน่นของดินเข้าด้วยกันทำให้กำลังรับแรงเฉือนมีค่ามากขึ้น จึงสามารถทนต่อการถูกกัดเซาะได้ดี สามารถป้องกันการชะล้างและกัดเซาะของลาดดิน [14]

สำหรับน้ำยางพารา เป็นผลผลิตที่ได้จากต้นยางพารา มีสีขาวขุ่น ในน้ำยางพารา ประกอบไปด้วยเนื้อยางแห้ง, น้ำ และสารแขวนลอย เมื่อนำน้ำยางไปปั่นเหวี่ยง จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60% เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) ทั้งนี้จะมีการเติมสารแอมโมเนียลงไปเพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นานและนำไปใช้ขึ้นรูปเป็นวัสดุต่าง ๆ และอาจมีการใส่สารเติมแต่งอื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆ ก่อนนำไปใช้งาน [15] ด้วยคุณสมบัติเด่นของน้ำยางพารา คือ ความยืดหยุ่น สามารถทนต่อแรงดึงและความเหนียว จึงมีการวิจัยของกรมชลประทานในการนำน้ำยางพาราไปผสมกับปูนซีเมนต์ โดยใช้เป็นวัสดุเคลือบผิวคลอง สำหรับการบำรุงรักษาแนวชลประทาน พบว่า คอนกรีตผสมน้ำยางพาราสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงได้มากขึ้น และสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ดีขึ้น [16]

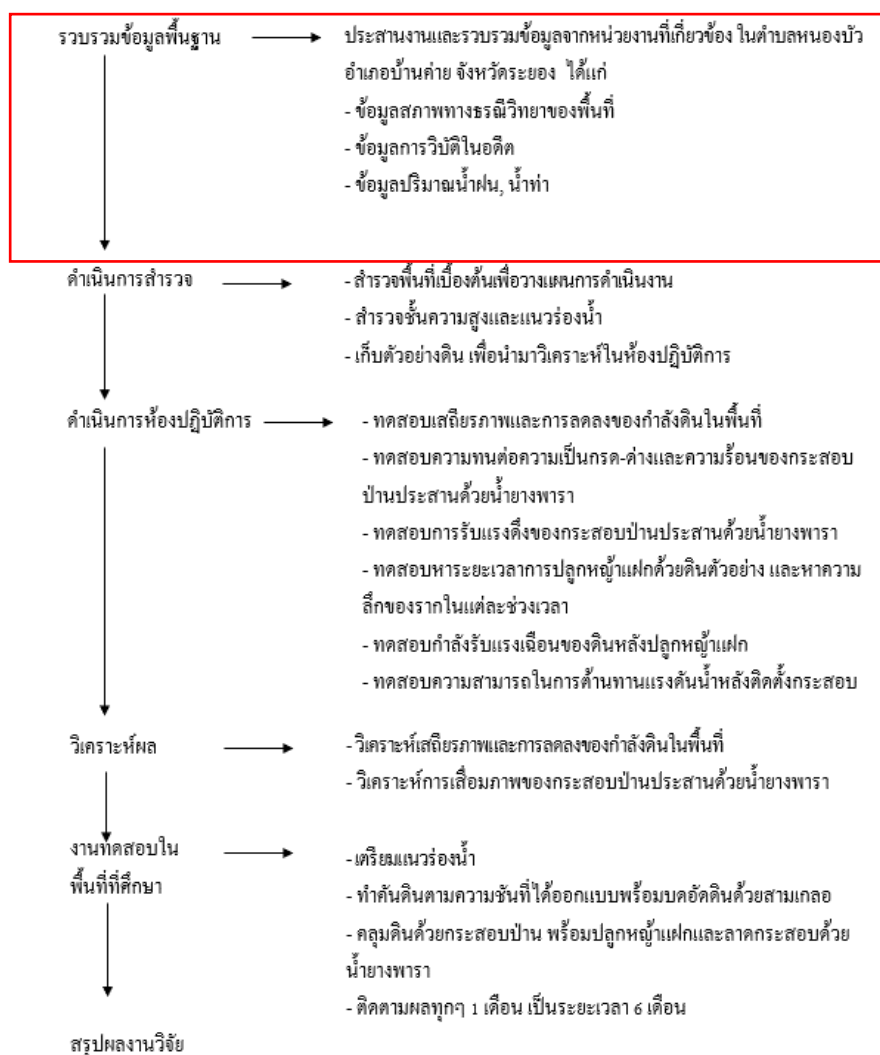
กระสอบเส้นใยธรรมชาติ ได้จากการนำพืชมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ ให้ได้เส้นใยและนำไปทอเป็นผืน เช่น ฟ้าย, ปอกระเจา, ป่านศรนารายณ์ เป็นต้น เส้นใยธรรมชาติมีความเหนียว และความยืดหยุ่นสูง จึงมีคุณสมบัติต้านทานแรงดึง และมีการวิจัยเส้นใยธรรมชาติ โดยนำมาใช้เป็นวัสดุคอมโพสิตแทนเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งกระสอบเส้นใยธรรมชาติ มีขนาดมาตรฐานที่ 29 x 43 นิ้ว น้ำหนักประมาณ 1.134 กิโลกรัม ถักเป็นเส้นยืนและเส้นพุ่งแนวละ 26 เส้น ในงานก่อสร้าง นิยมใช้กระสอบเส้นใยธรรมชาติในการบ่มคอนกรีต เมื่อแล้วเสร็จจะถูกขนไปทิ้ง และเข้าสู่กระบวนการฝังกลบต่อไป ซึ่งกระสอบยังคงมีสภาพดีอยู่สามารถนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีก [17] อย่างไรก็ตามการใช้วัสดุจากธรรมชาติ 100% จะไม่ก่อให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม แต่ปัญหาต่อมา คือ มีอายุการใช้งานที่จำกัด อาจมีระยะเวลาการใช้งาน 1-3 ปี ขึ้นกับสภาพแวดล้อมบริเวณนั้น ๆ หลังจากนั้นจะถูกย่อยสลายผุพังไปตามธรรมชาติต่อไป

หญ้าแฝกเป็นพืชเขตร้อน พบได้ตามธรรมชาติ โดยเป็นพืชตระกูลหญ้ามีลักษณะเป็นกอแน่น มีความสูงจากยอดประมาณ 0.5-1.5 ม. ใบแคบยาวประมาณ 75 ซม. เติบโตได้ง่ายและแตกกอรวดเร็ว ลำต้นค่อนข้างแข็ง ระบบรากของหญ้าแฝกลึกประมาณ 1.0-3.0 ม. (เปรียบได้กับการตอกเสาเข็มสั้น) และเป็นแนวตั้งแผ่ขยายด้านข้าง ประมาณ 50-60 ซม. จึงสามารถยึดติดกับดินได้ดี และกักเก็บความชื้นในระบบรากได้ นิยมนำมาปลูกเพื่อใช้เพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่ดินและรักษาหน้าดินสามารถนำมาปลูกติดกันเป็นรั้ว เพื่อกรองเศษพืชและตะกอนดิน [18]

3. วิธีดำเนินการ

3.1 ขอบเขตของบทความวิชาการ

การดำเนินการทบทวนทางวิชาการ เพื่อค้นหาเทคโนโลยีสำหรับการแก้ไขปัญหาตลิ่งถล่มด้วยการห่มดินจากวัสดุเส้นใยกระสอบธรรมชาติประสานน้ำยางพารา มี 6 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน 2) ดำเนินการสำรวจ 3) ดำเนินการทดสอบในห้องปฏิบัติการ 4) วิเคราะห์ผลการทดสอบ 5) ทำการทดสอบในพื้นที่จริง 6) สรุปการดำเนินการทบทวนทางวิชาการ โดยมีกรอบการดำเนินการทบทวนทางวิชาการ ดังแสดงในรูปที่ 4



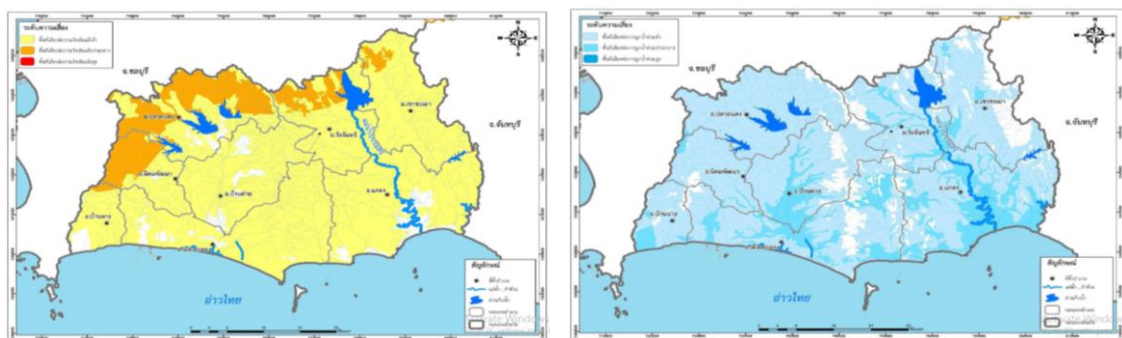
รูปที่ 4 แสดงกรอบการดำเนินการทบทวนทางวิชาการ

3.2 การทบทวนทางวิชาการ

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานอำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง พบว่า มีแม่น้ำระยองไหลผ่าน และไหลลงสู่ทะเลที่ตำบลปากน้ำอำเภอมืองระยอง และมีคลองหนองปลาไหลยาวประมาณ 42 กม.ตัดผ่าน โดยมีต้นน้ำจากเทือกเขาหน้าโจน, เขามพูน และเขาเรือแตกในเขตจังหวัดชลบุรี ซึ่งไหลมาตามห้วยและคลองต่าง ๆ เช่น คลองระเวียง, คลองกล่ำ, คลองปลวกแดง แล้วไหลมารวมกัน เรียกว่า คลองหนองปลาไหล แล้วไหลลงสู่คลองใหญ่ที่บ้านหัวทุ่ง ตำบลหนองบัว โดยอำเภอบ้านค่ายมีสถานที่กักเก็บน้ำ คือ ฝายบ้านค่าย ตำบลบางบุตร (พื้นที่ชลประทาน 30,000 ไร่)

สถานการณ์ด้านการขาดแคลนน้ำและภัยแล้งของอำเภอบ้านค่าย จากข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งของจังหวัดระยอง โดยกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ.2556 พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 80 มีปัญหาภัยแล้งในระดับต่ำ

สถานการณ์ด้านน้ำท่วมและอุทกภัย อำเภอบ้านค่าย มีพื้นที่เสี่ยงภัย ได้แก่ บริเวณชุมชนตลาดไผ่ล้อมในเขตสุขาภิบาลบ้านค่าย โดยในปี พ.ศ.2539 มีพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยประมาณ 2.26 ตร.กม.ซึ่งเกิดขึ้นในพื้นที่บริเวณสุขาภิบาล 2 บริเวณถนนอาทิตย์ประดิษฐ์ ถนนสุขาภิบาล 3 และสุขาภิบาล 6 โดยท่วมขังนาน 6-8 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบสถานการณ์ด้านการขาดแคลนน้ำ (ภัยแล้ง) และสถานการณ์ด้านน้ำท่วม [19]

จากข้อมูลข้างต้นพบว่า อำเภอบ้านค่าย มีโอกาสเกิดน้ำท่วมและอุทกภัยปานกลางถึงต่ำ และมีโอกาสเกิดการขาดแคลนน้ำและภัยแล้งต่ำ ฉะนั้นโอกาสการเกิดดินถล่ม หรือคลื่นพัง อาจเกิดได้จากแรงดันน้ำที่เข้ากระแทกกับตลิ่ง หรือเมื่อเกิดสภาวะฝนตกหนักในช่วงฤดูฝนประกอบกับเกิดสภาวะน้ำป่าไหลหลาก ทำให้เกิดภาวะน้ำไหลล้นตลิ่งและท่วมในพื้นที่บริเวณตลิ่งและที่ลุ่ม โดยตารางที่ 1 ได้แสดงค่าสถิติภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนของระยอง และในตารางที่ 2 แสดงวันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดฤดูฝนในปีปกติ ปีเอลนีโญ และปีลานีญา ของจังหวัดระยอง โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนรายวัน

ตารางที่ 1 สถิติภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนของระยอง [20]

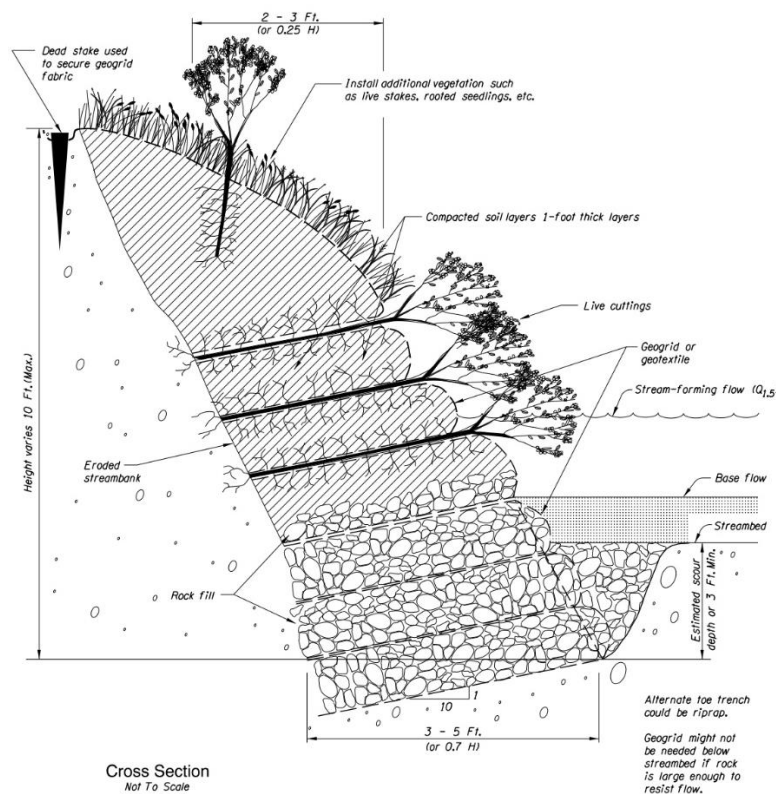
รายการ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รายปี
ฝน (mm)	19.6	38.7	66.7	83.4	191.8	167.7	163.5	131.8	263.1	203.9	66.5	4.6	1401.3
อุณหภูมิ (°C)	26.1	27.8	29.0	29.9	29.8	29.4	28.9	28.7	28.0	27.5	27.1	25.8	28.2
อุณหภูมิสูงสุด (°C)	31.9	32.5	33.3	34.1	33.7	32.9	32.4	32.2	32.0	32.2	32.6	32.0	32.7
อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	21.1	24.2	26.2	27.1	26.8	26.8	26.3	26.2	25.2	24.3	23.1	20.8	24.8
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	74	76	76	77	78	78	79	80	83	82	75	69	77
น้ำระเหย(mm)	139.9	140.4	170.8	169.6	148.5	141.7	147.6	146.3	115.2	120.0	140.7	151.8	1,732.5
ความยาวนานแสงแดด (hrs)	251.2	229.9	252.9	238.2	182.6	140.2	146.0	140.7	136.2	174.0	218.6	241.9	2,352.4

ตารางที่ 2 วันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดฤดูฝนในปีปกติ ปีเอลนีโญ และปีลานีญาของระยอง โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนรายวัน [20]

รายการ	วันเริ่มต้น ฤดูฝน	วันเริ่มต้น ฤดูฝนที่เร็วที่สุด	วันเริ่มต้น ฤดูฝนที่ช้าที่สุด	วันสิ้นสุด ฤดูฝน	วันสิ้นสุด ฤดูฝนที่เร็วที่สุด	วันสิ้นสุด ฤดูฝนที่ช้าที่สุด
ปีปกติ	17 พ.ค.	27 เม.ย.	17 ก.ค.	19 ต.ค.	23 ก.ย.	11 พ.ย.
ปีเอลนีโญ	29 พ.ค.	9 พ.ค.	30 มิ.ย.	28 ก.ย.	22 มิ.ย.	28 ต.ค.
ปีลานีญา	3 พ.ค.	2 เม.ย.	20 ก.ค.	11 ต.ค.	30 ก.ย.	4 พ.ย.

เมื่อทำการเปรียบเทียบเทคโนโลยีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวแล้วพบว่า ทุกวิธีเมื่อหมดอายุการใช้งาน จะสร้างมลพิษต่อดิน แหล่งน้ำ อากาศต่อไป เนื่องจากเป็นสิ่งแปลกปลอมที่นำเข้าสู่ระบบนิเวศ ซึ่งควรจะดำเนินการวิจัย วิธีป้องกันดังกล่าวเฉพาะวิธีนั้น ๆ เพื่อตรวจสอบคุณภาพดิน, น้ำ และอากาศ ในสภาวะก่อนสร้างเทคโนโลยีป้องกันดังกล่าว, ระหว่างสร้างเทคโนโลยีป้องกันดังกล่าว และหลังสร้างเทคโนโลยีป้องกันดังกล่าว ในระยะเวลา 1, 2, 3 ปี หรือเวลาคาดการณ์ เมื่อหมดอายุการใช้งานเพื่อนำไปพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นของระบบ ด้วยความที่เทคโนโลยีทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ใช้วัสดุสังเคราะห์ขึ้น ซึ่งไม่ใช่วัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ อีกทั้งยังมีอายุการใช้งานที่จำกัด เมื่อเทคโนโลยีนี้หมดอายุการใช้งาน จะสร้างมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมต่อไป จึงควรต้องการหาวัสดุทดแทนที่มาจากธรรมชาติ 100% หากหมดอายุการใช้งานแล้วก็สามารถย่อยสลายเป็นแร่ธาตุให้กับดินต่อไปได้ จึงมีแนวคิดการใช้กระสอบเหลือใช้จากการเกษตร หรือการก่อสร้าง และน้ำยางธรรมชาติ เพื่อเป็นวัสดุเคลือบผิวกระสอบและยึดกับชั้นดินต่อไป

ด้วยแนวคิดการใช้วัสดุธรรมชาติป้องกันตลิ่ง 100% จึงได้นำหลักการปลูกหญ้าแฝกของพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร ซึ่งสามารถใช้ข้อดีของหญ้าแฝกมาประยุกต์กับหลักการตอกเสาเข็มสั้น เพื่อรองรับน้ำหนัก และแรงกระทำได้ โดยสามารถนำมาใช้ทั้งในกรณีเสาเข็มสั้นแนวตรง และเสาเข็มสั้นแนวทแยง ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การปลูกพืชในแนวลาด [8]



รูปที่ 7 การปลูกหญ้าแฝกบริเวณขอบบ่อหรือแหล่งน้ำ [21]

สำหรับพันธุ์ของหญ้าแฝกที่เหมาะสมกับการปลูกในพื้นที่ภาคตะวันออก ได้แก่ พันธุ์สงขลา 3, พันธุ์สุราษฎร์ธานี, พันธุ์ราชบุรี และพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ ส่วนหญ้าแฝกที่ปลูกเพื่อแก้ปัญหาดินเปรี้ยวจัด ได้แก่ พันธุ์สุราษฎร์ธานี และพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์ หากไม่ถูกรบกวนโดยสัตว์กินพืช ภัยธรรมชาติ หรือมนุษย์ โดยประมาณจะมีอายุ 10 ปี และสามารถขยายพันธุ์ได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นข้อดีของเทคโนโลยีที่ได้คิดค้นขึ้น เนื่องจากสามารถป้องกันตลิ่งให้อยู่ในสภาพดีดั้งเดิมได้ โดยใช้กลไกธรรมชาติช่วยธรรมชาติ แม้ว่าเริ่มต้นอาจต้องมีการช่วยเหลือธรรมชาติ เพื่อเป็นแรงขับเคลื่อนระบบ [21]

4. งานวิจัยในอนาคต

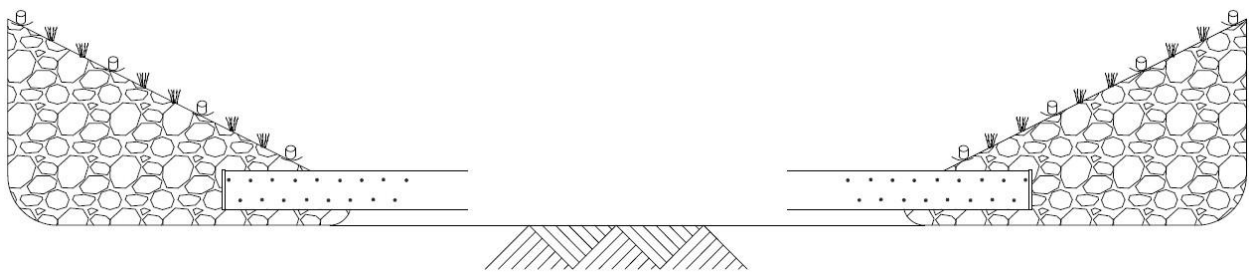
เทคโนโลยีป้องกันการกัดเซาะดินริมตลิ่งด้วยกระสอบเส้นใยธรรมชาติประสานน้ำยางพาราและหญ้าแฝก มีทั้งข้อดีและข้อเสียที่พบ โดยข้อดี คือ เป็นเทคโนโลยีที่ใช้วัสดุทางธรรมชาติ 100% ไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ไม่มีการใช้เครื่องจักรหนัก ใช้เพียงแค่แรงงานมนุษย์ เกิดการจ้างงานและสร้างอาชีพให้กับชาวบ้าน ราคาต่ำดำเนินการต่ำมาก เนื่องจากใช้ของเหลือใช้ทางการเกษตรและการก่อสร้าง อีกทั้งสามารถผลิตน้ำยางพาราสดได้ในพื้นที่ตนเอง โดยมีน้ำกรดหมักจากภูมิปัญญาของชาวบ้าน ที่ทำให้ยางแข็งตัว ในส่วนหญ้าแฝกสามารถขอรืบทดแทนกล้าได้ที่ สำนักงานเกษตร จังหวัดระยอง

สำหรับข้อเสีย คือ เทคโนโลยีนี้มีอายุการใช้งานจำกัด เนื่องจากวัสดุตั้งต้นจะเสื่อมสลายตามธรรมชาติ และใช้เทคโนโลยี Soil Bioengineering ทดแทนเทคโนโลยีดั้งเดิม ซึ่งอาจได้ผลลัพธ์ไม่ดีดั้งเดิม ถือว่าเป็นเทคโนโลยีไม่ถาวร และประสิทธิภาพการป้องกันตลิ่งไม่เทียบเท่าเทคโนโลยีถาวร อาทิเช่น เขื่อนป้องกันตลิ่ง เป็นต้น ซึ่งต้องมีการดูแลบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง

จะเห็นได้ว่า การดำเนินการเทคโนโลยีหนึ่ง ๆ จะให้ผลลัพธ์ในหลากหลายแง่มุม หากดำเนินการวิเคราะห์เป็นลำดับคะแนน จะพบว่า บางแง่มุมได้คะแนนดีครบ แต่อีกหลาย ๆ แ่งมุมได้คะแนนเป็นบวก ฉะนั้นในการดำเนินการเทคโนโลยีใหม่ ๆ ต้องวิเคราะห์ข้อดี ข้อเสีย ผลกระทบที่เกิดขึ้นให้รอบด้าน หากมองด้านเดียว เช่น การป้องกันตลิ่งแบบถาวร คงทน อยู่ได้นานมากกว่า 10 ปี แต่ในระดับจุลภาค ส่งผลกระทบต่อชีวภาพในน้ำ ปลาไม่มีแหล่งอาหาร เพราะไบโอฟิล์มไม่เกิดขึ้น ซึ่งนั่นแสดงว่าระบบนี้ยังไม่ดีเท่าที่ควรต้องคิดค้นขึ้นใหม่ให้เข้ากับสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ดังนั้นการศึกษานี้ได้นำเสนอแบบการก่อสร้างระบบป้องกันการกัดเซาะดินริมตลิ่งด้วยกระสอบเส้นใยธรรมชาติประสานน้ำยางพาราและหญ้าแฝก ดังแสดงในรูปที่ 8 - รูปที่ 13

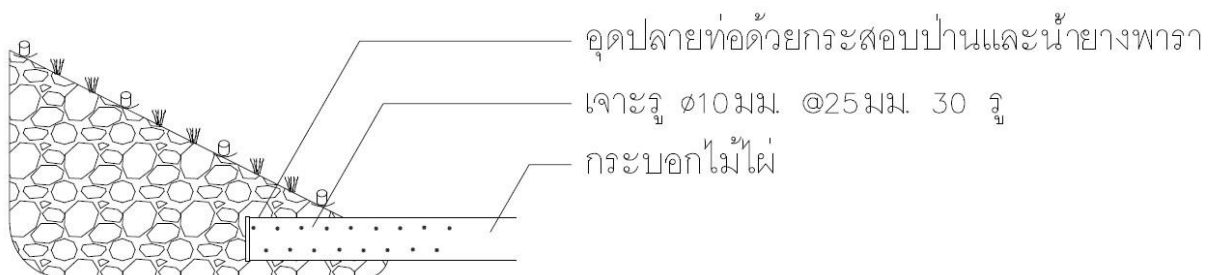
ขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันดินโคลนถล่ม

1. เจาะรูกระบอกไม้ไผ่ โดยที่ปลายกระบอกยัดกระสอบเส้นใยธรรมชาติ และน้ำยางพารา เพื่อป้องกันการรั่วซึม
2. ติดตั้งกระบอกไม้ไผ่ ที่ปลายของคันดิน เพื่อให้น้ำผิวดินแทรกซึมลงสู่ตลิ่งได้ ในทางกลับกันหน้าแล้งน้ำสามารถระเหยขึ้นคันดินได้เช่นกัน
3. ทำการบดอัดดินเดิมโดยใช้สามเกลอ หากผลที่ได้ทางห้องแล็บ พบว่า ดินเดิมไม่มีเสถียรภาพเพียงพอ ถึงแม้จะดำเนินการบดอัดแล้ว ให้ทำการโรยผิวหน้าดินด้วยผงปูนซีเมนต์ และบดอัดทับลงไป (ใช้หลักการ Soil Cement)
4. บริเวณติดตั้งหมอนกันดินแนวแกน X ขุดดินลึกลงไป 10 ซม.
5. เจาะรูกระสอบธรรมชาติ ขนาดมาตรฐาน 29 x 43 นิ้ว ตามระยะที่กำหนดในแบบ โดยรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม.
6. ปูกระสอบธรรมชาติ โดยทำการวางซ้อนกัน และยึดติดกับดินด้วยไม้หลัก และหินเรียง
7. ปลูกรูหญ้าแฝกพันธุ์ที่เจริญเติบโตดี และทนทานที่สุด (คัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีที่สุดจากห้องแล็บ ระหว่างพันธุ์สุราษฎร์ธานี และพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์)
8. ติดตั้งหมอนกันดิน ทั้งแนวแกน X และแกน Y
9. ราดน้ำยางพารา ผสมตัวเร่ง (น้ำส้มควันไม้ หรือน้ำหมักชีวภาพ) ลงไปที่พื้นที่ศึกษา
10. ติดตามผล และเผยแพร่เทคโนโลยี (หญ้าแฝกจะเจริญเติบโตทดแทนการเสื่อมสภาพของเทคโนโลยี)

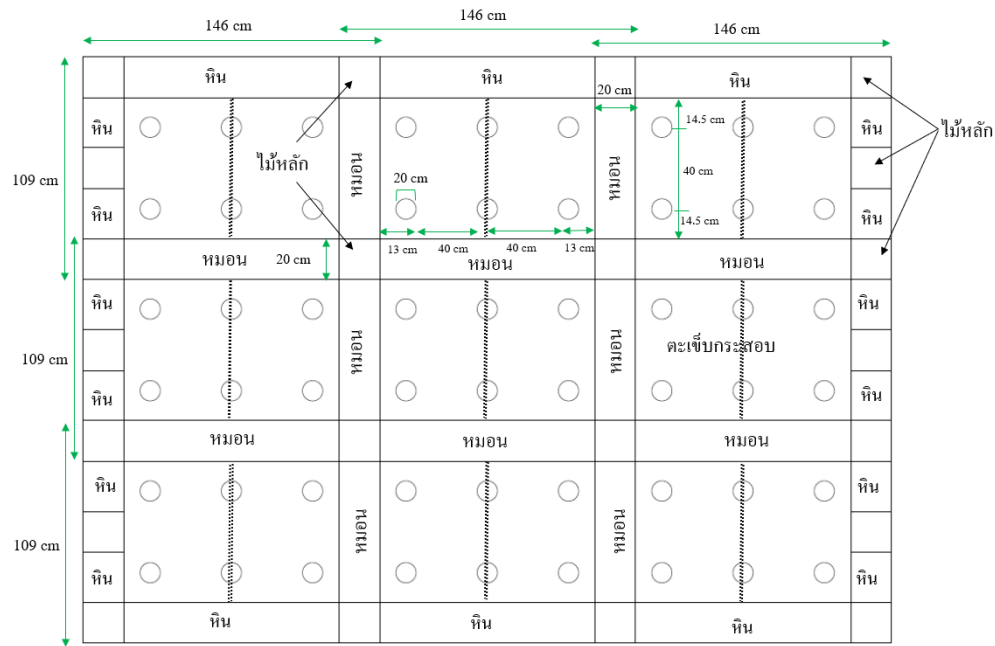


รูปที่ 8 ระบบป้องกันการกัดเซาะดินริมตลิ่ง

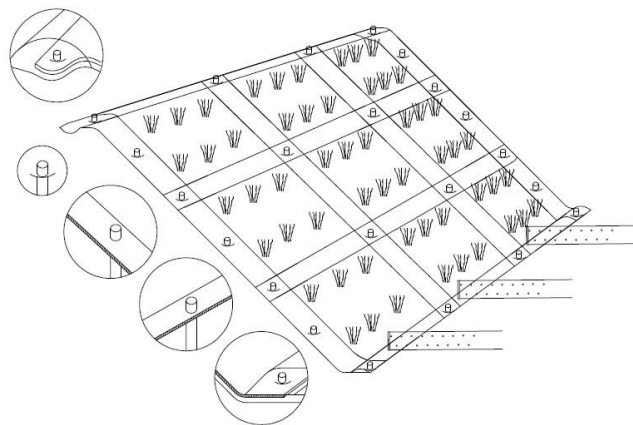
ทั้งนี้พื้นที่ท้องลิ่งอาจมีความตื้นลึกแตกต่างกัน และการดำเนินการติดตั้ง อาจจะไม่สามารถไล่น้ำออกจากพื้นที่ได้ ให้ดำเนินการเบี่ยงทางน้ำหรือกั้นทางน้ำเฉพาะส่วน เพื่อให้พื้นที่ ณ บริเวณนั้นยังคงความหลากหลายทางชีวภาพ หรือสูญเสียน้อยที่สุด และต้องเลือกไม้ไผ่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm. โดยทำการเจาะรู 1 cm. ทุกระยะห่าง 2.5 cm. จำนวนมากที่สุด 30 รู



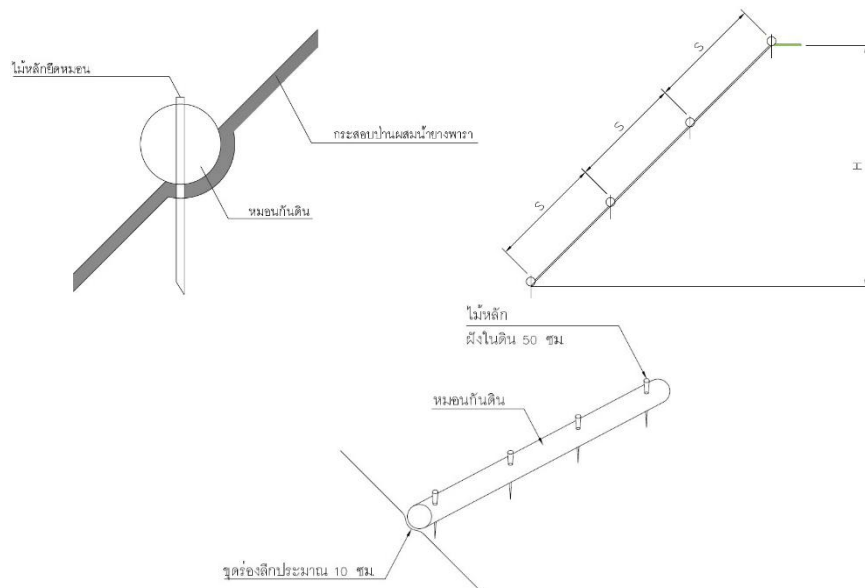
รูปที่ 9 ภาพขยายการติดตั้งกระบอกไม้ไผ่ เพื่อเป็นทางระบายน้ำ และความชุ่มชื้น



รูปที่ 10 ภาพด้านบนระบบป้องกันการกัดเซาะดินริมตลิ่ง



รูปที่ 11 ภาพขยายระบบป้องกันการกัดเซาะดินริมตลิ่ง



รูปที่ 12 (1) ภาพขยายการติดตั้งไม้หลัก (2) ภาพด้านข้างการติดตั้งไม้หลัก (3) ภาพขยายการติดตั้งหมอนกันดิน

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ประเทศไทยประสบปัญหาน้ำหลาก และน้ำท่วมอยู่บ่อยครั้ง ทำให้เกิดการกัดเซาะของดินริมตลิ่งตามมา นำไปสู่ปัญหาการรुकืบของลำน้ำ ทำให้สูญเสียที่ดินสำหรับการเกษตร พื้นที่อยู่อาศัย หรือการท่องเที่ยว อีกทั้งประเทศไทยมีการผลิตยางพาราเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ สามารถผลิตยางพาราได้มากที่สุดในภูมิภาคอาเซียน แต่ประเทศไทยมีความต้องการใช้ยางพาราภายในประเทศน้อย และไม่ได้นำมาสร้างมูลค่าเพิ่มหรือใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เท่าที่ควร จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาการแปรรูปยางพาราทั้งภายในประเทศและการส่งออก เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันระหว่างประเทศให้สูงขึ้น และด้วยสมบัติของน้ำยางธรรมชาติและกระบวนการแปรรูปยางพาราที่มีความทนทานต่อแรงดึง มีความเหนียว และความยืดหยุ่นสูง จึงเหมาะสมที่จะนำมาศึกษาการใช้งานร่วมกับเส้นใยจากธรรมชาติ

ทั้งนี้การติดตั้งวัสดุใยธรรมชาติร่วมกับการปลูกหญ้าแฝก ในระยะต้นเส้นใยธรรมชาติจะช่วยอนุบาลหญ้าแฝกเมื่ออยู่ในสถานะต้นกล้า แต่เมื่อหญ้าแฝกเจริญเติบโตขึ้น จะสามารถป้องกันการกัดเซาะด้วยตัวของมันเอง อีกทั้งเส้นใยธรรมชาติจะทำหน้าที่รักษาความชื้นให้กับดินอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงเลือกศึกษากระบวนการแปรรูปยางพาราในการนำมาใช้งานเพื่อลดการกัดเซาะของดินริมตลิ่งน้ำ โดยวัสดุดังกล่าวแม้จะย่อยสลายได้ง่ายแต่ก็เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้วัสดุคอมโพสิตจากธรรมชาติ จะช่วยในการยึดหน้าดิน และป้องกันดินถล่มจนกว่าหญ้าแฝกจะเจริญเติบโตเต็มที่ และมีการประสานเส้นใยธรรมชาติด้วยน้ำยางพารา สำหรับหญ้าแฝกที่เหมาะสมที่จะนำมาศึกษาในพื้นที่จังหวัดระยองซึ่งดินค่อนข้างเปรี้ยว คือ พันธุ์สุราษฎร์ธานี และพันธุ์ประจวบคีรีขันธ์

จากการวิเคราะห์และสังเคราะห์บทความนี้ยังมีตัวแปรอีกหลากหลายที่มีความเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีป้องกันการกัดเซาะดินริมตลิ่งด้วยกระบวนการแปรรูปยางพาราและหญ้าแฝก จึงควรที่จะต้องดำเนินการวิจัยเทคโนโลยีนี้ในระยะยาวต่อไป เพื่อศึกษาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ, ชีวภาพ, เศรษฐกิจ และสังคม, ดิน, น้ำ, อากาศ ในสถานะก่อนดำเนินการเทคโนโลยี ระหว่างดำเนินการเทคโนโลยี และหลังดำเนินการเทคโนโลยี ว่าส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่อย่างไร, ทำการศึกษาด้านเศรษฐกิจว่าเทคโนโลยีนี้สามารถลดงบประมาณแผ่นดินได้ (ในกรณีใช้เทคโนโลยีถาวร) หรือได้ผลตอบแทนด้านอื่น ๆ กลับมาหรือไม่ เช่น ได้หญ้าแฝกสำหรับอาหารสัตว์, แหล่งน้ำที่มีความหลากหลายทางชีวภาพ เป็นต้น

นอกจากนี้ควรศึกษาด้านสังคม ที่มีผลต่อความเป็นอยู่ของชุมชน เช่น สุขภาพ และอาชีวอนามัย (เนื่องจากผลทางวิทยาศาสตร์ พบว่า หญ้าแฝกสามารถดูดซับโลหะหนักได้) เกษตรกรสามารถลิ้มรสชาติได้ เนื่องจากไม่มีปัญหาการกัดเซาะของตลิ่ง ผลผลิตได้เต็มประสิทธิภาพการผลิต เป็นต้น และควรเปรียบเทียบเทคโนโลยีทั้งหมดในทุก ๆ ด้านต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความทางวิชาการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา โรงเรียนนายเรืออากาศ นวมินทร์กษัตริย์ธราช ในการสนับสนุนเงินทุน และสถานที่ จึงขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ข้อมูลสารสนเทศทรัพยากรดินรายจังหวัด. กรมพัฒนาที่ดิน. สืบค้น 26 สิงหาคม 2564, จาก https://www.ddd.go.th/www/lek_web/web.jsp?id=17868
- [2] กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2550). **ธรณีพิบัติภัย**.
- [3] สุกัญญา เมืองนก. (2560). วิเคราะห์การพังทลายตลิ่งแม่น้ำยมตอนล่าง ด้วยเทคนิคภูมิสารสนเทศและวิธีการตรรกศาสตร์คลุมเครือ. (วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยนเรศวร).
- [4] วิศวกรรมฐานราก. บทที่ 5 เสถียรภาพของลาดคันดิน. สืบค้น 26 สิงหาคม 2564, จาก <http://eng.sut.ac.th/ce/oldce/pornpot/foundbook/c5slope.pdf>

- [5] สำนักธรณีวิทยาส่งแวดล้อมและธรณีพิบัติภัย กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2553). ความรู้เกี่ยวกับดินถล่ม. สืบค้น 26 สิงหาคม 2564, จาก http://www.dmr.go.th/download/Landslide/what_landslide1.htm
- [6] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. **คู่มือการตรวจสอบสภาพตลิ่งและแนวทางการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย ฉบับประชาชน.**
- [7] สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. (2551). **คู่มือการแนะนำแก้ไขและการปฏิบัติการชะล้างพังทลายและเคลื่อนตัวของเชิงลาด.**
- [8] สุรติ เส็มหมัด. (2560). การถดถอยและการป้องกันการกัดเซาะตลิ่งคลองอุต๊ะเถา จังหวัดสงขลา. (วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาคุยूपบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์).
- [9] บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน). (2557). **The best living.** PTTGC Investor's New letter ประจำปีไตรมาส 1/2557. สืบค้น 26 สิงหาคม 2564, จาก <https://investor-th.pttgcgroup.com/ar.html>
- [10] Gray D.H. and etc. (1982). Biotechnical Slope Protection and Erosion Control, Van Nostrand Reinhold. New York.
- [11] D.A.Shahril and etc. (2017). Reinforcement of Kenaf Fiber in Natural Rubber Composite for Automotive Engine Rubber Mounting. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 24 (2017): 14490-14494.
- [12] สมพงษ์ พิธิยานต์, ประยูร สุรินทร์, และ กิตติศักดิ์ บัวศรี. (2558). การศึกษาแผ่นผลิตภัณฑ์จากเส้นใยหูก้าอัดผสมน้ำยางธรรมชาติ. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 1: 130-136.
- [13] Lambert S. and etc. (2013). Environmental fate of processed natural rubber latex. Environmental Science: Processes and Impacts. 15. 1359-1369.
- [14] ปฏิพัฒน์ บุญเจริญพานิช และ อภินิติ โชติสังกาศ. (2553). พฤติกรรมด้านกำลังและการกัดเซาะของทรายปนดินเหนียวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นการอ้อมตัวด้วยน้ำ: กรณีศึกษาลาดดินที่ปกคลุมด้วยวัสดุใยธรรมชาติ. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 21 ฉบับที่ 4 พ.ศ. 2553: 65-78.
- [15] บุญธรรม นิธิอุทัย. (2530). ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ. แผนกวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [16] พีรวัฒน์ ปลาเงิน และ ชวน จันทวาลย์. (2562). การศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของน้ำคอนกรีตผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้ในระบบชลประทานไร่นา. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ปีที่ 17 (2562): 100-116.
- [17] S. Shahinur, M. Hasan, Q. Ahsan, D. K.Saha and Md. S. Islam. (2017). Characterization on the Properties of Jute Fiber at Different Portions. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Polymer Science Volume 2015: 1-6.
- [18] สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2555). **จอมปราชญ์แห่งการพัฒนากำแพงธรรมชาติที่มีชีวิต.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน)
- [19] สำนักบริหารโครงการกรมชลประทาน กรมชลประทาน. (2562). **รายงานแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำจังหวัดระยอง.**
- [20] ส่วนอุตุนิยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำนักพัฒนาอุตุนิยมหาวิทยาลัย กรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย. ปริมาณน้ำฝน. สืบค้น 26 สิงหาคม 2564, จาก <http://www.arcims.tmd.go.th>
- [21] กิตติมา ศิวอาทิตย์กุล. (2558). การบริหารจัดการการใช้หญ้าแฝกอย่างยั่งยืน. กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.



Published by
Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy
www.nkrafa.ac.th/journal