

วารสาร

# วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่ 42 ฉบับที่ 2 มีนาคม - เมษายน 2566



JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
MAHASARAKHAM UNIVERSITY  
INDEXED IN

ISSN (Print Edition) : 1686-9664  
ISSN (Online Edition) : 2586-9795



## วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณภาพของนักวิชาการทั้งในและต่างประเทศ โดยเผยแพร่บทความวิจัย (research article) บทความปริทัศน์ (review article) ในสาขาวิชาต่างๆ ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
สำนักงานกองบรรณาธิการ  
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150  
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์โทรสาร 0-4375-4416

## ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไข่มไผ่  
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง  
ศาสตราจารย์ ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์

## บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

## ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ศิริอมพรพรรณ  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิขำ  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

## กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อำนเป็ร้อง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.วงศา เล้าหศิริวงศ์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมษากุล  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์  
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์พรรณ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์  
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนวนแก้ว  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.อรวิชัย กุ่มพล  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์เทอดศักดิ์ คำเหม็ง  
มหาวิทยาลัยนครพนม

รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรรณ  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพ็ชรชนะ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา  
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์พร ทองเจริญบัวงาม  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ณัฐพล ภูมิพันธ์  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

อาจารย์ เกียรติกร ดร.รักษจินดา วัฒนาลัย  
มหาวิทยาลัยสยาม

Dr.Adrian Roderick Plant  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

## เลขานุการ

ผู้อำนวยการกองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ

## ผู้ช่วยเลขานุการ

พัทตรีวิไล รุ่งวิสัย  
จิราวัฒน์ ภูสีฤทธิ์

## กำหนดเผยแพร่

ปีละ 6 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์

ฉบับที่ 2 มีนาคม-เมษายน

ฉบับที่ 3 พฤษภาคม-มิถุนายน

ฉบับที่ 4 กรกฎาคม-สิงหาคม

ฉบับที่ 5 กันยายน-ตุลาคม

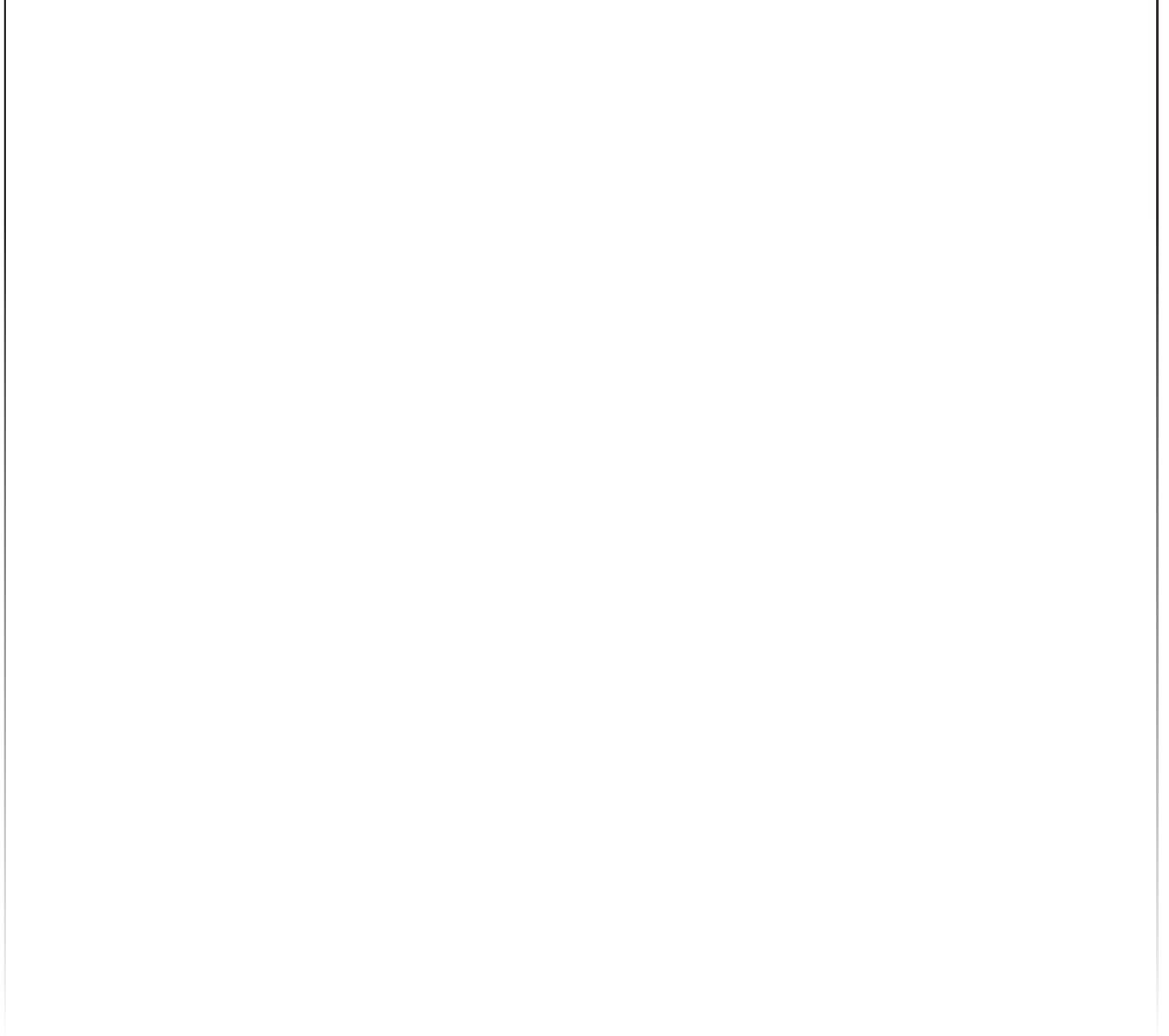
ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

## บทบรรณาธิการ

ประชากรโลกอยู่ในบริบทของการเปลี่ยนแปลงโดย World Economic Forum รายงานการเปลี่ยนแปลงของโลกใน 5 ด้าน ได้แก่ เศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม ภูมิรัฐศาสตร์ สังคม และ เทคโนโลยี และในรายงานเดียวกันได้วิเคราะห์ความเสี่ยง 10 อันดับในเวลาสองปี (2022-2023) สามอันดับแรก คือ วิกฤตค่าครองชีพ (cost of living crisis) นับตั้งแต่ไวรัส COVID-19 เข้ามาทำลายล้างมนุษยชาติ ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อเศรษฐกิจของประเทศต่างๆทั่วโลก ที่ต้องใช้เงินจัดหาวัคซีน บางประเทศเศรษฐกิจเกือบจะล่มสลายด้วยเหตุของไวรัสซึ่งเป็นอนุภาค (ระดับต่ำกว่าเซลล์) ที่ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงส่องดูว่ารูปร่างหน้าตาเป็นอย่างไร ที่มนุษยชาติไม่สามารถเอาชนะอนุภาคขนาดเล็กนี้ได้ ยุคปัจจุบันมนุษย์ได้พัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพขั้นสูงสุด คือ การตัดแต่งยีนของพืช สัตว์ จุลินทรีย์ ทำให้เกิดลักษณะที่ต้องการโดยใช้ดีเอ็นเอที่มีลำดับเบสเฉพาะเรียกชื่อว่า CRISPR-Cas9 ยังไม่สามารถทำอะไรกับไวรัสชนิดนี้ได้ ความเสี่ยงอันดับสอง คือ การทำลายทรัพยากรและเหตุที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปจากอดีตอย่างรุนแรง โดยเกิดเหตุการณ์ทางธรรมชาติที่อุบัติขึ้นโดยไม่คาดคิด อากาศร้อนจัด น้ำท่วม ไฟป่า เกิดขึ้นทั่วโลก ภูมิอากาศและฤดูกาลที่เกิดเหตุโดยไม่คาดฝัน ทำให้มนุษย์ สัตว์ พืช ปรับตัวลำบาก และสิ่งมีชีวิตบางชนิดที่มีวิวัฒนาการมาอย่างยาวนานอาจจะสูญพันธุ์ในยุคนี้ และอันดับสาม คือ การเผชิญหน้าทางภูมิรัฐศาสตร์ที่เป็นขั้วระหว่างมหาอำนาจในสื่อต่างๆ ส่งผลกระทบต่อนโยบายของประเทศ หรือภูมิภาคที่ต้องละเอียดถี่ถ้วนในการกำหนดนโยบาย ความเสี่ยงในระยะเวลา 10 ปีนับจากนี้ที่สำคัญเกี่ยวข้องกับทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมซึ่งถูกจัดในลำดับที่สี่ คือ การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพและการล่มสลายของระบบนิเวศ (Biodiversity loss and ecosystem collapse) ในนามของบรรณาธิการและทีมงานผู้ช่วยบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เชิญชวนผู้อ่าน นักวิจัย นักวิชาการ ฝ่าติตตาม ฝ่าระวังผลกระทบที่จะเกิดขึ้นตามที่องค์กรนี้ได้วิเคราะห์ทั้งนี้เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการปรับตัวให้ผ่านพ้นจากวิกฤตเหล่านี้

ศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา ประเทพา  
บรรณาธิการ



## สารบัญ

### Computer and Information Technology

- วิธีการสร้างแบบจำลองเชิงทำนายพฤติกรรมการผิดเงื่อนไขการปล่อยชั่วคราวของศาลจากชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง 47
- Predictive modeling approach of breach behaviors for provisional release to the court from an imbalanced dataset using machine learning techniques
- วิทยา ปัญญา, วาฬาย ร่มสายหยุด  
Wittaya Panya, Walisa Romsaiyud

### Engineering

- การประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อแก้ปัญหาการหาเส้นทางขนส่งกรณีศึกษา บริษัทขนส่งน้ำแข็งแห่งหนึ่งในจังหวัดร้อยเอ็ด 58
- An application of saving and genetic algorithms for solving vehicle routing problem:  
A case study of an ice production transportation company in Roi Et
- สรินญา ศาลางาม  
Sarinya Sala-ngam

- ปัจจัยที่เหมาะสมในการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 5106 ด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 65
- Optimization factors in hardening of AISI 5106 carbon steel by factorial experimental design
- สิทธิพงษ์ อุดมบุญญาอนุภาพ, นลิน เพียรทอง  
Sittipong Udomboonyanupap, Nalin Pianthong

### Environmental Science

- การดูดซับสีมัลลาไคท์ กรีนโดยใช้ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก 73
- Adsorption of malachite green using magnetic activated carbon
- ปานใจ สี่อประเสริฐสิทธิ์, ราตรี ฝาชัยภูมิ, ธัญญารัตน์ แก้วพิบูลย์  
Panjai Saueprasearsit, Ratrei Fachaiyaphum, Tanyarat Kaewpitoon

- การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเมืองระหว่างปีที่การระบาดของไวรัสโคโรนา (Covid-19) พ.ศ. 2563 กับปีฐาน พ.ศ.2559 โดยวิธี CCF กรณีศึกษา เทศบาลเมืองชัยภูมิ 84
- A comparison of city greenhouse gases emission between Thailand's emergency decree (COVID-19) 2020 and 2016 using the CCF method : Chaiyaphum municipality case study
- สุรวุฒิ สุธา, ดุษฎีพร หิรัญ  
Surawut Sudha, Dussadeeporn Hirun



# วิธีการสร้างแบบจำลองเชิงทำนายพฤติกรรมการผิดเงื่อนไขการปล่อยชั่วคราวของศาล จากชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง

## Predictive modeling approach of breach behaviors for provisional release to the court from an imbalanced dataset using machine learning techniques

วิทยา ปัญญา<sup>1</sup>, วุฒิชัย ร่มสายหยุด<sup>2\*</sup>  
Wittaya Panya<sup>1</sup>, Walisa Romsaiyud<sup>2\*</sup>

Received: 11 August 2022 ; Revised: 13 September 2022 ; Accepted: 10 October 2022

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับการทำนายพฤติกรรมการผิดเงื่อนไขการปล่อยชั่วคราวของศาล ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างสังเคราะห์ที่ปรับเปลี่ยนได้ (Adaptive Synthetic Sampling Approach: ADASYN) และ (2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการเรียนรู้ที่มีปัญหาชุดข้อมูลไม่สมดุล วิธีการวิจัยเป็นการแก้ปัญหาด้วยกระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ซึ่งกระบวนการนี้ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน 1) เก็บรวบรวมข้อมูลจากศาลจังหวัดพะเยา ระหว่างเดือนมกราคม 2560 - พฤษภาคม 2565 จำนวนระเบียบทั้งหมด 2,577 ระเบียบ และ 19 คุณลักษณะ จากการปล่อยชั่วคราวของศาลในคดีอาญา 2) การเตรียมข้อมูลโดยเปรียบเทียบวิธีการแก้ไขปัญหาค่าข้อมูลไม่สมดุลจำนวน 4 วิธี ได้แก่ Random Oversampling, SMOTE, BorderlineSMOTE และ ADASYN เพื่อเรียนรู้จากชุดข้อมูลที่ไม่สมดุล ซึ่งมีข้อมูลกลุ่มมาก (majority) จำนวน 2,475 ระเบียบ และข้อมูลกลุ่มน้อย (minority) จำนวน 102 ระเบียบ หรือมีอัตราส่วนข้อมูลกลุ่มน้อยต่อข้อมูลกลุ่มมาก คิดเป็น 1: 24.26 ผลการเปรียบเทียบพบว่าวิธี ADASYN เป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด และใช้การเลือกคุณลักษณะแบบฝังตัว 3) สร้างแบบจำลองการจำแนกประเภทด้วยอัลกอริทึม Gradient Boosting Machines ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการเรียนรู้ และทดสอบแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม AdaBoost และ XGBoost 4) ประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองด้วย 4 เมตริกหลัก คือค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ ค่าความครบถ้วน ค่าประสิทธิภาพโดยรวม 5) การปรับพารามิเตอร์ของแบบจำลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และ 6) การนำแบบจำลองไปใช้งาน สำหรับผลการประเมินประสิทธิภาพ มีค่าความถูกต้อง คิดเป็นร้อยละ 97.44 ค่าความแม่นยำ 96.37 ค่าความครบถ้วน 98.39 และค่าประสิทธิภาพโดยรวม 97.46

**คำสำคัญ:** การสร้างแบบจำลองเชิงทำนาย ชุดข้อมูลที่ไม่สมดุล การเรียนรู้ของเครื่อง วิธีการสุ่มตัวอย่างสังเคราะห์ที่ปรับเปลี่ยนได้ Gradient Boosting Machines

### Abstract

The purposes of this research were. - (1) to build a model for predicting the breach behaviors for provisional release for a provincial law court using the Adaptive Synthetic Sampling Approach and (2) to evaluate the performance of a model based on the imbalanced dataset problem. The research methodology was designed to solve the problem with the Machine Learning process. The process consists of 6 steps; - 1) data was collected from Phayao Provincial Court during the January 2017 - May 2022 comprising 2,577 records and 19 features from provisional releases to the court in crime cases, 2) data preparation by comparing methods to solve the imbalanced dataset problem with 4 methods; Random Oversampling, SMOTE, BorderlineSMOTE and ADASYN for learning data from the imbalanced dataset. The majority class had 2,475 examples and the minority class had 102 examples or a minority to majority

<sup>1</sup> แขนงวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี 11120

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช นนทบุรี 11120

<sup>1</sup> Information and Communication Technology, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi, 11120

<sup>2</sup> Associate Professor, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi, 11120

\* Corresponding author E-mail: walisa.rom@stou.ac.th

ratio of 1: 24.26. Comparing results showed that the method with ADASYN had high performance and using feature selection with embedded approach, 3) build a classification model with the Gradient Boosting Machines algorithm of high efficiency for training and testing a model by comparing with AdaBoost and XGBoost, 4) performance evaluation of the model with four main metrics that were accuracy, precision, recall and F-measure, 5) parameter tuning for finding the optimal value and 6) implementation of the model. The experimental results showed that the model had high performance in predicting breach behaviors for provisional release for court with the measurement results of accuracy value 97.44 %, precision 96.37%, recall 98.39% and F-measure 97.46%.

**Keywords:** Predictive Modeling, Imbalanced Datasets, Machine Learning, Adaptive Synthetic Sampling Approach, Gradient Boosting Machines

## บทนำ

ปัจจุบันมีการนำหลักการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning: ML) ซึ่งเป็นการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้จำรูปแบบ (pattern recognition) ของข้อมูล และสามารถทำการจำแนกข้อมูล (data classification) จัดกลุ่มข้อมูล (data clustering) หรือวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เพื่อแก้ปัญหาได้อย่างอัตโนมัติจากข้อมูลที่ป้อนให้ (สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล, 2563) โดยการนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลอง (model) สำหรับการทำงานในรูปแบบต่างๆ เช่น การวิเคราะห์เชิงทำนายสินค้า การตรวจจับการฉ้อโกงเงินธนาคาร การจัดกลุ่มลูกค้าสินเชื่อ การทำนายการลาออกกลางคัน การแนะนำสินค้า หรือการทำนายโรคอุบัติใหม่ ซึ่งแบบจำลองที่ดี ต้องมาจากข้อมูลที่ไม่เอนเอียง (non-bias) มีความสมดุล (balance) ของข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลอง เพื่อให้เกิดการทำงานที่มีประสิทธิภาพ แต่ด้วยข้อมูลหลายประเภทที่เป็นข้อมูลไม่สมดุล (imbalanced data) กล่าวคือ ข้อมูลที่มีจำนวนรายการไม่เท่ากัน หรือเอนเอียงไปทางคลาส (class) ใดคลาสหนึ่งมากเกินไป เช่น ข้อมูลคนฉ้อโกงเงินธนาคารต่อคนที่ไม่ฉ้อโกงเงินธนาคาร หรือข้อมูลจุดคาบน้ำมันรั่วในทะเล (จำนวนไม่มาก) ต่อพื้นที่ทะเล (จำนวนมากกว่า) จากงานวิจัยการพยากรณ์ผู้ป่วยเบาหวาน (วิษญ์วิสิฐ เกสรสิทธิ์ และคณะ, 2561) แก้ปัญหาข้อมูลไม่สมดุลโดยมีอัตราส่วนของข้อมูลระหว่างกลุ่มไม่กลับมารักษาซ้ำ กลับมารักษาซ้ำภายใน 30 วัน และกลับมารักษาซ้ำมากกว่า 30 วันเป็นร้อยละ 53.92: 11.16: 34.92 ตามลำดับ ด้วยวิธีสุ่มตัวอย่างสังเคราะห์เพิ่มของข้อมูลกลุ่มน้อย (Synthetic Minority Over-sampling Technique: SMOTE) (Chawla *et al.*, 2002) ร่วมกับขั้นตอนวิธี หรืออัลกอริทึมต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree) สามารถจำแนกผู้ป่วยโรคเบาหวานได้ดีที่สุด และจากงานวิจัยของ Guan *et al.* (2021) ดำเนินการตรวจจับมัลแวร์บนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องกับข้อมูลไม่สมดุล โดยใช้วิธีการปรับสมดุลให้ข้อมูลด้วยวิธีใช้วิธี SMOTE ทำให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และการทำนายอัตราตอบรับการเสนอ

ขายกรมธรรม์ของธนาคาร (กิตติภพ แซ่เตีย และจิรภัทร์ หยกรัตนศักดิ์, 2564) พบว่าการใช้วิธี SMOTE มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการแก้ปัญหาข้อมูลไม่สมดุลของการเสนอขายกรมธรรม์ เป็นต้น แต่วิธี SMOTE นั้นมีข้อจำกัด (Jiang *et al.*, 2021) คือ 1) การสุ่มตัวอย่างที่ทับซ้อนกัน 2) การสุ่มตัวอย่างทำให้มีสิ่งรบกวน (Noise) 3) เป็นการยากที่จะกำหนดจำนวนค่าคงที่ (k) ของขั้นตอนวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด และทำให้เกิดข้อผิดพลาดจากการมองไม่เห็นค่า k สำหรับกำหนดตำแหน่งด้วยวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุดในการเลือกสำหรับสร้างตัวอย่างสังเคราะห์ นอกจากการใช้วิธี SMOTE แล้วยังมีการแก้ไขปัญหาข้อมูลที่ไม่สมดุลด้วยวิธี ADASYN ดังเช่น การจำแนกข้อมูลที่พัฒนาสำหรับชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลของภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ (พุทธิพร ธนธรรมเมธี และเยาวเรศ ศิริสถิตกุล, 2561) โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างสังเคราะห์ที่ปรับเปลี่ยนได้ (Adaptive Synthetic Sampling Approach: ADASYN) (He *et al.*, 2008) และวิธีสุ่มตัวอย่างสังเคราะห์เพิ่มของข้อมูลกลุ่มน้อย (Synthetic Minority Over-sampling Technique: SMOTE) และใช้วิธีการตรวจสอบแบบไขว้ 10 กลุ่ม (10-fold cross validation) ในการแบ่งเป็นชุดข้อมูลฝึกสอน (training data) และชุดข้อมูลทดสอบ (testing data) ผลการทดสอบประสิทธิภาพพบว่าวิธี ADASYN ให้ค่าความถูกต้อง 97.31 % และมีงานวิจัยของ He และคณะได้ดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง SMOTE และ ADASYN จากชุดข้อมูล 5 ชุดที่มีระดับความไม่สมดุลแตกต่างกัน พบว่า ADASYN มีประสิทธิภาพเหนือกว่า SMOTE จากงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าวิธีการ ADASYN เป็นวิธีแก้ไขปัญหาค่าข้อมูลไม่สมดุลได้ดีกว่าวิธี SMOTE เนื่องจากวิธี ADASYN เป็นการปรับปรุงข้อจำกัดของ SMOTE ช่วยลดความเอนเอียง (bias) ที่เกิดจากความไม่สมดุลของคลาส และปรับเปลี่ยนขอบเขตการตัดสินใจจำแนกประเภทให้ดีขึ้น

ด้วยศาลจังหวัดพะเยาได้อนุญาตให้ผู้ต้องหาหรือจำเลยได้รับการปล่อยชั่วคราว (provisional release) จากการยื่นคำร้องต่อศาลเพื่อขอให้พิจารณาปล่อยผู้ต้องหา



หรือจำเลยชั่วคราว ซึ่งการปล่อยชั่วคราวมี 3 ประเภท คือ 1) การปล่อยชั่วคราวโดยไม่มีประกัน 2) การปล่อยชั่วคราวโดยมีประกัน และ 3) การปล่อยชั่วคราวโดยมีประกันและหลักประกัน ภายในระยะเวลาที่กำหนด (กองการต่างประเทศ สำนักงานศาลยุติธรรม, 2555) จากข้อมูลสถิติในโปรแกรมศาลชั้นต้นของศาลจังหวัดพะเยา ระหว่างเดือน มกราคม พ.ศ. 2560 - พฤษภาคม พ.ศ. 2565 มีการยื่นคำร้องขอปล่อยชั่วคราวในคดีอาญาและได้อนุญาตปล่อยชั่วคราวจำนวน 2,577 คำร้อง ซึ่งพบว่ามีผู้ที่ผิดสัญญาประกันหรือไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขของศาล หรือจำเลยหลบหนีหรือจะหลบหนีจำนวน 102 คำร้อง กรณีเช่นนี้ผู้ขอประกันอาจขอให้เจ้าพนักงานฝ่ายปกครองหรือตำรวจที่ใกล้ที่สุดจับจำเลยหรือศาลจะสั่งปรับผู้ถูกบังคับตามสัญญาประกันและยึดหลักประกันขายทอดตลาดหากไม่ชำระค่าปรับ ซึ่งส่งผลให้เพิ่มภาระหรือขั้นตอนในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ และทำให้การพิจารณาคดีเกิดความล่าช้าได้ หากสามารถพยากรณ์พฤติกรรมที่อาจผิดสัญญาประกันหรือไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไขของศาลได้ จะช่วยลดจำนวนผู้ถูกปล่อยชั่วคราวที่ผิดสัญญาประกันหรือผิดเงื่อนไขของศาล และลดขั้นตอนการปฏิบัติงานทำให้การพิจารณาคดีเป็นไปด้วยความรวดเร็วมากขึ้นได้ เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ใช้ในจากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงนำหลักการเรียนรู้ของเครื่องมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์เชิงทำนายการปล่อยชั่วคราวคดีอาญาของศาลจังหวัดพะเยา ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 - พฤษภาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 2,577 ระเบียบ (record) และ 19 คุณลักษณะ (feature) มีข้อมูลผู้ถูกปล่อยชั่วคราวที่ไม่ผิดเงื่อนไขของศาลจำนวน 2,475 ระเบียบ คิดเป็นร้อยละ 96.04 และมีผู้ผิดเงื่อนไขของศาลจำนวน 102 ระเบียบ คิดเป็นร้อยละ 3.96 จะเห็นได้ว่าชุดข้อมูลดังกล่าวของศาลจังหวัดพะเยาประสบปัญหาข้อมูลที่ไม่สมดุล (imbalanced data) เกิดขึ้น เมื่อนำมาสร้างแบบจำลอง จะทำให้ได้แบบจำลองที่ไม่มีประสิทธิภาพ

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้นำวิธีแก้ปัญหาค่าข้อมูลที่ไม่สมดุลด้วยวิธี ADASYN เพื่อปรับข้อมูลให้สมดุลร่วมกับผู้วิจัยได้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้วิธีการเลือกคุณลักษณะ (feature selection) แบบฝังตัว (embedded approach) จากนั้นสร้างแบบจำลองโดยได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในกลุ่มของ Boosting 3 อัลกอริทึม ได้แก่ 1) Adaptive Boosting: AdaBoost 2) Gradient Boosting Machines: GBM และ 3) eXtreme Gradient Boosting: XGBoost ซึ่งงานวิจัยนี้ต้องการแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากเกี่ยวข้องกับชีวิตของคน และความเชื่อมั่นในการตัดสินของศาล ดังนั้นอัลกอริทึมในกลุ่มของ Boosting จึงถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง ที่มีจุดเด่นในการนำข้อมูลจากการเตรียมไว้ และทำการคัดเลือก

คุณลักษณะ มาเป็นข้อมูลฝึกสอน (training data) ทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพมากขึ้น และทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (Parameter Optimization) แบบอัตโนมัติ ของอัลกอริทึม เพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

## ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในส่วนนี้ขออธิบายทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 เรื่อง ได้แก่ 1) ปัญหาความไม่สมดุลของข้อมูล (imbalanced data) 2) วิธีแก้ปัญหาค่าความไม่สมดุลของข้อมูล 3) อัลกอริทึมแบบ Boosting

1. ปัญหาความไม่สมดุลของข้อมูล (imbalanced data) (Krawczyk, 2016) คือ สัดส่วนของจำนวนข้อมูลกลุ่มมาก (majority data) และข้อมูลกลุ่มน้อย (minority data) มีจำนวนที่แตกต่างกันมาก ซึ่งจะส่งผลต่อการสร้างแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์เชิงทำนายผล ทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพต่ำ และมีความเอนเอียงในข้อมูลกลุ่มมากทำให้เกิดความไม่น่าเชื่อถือ โดยอัตราส่วนความไม่สมดุล (Imbalanced ratio: IR) สามารถหาได้จากสมการที่ 1 ดังนี้ (Zhua *et al.*, 2020)

$$\text{Imbalanced ratio (IR)} = \frac{\text{majority}}{\text{minority}} \quad (1)$$

ตัวอย่างงานวิจัยนี้ มีกลุ่มข้อมูลที่ผิดเงื่อนไขหรือข้อมูลกลุ่มมาก (majority) จำนวน 2,475 ระเบียบ และมีกลุ่มข้อมูลที่ผิดเงื่อนไขหรือข้อมูลกลุ่มน้อย (minority) จำนวน 102 ระเบียบ สามารถคำนวณได้จากสมการ 1 จะได้ค่า IR = 24.26 ซึ่งอัตราส่วนข้อมูลกลุ่มน้อยต่อข้อมูลกลุ่มมากเป็น 1: 24.26

2. วิธีแก้ปัญหาค่าความไม่สมดุลของข้อมูลด้วยการแก้ไขในระดับข้อมูลจะเป็นการปรับในขั้นของการเตรียมข้อมูล (data preparation) โดยการปรับให้ข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีจำนวนที่ใกล้เคียงกัน ได้แก่ วิธีการสุ่ม (sampling methods) (Minh, 2018) คือ การสุ่มตัวอย่างข้อมูลเพื่อให้สมดุลหรือทำให้ข้อมูลแต่ละกลุ่มมีปริมาณที่สมดุลโดย แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) วิธีการสุ่มเพิ่ม (Oversampling) (Kulkarni *et al.*, 2020) เป็นวิธีการสุ่มนี้มีเป้าหมาย คือ การเพิ่มจำนวนตัวอย่างของคลาสส่วนน้อยเพื่อให้มีจำนวนเท่ากับหรือใกล้เคียงกับตัวอย่างของคลาสส่วนใหญ่ 2) วิธีการสุ่มลด (Undersampling) (Kulkarni *et al.*, 2020) เป็นวิธีการสุ่มตัวอย่างโดยลบตัวอย่างของคลาสส่วนใหญ่ในข้อมูลเพื่อทำให้ข้อมูลมีความสมดุลมากขึ้น แต่ข้อจำกัด คือ อาจสูญเสียข้อมูลสำคัญที่อาจเกิดขึ้น การลบเหตุการณ์ส่วนใหญ่ออกมากพอที่จะทำให้คลาสส่วนใหญ่มีขนาดเท่ากับหรือใกล้เคียงกับคลาสส่วนน้อย

ส่งผลให้สูญเสียข้อมูลที่สำคัญ เมื่อข้อมูลถูกลบออกโดยไม่ได้พิจารณาว่าเป็นอย่างไรและมีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์เพียงใด ข้อเสียอีกประการคือกลุ่มตัวอย่างของคลาสส่วนใหญ่ที่เลือกอาจมีอคติ และผลของการวิเคราะห์อาจไม่ถูกต้อง จากงานวิจัยที่ได้ทำการตรวจจับการบุกรุกเป็นหัวข้อสำคัญในด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์ และภัยคุกคามเครือข่ายทั่วไปที่มีข้อมูลไม่สมดุลอย่างมาก (Chen *et al.*, 2021) โดยเปรียบเทียบการแก้ไขด้วยวิธี SMOTE, ADASYN และ Random Undersampling พบว่า ADASYN มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยมีค่า Precision 98.505%, Recall 93.606%, F1 95.303% และ AUC = 0.997 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการแก้ไขปัญหาข้อมูลไม่สมดุลด้วยวิธี Oversampling ซึ่งเป็นการรักษาความครบถ้วนของข้อมูลโดยไม่สูญเสียข้อมูลที่อาจเป็นข้อมูลสำคัญหรือมีผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลอง ซึ่งวิธีในกลุ่มของ Oversampling ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น

2.1 วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเพิ่ม (Random Oversampling) (Kulkarni *et al.*, 2020) ในการสุ่มตัวอย่างมากเกินไป ตัวอย่างจากคลาสของกลุ่มน้อยจะถูกสุ่มเลือกสำหรับการทำซ้ำซึ่งส่งผลให้มีการกระจายคลาสที่สมดุล ในวิธีนี้ตัวอย่างของคลาสกลุ่มน้อยจะถูกสุ่มเลือก แต่มีข้อจำกัด คือการเพิ่มข้อมูลลักษณะนี้อาจจะทำให้เกิดปัญหาข้อมูลถูกรบกวนได้ง่าย

2.2 วิธีการสุ่มตัวอย่างสังเคราะห์ของกลุ่มน้อย (Synthetic Minority Over-sampling Technique: SMOTE) (Chawla *et al.*, 2002) เป็นวิธีการเพิ่มตัวอย่างข้อมูลโดยการสุ่มสร้างตัวอย่างข้อมูลขึ้นมาใหม่ ด้วยการนำตัวอย่างข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่มีจำนวนน้อยมาพิจารณาทีละตัวจนครบทุกตัว หลักการคือกำหนดจำนวนด้วยอัลกอริทึมเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (K-Nearest Neighbor: KNN) จำนวน k ตัวแล้วทำการสุ่มสร้าง ข้อมูลขึ้นมาใหม่ในพื้นที่ใดๆ บนทางที่เชื่อมโยงระหว่างจุดข้อมูลที่กำลังพิจารณาและจุดของข้อมูลเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด (K-nearest neighbor) แสดงดัง Figure 1

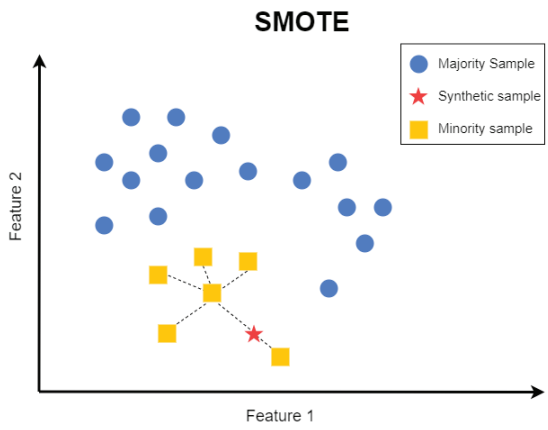


Figure 1 Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE)

จาก Figure 1 ประกอบด้วยรูปวงกลมแทนข้อมูลกลุ่มมาก รูปสี่เหลี่ยมแทนข้อมูลกลุ่มน้อย และรูปดาวเป็นข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้น

ซึ่งวิธี SMOTE มีข้อจำกัด (Jiang *et al.*, 2021) คือ 1) การสุ่มตัวอย่างที่ทับซ้อนกัน 2) การสุ่มตัวอย่างทำให้มีสิ่งรบกวน (noise) และ 3) เป็นการยากที่จะกำหนดจำนวนเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุด และทำให้มองไม่เห็นเพื่อนบ้านที่ใกล้เคียงที่สุดในการเลือกสำหรับสร้างตัวอย่างสังเคราะห์

2.3 วิธีการสุ่มตัวอย่างสังเคราะห์ของกลุ่มน้อยด้วยเส้นแนวเขต (Borderline-SMOTE) (Han *et al.*, 2005) เป็นวิธีการปรับปรุงจากวิธี SMOTE โดยการแก้ปัญหาในการเลือกตัวอย่างที่อยู่ใกล้แนวเขตของข้อมูลกลุ่มน้อยที่จำแนกผิด และสร้างเฉพาะตัวอย่างสังเคราะห์ที่ยากในการจำแนก อย่างไรก็ตามแม้จะเป็นวิธีที่ปรับปรุงจาก SMOTE แต่ยังมีข้อจำกัด คือ อาจสร้างตัวอย่างบางส่วนที่ทับซ้อนกับตัวอย่างเชิงลบและวิธีการสุ่มตัวอย่างมากเกินไปจะทำให้ซ้ำทุกตัวอย่างที่เป็นบวกโดยไม่ต้องโดยคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ

2.4 วิธีการสุ่มตัวอย่างสังเคราะห์ที่ปรับเปลี่ยนได้ (Adaptive Synthetic Sampling Approach: ADASYN (He *et al.*, 2008) เป็นการสร้างตัวอย่างสังเคราะห์ (synthetic data) ที่ไม่จำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลทุกตัวที่อยู่ในกลุ่มน้อยโดยใช้ค่าการแจกแจงแบบถ่วงน้ำหนัก (weight distribution) ของข้อมูลตัวอย่างในกลุ่มน้อย โดยการสังเคราะห์ข้อมูลซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญของข้อมูลนั้นๆ ถ้าข้อมูลใดยากต่อการจำแนกก็จะให้ค่าของน้ำหนักข้อมูลนั้นมากและสังเคราะห์ข้อมูลชุดข้อมูลขึ้นมาในบริเวณนั้นๆ แสดงดัง Figure 2

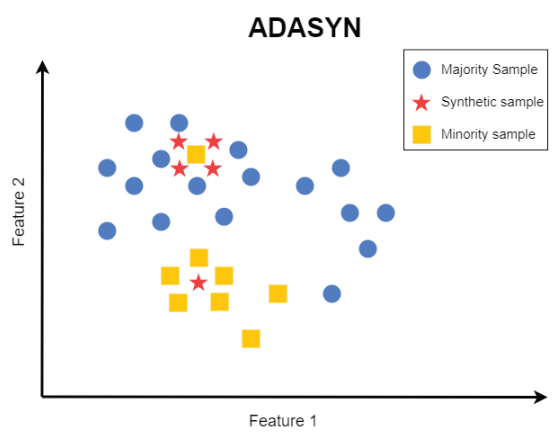


Figure 2 Adaptive Synthetic Sampling Approach (ADASYN)

จาก Figure 2 ประกอบด้วยรูปวงกลมแทนข้อมูลกลุ่มมาก รูปสี่เหลี่ยมแทนข้อมูลกลุ่มน้อย และรูปดาวเป็นข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่ปรับปรุงการทำงานของวิธี SMOTE ให้ดีขึ้น ช่วยลดความเอนเอียงที่เกิดจากความไม่สมดุลของ

ข้อมูล และทำให้มีการปรับขอบเขตของการตัดสินใจในการจำแนกกลุ่มดีขึ้น โดยงานวิจัยนี้ใช้วิธีนี้ในการปรับสมดุลข้อมูล

3. อัลกอริทึมแบบ Boosting (Schapire & Freund, 2012) เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้ที่อ่อนแอ (Weak Learner) ซึ่งให้ตัวอย่างการฝึกอบรมที่มีป้ายกำกับ (labeled data) สร้างฐานหรือลักษณะนามที่อ่อนแอ เป้าหมาย คือเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ที่อ่อนแอโดยจะกำหนดน้ำหนักแต่ละรายการ แสดงการทำงานดัง Figure 3

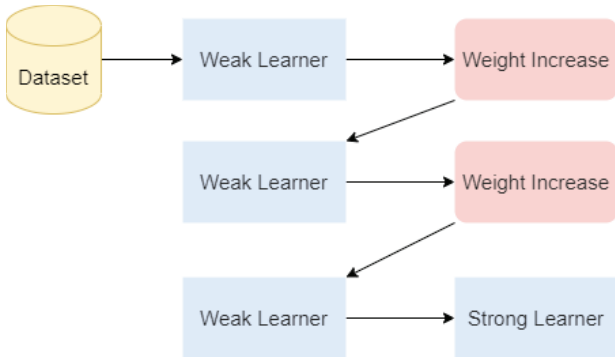


Figure 3 Boosting Algorithms

ซึ่งอัลกอริทึมที่จัดอยู่ในกลุ่มของ boosting ที่นิยมใช้ ได้แก่

3.1 อัลกอริทึม Adaptive Boosting: AdaBoost (Wu & Zhao, 2011) เป็นอัลกอริทึม Boosting แบบปรับตัวเองได้ซึ่งปรับปรุงประสิทธิภาพของตัวแยกประเภทที่อ่อนแอโดยการสร้างชุดของตัวแยกประเภทหลายตัว โดยปรับอัตราความผิดพลาดของอัลกอริทึมพื้นฐานในการฝึกผ่านการควบคุมแบบไดนามิกของน้ำหนักของแต่ละตัว

3.2 อัลกอริทึม Gradient Boosting Machines: GBM (Natekin & Knoll, 2013) เป็นวิธีที่พยายามจะสร้างแบบจำลองการทำนายผ่าน back-fitting และการถดถอย GBM เริ่มต้นด้วยการสร้างแบบจำลองเริ่มต้นและเรียนรู้ โดยเรียนรู้จากค่าความคลาดเคลื่อนสะสมที่เกิดจากการทำนายของตัวเรียนรู้ก่อนหน้า เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความแม่นยำสูงสุด ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพที่สุดในด้านการเรียนรู้ของเครื่อง เนื่องจาก GBM เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ จึงถูกใช้เพื่อลดข้อผิดพลาดความอคติหรือความเอนเอียง (Bias) ของแบบจำลองให้เหลือน้อยที่สุด

3.3 อัลกอริทึม eXtreme Gradient Boosting: XGBoost (Chen & Guestrin, 2016) เป็นเทคนิคที่พัฒนามาจาก Gradient Boosting ซึ่ง XGBoost เป็นแบบจำลองที่นำเอาต้นไม้ตัดสินใจมาฝึกสอนต่อกันหลายๆ ต้น โดยที่ต้นไม้ตัดสินใจแต่ละต้นจะเรียนรู้จากค่าความผิดพลาดของต้นก่อนหน้า ซึ่งทำให้ความแม่นยำในการทำนายจะมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีการเรียนรู้ของต้นไม้ตัดสินใจต่อเนื่องกันจนมีความลึกมากพอ แบบจำลองจะหยุดเรียนรู้เมื่อไม่เหลือค่าความผิดพลาดจากต้นไม้ตัดสินใจต้นก่อนหน้าให้เรียนรู้แล้ว

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นตอนที่ 1) การเก็บข้อมูล 2) การเตรียมข้อมูล 3) สร้างแบบจำลอง 4) ประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง 5) การปรับพารามิเตอร์ และ 6) การนำไปใช้งาน โดยผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องมือ Google Colaboratory (Colab) ด้วยภาษา Python สามารถแสดงภาพรวมของวิธีดำเนินการวิจัย ดัง Figure 4

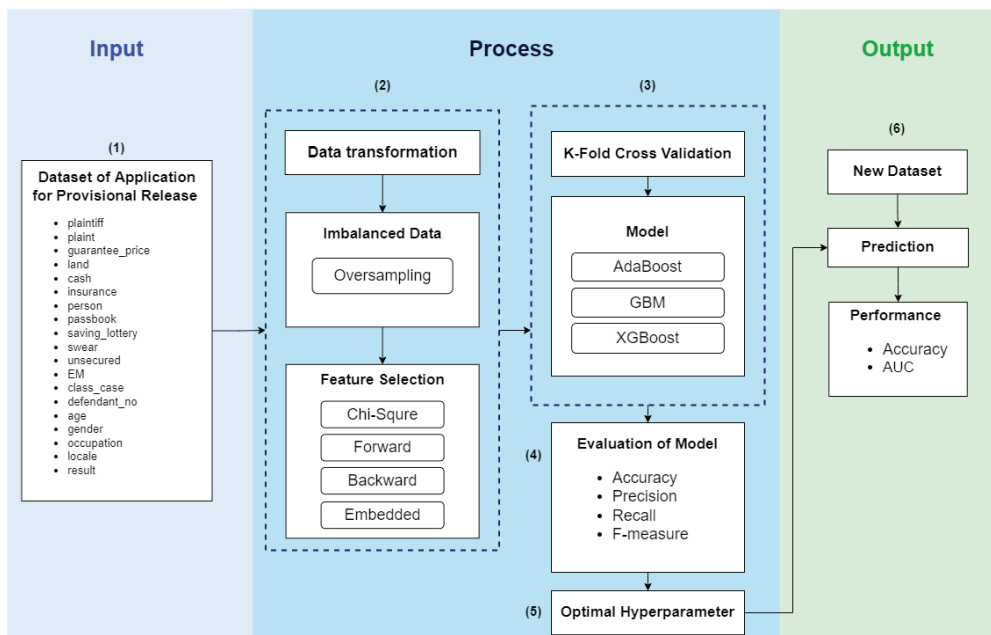


Figure 4 Overview of Research Methodology

1. การเก็บข้อมูล โดยใช้ข้อมูลผู้ถูกปล่อยชั่วคราวในคดีอาญาจากฐานข้อมูลโปรแกรมศาลชั้นต้นของศาลจังหวัดพะเยา ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 - พฤษภาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 2,577 ระเบียบ และ 19 คุณลักษณะ ได้แก่ โจทก์ ข้อหา ราคาหลักประกัน หลักประกันที่ดิน หลักประกันเงินสด

หลักประกันกรรมกรรม หลักประกันบุคคล หลักประกันสมุดเงินฝาก หลักประกันสลากออมทรัพย์ สาบานตน ไม่มีหลักประกันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ติดตามตัว ชั้นของคดี ลำดับของจำเลย อายุ เพศ อาชีพ สถานที่เกิดเหตุ ผลการผิดเงื่อนไขหรือไม่ แสดงตัวอย่างชุดข้อมูล ดัง Figure 5

	plaintiff	plait	guarantee_price	land	cash	insurance	person	passbook	saving_lottery	swear	unsecured	EM	class_case	defendant_no	age	gender	occupation	locale	result
0	1	66	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	ดีงรณง	1	26	1	บงจ้ง	1	1
1	1	93	280050	1	1	0	0	0	0	0	0	0	ดีงรณง	1	20	1	บงจ้ง	1	1
2	1	68	280050	1	1	0	0	0	0	0	0	0	ดีงรณง	1	20	1	บงจ้ง	1	1
3	1	68	10000	0	1	0	0	0	0	0	0	0	ดีงรณง	1	28	1	บงจ้ง	7	1
4	1	68	500480	1	1	0	0	0	0	0	0	0	ดีงรณง	1	29	1	บงจ้ง	5	1
5	1	68	530460	1	0	0	0	0	0	0	0	0	ดีงรณง	1	29	1	บงจ้ง	5	1
6	1	68	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	ดีงรณง	1	30	1	บงจ้ง	5	0
7	1	64	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	ดีงรณง	1	30	1	บงจ้ง	5	0
8	1	68	10000	0	1	0	0	0	0	0	0	0	ดีงรณง	1	46	2	บงจ้ง	1	0
9	1	68	3000	0	1	0	0	0	0	0	0	0	ดีงรณง	1	36	1	บงจ้ง	5	0

Figure 5 Example of Dataset

2. การเตรียมข้อมูล ประกอบด้วย

2.1 การแปลงข้อมูล เป็นการทำให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่พร้อมนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลตามอัลกอริทึมที่เลือกใช้ ได้แก่ ทำการทำความสะอาดข้อมูลเพื่อตัดข้อมูลที่ผิดปกติออก การจัดการกลุ่มของคุณลักษณะ รวมถึงข้อมูลที่ม้ค่าขาดหายไป (missing values)

2.2 แก้ไขปัญหาข้อมูลไม่สมดุล จากคุณลักษณะของชุดข้อมูลตาม Figure 5 มีคุณลักษณะที่จำแนกผลลัพธ์การผิดเงื่อนไขหรือไม่ผิดเงื่อนไข (result) พบว่ามีปัญหาข้อมูลไม่สมดุล (imbalanced data) คือ มีสัดส่วนของกลุ่มข้อมูลที่แตกต่างกัน ได้แก่ ข้อมูลที่เก็บเป็นตัวเลข 0 หมายถึง กลุ่มข้อมูลที่ผิดเงื่อนไขหรือข้อมูลกลุ่มมาก (majority) มีจำนวน 2,475 ระเบียบ คิดเป็นร้อยละ 96.04 และข้อมูลที่เก็บเป็นตัวเลข 1 หมายถึง กลุ่มข้อมูลที่ผิดเงื่อนไขหรือข้อมูลกลุ่มน้อย (minority) มีจำนวน 102 ระเบียบ คิดเป็นร้อยละ 3.96 โดยอัตราส่วนความไม่สมดุล (Imbalanced ratio: IR) คำนวณได้จากสมการที่ 1 จะได้ค่า IR = 24.26 ซึ่งอัตราส่วนข้อมูลกลุ่มน้อยต่อข้อมูลกลุ่มมากเป็น 1: 24.26 แสดงดัง Figure 6

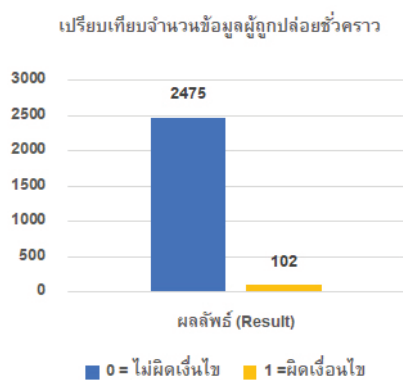


Figure 6 Imbalanced Data

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำวิธีแก้ปัญหาความไม่สมดุลของข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึม 3 อัลกอริทึม ได้แก่ 1) AdaBoost 2) GBM และ 3) XGBoost สำหรับสร้างแบบจำลองในเปรียบเทียบวิธีแก้ปัญหาความไม่สมดุลจำนวน 4 วิธี ได้แก่ 1) Random Oversampling 2) SMOTE 3) Borderline-SMOTE และ 4) ADASYN เพื่อประเมินประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการนำไปเรียนรู้ของแบบจำลอง โดยใช้เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) (Kulkarni et al., 2020) เป็นเครื่องมือประเมินที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการแก้ปัญหาการจำแนกประเภท (classification) สามารถนำไปใช้กับการจำแนกไบนารีหรือปัญหาการจำแนกประเภทหลายคลาส ตัวอย่างของ Confusion Matrix สำหรับการจำแนกไบนารี แสดงดัง Figure 7

Confusion Matrix

	Predict: Positive (P)	Predict: Negative (N)
Actual: Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN)
Actual: Negative	False Positive (FP)	True Negative (TN)

Figure 7 Confusion Matrix

โดย 1) TP เป็นจำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกต้องในเชิงบวก (positive) หมายถึงข้อมูลที่ทำนายว่าไม่ผิดเงื่อนไขตรงกับความเป็นจริง 2) TN เป็นจำนวนข้อมูลที่ทำนายถูกต้องในเชิงลบ (negative) หมายถึงข้อมูลที่ทำนายว่าผิดเงื่อนไขตรงกับความเป็นจริง 3) FP เป็นจำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดว่าอยู่ในเชิงบวก (positive) หมายถึงข้อมูลทำนายว่าไม่ผิดเงื่อนไขแต่ความเป็นจริงผิดเงื่อนไข 4) FN เป็นจำนวนข้อมูลที่ทำนายผิดว่าอยู่ในเชิงลบ (negative) หมายถึงข้อมูลทำนาย

ว่าผิดเงื่อนไขแต่ความเป็นจริงไม่ผิดเงื่อนไขซึ่งการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองคำนวณจากสมการ 2-7 ดังนี้

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \quad (2)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (4)$$

$$\text{F-measure} = \frac{2*(\text{Precision}*\text{Recall})}{(\text{Precision}+\text{Recall})} \quad (5)$$

$$\text{True Positive Rate (TPR)} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

$$\text{False Positive Rate (FPR)} = \frac{FP}{FP+TN} \quad (7)$$

ในงานวิจัยนี้จึงใช้การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง โดยคำนวณค่า Accuracy Precision Recall และ F-measure ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองพบว่าวิธีการแก้ไขปัญหาข้อมูลไม่สมดุล ด้วยวิธี ADASYN มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธี ADASYN ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาข้อมูลไม่สมดุล แสดงดัง Figure 8



Figure 8 The results of evaluating the performance of a solution for modeling

2.3 การเลือกคุณลักษณะ (feature selection) (Gheyas & Smith, 2010) การเลือกคุณลักษณะเป็นวิธีการที่ช่วยลดจำนวนคุณลักษณะหรือแอททริบิวต์ (attribute) ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพและความแม่นยำของแบบจำลองในการจำแนกข้อมูล ซึ่งมี 3 ประเภท ได้แก่ 1) Filter เป็นการเลือกคุณสมบัตินั้นโดยไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของคุณลักษณะที่ใช้ ข้อดีคือ เป็นเทคนิคที่คำนวณได้ง่าย รวดเร็ว และหลีกเลี่ยงการเกิด Overfitting เพราะไม่นำผลทดสอบมาพิจารณาด้วย ซึ่งคุณลักษณะที่ถูกคัดเลือกจะไม่มีอคติ (Bias) สำหรับข้อเสียคือ คุณลักษณะที่ถูกคัดเลือกเป็นคุณลักษณะที่เป็นอิสระต่อกัน เพราะขั้นตอนการคำนวณค่าความสำคัญจะพิจารณาความสัมพันธ์เพียงด้านเดียวระหว่างคุณลักษณะนั้นๆ กับข้อมูล

เอาต์พุตเท่านั้น เช่น วิธี Chi-Square เป็นต้น 2) Wrapper เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขวิธี Filter ซึ่งคุณลักษณะทั้งหมดจะถูกจัดให้อยู่ในรูปของเซตคุณลักษณะ หลังจากนั้นดำเนินการค้นหาเซตของคุณลักษณะที่เหมาะสมด้วยการประเมินด้วยฟังก์ชันความเหมาะสม เช่น วิธี Sequential Forward Selection: SFS, Sequential Backward Selection: SBS เป็นต้น 3) Embedded หรือแบบฝังตัว คือ การใช้หลักการของ Wrapper ในการเลือกคุณลักษณะ และใช้วิธี Filter เลือกจำนวนคุณลักษณะ ซึ่งช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณเนื่องจากวิธี Filter เลือกจำนวนคุณสมบัตินั้นที่มีประสิทธิภาพอย่างรวดเร็ว มีงานวิจัยเกี่ยวกับการเลือกคุณลักษณะแบบฝังตัวโดยใช้ความน่าจะเป็นตามแบบจำลองการเพิ่ม

ประสิทธิภาพ (Saito *et al.*, 2018) ทำการเปรียบเทียบเลือกคุณลักษณะของกับวิธี Filter และวิธี Wrapper จากชุดข้อมูล 3 ชุดที่มีจำนวนคุณลักษณะไม่เท่ากัน ผลการวิจัยพบว่าวิธี Embedded มีประสิทธิภาพดีที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบการเลือกคุณลักษณะทั้ง 3 ประเภทจำนวน 4 วิธี ได้แก่ 1) Chi-Square 2) SFS 3) SBS และ 4) Embedded ร่วมกับอัลกอริทึม 3 อัลกอริทึม ได้แก่ 1) AdaBoost 2) GBM และ 3) XGBoost ผลการเปรียบเทียบการประเมินประสิทธิภาพสำหรับการเลือกคุณลักษณะ พบว่าวิธี Embedded มีประสิทธิภาพสูงสุด แสดงการเปรียบเทียบดัง Figure 9 และสามารถเลือกคุณลักษณะได้จำนวน 9 คุณลักษณะจากการพิจารณาค่าผลรวม (Total) ที่มีค่ามากกว่า 0 แสดงดัง Figure 10 ดังนั้นจึงนำคุณลักษณะที่เลือกนำไปเรียนรู้กับแบบจำลอง

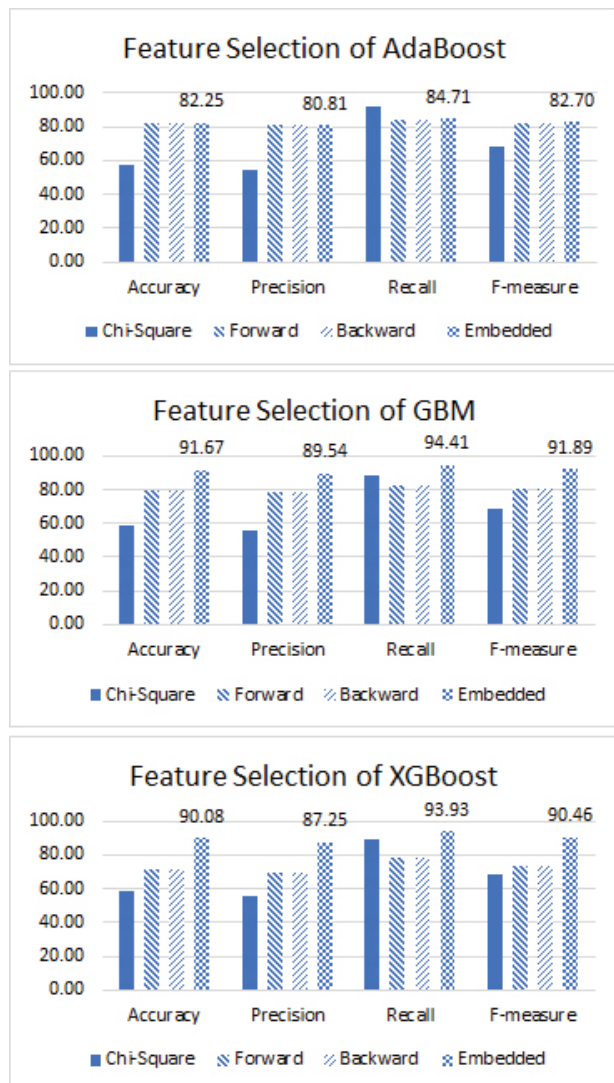


Figure 9 Performance comparison results for feature selection

3. สร้างแบบจำลอง โดยใช้อัลกอริทึม 3 อัลกอริทึม ได้แก่ 1) AdaBoost 2) GBM และ 3) XGBoostและใช้วิธีการแบ่งข้อมูลเพื่อเรียนรู้และทดสอบด้วยวิธีตรวจสอบแบบไขว้ (K-Fold Cross Validation) (Daniel Berrar, 2018) เป็นวิธีการสุ่มตัวอย่างข้อมูลที่แบ่งชุดข้อมูลการเรียนรู้จะถูกแบ่งออกเป็นส่วยย่อยจำนวน K ที่มีขนาดเท่ากันโดยประมาณ จากนั้นข้อมูลหนึ่งส่วนจะใช้เป็นตัวทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง ทำานไปเช่นนี้จนครบจำนวนที่แบ่งไว้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการแบ่งชุดข้อมูล โดยทำการเปรียบเทียบค่า K-Fold จำนวน 3 ค่า ได้แก่ 10 15 และ 20 เพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับอัลกอริทึม ผลการเปรียบเทียบพบว่าค่า K-Fold ที่เหมาะสมกับอัลกอริทึม คือ 10 และเมื่อค่า K เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความถูกต้อง ของทุกๆ อัลกอริทึมลดลง

4. ประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง เพื่อทำนายพฤติกรรม การผิดเงื่อนไขการปล่อยชั่วคราวของศาล ผลการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองพบว่าแบบจำลองที่ใช้อัลกอริทึม GBM มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งมีค่า Accuracy 91.27% ค่า Precision 89.28% ค่า Recall 93.86% ค่า F-measure 91.51% แสดงดัง Figure 11

Feature	AdaBoost	GBM	XGBoost	Total	
1	occupation	True	True	True	3
2	age	True	True	True	3
3	guarantee_price	True	True	False	2
4	land	True	False	True	2
5	insurance	True	False	True	2
6	plaint	True	True	False	2
7	locale	True	False	False	1
8	gender	False	False	True	1
9	unsecured	False	False	True	1
10	class_case	False	False	False	0
11	defendant_no	False	False	False	0
12	plaintiff	False	False	False	0
13	EM	False	False	False	0
14	saving_lottery	False	False	False	0
15	passbook	False	False	False	0
16	person	False	False	False	0
17	cash	False	False	False	0
18	swear	False	False	False	0

Figure 10 Feature selection results

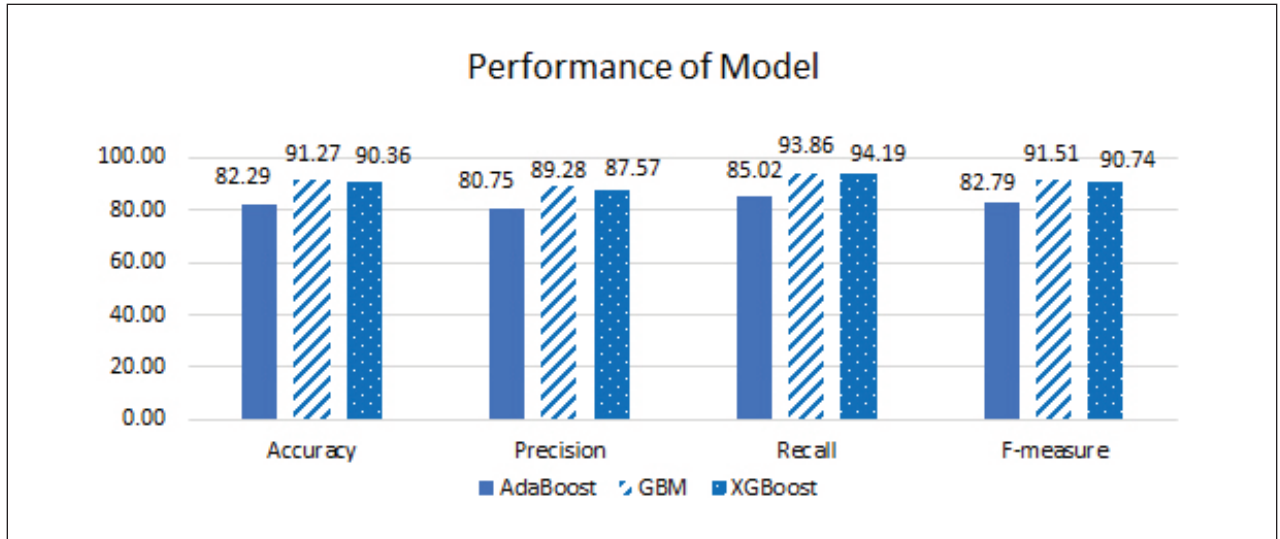


Figure 11 Model performance evaluation results

5. การปรับพารามิเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอัลกอริทึมทั้ง 3 อัลกอริทึม ด้วยวิธี GridSearch (Elgeldawi *et al.*, 2021) เป็นการค้นหาแบบกริดจะฝึกอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องกับชุดค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ทั้งหมด โดยใช้เทคนิค cross-validation เทคนิคนี้ช่วยให้มั่นใจว่าแบบจำลองได้รับการฝึกจากรูปแบบส่วนใหญ่ของชุดข้อมูล ด้วยการสร้างกริดทั้งหมดที่เป็นไปได้จะทำการคำนวณ

ค่าของแต่ละแบบจำลองเพื่อประเมิน แล้วเลือกแบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งมีงานวิจัยเกี่ยวกับการวินิจฉัยโรคพาร์คินสันโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (หัสพล ชัมมิกรัตน์, 2563) ใช้การปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อหาความเหมาะสมที่สุด ด้วยวิธี GridSearch ผลทำให้ได้ค่าความถูกต้องร้อยละ 88.78 ซึ่งงานวิจัยนี้จึงได้นำวิธี GridSearch มาใช้ปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม แสดงผลดัง Table 1

Table 1 The appropriate parameters of the algorithm

Tuning parameters	Search range	Parameters
learning_rate	0.1,0.5, 1	0.5
max_depth	3-5	4
n_estimators	100 - 500	200
subsample	0.1,0.5, 1	1

เมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองแล้ว พบว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งมีค่า Accuracy 97.44% ค่า Precision 96.37% ค่า Recall 98.39% ค่า F-measure 97.46% แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพ แสดงดัง Figure 12

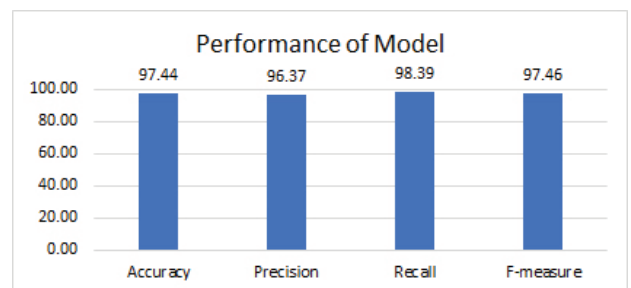


Figure 12 The results of the model performance evaluation after adjusting the appropriate parameters

6. การนำแบบจำลองไปใช้งาน โดยทำการทำนายกับชุดข้อมูลใหม่ที่ไม่สมดุล ซึ่งมีอัตราส่วน 1: 24.26 จำนวน 252 ระเบียบ (record) โดยทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง พบว่ามีค่าความถูกต้อง (Accuracy) เท่ากับ 89.68% และประเมินประสิทธิภาพความถูกต้องสำหรับการทำนายผลของแบบจำลอง ด้วยวิธี Receiver Operating Characteristics: ROC หรือ Area Under the Curve: AUC (สลิย เศษเพ็ง และคณะ, 2563) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการประเมินความถูกต้องสำหรับการทำนายผลของแบบจำลอง โดยตัวแปรที่ใช้บอกความถูกต้องของแบบจำลองได้แก่ ความถูกต้อง (Accuracy) และพื้นที่ใต้เส้นโค้ง ROC หรือ AUC เกิดจากจุดคู่อันดับระหว่าง True Positive Rate: TPR และ False Positive Rate: FPR สร้างเป็นเส้นโค้ง และคำนวณพื้นที่ใต้เส้นโค้งนั้น มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ยิ่งเข้าใกล้ 1 แบบจำลองในภาพรวมสามารถทำนายได้ดีมาก ซึ่งผลการประเมินประสิทธิภาพพบว่ามีค่า AUC เท่ากับ 0.80 แสดงดัง Figure 13

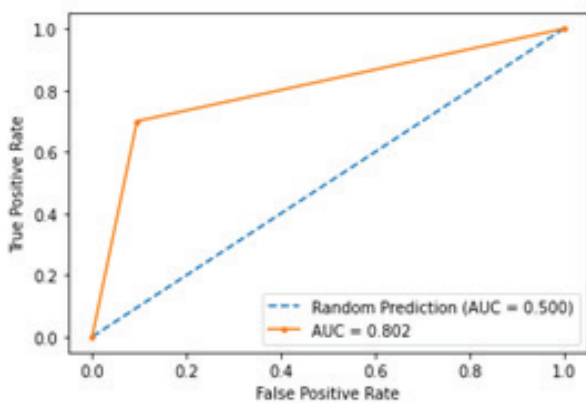


Figure 13 The result of evaluating the ground under the curve

### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากผลการวิจัยพบว่า การแก้ไขปัญหาค่าความไม่สมดุลของข้อมูลด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างสังเคราะห์ที่ปรับเปลี่ยนได้ ADASYN และสร้างแบบจำลองด้วยอัลกอริทึม Gradient Boosting ใช้วิธีการตรวจสอบแบบไขว้ (K-Fold Cross Validation) โดยมีค่า K-Fold เท่ากับ 10 ในการแบ่งเป็นชุดข้อมูลเพื่อเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบ ซึ่งได้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดสำหรับการทำนายพฤติกรรม การผิดเงื่อนไขการปล่อยชั่วคราวของศาล ซึ่งได้ผลคล้ายกับงานวิจัยของพุทธิพร ธนธรรมเมธี และเยาวเรศ ศิริสถิตกุล และงานวิจัยของ He และคณะ ผลการแก้ไขปัญหาค่าความไม่สมดุลของข้อมูลด้วยวิธี ADASYN ได้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเช่นกัน เนื่องจาก ADASYN สร้างตัวอย่างสังเคราะห์ (Synthetic Sampling) ที่ไม่จำเป็นต้องพิจารณาข้อมูลทุกตัวที่อยู่ในกลุ่มน้อย โดยจะใช้ค่าการแจกแจงแบบถ่วงน้ำหนัก (weight

distribution) ของข้อมูลตัวอย่างในกลุ่มน้อย และเป็นวิธีที่ปรับปรุงการทำงานของ SMOTE ให้ดีขึ้น ซึ่งช่วยลดความเอนเอียงที่เกิดจากความไม่สมดุลของข้อมูล และทำให้มีการปรับขอบเขตของการตัดสินใจในการจำแนกกลุ่มดีขึ้น

ผลการวิจัยนี้ได้เพิ่มประสิทธิภาพให้แบบจำลองด้วยการใช้วิธีการเลือกคุณลักษณะ (feature selection) แบบฝังตัว (embedded approach) ทำการประเมินผลการเลือกคุณลักษณะที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ จำนวน 9 คุณลักษณะ เมื่อพิจารณาชุดข้อมูลสำหรับคุณลักษณะที่ไม่ถูกเลือกไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองพบว่าข้อมูลในคุณลักษณะดังกล่าวมีความไม่สมดุล เช่น คุณลักษณะ EM การติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ติดตามตัวซึ่งข้อมูลผู้ที่ติดอุปกรณ์ EM มีจำนวน 7 ระเบียบ ต่อผู้ไม่ติดอุปกรณ์ EM 2,570 ระเบียบ คิดเป็นอัตราส่วนความไม่สมดุลเท่ากับ 1:367.14 ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลอง เป็นต้น และทำการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด (parameter optimal) แบบอัตโนมัติด้วยวิธี GridSearch ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพแบบจำลองมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลชุดใหม่พบว่ามีประสิทธิภาพความถูกต้อง 89.68% และค่า AUC เท่ากับ 0.80 ซึ่งสามารถนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ในภาคได้ หากจะนำงานวิจัยไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ควรเพิ่มข้อมูลคุณลักษณะ (feature) ที่เป็นปัจจัยหรือมีผลต่อการผิดเงื่อนไขการปล่อยชั่วคราวของศาล ดังนั้น ควรรวบรวมหรือจัดเก็บข้อมูลด้านอื่นๆ เพิ่มเติม และควรปรับเปลี่ยนอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลแบบจำแนกประเภท เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และขอเสนอแนะใช้การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning: DL) สำหรับการสร้างแบบจำลองนี้

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานศาลยุติธรรมที่สนับสนุนทุนการศึกษา และขอขอบคุณศาลจังหวัดพะเยาที่ได้อนุญาตให้ใช้ชุดข้อมูลจากโปรแกรมศาลชั้นต้นสำหรับนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้

### เอกสารอ้างอิง

- กองการต่างประเทศ สำนักงานศาลยุติธรรม. (2555). *การขอปล่อยชั่วคราวต่อศาล*. กองการต่างประเทศ สำนักงานศาลยุติธรรม
- กิตติภพ แซ่เตีย และ จิรภัทร์ หยกรัตนศักดิ์. (2564). *การจัดการข้อมูลไม่สมดุลของการทำกลยุทธ์เสนอขายประกันต่อยอดสำหรับผู้ถือบัตรเครดิต*. ใน: *เอกสารการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 13 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม* (หน้า 514-523). มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.



- พุทธิพร ธนธรรมเมธี และเยาวเรศ ศิริสถิตย์กุล. (2561). เทคนิคการจำแนกข้อมูลที่พัฒนาสำหรับชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลของภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 27(6), 1164-1178.
- วิษณุวิสิฐ เกสรสิทธิ์, วิชิต หล่อจีระชุนท์กุล และจิรวัลย์ จิตรถเวช. (2561). การแก้ปัญหาข้อมูลไม่สมดุลของข้อมูลสำหรับการจำแนกผู้ป่วยโรคเบาหวาน. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, 18(3), 11-21.
- สลิลยา เศษเพ็ง, เทพไท ไชยทอง และ สุทธิศักดิ์ศรีลัมพ์. (2563). การประเมินความแม่นยำของแบบจำลองปริมาณน้ำฝนสะสมวิฤติ (AP-Model) ในการคาดการณ์พื้นที่ระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มล่วงหน้า. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, ชลบุรี ; 2563.
- สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (องค์การมหาชน). (2563). *กรอบการทำงานปัญญาประดิษฐ์ภาครัฐ*. <https://www.dga.or.th/document-sharing/dga-e-book/annual-ai/47112/>.
- หัสพล รัชมิกรัตน์. (2563). *การวินิจฉัยโรคพาร์กินสันโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Berrar, D. (2018). Cross-validation. *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology*, 1, Elsevier.
- Chawla, Nitesh V., Bowyer, Kevin W., Hall, Lawrence O., & Kegelmeyer, W., Philip. (2002). SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16, 321-357.
- Chen, Z., Zhou, L. & Yu, W. (2021). ADASYN-random forest based intrusion detection model. *SPML 2021: 2021 4<sup>th</sup> International Conference on Signal Processing and Machine Learning* (pp. 152-159), United States.
- Chen, T. & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> ACM SIGKDD International Conference*.
- Elgeldawi, E., Sayed, A., Galal, A. & Zaki, A. (2021). Hyperparameter tuning for machine learning algorithms used for Arabic sentiment analysis. *Informatics*, 8, 79.
- Gheyas, I. & Smith, L. (2010). Feature subset selection in large dimensionality domains. *Pattern Recognition*, 43, 5-13.
- Guan, J., Jiang, X & Mao, B. (2021). A method for class-imbalance learning in android malware detection. *Electronics 2021*, 10, 3124.
- Han, H., Wang, W. & Mao, B. (2005). *Borderline-SMOTE: A new over-sampling method in imbalanced data sets learning*. In: *International Conference on Intelligent Computing Hefei* (pp. 878-887). China.
- He, H., B., Yang, G. E. & Li, S. (2008). ADASYN: Adaptive synthetic sampling approach for imbalanced learning. *IEEE World Congress on Computational Intelligence: 2008 IEEE International Joint Conference on Neural Networks* (pp. 1322-1328). Hong Kong.
- Jiang, Z., Pan, T., Zhang, C. & Yang, J. (2021). A new oversampling method based on the classification contribution degree. *Symmetry*, 13(2), 194.
- Krawczyk. (2016). Learning from imbalanced data: open challenges and future directions. *Progress in Artificial Intelligence*, 5, 221-232.
- Kulkarni, A., Feras, A., Batarseh & Chong, D. (2020). Foundations of data imbalance and solutions for a data democracy. *Data Democracy At the Nexus of Artificial Intelligence, Software Development, and Knowledge Engineering*, 83-106.
- Minh, H. (2018, October 11). *How to Handle Imbalanced Data in Classification Problems*. <https://medium.com/@nminh.hoang1023/handling-imbalanced-data-in-classification-problems-7de598c1059f>.
- Natekin, A. & Knoll, A. (2013). Gradient Boosting Machines. A Tutorial. *Frontiers in Neurobotics*, 7, 21.
- Saito, S., Shirakawa, S & Akimoto, Y. (2018). Embedded feature selection using probabilistic model-based. *Optimization. the Genetic and Evolutionary Computation Conference 2018 Companion* (pp. 1922-1925). Japan.
- Schapire, R.E. & Freund, Y. (2012). *Boosting: foundations and algorithms*. The MIT Press Cambridge.
- Wu, P. & Zhao, H. (2011). Some analysis and research of the AdaBoost algorithm. *Communications in Computer and Information Science*, 134, 1-5.
- Zhua, R., Guob, Y & Xuec, J.H. (2020). Adjusting the imbalance ratio by the dimensionality of imbalanced data. *Pattern Recognition Letters*, 133, 217-223.

# การประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อแก้ปัญหาการหาเส้นทาง การขนส่ง กรณีศึกษา บริษัทขนส่งน้ำแข็งแห่งหนึ่งในจังหวัดร้อยเอ็ด

## An application of saving and genetic algorithms for solving vehicle routing problem: A case study of an ice production transportation company in Roi Et

สรินญา ศาลางาม<sup>1\*</sup>  
Sarinya Sala-ngam<sup>1\*</sup>

Received: 13 July 2022 ; Revised: 30 September 2022 ; Accepted: 28 October 2022

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) หลังจากนั้นทำการพัฒนาค่าตอบของเส้นทางขนส่งด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เพื่อหาเส้นทางและปรับปรุงเส้นทางขนส่งของยานพาหนะของกรณีศึกษาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลความสามารถในการบรรทุกยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ตำแหน่งของลูกค้า จำนวนความต้องการของลูกค้า และระยะทางการขนส่งระหว่างโรงงานน้ำแข็งกับลูกค้า จากผลของการเก็บรวบรวมข้อมูล บริษัทได้ทำการส่งน้ำแข็งให้ลูกค้ารวมทั้งสิ้น 31 ราย ความต้องการของลูกค้าทั้งหมดคือ 3,812 ลิตร หลังจากนั้นทำการปรับปรุงและพัฒนาหาเส้นทางขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และวิธีเชิงพันธุกรรม (อัตราการสลับสายพันธุ์ 0.08 อัตราการผ่าเหล่า 0.01 จำนวนประชากร 100 และจำนวนรุ่น 100 รุ่น) จากผลการศึกษา จำนวนเส้นทางหลังการปรับปรุง ทั้ง 2 วิธีมีทั้งสิ้น 3 เส้นทาง และระยะทางรวมของเส้นทางขนส่งของยานพาหนะที่ถูกปรับปรุงด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด คือ 708.5 กิโลเมตร ส่วนระยะทางรวมของเส้นทางที่ถูกปรับปรุงด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม ให้ระยะทาง 793.1 กิโลเมตร ดังนั้นเพื่อนำเสนอเส้นทางขนส่งของยานพาหนะของกรณีศึกษาที่มีประสิทธิภาพ และให้ระยะทางรวมของการขนส่งที่สั้นที่สุด ผู้วิจัยได้เลือกเส้นทางที่ถูกปรับปรุงด้วยการผสมผสานทั้ง 2 วิธี ซึ่งเส้นทางขนส่งที่ผู้วิจัยได้นำเสนอการศึกษาในครั้งนี้มีระยะทางรวมทั้งหมด 637.1 กิโลเมตร คิดเป็นระยะทางที่สั้นลงร้อยละ 24.48 เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางของเส้นทางที่คำนวณด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม

**คำสำคัญ:** ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด วิธีเชิงพันธุกรรม

### Abstract

This research aimed to study improvement of transportation routes using Saving Algorithm and Genetic Algorithm (GA). The main objective of this study was to find and improve transportation routes efficiency in a case study. In order to improve the efficiency of transport, the load capacity of a vehicle, customer locations, customer demands, and the road distance from distribution center to customers including customer to customer were taken into consideration to search the best routes for ice transportation. From the investigation, this factory delivers ice to 31 customers, and the total of customer demand is 3,812 liters. The Saving Algorithm and GA were used to find and improve ice transportation routes to shorten distance effectively. In the case of GA, crossover rate = 0.8, mutation rate = 0.01, population = 100, and generation = 100 were used as GA parameters. The results showed that there were 3 vehicle routes that could be improved by both methods, and the total traveling distance calculated by Saving method gave a shorter distance, which was about 708.5 kilometers. On the other hand, the total distance calculated by GA was 793.1 kilometers. Therefore, in order to shorten the distance effectively, both Saving Algorithm and GA were combined and presented

<sup>1</sup> อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Lecturer, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand

\* Corresponding author; Sarinya Sala-ngam, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. sarinya.sa@msu.ac.th

in this study. The total route distance was about 637.1 kilometers. It was reduced by 24.48% compared with the total distance calculated by GA.

**Keywords:** Vehicle Routing Problem (VRP), Saving Algorithm, Genetic Algorithm (GA)

## บทนำ

ในภาคของธุรกิจการบริการด้านโลจิสติกส์ (Logistics) เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การดำเนินงานทางธุรกิจและเศรษฐกิจขับเคลื่อนไปข้างหน้า ถือได้ว่ามีความสำคัญต่อธุรกิจเกือบทุกประเภท ทั้งในส่วนการจัดหาวัตถุดิบ การวางแผนการผลิต การบรรจุภัณฑ์ การส่งสินค้าให้ถึงมือลูกค้าอย่างปลอดภัยและตรงตามเวลา รวมไปถึงการบริการลูกค้าเพื่อให้พึงพอใจในการบริการของผู้ประกอบการ ต้นทุนของการจัดการโลจิสติกส์จึงเป็นสิ่งที่ผู้ประกอบการให้ความสำคัญ เนื่องจากการจัดการโลจิสติกส์ที่ดีจะสามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มกำไรให้ธุรกิจ ทั้งยังสามารถสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน ต้นทุนการขนส่ง (Transportation Cost) ถือว่าเป็นต้นทุนหลักของโลจิสติกส์ การจัดการขนส่งที่ไม่ได้ประสิทธิภาพจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนรวมของโลจิสติกส์ เพื่อลดต้นทุนในการขนส่งและต้นทุนรวมของการจัดการโลจิสติกส์ ผู้ประกอบการได้พยายามหาแนวทางและวิธีการที่จะสามารถแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดระยะทางรวมของเส้นทางขนส่ง ในขณะที่เดียวกันก็สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า (Demand) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลให้ธุรกิจดังกล่าวได้เปรียบทางการแข่งขันพร้อมๆ กับการลดต้นทุนการขนส่งได้

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาการแก้ปัญหาเส้นทางขนส่งของยานพาหนะขนส่งด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ หรือวิธีอื่นๆ มากมาย อาทิเช่น Suwannasri (2009) ได้ศึกษารูปแบบการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) จากผลการศึกษาพบว่าวิธีการพัฒนาวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดระยะทางรวมของยานพาหนะขนส่งได้กว่าเส้นทางรถเดินทางในปัจจุบัน

Thongyu *et al.* (2018) ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อจัดเส้นทางอัตโนมัติของพนักงานส่งพัสดุ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ (Parameters) ประชากรเท่ากับ 50 ค่า Crossover เท่ากับ 0.5 และค่า Mutation เท่ากับ 0.1 จากผลการศึกษาพบว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถปรับปรุงค่าตอบของเส้นทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกว่าวิธีการอื่นๆ

Chaiwuttisak *et al.* (2018) ได้ทำการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าประเภทวัสดุก่อสร้าง

แห่งหนึ่ง ยานพาหนะที่ใช้มี 2 ประเภทคือ รถบรรทุกขนาด 4 ล้อ และขนาด 6 ล้อในการขนส่งสินค้า และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงอยู่ที่ 10 กม./ลิตร และ 5 กม./ลิตร ตามลำดับ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) ในการหาค่าตอบเริ่มต้น หลังจากนั้นทำการปรับปรุงค่าตอบด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms) จากผลการศึกษา เส้นทางขนส่งของยานพาหนะที่ถูกปรับปรุงด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมจะให้ระยะทางโดยรวมที่สั้นที่สุดและมีค่าใช้จ่าย (ค่าเชื้อเพลิง) ที่ต่ำกว่าค่าตอบของเส้นทางที่คำนวณด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและเส้นทางขนส่งในปัจจุบัน (คิดเป็นระยะทางรวมที่สั้นลง 33%) ดังนั้นผู้วิจัยได้สรุปว่าวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีที่สามารถจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Saejiw and Monthatipkul (2007) ได้ทำการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเดินทางของรถบรรทุกชนิดเต็มตู้เอทีเอ็มหนึ่งคัน ด้วยปัญหาแบบ TSP (General Traveling Salesman Problem) และพัฒนาค่าตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม จากผลการศึกษาพบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมให้ค่าตอบของเส้นทางที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ให้ระยะเดินทางรวมที่ลดลงร้อยละ 42.6 และร้อยละ 46.4 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี TSP และวิธีในปัจจุบัน

Pranet *et al.* (2012) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำเสนอวิธีการปรับปรุงเส้นทางขนส่งของยานพาหนะขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด จากผลการศึกษา ผู้วิจัยสามารถปรับปรุงเส้นทางขนส่งของยานพาหนะขนส่งน้ำแข็งให้ระยะทางรวมสั้นลงกว่าเดิม 29.14 กิโลเมตร และสามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิงการขนส่งจากเดิมคิดเป็น 64.33 บาท

Khamsaen and Boonmee (2018) ได้ศึกษา การวางแผนเส้นทางรถเยี่ยมชมจุดท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขด้านกรอบเวลา โดยประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม โดยเลือกเมืองจำลอง จังหวัดชลบุรี เป็นกรณีศึกษา คณะผู้วิจัยประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม เปรียบเทียบกับวิธีการหาเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor: NN) และวิธีการค้นหาตามค่าที่ดีที่สุด (Best First Search: BFS) ผลการศึกษาพบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมมีค่าตอบของเส้นทางที่ดีกว่าวิธีการหาเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด ที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 2.12 และ ดีกว่าวิธีการค้นหาตามค่าที่ดีที่สุด ที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 34.78

Sangpanj and Sirikulvadhana (2014) ศึกษาเพื่อแก้ปัญหาเส้นทางการขนส่งของโรงกำจัดซากไก่ทั้ง 22 จุด เพื่อนำเสนอเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพสามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งได้ โดยผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดในการสร้างคำตอบ หลังจากนั้นทำการพัฒนาคำตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม ผลการศึกษาที่ได้ยานพาหนะขนส่งสามารถไปรับซากไก่และเศษซากไก่จาก 22 จุด พบว่าใช้รถขนส่งทั้งหมด 13 รอบ โดยใช้ค่าใช้จ่ายรวม 100,350 บาทต่อวัน ระยะทางรวม 3,996.90 กม.ต่อวัน และใช้เวลาประมวลผลประมาณ 1.78 วินาที

การศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาปัญหาเส้นทางการขนส่งยานพาหนะของบริษัทน้ำแข็งแห่งหนึ่งในจังหวัดร้อยเอ็ดเป็นกรณีศึกษา เนื่องจากผู้วิจัยพบว่าบริษัทกรณีศึกษานี้ได้ทำการขนส่งน้ำแข็งโดยใช้รถบรรทุกของโรงงานไปยังลูกค้าที่ยังไม่ได้มีการวางแผนเส้นทางการเดินทางที่ชัดเจน การบรรทุกน้ำแข็งขึ้นรถในแต่ละเที่ยวก็อาศัยการกะประมาณตามประสบการณ์ของพนักงานเท่านั้น ทำให้ทางโรงงานประสบปัญหาการวิ่งไปส่งสินค้าในเส้นทางเดิมวันละหลายเที่ยวหรือพบว่า บรรทุกน้ำแข็งไปไม่เพียงพอ ทำให้ต้องวิ่งรถเปล่ากลับมาโรงงานอีกครั้ง ทำให้สิ้นเปลืองเวลาและค่าขนส่งเป็นอย่างมาก ดังนั้นเพื่อนำเสนอเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อเสนอแนวทางการแก้ปัญหาเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะขนส่ง รวมถึงเพื่อนำเสนอเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

## ระเบียบวิธีวิจัย

### 1. อุปกรณ์และเครื่องมือการดำเนินงานวิจัย

เพื่อศึกษาการแก้ปัญหาเส้นทางการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีการในการดำเนินการวิจัย ได้แก่ 1. คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Intel © core (TM) i5-8500 CPU@ 3.00 GHz 4GB) สำหรับบันทึกและประมวลผลข้อมูล 2. Google Earth/Map Website ใช้ในการระบุพิกัด หรือตำแหน่งของลูกค้าหรือจุดที่สนใจ รวมถึงการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งที่สนใจ 3. แบบสำรวจหรือสอบถามข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณีศึกษา 4. Microsoft Excel เพื่อใช้ในการประมวลผลตัวเลขเบื้องต้น (Excel Version 2016) 5. วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด 6. วิธีเชิงพันธุกรรม 7. ตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem)

## 2. ข้อมูลพื้นฐาน

ผู้วิจัยได้ทำการลงพื้นที่เพื่อสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นกับบริษัทกรณีศึกษา โดยข้อมูลสภาพทั่วไปมีดังนี้ บริษัทกรณีศึกษาตั้งอยู่ที่จังหวัดร้อยเอ็ด เป็นบริษัทที่ทำธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตน้ำแข็ง และทำการขนส่งสินค้า คือน้ำแข็งหลอดและน้ำแข็งบดให้กับลูกค้าในเขตจังหวัดร้อยเอ็ดและจังหวัดใกล้เคียงรวมทั้งสิ้น 31 ราย (Figure1) และความต้องการของลูกค้า (Customer demand) ในแต่ละราย แต่ละวันและแต่ละเดือนมีความต้องการที่ไม่เท่ากัน (ลูกค้ามีความต้องการน้ำแข็งโดยเฉลี่ยทุกวัน) ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการของลูกค้าตั้งแต่เดือน ม.ค. ถึงเดือน ส.ค. พ.ศ. 2563 และทำการหาค่าเฉลี่ยความต้องการน้ำแข็งในแต่ละเดือนของลูกค้าทั้ง 31 ราย ซึ่งความต้องการของลูกค้าทั้ง 31 รายแสดงใน Table 1 จาก Table 1 ความต้องการน้ำแข็งของลูกค้าทั้ง 31 รายเฉลี่ยรวม 3,812 ลิตรต่อเดือน ซึ่งความต้องการน้ำแข็งของลูกค้ามากที่สุดคือ 226 ลิตรต่อเดือน และความต้องการน้ำแข็งน้อยที่สุดคือ 61 ลิตรต่อเดือน สำหรับยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าทั้ง 2 ชนิดคือ รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล ความสามารถในการบรรทุกของไม่เกิน 1,500 กิโลกรัม (หรือลิตร) ต่อคัน โดยบริษัทใช้รถในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าทั้งหมด 3 คัน หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ Google Map เพื่อคำนวณหาระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย รวมทั้งสิ้น 31 ราย

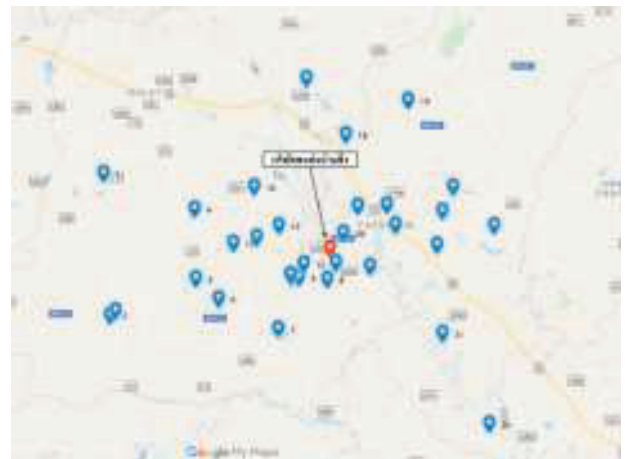


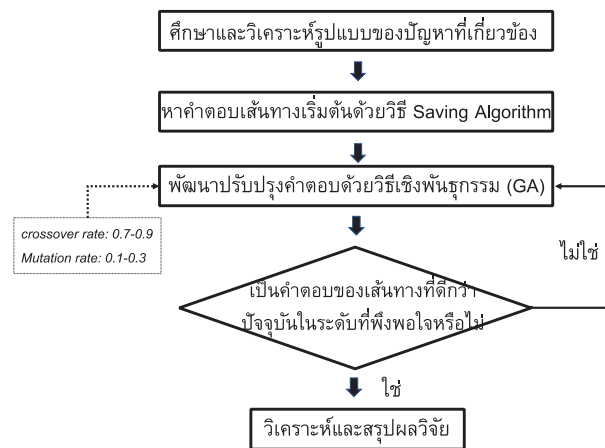
Figure 1 The locations of case study

**Table 1** Customer demand

No.	Customers	Demand (liter/ Month)
1	A	124
2	B	131
3	C	159
...	...	...
29	AC	94
30	AD	107
31	AE	128
<b>Total</b>		<b>3,812</b>

**วิธีการดำเนินงานวิจัย**

ในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย เพื่อหาคำตอบเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้ดำเนินการหาคำตอบของเส้นทางการขนส่งดังแสดงใน Figure 2 ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการศึกษาได้ดังนี้



**Figure 2** Research process

1. ทำการศึกษาปัญหาเส้นทางการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา หลังจากนั้นทำการลงพื้นที่เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย

2. หาคำตอบเริ่มต้นของเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด ซึ่งเป็นวิธีจัดเส้นทางของยานพาหนะจากคลังสินค้าเพียง 1 แห่งไปยังลูกค้าหลายราย โดยพิจารณาถึงความสามารถการบรรทุกของยานพาหนะที่หลากหลายเพื่อส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าตามความต้องการของลูกค้า (Clarke & Wright, 1964) วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดสามารถจัดเส้นทางของยานพาหนะได้โดยการคำนวณค่าของระยะเวลา ระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ประหยัดระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่งจากสมการที่ (1) ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel เพื่อช่วยใน

การคำนวณค่าประหยัด (Saving) หลังจากนั้นเรียงค่าประหยัดจากมากไปหาน้อย และทำการจัดเส้นทางโดยการพิจารณาจากค่าประหยัดที่มากไปหาน้อยและความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ทำซ้ำจนกว่าลูกค้าทุกรายจะถูกจัดให้อยู่ในเส้นทาง

$$S_{ij} = C_{id} + C_{dj} - C_{ij} \tag{1}$$

โดยที่

$i$  คือ ลูกค้ารายที่  $i$

$j$  คือ ลูกค้ารายที่  $j$

$S_{ij}$  คือ ระยะทางการขนส่งที่ประหยัดระหว่างลูกค้า  $i$  กับลูกค้า  $j$

$C_{id}$  คือ ระยะทางระหว่างลูกค้า  $i$  ไปยังบริษัทกรณีศึกษา

$C_{dj}$  คือ ระยะทางระหว่างบริษัทกรณีศึกษาไปยังลูกค้า  $j$

$C_{ij}$  คือ ระยะทางระหว่างลูกค้า  $i$  ไปยังลูกค้า  $j$

3. พัฒนาและปรับปรุงคำตอบที่ได้จากวิธี อัลกอริทึมแบบประหยัดด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาเส้นทางการขนส่ง เนื่องจากเป็นวิธีหาคำตอบได้รวดเร็วและเหมาะสมที่สุด วิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีที่เลียนแบบการคัดเลือกของธรรมชาติ จะมีขั้นตอนในการหาคำตอบคือ 1. สร้างประชากรต้นแบบ 2. ประเมินค่าความเหมาะสม 3. กระบวนการพันธุกรรม และ 4. การคัดเลือกประชากรที่เหมาะสมเพื่อยู่อุดในรุ่นถัดไป Gen et al. (2008) (Figure 3) โดยขั้นตอนที่สำคัญคือ กระบวนการทางพันธุกรรมที่ต้องคัดเลือก (Selection) กำหนดค่าการสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) การศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการคำนวณเพื่อหาคำตอบเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีนี้ คือ อัตราการสลับสายพันธุ์ 0.08 อัตราการผ่าเหล่า 0.01 จำนวนประชากร 100 และจำนวนรุ่น 100 รุ่น และใช้วิธี Roulette Wheel Selection ในการสุ่มลูกค้าในเส้นทางนั้นๆ

Figure 3 แสดงถึงขั้นตอนการประมวลผลเพื่อพัฒนา คำตอบเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม นอกจากนี้แล้ว เพื่อการประมวลผลและหาคำตอบที่แม่นยำ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปอย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นโดยภาษา VBA ใน Microsoft Excel เพื่อประมวลผลหาคำตอบของเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะของบริษัทกรณีศึกษา (Figure 4)

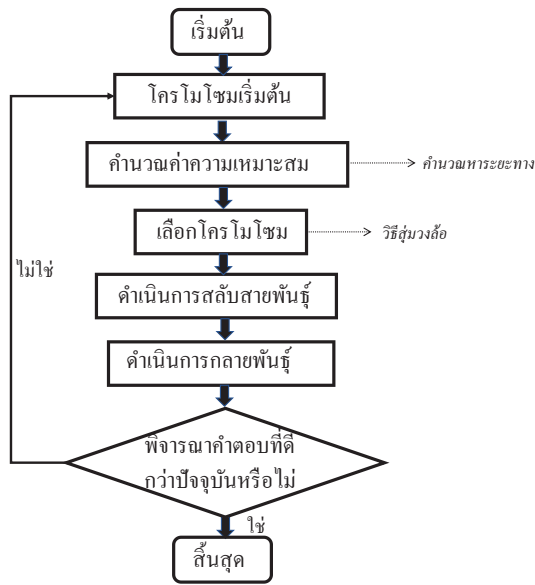


Figure 3 GA flowchart

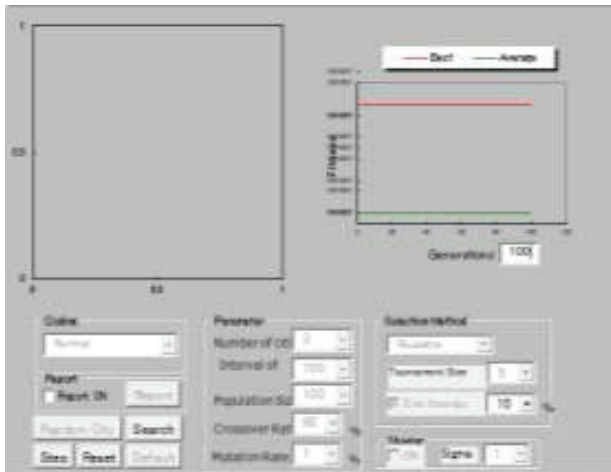


Figure 4 Basic program for solving VRP

4. เปรียบเทียบคำตอบของเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่ได้จาก 2 วิธีข้างต้น เพื่อหาคำตอบของเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ ลดระยะทางรวมของการขนส่งได้มากที่สุด

**ผลการศึกษา**

เมื่อกำหนดค่าประหยัดโดยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด ด้วยโปรแกรม Excel ผู้วิจัยได้ทำการหาคำตอบของเส้นทางเริ่มต้นของยานพาหนะ (โดยแต่ละเส้นทางต้องมีความต้องการน้ำแข็งรวมไม่เกินน้ำหนักของรถบรรทุก) ผลการจัดเส้นทางการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาด้วยวิธีดังกล่าวแสดงดัง Table 2

**Table 2** The results of routing by Saving Algorithm

Routing	Distance (Km)	Demand (Liter)
0-1-2-3-4-5-6-7-13-14-15-16-0	283	1423
0-28-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-0	354	1408
0-8-9-10-11-12-30-31-29-0	71.5	981
<b>Total</b>	<b>708.5</b>	<b>3,812</b>

จากผลการจัดเส้นทางด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด เส้นทางการขนส่งน้ำแข็งมีทั้งสิ้น 3 เส้นทาง ระยะทางรวม 708.5 กิโลเมตร เส้นทางแรกเป็นเส้นทางที่ขนส่งน้ำแข็งโดยเริ่มจากบริษัทน้ำแข็งขนส่งไปยังลูกค้ารายที่ 1 2 3 จนถึงลูกค้ารายที่ 16 แล้ววนกลับไปยังบริษัทน้ำแข็งเช่นเดิม ระยะทางรวม 283 กิโลเมตร ส่วนรายละเอียดเส้นทาง 2 และ 3 แสดงใน Table 2 ผลการจัดเส้นทางทั้ง 3 เส้นทางดังกล่าวข้างต้นสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดัง Figure 5 หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงเส้นทางที่ได้จากวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด ด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น (Figure 4) ผลการปรับปรุงเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะขนส่งแสดงใน Table 3

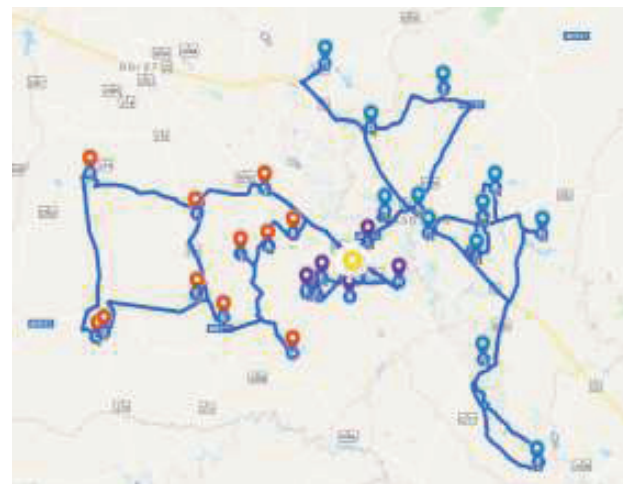


Figure 5 The Vehicle routing results by Saving Algorithm

**Table 3** The results of routing developed by GA

Routing	Distance (Km)	Demand (Liter)
0-15-16-14-13-4-1-2-3-5-6-7-0	225.4	1423
0-27-26-25-22-20-19-21-23-24-18-28-17-0	510	1408
0-12-11-10-9-8-30-31-29-0	57.7	981
<b>Total</b>	<b>793.1</b>	<b>3,812</b>

Table 3 แสดงผลการปรับปรุงค่าตอบเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม จะเห็นได้ว่าระยะทางรวมของเส้นทางการขนส่งดังกล่าวคือ 793.1 กม. นอกจากนี้แล้วหากนำผลเส้นทางทั้ง 3 เส้นทางแสดงเป็นแผนภาพจะได้ดัง Figure 6 จากผลการประมวลเพื่อหาปรับปรุงค่าตอบของเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ จะเห็นได้ว่าระยะทางรวมเป็นระยะทางที่มากกว่าระยะทางรวมของเส้นทางการขนส่งที่ถูกจัดด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด แต่เส้นทางที่ 1 และเส้นทางที่ 3 กลับได้ระยะทางที่สั้นกว่าค่าตอบของระยะทางของวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด เพื่อจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะขนส่งให้มีประสิทธิภาพ และสามารถลดระยะทางรวมของเส้นทางการขนส่งที่ได้สั้นลงที่สุด ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลของการจัดเส้นทางทั้ง 2 วิธี จากผลการเปรียบเทียบสรุปได้ว่า 2 ใน 3 ของเส้นทางที่ถูกปรับปรุงด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม ให้ระยะทางรวมที่สั้นกว่าเส้นทางของวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด ในขณะที่ระยะทางรวมของเส้นทางทั้งหมดของวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด จะให้ระยะทางรวมที่สั้นกว่าวิธีเชิงพันธุกรรม คิดเป็นร้อยละ 10.67

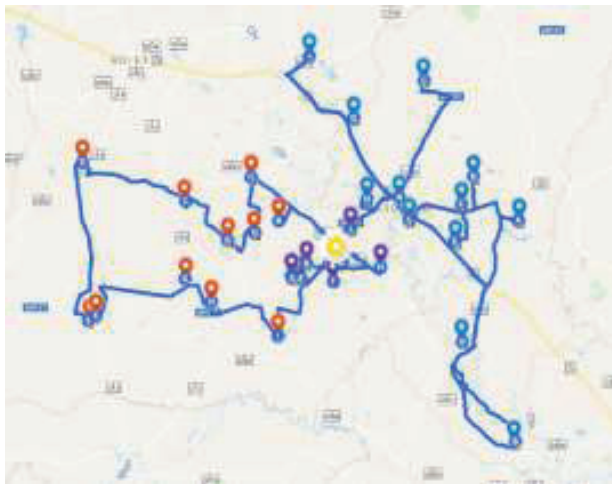


Figure 6 The Vehicle routing results developed by GA

เพื่อนำเสนอเส้นทางการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาที่มีประสิทธิภาพ ลดระยะทางรวมของเส้นทางการเดินทางได้สั้นที่สุด ผู้วิจัยได้เลือกเส้นทางที่ 1 และ 3 ที่ถูกพัฒนาด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม ในส่วนของเส้นทางที่ 2 ผู้วิจัยได้เลือกเส้นทางของวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด ดังรายละเอียดที่แสดงใน Table 4 และ Figure 7

Table 4 The vehicle routing results with hybrid method

Method	No.	Routing	Distance (Km)
GA	1	0-15-16-14-13-4-1-2-3-5-6-7-0	225.4
Saving Algorithm	2	0-28-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-0	354.0
GA	3	0-12-11-10-9-8-30-31-29-0	57.7
<b>Total</b>	-	-	<b>637.1</b>

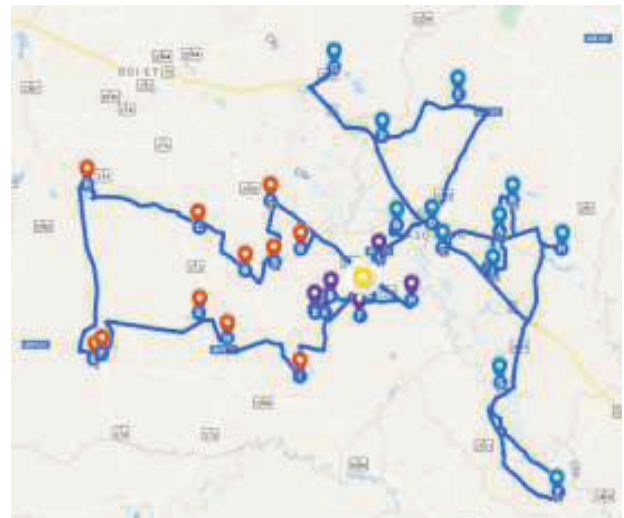


Figure 7 The vehicle routing results solved by the hybrid method between Saving and GA

### สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะขนส่งของกรณีศึกษาด้วยโดยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และพัฒนาค่าตอบของเส้นทางการขนส่งของคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม ภายใต้เงื่อนไขความต้องการของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน มียานพาหนะที่ทำการขนส่ง 3 คัน แต่ละคันมีความจุสูงสุด 1,500 ลิตร (หรือกิโลกรัม) จากการเก็บข้อมูลบริษัทกรณีศึกษา พบว่าการขนส่งน้ำแข็งจากบริษัทไปยังลูกค้านั้น ยังไม่ได้มีการวางแผนเส้นทางการขนส่งที่ชัดเจน ส่งผลให้บริษัทต้องขนส่งน้ำแข็งไปยังลูกค้าด้วยระยะทางที่ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาด้วยวิธีการผสมผสานวิธี 2 วิธี ดังที่ได้กล่าวในข้างต้น จากผลการศึกษาระยะทางรวมของเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด ให้ระยะทางรวมที่สั้นกว่าวิธีเชิงพันธุกรรม แต่เส้นทางที่ถูกปรับปรุงด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม 2 ใน 3 ของเส้นทางการขนส่งกลับให้เส้นทางที่สั้นกว่าวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดเป็นอย่างมาก

ดังนั้น ผู้วิจัยได้นำเสนอเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะขนส่งน้ำแข็งด้วยวิธีวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งเส้นทางดังกล่าวให้ระยะทางของยานพาหนะ 637.1 กิโลเมตร ลดลงจากวิธีแบบประหยัดและวิธีเชิงพันธุกรรม คิดเป็นร้อยละ 11.20 และ 24.48 ตามลำดับ การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาในขอบเขตเฉพาะปัญหาของกรณีศึกษา จะเห็นได้ว่าการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีผสมผสานทั้ง 2 วิธีนี้ เป็นวิธีที่หาคำตอบของปัญหาเส้นทางการขนส่งของกรณีศึกษาได้อย่างไม่ยุ่งยากและซับซ้อนมาก แต่สามารถนำเสนอเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาที่มีประสิทธิภาพ ให้ระยะทางรวมของการเดินทางที่สั้นลงได้ นอกจากนี้แล้วผู้วิจัยยังสามารถนำเสนอวิธีการใหม่ที่ประยุกต์ใช้วิธีที่มากกว่าหนึ่งวิธีเพื่อให้ได้เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะมีระยะทางรวมที่น้อยที่สุด อันจะส่งผลต่อการลดต้นทุนของการขนส่งโลจิสติกส์และสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับผู้ประกอบการได้

### ข้อเสนอแนะ

โดยทั่วไปแล้วการแก้ปัญหาของเส้นทางการขนส่งสามารถหาคำตอบได้หลากหลายวิธี แต่ละวิธีก็ให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภท ขนาด และรายละเอียดตัวแปรหรือเงื่อนไขของปัญหา วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีที่ค่อนข้างนิยมในการแก้ปัญหาเส้นทางการขนส่ง เนื่องจากวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนและหาคำตอบของปัญหาได้เหมาะสมสำหรับปัญหาเส้นทางการขนส่งที่มีจำนวนลูกค้าไม่มากนักและไม่มีเงื่อนไขหรือรายละเอียดของปัญหาที่เยอะจนเกินไป ในขณะที่วิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีที่ค้นหาคำตอบของปัญหาเส้นทางการขนส่งโดยวิวัฒนาการคำตอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดและสามารถนำไปใช้ได้เหมาะกับทั้งปัญหาเส้นทางการขนส่งที่ไม่ซับซ้อนและปัญหาขนาดใหญ่ มีเงื่อนไขหรือรายละเอียดค่อนข้างเยอะกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด ดังนั้นผู้ที่สนใจการแก้ปัญหาเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะขนส่งด้วยวิธี 2 วิธีดังกล่าวข้างต้น ควรศึกษาลักษณะและรายละเอียดของปัญหาว่ามีความซับซ้อนมากน้อยเพียงใด จะช่วยให้สามารถเลือกวิธีการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม และได้คำตอบของปัญหาที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นได้

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินอุดหนุนการวิจัยอาจารย์รุ่นใหม่ งบประมาณรายได้ ประจำปี 2561 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

### เอกสารอ้างอิง

- Chaiwuttisak, P., Sukka, K., Sawasdee, C., Daengsai, W., Buathong, S., & Warachan, B. (2018). Vehicle routing problem for construction materials. *The Journal of KMUTNB*, 28(2), 427-438.
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12, 568-581.
- Gen, M., Cheng, R., & Lin, L. (2008). Network models and optimization. *Springer, Verlag London Limited*.
- Khamsaen, S., & Boonmee, A. (2018). Planning for travel itinerary routes under time duration constraints using genetic algorithm: A case study of Mini Siam, Chon Buri Province. *Thai Journal of Operations Research*, 6(1), 1-12.
- Pranet, K., Supakde, K., & Kotmongkol, T. (2012). A development for solving vehicle routing problem using saving algorithm: A case study of jittedamrongwanich ice factory. *Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University*, 2(4), 9-16.
- Saejiw, J., & Monthatipkul, C. (2007). Cash transportation of vehicle routing under considering security using genetic algorithm. *Proceeding of KMUTT Conference*, Bangkok.
- Sangpanj, S., & Sirikulvadhana, S. (2014). Application of genetic algorithm for vehicle routing problem of chicken rendering plants. *The Journal of KMUTNB*, 28(4), 526- 536.
- Suwannasri, P. (2009). A study on vehicle routing problem using genetics algorithm. *Proceeding of 3<sup>rd</sup> RSU research Conference, Chaing Mai, Thailand*.
- Thongyu, W., Somkantha, K., & Kultangwattana, W. (2018). Intelligence online system for automatic route planning by using genetic algorithm. *The Journal of KMUTNB*, 28(4), 789-798.



# ปัจจัยที่เหมาะสมในการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 5106

## Optimization factors in hardening of AISI 5106 carbon steel

สิทธิพงษ์ อุดมบุญญาอนุภาพ<sup>1</sup>, นลิน เพียรทอง<sup>2\*</sup>  
Sittipong Udomboonyanupap<sup>1</sup>, Nalin Pianthong<sup>2\*</sup>

Received: 14 February 2022 ; Revised: 20 July 2022 ; Accepted: 18 August 2022

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการชุบแข็ง เหล็กกล้าคาร์บอน ปัจจัยในการศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิในการชุบ คือ 750, 800 และ 830 °C เวลาในการอบแช่ที่ 2 และ 5 นาที ด้วยสารอบชุบน้ำมัน และน้ำ จากนั้นทำการตรวจสอบความแข็งของชิ้นงาน พบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการชุบแข็ง คือที่อุณหภูมิ 764 °C เวลาอบแช่ในการเผา คือ 5 นาที และสารชุบแข็ง คือ น้ำมัน ซึ่งได้ชิ้นงานที่ค่าความแข็งเฉลี่ย 48 HRC นอกจากนี้ยัง พบว่า อุณหภูมิในการชุบส่งผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงาน แต่เวลาอบแช่ในการเผาและสารชุบไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

คำสำคัญ: เหล็กกล้าคาร์บอน AISI 5106 การทดลองแบบแฟกทอเรียล การชุบแข็ง

### Abstract

The objective of this research was to determine the optimum factor of the hardening process of carbon steel. The study factors were quenching temperatures at 750, 800 and 830 °C, with 2 and 5 min of holding times, and the quenching media were oil and water. The hardness of the specimens was measured. It was found that the optimal conditions for hardening were at a hardening temperature of 764 °C, hardening for 5 minutes holding using oil quenching. It was found that the average hardness of workpieces was 48 HRC. It was also found that the quenching temperature affected the hardness of the work-piece but the holding times and the quenching medium did not affect the workpiece hardness at 0.05 significance level.

Keywords: AISI 5106 carbon steel, factorial experimental design, hardening

---

<sup>1,2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 85 ถนน สทลมาร্ক ตำบลเมืองศรีไค  
อำเภอวารินชำราบ อุบลราชธานี 34190

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน: Nalin.p@ubu.ac.th

<sup>1,2</sup> Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, UbonRatchathani University, 85 Sathonlamark Road,  
Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani, 34190

\* Corresponding author: Nalin.p@ubu.ac.th

## บทนำ

เหล็กกล้าคาร์บอนมีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรม ทุกภาคส่วนเนื่องจากคุณสมบัติที่มีความยืดหยุ่นต่อกระบวนการผลิตที่ดี ไม่เว้นแม้แต่อุตสาหกรรมระดับชุมชน อาทิ กลุ่มผู้ประกอบการผลิตมีดพริ้วหรืออุปกรณ์ทางการเกษตร ในบรรดาเหล็กกล้าคาร์บอนจำนวนมากเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 5160 หรือเรียกอีกอย่าง คือ เหล็กกล้าสปริงเป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของคาร์บอนและโครเมียมปริมาณสูง มักถูกใช้งานในด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยถูกมักใช้ผลิตแหนบรถยนต์ เนื่องจากมีความเหนียวสูง ความแข็งแรง ตลอดจนการทนต่อความล้าที่ดีเยี่ยม (Jaramillo *et al.*, 2019 ; Zambrano *et al.*, 2019 ; Thant *et al.*, 2019) แต่เมื่อถูกใช้งานจนเสื่อมสภาพแล้วนั้นมักถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น มีดพริ้ว ไขมีดตัด และอุปกรณ์ทางการเกษตร เนื่องจากคุณสมบัติทางกลและความสามารถในการปรับปรุงทางความร้อนที่ดี (Han *et al.*, 2020 ; Perla *et al.*, 2017) กระบวนการผลิตมีดพริ้วประกอบด้วยกระบวนการขึ้นรูปโดยการตีร้อน การเจียรระในกระบวนการชุบแข็ง และกระบวนการอบคืนไฟ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มักส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย แต่จากการสังเกตการณ์จากกระบวนการผลิตกลับพบว่ากระบวนการชุบแข็งยังประสบปัญหาต่อผู้ประกอบการ เพราะเป็นกระบวนการ ที่ซับซ้อน จากสาเหตุของปัจจัยในกระบวนการชุบแข็ง เช่น อุณหภูมิในการอบชุบ เวลาในการเผาแซ่หรือแม้แต่สารตัวกลางในการชุบ ปัจจุบันมีรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกระบวนการปรับปรุงทางความร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 5160 เช่น Apichai. (2020) ศึกษากระบวนการชุบแข็งที่ส่งผลต่อความแข็งแรงและโครงสร้างจุลภาคโดยทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิในการชุบและสารตัวกลางในการชุบจากการตรวจสอบพบว่าอุณหภูมิในการชุบที่ 780 °C ใช้ น้ำเป็นสารตัวกลาง ได้ค่าความแข็งแรงขึ้นงานที่ 40 HRC และลักษณะโครงสร้างจุลภาคพบคาร์ไบต์แทรกขึ้นบนพื้นหลักของมาร์เทนไซต์ Han X *et al.* (2018) ศึกษาการเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนต์เป็นเบนไนต์ในกระบวนการออสเทมเปอร์ริงของเหล็ก AISI 5160 โดยทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิในการทำออสเทมเปอร์ริง จากนั้นศึกษาการกระจายตัวของเบนไนต์ภายในโครงสร้างจุลภาค การตรวจสอบพบว่าในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 287-315 องศาเซลเซียส เกิดโครงสร้างเบนไนต์แบบเข็ม (Acicular bainite) และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 370-454 องศาเซลเซียส ลักษณะของโครงสร้างเบนไนต์เป็นแบบแผ่น (Feathery bainite) Penha *et al.* (2011) ศึกษาความเร็วในการไหลวนของสารตัวกลางที่ส่งผลต่อความเค้นตกค้างและการบิดงอของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบแข็งของเหล็ก AISI 5160 โดยทำการเปรียบเทียบความเร็วในการไหลของน้ำมัน 3 ระดับได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง จากการทดลอง

พบว่าอัตราการไหลวนของน้ำมันในการจุ่มชุบระดับกลางให้ผลของความเค้นตกค้างและการบิดงอต่ำสุด และมีอีกหลากหลายงานวิจัยที่กล่าวถึงตัวแปรของกระบวนการทางความร้อนที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 5160 (Herbirowo *et al.*, 2019 ; MacKenZie, 2014 ; Lozano *et al.*, 2012)

จากรายงานการศึกษางานวิจัยที่กล่าวถึงเบื้องต้นพบว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 5160 ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา สารตัวกลาง หรือแม้แต่ความเร็วในการไหลของสารตัวกลางก็มักส่งผลต่อความแข็งแรงสุดท้ายหลังการชุบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาตัวแปรในการชุบแข็งที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต การออกแบบการทดลอง (Design of Experimental: DOE) เป็นกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ การวิเคราะห์อิทธิพลของพารามิเตอร์ จะใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) ซึ่งเป็นการศึกษาระดับ (Level) ของพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาว่าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลคำตอบ (Response) อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยการหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (Response Optimization) จะเป็นการหาค่าระดับของปัจจัยที่ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของของผลคำตอบเป็นไปตามที่ต้องการ (Pimenta *et al.*, 2018 ; Bankole *et al.*, 2018) สุภัทรวีทย์ ศรีนอก และคณะ (2559) ศึกษาการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการแพ็คคาร์โบไรซิงสำหรับการชุบแข็งมีดตัดด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่าสามารถวิเคราะห์ปัจจัยในการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และคณะ (2563) ทดลองการชุบแข็งผิวเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำในกระบวนการแพ็คคาร์โบไรซิง โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง  $2^k$  พบว่า อิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้าคาร์บอน Ramos-Azpeitia *et al.* (2021) ศึกษาการหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการทางความร้อนเหล็กหล่อผสม CA-6NM ด้วยกระบวนการออกแบบการทดลองแบบ และเมื่อทำการทดลองตามการออกแบบการทดลอง สามารถเลือกระดับการทดลองที่เหมาะสมในการปรับปรุงปัจจัยในการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถใช้ในการหาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตอื่นๆ (Sathiya *et al.*, 2009 ; Richmire *et al.*, 2018 ; Bitondo *et al.*, 2011 ; Shinde *et al.*, 2021)

จากข้อมูลที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะทำการศึกษาปัจจัยในการชุบแข็งมีดพริ้วของชุมชนผู้ผลิตมีดพริ้ว บ้านนาถ่อนทุ่ง อำเภอลำดวน จังหวัดนครพนม โดยในการศึกษาครั้งนี้เป็นการนำข้อมูลจริงจากผู้ผลิตมาทำการ

ออกแบบการทดลอง โดยทำการศึกษาศาสตร์ตัวกลางในการจุ่มชุบ เวลาในการให้ความร้อน และอุณหภูมิในการชุบ โดยใช้การออกแบบการทดลอง (design of experiments: DOE) ในการวิเคราะห์อิทธิพลของพารามิเตอร์ ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้ในการผลิต และผลการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิต และผู้ที่สนใจในการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการอบชุบต่อไปในอนาคต

## วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ใช้ค่าความแข็งเฉลี่ยของมิตที่จำหน่ายในท้องตลาดเป็นเกณฑ์โดยวัดระยะความลึกจากคมมีดเข้าไปในตัวมีด 10 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของ มผช.82/2546 (ลักษณะ อินทร์ปิ่ง และคณะ, 2020) โดยค่าเฉลี่ยความแข็งของมีดพัวที่ 48 HRC โดยการทดลองในการชุบแข็งมีดพัวมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

### 1. การออกแบบการทดลอง

การหาปัจจัยในการผลิตที่เหมาะสมจะกำหนดค่าความแข็งของมีดพัวหลังการชุบแข็งเป็นผลตอบของการทดลอง ในการศึกษาใช้สารตัวกลางในการชุบเป็นน้ำ และน้ำมัน อุณหภูมิในการชุบที่ 750, 800, 830 °C เวลาในการเผาแช่ที่ 2 และ 5 นาที ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ได้จากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Apichai, 2020 ; Han *et al.*, 2018) ดังนั้นผู้วิจัยจึงแบ่งปัจจัยในการศึกษาดังแสดงใน Table 1

**Table 1** Degree of factor in the experiment

Parameter	Level			Unit
	-1	0	+1	
Quenching medium	Water		Oil	-
Holding time	2		5	min
Temperature	750	850	830	°C

จาก Table 1 พบว่ามีปัจจัยในการทดลองอยู่ 3 ปัจจัย แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ Low (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง High (+1) เลือกรูปแบบการทดลองแบบ 3 x 2 x 2 (Multilevel factorial design) ซึ่งจะให้อาจานวนครั้งในการทดลองเท่ากับ 12 การทดลอง และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการทดลองจึงได้จำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 24 การทดลอง ด้วยโปรแกรม Minitab-V19 โดยลำดับการทดลองจะใช้การทดลองแบบสุ่มเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ เช่น บรรยากาศสภาวะแวดล้อมต่างๆ และการวัดความพึงพอใจของผลตอบ (Composite Desirability: D) ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลตอบมีค่าอยู่

ระหว่าง 0-1 ถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

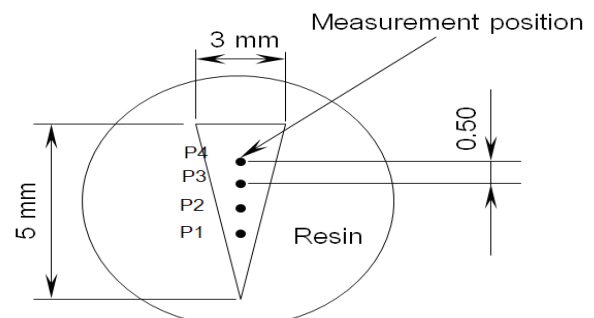
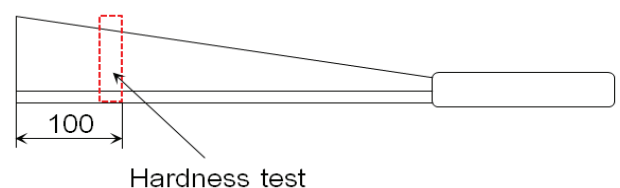
### 2. การเตรียมชิ้นทดสอบ

เหล็กกล้าคาร์บอนได้จากการนำเหล็กเหนียวรถยนต์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปมาทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ส่วนผสมทางเคมีแสดงดัง Table 2 จากนั้นทำการเทียบเคียงปริมาณส่วนผสมทางเคมีของเหล็กตามมาตรฐาน AISI โดยทำการคำนวณหาปริมาณคาร์บอนเทียบเท่า (Carbon equivalent) ดังแสดงในสมการที่ (1) มีค่าคาร์บอนเทียบเท่าเท่ากับ 0.85 พบว่ามีค่าเทียบเท่ากับเหล็กไฮเปอร์ยูเทคตอย จากนั้นให้ผู้ประกอบการตีขึ้นรูปให้เป็นมีดพัว ดังแสดงใน (Figure 1) แล้วนำมาทำการชุบแข็งตามปัจจัยที่ได้ออกแบบไว้ใน Table 4 นำมีดพัวที่ผ่านการชุบมาทำการตัดตามแนวขวางด้วยเครื่องตัดระบบน้ำหล่อเย็น (Micro Cutter) แล้วนำมาหล่อหุ้มเรือนชิ้นงานทดสอบด้วยเรซินสำหรับตรวจสอบความแข็งในการทดสอบความแข็งใช้การกดทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์ ด้วยน้ำหนักกด 9.81 kgf. ระยะในการกด 0.5 มิลลิเมตร ทำการกดทั้งหมด 4 จุด ตำแหน่งในการทดสอบแสดงดัง (Figure 1)

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + Si}{5} + \frac{Ni + P + S}{15} \quad (1)$$

**Table 2** Chemical composition of specimen

C	Mn	Cr	P	Si	S	Fe
0.53	0.84	0.64	0.026	0.224	0.038	Bal.



**Figure 1** Preparation of test specimen and position of hardness measurement (mm).

### 3. กระบวนการชุบแข็ง

สำหรับการออกแบบการทดลองชุบแข็งในงานวิจัยนี้ ใช้เตาไฟฟ้าในการให้ความร้อนให้อุณหภูมิสูงสุด 1000-1300°C ควบคุมอุณหภูมิโดย Digital Temperature Controller ให้ความร้อนอ้างอิงจากเครื่องมือวัดอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า โดยในการศึกษาใช้อุณหภูมิในการอบชุบที่ 750, 800 และ 830 °C เนื่องจากเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้ในการทดลองจากการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีและคำนวณปริมาณคาร์บอนเทียบเท่าพบว่าจัดอยู่ในกลุ่มไฮเปอร์ยูเทคตอยด์ ดังนั้นการเลือกอุณหภูมิในการชุบแข็งจึงพิจารณาอุณหภูมิเหนือเส้น  $A_{cm}$  และ  $A_1$  ระยะเวลาในการอบแช่ ( $X_2$ ) คือ 2 และ 5 นาที พิจารณาจากความหนาของชิ้นงานทดสอบโดยที่ความหนาเฉลี่ยของมีดพริ้วเท่ากับ 3 มม. จากมาตรฐานการอบชุบที่ความหนาของวัสดุในการชุบ 1 นิ้ว ใช้เวลาในการชุบ 30 นาที เมื่อทำการเทียบความหนาของมีดพริ้วกับเวลามาตรฐานจะใช้เวลาในการชุบ 3.54 นาที ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้เวลาดังกล่าวเป็นค่ากลางในการทดลอง โดยให้เอ็นตัวในสารชุบ 2 ประเภท คือ น้ำมัน และน้ำซึ่งเป็นสารตัวกลางในการชุบที่ใช้จริงของผู้ประกอบ

การ ก่อนทำการวัดค่าความแข็งของชิ้นทดสอบ กระบวนการชุบแข็งแสดงดัง (Figure 2) โดยที่  $X_1 = 75$  sec

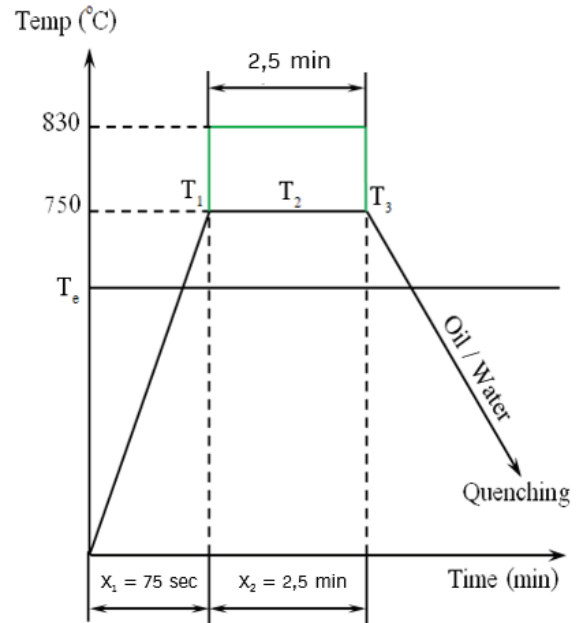


Figure 2 Diagram of heat treatment process.

Table 4 Experimental design table and hardness test experiment results

No.	Run Order	Temperature (°C)	Quenching medium	Holding Time (Min)	Hardness (HRC)					
					P.1	P.2	P.3	P.4	Average	SD
21	1	750	Oil	2	50.50	43.00	40.00	41.00	43.62	4.75
3	2	750	Oil	2	43.00	42.00	40.50	41.00	41.62	1.11
11	3	750	Oil	5	48.00	43.00	45.00	40.00	44.00	3.37
22	4	750	Oil	5	47.00	45.00	43.00	46.00	45.25	1.71
16	5	800	Oil	2	54.00	45.00	60.00	55.00	53.50	6.24
5	6	800	Oil	2	67.00	59.50	48.00	61.00	58.87	7.94
10	7	800	Oil	5	58.00	57.00	55.00	52.00	55.50	2.65
1	8	800	Oil	5	53.00	58.50	54.00	60.00	56.37	3.40
15	9	830	Oil	2	55.50	56.00	47.00	65.50	56.00	7.56
20	10	830	Oil	2	52.00	57.00	50.50	50.00	52.37	3.20
14	11	830	Oil	5	64.00	55.00	50.00	40.00	52.25	10.01
18	12	830	Oil	5	46.00	50.00	56.00	57.50	52.37	5.34
9	13	750	water	2	45.50	48.00	45.00	35.00	43.37	5.74
12	14	750	water	2	43.00	44.00	48.00	41.00	44.00	2.94
4	15	750	water	5	48.00	43.00	45.00	40.00	44.00	3.37
13	16	750	water	5	45.00	42.00	48.50	47.00	45.62	2.81
23	17	800	water	2	53.00	48.00	59.00	51.50	52.87	4.59
17	18	800	water	2	55.00	71.00	63.50	78.00	66.87	9.89
8	19	800	water	5	62.00	65.00	55.00	49.00	57.75	7.18
6	20	800	water	5	50.00	62.00	58.00	57.00	56.75	4.99

**Table 4** Experimental design table and hardness test experiment results (cont.)

No.	Run Order	Temperature (°C)	Quenching medium	Holding Time (Min)	Hardness (HRC)					
					P.1	P.2	P.3	P.4	Average	SD
24	21	830	water	2	51.50	51.50	53.00	58.00	53.50	3.08
7	22	830	water	2	48.00	60.00	48.50	51.00	52.21	5.57
19	23	830	water	5	63.00	45.50	53.00	55.00	54.12	7.19
2	24	830	water	5	76.00	53.00	52.00	60.00	60.25	11.09

**ผลการทดลอง**

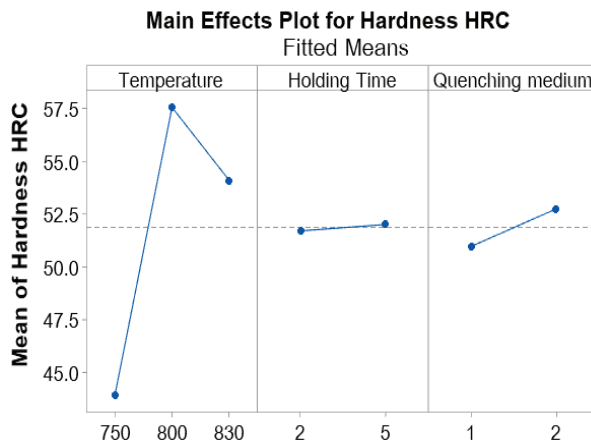
ผลการตรวจสอบค่าความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานการทดสอบ พบว่ามีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 41.62-66.87 HRC ดัง Table 4 การวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยแบบจำลองการถดถอยที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  แสดงดัง Table 5 พบว่าค่า P-Value ของเวลาในการอบแช่และสารตัวกลางในการชุบมีค่ามากกว่า 0.05 โดยนัยสำคัญแสดงว่าเวลาในการอบแช่และสารตัวกลาง ในการชุบไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งสำหรับการชุบแข็งมีดพัว แต่ในทางตรงกันข้ามจากการวิเคราะห์ปัจจัยการทดลองทั้งหมด อุณหภูมิในการอบชุบมีค่า P-Value เท่ากับ

0.00 น้อยกว่า 0.05 ซึ่งให้เห็นว่าอุณหภูมิในการชุบส่งผลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นของการทดลองร้อยละ 77.07 สาเหตุเกิดจากอุณหภูมิมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิออสเทนไนต์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์จากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วโดยการจุ่มสารชุบ ส่วนสาเหตุที่ทำให้ความแข็งของชิ้นงานแตกต่างกัน เกิดจากความแตกต่างของปริมาณโครงสร้างมาเทนไซต์ โครงสร้างที่เปลี่ยนเป็นเฟสมาร์เทนไซต์มากกว่า จะมีค่าความแข็งมากกว่าซึ่งเกิดขึ้นที่ปลายมีด ส่วนที่ระยะห่างจากปลายมีดอุณหภูมิจะต่ำกว่า ทำให้ความแข็งลดลง

**Table 5** Analysis of Variance for hardness, using adjusted SS for tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperature	2	802.751	802.751	401.376	40.79	0.000
Holding Time	1	0.548	0.548	0.548	0.06	0.818
Quenching medium	1	19.037	19.037	19.037	1.93	0.190
Temperature*Holding Time	2	15.162	15.162	7.563	0.77	0.485
Temperature*Quenching medium	2	5.652	5.652	2.826	0.29	0.755
Holding Time*Quenching medium	1	0.709	0.709	0.709	0.07	0.793
Temperature*Holding Time*Quenching medium	2	25.293	25.293	12.646	1.29	0.312
Error	12	118.086	118.086	9.840		
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>987.202</b>				

S = 3.13696 R-Sq = 88.04% R-Sq(adj) = 77.07%



**Figure 3** The main effect plot of factor.

Figure 3 แสดงผลกระทบหลักในการชุบพบว่า อุณหภูมิในการชุบส่งผลต่อความแข็งของชิ้นงานสูงสุดรองลงมาเป็นสารตัวกลางในการชุบ และเวลาในการชุบตามลำดับ Figure 4 (a-c) แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสาม คือ อุณหภูมิ เวลาและสารตัวกลางในการชุบมีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานทดลองโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิกับเวลา ดังแสดงใน Figure 4(a) ส่วน Figure 4(b) แสดงความสัมพันธ์ของสารชุบกับอุณหภูมิ และ Figure 4(c) เป็นความสัมพันธ์ของสารชุบและเวลาในการอบ จากการออกแบบการทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดกรองปัจจัยพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงานตัวอย่าง คือ 1) อุณหภูมิในการอบชุบ 2) เวลาในการอบแช่ 3) สารตัวกลางในการชุบ โดยนำปัจจัยทั้งสามปัจจัยไปทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้ต่อไป

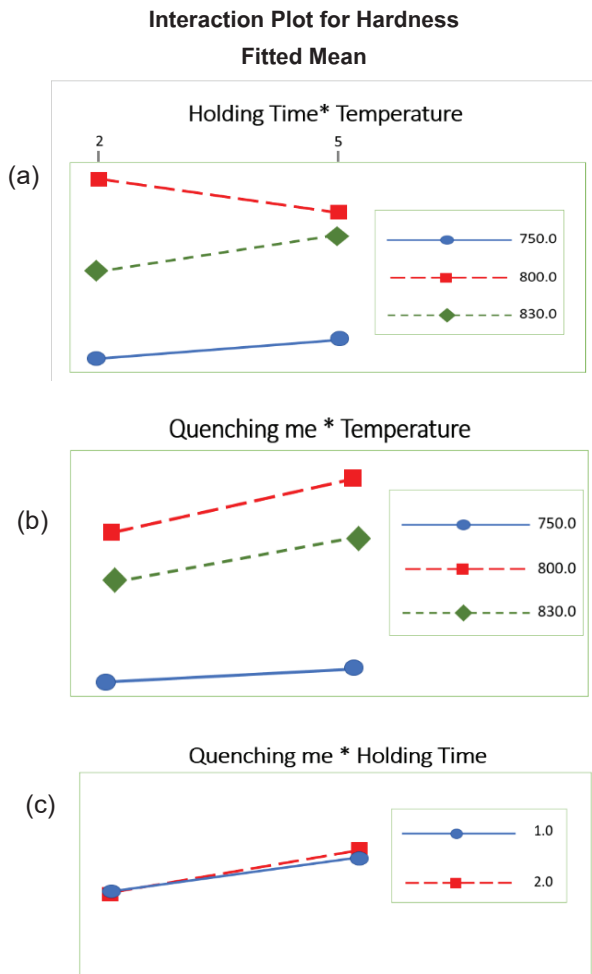


Figure 4 The interaction plot of factor.

Figure 5 แสดงค่าที่เหมาะสมของปัจจัยและการวัดค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลลัพธ์ ค่าปัจจัยในการชุบแข็งที่เหมาะสมจากการคำนวณของโปรแกรมสำหรับการออกแบบการทดลองโดยกำหนดค่าเป้าหมายเท่ากับ 48 HRC คือ อุณหภูมิในการอบชุบที่ 764°C เวลาในการอบแช่ ที่ 5 นาที สารตัวกลางชนิดน้ำมันโดยที่ความพึงพอใจโดยรวม D = 1

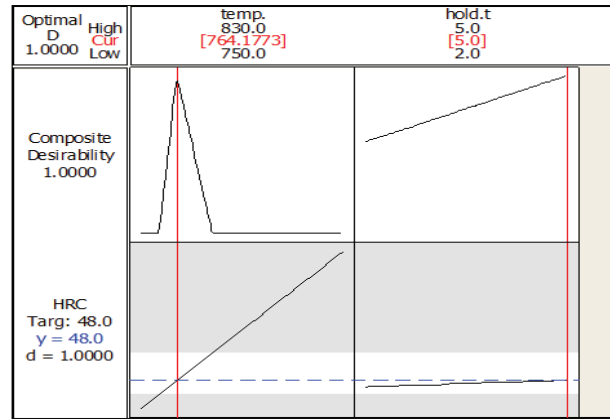


Figure 5 The optimum point of the factor in the hardening

ในการศึกษาปัจจัยของกระบวนการชุบที่ส่งผลต่อความแข็งของมีดพบว่าจาก Table 4 ให้ค่าความแข็งสูงสุดถึง 66.87 HRC ซึ่งเป็นค่าความแข็งที่สูงเกินไปทำให้ค่าความแกร่ง (Toughness) ของคมมีดต่ำเกินไป เมื่อนำไปใช้งานส่งผลให้เกิดการเสียหายได้ง่ายเนื่องจากเกิดการแตกหักแบบเปราะ จากการศึกษาค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมในการใช้งานอยู่ในช่วงค่าความแข็งเฉลี่ย 48-50 HRC ดังนั้นการศึกษานี้จึงกำหนดค่าเป้าหมายของค่าความแข็งที่ 48 HRC เป็นค่าที่เหมาะสมของการทดลอง

**การยืนยันผลการทดลอง**

การดำเนินการยืนยันผลทดลอง โดยตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทำนายค่าความแข็ง คือ อุณหภูมิในการอบชุบที่ 764 °C เวลาในการอบแช่ที่ 5 นาที ใช้ น้ำมันเป็นสารตัวกลาง ในการชุบ ให้ค่าความแข็งเท่ากับ 48 HRC จากนั้นทำการทดลองซ้ำในปัจจัยดังกล่าวจำนวน 3 ครั้ง แล้วเตรียมชิ้นทดสอบความแข็งอย่างละ 3 ชิ้น และได้ค่าเฉลี่ยความแข็งเท่ากับ 50.07 HRC โดยรวมของค่าความแข็งจากการทดลองเพื่อยืนยันผลอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ มีค่าความผิดพลาดโดยรวมของค่าความแข็งเพียง 4.11% ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทำนาย แต่ก็ยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ แสดงใน Table 6

Table 6 Confirmation Analysis for the hardness at the optimal condition

Test	Hardness (HRC)			Hardness (HRC)
	No.1	No.2	No.3	
1	50.4	49.3	49.8	49.83
2	49.7	50.6	49.4	49.90
3	50.6	49.7	51.2	50.50
<b>Total</b>				<b>50.07</b>

### สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การปรับปรุงเงื่อนไขในการชุบแข็งมีดพริ้วตาม ปล้องโดยใช้ค่าที่เหมาะสมซึ่งได้จากการออกแบบการทดลอง จำนวน 24 การทดลอง และนำชิ้นงานจากการทดลองไป ตรวจสอบค่าความแข็งแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ผลสรุปว่า

1. การทดลองทั้งหมดอุณหภูมิในการอบชุบมีค่า p-value เท่ากับ 0.00 ซึ่งให้เห็นว่าอุณหภูมิในการชุบส่งผล ต่อค่าความแข็งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีค่า R-Sq(adj) 77.07% นั่นคือความแปรปรวนของค่าความแข็ง อธิบายได้ ด้วยอุณหภูมิในการอบชุบ ร้อยละ 77.07

2. เวลาในการอบแช่และสารตัวกลางในการชุบมีค่า p-value เท่ากับ 0.818 และ 0.190 ตามลำดับ แสดงว่า ไม่ส่งผล ต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และในส่วน เทอมอันตรกิริยาค่าความแปรปรวนสองทางพบว่าไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.05 กล่าวได้ว่าสารชุบไม่ส่งผลต่อความแข็ง เนื่องจาก บริเวณสันคมตัดมีปริมาณเนื้อโลหะน้อยการถ่ายเทความร้อน จึงไม่แตกต่างกันระหว่างน้ำและน้ำมัน นอกจากนี้ยังพบว่า โลหะชุบยังมีปริมาณ Cr และ C สูงจึงส่งผลให้ความสามารถในการชุบแข็งเพิ่มขึ้น

3. ปัจจัยในการชุบแข็งที่เหมาะสมจากการคำนวณ ของโปรแกรมสำหรับการออกแบบการทดลองนี้ คือ อุณหภูมิ ในการอบชุบ 764 °C เวลาในการอบแช่ที่ 5 นาที ใช้ น้ำมัน เป็น สารตัวกลางในการชุบ โดยค่าสำหรับการทำนาย (Predicted Response: y) ความแข็งหลังการชุบแข็งมีดพริ้วเท่ากับ 48 HRC โดยที่ y คือ ค่าแปลงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ค่าความแข็งของ ชิ้นงานตัวอย่างที่ความพึงพอใจโดยรวม  $D = 1$

### เอกสารอ้างอิง

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, สมบัติ น้อยมิ่ง, ศักดิ์สิทธิ์ ศรีสุข, วรณดา หอมจะบก, อมรศักดิ์ มาใหญ่ และ จารุพงษ์บรรเทา. (2563). ปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิและ เวลาการอบ เพิ่มคาร์บอนที่มีต่อสมบัติเชิงกลของมีดตัดที่ชุบแข็งใน กระบวนการแพ็คคาร์เบอไรซิงโดยใช้กระดูกวัวเป็นสาร เร่งปฏิกิริยา. *Journal of Science & Technology MSU*, 39(3), 273-283.

สุภัทรวិทย์ ศรีนอก, ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนา, รสรินทร์ ตีอชุนทด, สมบัติ น้อยมิ่ง, ชัยวัฒน์ พิรทัตสุวรรณ และ อมรศักดิ์ มาใหญ่. (2559). การหา พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการแพ็คคาร์เบอไรซิง โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาจากผงหินปูนสำหรับการชุบแข็ง มีดตัดอ้อย. *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรม อุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2559 ภาควิศวกรรม อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ขอนแก่น*, (หน้า 1205-1210).

ลักขณา อินทร์บึง, อารดา ชัยเสนา, & รัชดา ภักดิ์ยิ่ง. (2020). ปัจจัยแห่งความสำเร็จของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ที่ได้ รับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน จังหวัดขอนแก่น. *Journal of Roi Kaensarn Academi*, 5(2), 1-12.

Apichai, P. (2020). Effects of quenchants on microstructures and mechanical properties of steel grade AISI 5160. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 30(3).

Bankole, M. T., Mohammed, I. A., Abdulkareem, A. S., Tijani, J. O., Ochigbo, S. S., Abubakre, O. K., & Afolabi, A. S. (2018). Optimization of supported bimetallic (Fe-Co/CaCO<sub>3</sub>) catalyst synthesis parameters for carbon nanotubes growth using factorial experimental design. *Journal of Alloys and compounds*, 749, 85-102.

Bitondo, C., Prisco, U., Squilace, A., Buonadonna, P., & Dionoro, G. (2011). Friction-stir welding of AA 2198 butt joints: mechanical characterization of the process and of the welds through DOE analysis. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(5), 505-516.

Han, X., Barber, G., Zhang, Z., Wang, B., Zhu, J., Shi, J., & Sun, X. (2018). Austenite-Bainite transformation kinetics in Austempered AISI 5160 Steel. *European Scientific Journal*, 14.

Han, X., Zhang, Z., Hou, J., Barber, G. C., & Qiu, F. (2020). Tribological behavior of shot peened/austempered AISI 5160 steel. *Tribology International*, 145, 106197.

Herbirowo, S., Hartadi, S., Widodo, R. D., & Adjiantoro, B. (2019). Optimization of mechanical strength and microstructure on Austempering zinc heat treatment in lateritic nickel steels *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 20(4), 144-148.

Jaramillo, S., H. E., de Sánchez, N. A., & Avila D, J. A. (2019). Effect of the shot peening process on the fatigue strength of SAE 5160 steel. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 233(12), 4328-4335.

Lozano, D. E., Mercado-Solis, R. D., Colás, R., Canale, L. F., & Totten, G. E. (2012). Surface temperature and heat transfer coefficient determination during quenching for martensite fraction prediction using a parabolic heat transfer model. In *6th Int. Quenching and Control of Distortion Conf.* (pp. 341-348).

- MacKenzie, D. (2014). Selection of oil quenchants for heat treating processes. *International Heat Treatment and Surface Engineering*, 8(1), 8-14.
- Penha, R. N., Canale, L. C., & Chiqueti, C. M. (2011). *Influence of agitation rate on residual stresses and distortion on Quenched AISI 5160 Steel (No. 2011-36-0148)*. SAE Technical Paper.
- Perla, S., Kulkarni, S., Balachandran, G., & Balasubramanian, V. (2017). Influence of section size and grain size on the microstructure evolution and mechanical properties in steel grade AISI 5160. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 70(9), 2449-2458.
- Pimenta, C. D., Silva, M. B., de Moraes Campos, R. L., & de Campos Junior, W. R. (2018). Desirability and design of experiments applied to the optimization of the reduction of decarburization of the process heat treatment for steel wire SAE 51B35. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 7(1), 35-44.
- Ramos-Azpeitia, M., Ruiz-Ochoa, J. A., Hernandez-Rivera, J. L., & Perez-Alonso, C. A. (2021). Heat treatment optimization of CA-6NM cast alloy using a full factorial design of experiments approach. *International Journal of Metalcasting*, 15(1).
- Richmire, S., Hall, K., & Haghshenas, M. (2018). Design of experiment study on hardness variations in friction stir welding of AM60 Mg alloy. *Journal of Magnesium and Alloys*, 6(3), 215-228.
- Sathiya, P., Aravindan, S., Haq, A. N., & Paneerselvam, K. (2009). Optimization of friction welding parameters using evolutionary computational techniques. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(5), 2576-2584.
- Shinde, G. V., & Arakerimath, R. R. (2021). Multi-response optimization of friction stir welding process of dissimilar AA3003-H12 and C12200-H01 alloys using full factorial method. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*. Thant, K. K., Zaw, C. W. Y., & Zar, K. T. (2019, 31 August). *Stresses analysis on spur gear for different contact ratio*. European Aviation Safety Agency.
- Zambrano, O. A., Gómez, J. A., Coronado, J. J., & Rodríguez, S. A. (2019). The sliding wear behavior of steels with the same hardness. *Materials Science; Wear*, 418, 201-207.



# การดูดซับสีมาลาไคท์ กรีนโดยใช้ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก

## Adsorption of malachite green using magnetic activated carbon

ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์<sup>1\*</sup>, ราตรี ฝาชัยภูมิ<sup>2</sup>, ทัณญารัตน์ แก้วพิบูลย์<sup>2</sup>

Panjai Saueprasearsit<sup>1\*</sup>, Ratrei Fachaiyaphum<sup>2</sup>, Tanyarat Kaewpitoon<sup>2</sup>

Received: 18 July 2022 ; Revised: 23 September 2022 ; Accepted: 10 October 2022

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการดูดซับสีย้อมมาลาไคท์ กรีน ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก (MAC) การศึกษาทั้งหมดอยู่ในรูปแบบการทดลองแบบกะ ปัจจัยการดูดซับที่สำคัญ ประกอบด้วย ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นของสีมาลาไคท์กรีนเริ่มต้น และอุณหภูมิ นอกจากนี้ได้มีการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ ไอโซเทอร์มของการดูดซับ และอุณหพลศาสตร์การดูดซับ เพื่ออธิบายกลไกการดูดซับที่เกิดขึ้น รวมถึงศึกษาการคายซับเพื่อประเมินวิธีการจัดการถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กที่ผ่านการดูดซับที่เหมาะสม

จากผลการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีมาลาไคท์กรีนโดยใช้ถ่านกัมมันต์ เชิงแม่เหล็ก คือ pH 5 ระยะเวลาสัมผัส 240 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สำหรับ ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ พบว่า สอดคล้องกับสมการอันดับสองเทียม แสดงว่ากระบวนการดูดซับทางเคมีเป็นขั้นกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ผลการทดลองที่ระยะเวลาสัมผัสของการดูดซับสอดคล้องกับไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ แสดงว่าเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 357.14 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และการศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับ พบว่า การดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้เองและเป็นปฏิกิริยา ดูดความร้อน นอกจากนี้ จากการศึกษาการคายซับ พบว่า สารละลายกรดสามารถใช้ในการชะสีมาลาไคท์ กรีน ออกจากถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กได้ อย่างไรก็ตาม จากประสิทธิภาพการคายซับที่ได้พบว่าไม่สูงมากนัก ดังนั้น วิธีการฝังกลบอย่างปลอดภัยจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่จะใช้ในการจัดการกับถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กหลังผ่านการดูดซับ จากผลการศึกษาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กเป็นตัวดูดซับที่มีศักยภาพในการกำจัดสีมาลาไคท์ กรีน ออกจากน้ำเสีย

**คำสำคัญ:** ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก มาลาไคท์กรีน การดูดซับ

### Abstract

This research studied the adsorption of malachite green (MG) in synthetic wastewater using magnetic-activated carbon (MAC). All experiments were conducted using the batch technique. Significant adsorption factors consisted of pH, contact time, initial MG concentration, and temperature. The adsorption isotherms, kinetics, and thermodynamics were investigated to explain the adsorption mechanisms. Furthermore, desorption was studied to evaluate the appropriate approach for management of spent adsorbent.

The results indicated that the optimal adsorption was pH 5, contact time of 240 minutes, initial MG concentration of 500 mg/L, and temperature of 60°C. The kinetics results indicated that the pseudo-second-order reaction model best described the adsorption process with chemisorption being the rate-limiting step. The equilibrium data fitted well with the Langmuir adsorption isotherm with a monolayer adsorption capacity of 357.14 mg/g at 333 K. Thermodynamic results showed that the sorption process was spontaneous and endothermic. Furthermore, the desorption results

<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อาเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>2</sup> นิสิตระดับปริญญาตรี, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อาเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Assistant Professor, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand

<sup>2</sup> Bachelor Degree Student, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand

\* Corresponding author: Panjai Saueprasearsit, Email: panjai.s@hotmail.com

indicated that the acidic solution could leach adsorbed MG on MAC. However, the desorption efficiencies were not high so secured landfill is the suitable method for managing spent magnetic activated carbon. All the results suggested that MAC is a potential adsorbent for removing MG from wastewater.

**Keywords:** Magnetic activated carbon, Malachite green, Adsorption

## บทนำ

สีมาลาโคท กรีน (Malachite green; MG) จัดเป็นสีสังเคราะห์ที่นิยมใช้สำหรับย้อมวัสดุต่างๆ เช่น ผ้าไหม ผ้าขนสัตว์ ฟ้าย และกระดาษ มีสูตรทางเคมี  $C_{23}H_{25}N_2$  สีชนิดนี้เมื่อมีการปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำจะถูกดูดซึมและเปลี่ยนรูปเป็นลูโคมาลาโคท กรีน ในเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำและจะตกค้างเป็นระยะเวลานาน ซึ่งความเป็นพิษของมาลาโคท กรีน คือ ทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม ทำให้เกิดเนื้องอกที่ต่อมไทรอยด์/ตับ เป็นพิษอย่างรุนแรงต่อสาหร่าย พืชน้ำ และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในน้ำจืดและในทะเล (Almeida *et al.*, 2009) จากผลกระทบดังกล่าวจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาวิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดสีมาลาโคท กรีน ออกจากน้ำเสีย ที่ผ่านมามีนักวิจัยหลายท่านที่ทำการศึกษากำจัดสีชนิดนี้โดยใช้วิธีการออกซิเดชันทางไฟฟ้าเคมี (Wang *et al.*, 2022) การสร้างและรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Getaye *et al.*, 2017) รวมถึงการดูดซับ (Sundararaman *et al.*, 2021 ; Jiang *et al.*, 2017) ในกระบวนการต่างๆ เหล่านี้ ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการกำจัดสีมาลาโคท กรีน ด้วยการดูดซับ ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการดังกล่าวใช้หลักการขั้นพื้นฐาน เข้าใจง่าย ไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้มีความรู้เชิงเทคนิคขั้นสูง ซึ่งโดยทั่วไปตัวดูดซับที่ใช้สำหรับวิธีการนี้ นิยมใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูง มีรูพรุนและปริมาตรรูพรุนจำนวนมาก ถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ ถ่านกัมมันต์แบบอนุภาคและแบบผง ซึ่งถึงแม้ว่าแบบผงจะมีพื้นที่ผิวที่สูงกว่ามากแต่ไม่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากมีข้อจำกัดในการแยกออกจากน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดและหากใช้ในรูปแบบคอลัมน์ดูดซับถ่านกัมมันต์แบบผงจะอัดตัวกันแน่นจนยากที่น้ำเสียจะไหลผ่านได้ ในงานนี้ผู้วิจัยจึงสนใจนำถ่านกัมมันต์แบบผงมาทำการปรับสภาพให้เป็นถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก ซึ่งเป็นการสร้างให้เกิดอนุภาคของเหล็กออกไซด์จับอยู่ที่พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ โดยใช้วิธีการตกตะกอนร่วม (Co-precipitation Process) ซึ่งเป็นการตกตะกอนร่วมกันระหว่าง  $Fe^{2+}$  และ  $Fe^{3+}$  เพื่อให้ได้เหล็กออกไซด์ที่มีความเสถียร (Mohan *et al.*, 2011) การจับของอนุภาคดังกล่าวทำให้ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กมีสภาพเหนียวนำเชิงแม่เหล็กเกิดขึ้น ดังนั้น หลังจากผ่านการดูดซับสามารถใช้แม่เหล็กเหนียวนำให้ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กที่ดูดซับอนุภาคสีไว้แล้วแยกออกจากน้ำเสียมารวมตัวกัน ทำให้

สามารถแยกน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดออกมาโดยง่ายวิธีการนี้สามารถลดระยะเวลา วัสดุและอุปกรณ์ และค่าใช้จ่าย เมื่อเทียบกับวิธีการแยกโดยวิธีอื่นเป็นอันมาก

จากที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาคูณลักษณะของถ่านกัมมันต์ ศึกษาปัจจัยการดูดซับที่สำคัญ ศึกษากลไกการดูดซับ รวมถึงศึกษาการคายซับเพื่อหาวิธีการจัดการถ่านกัมมันต์หลังผ่านการดูดซับที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังนี้

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

### 1. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

สีมาลาโคท กรีน (Malachite green: MG) ในรูปของสารละลายเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อใช้เป็น Stock Solution ทำการเตรียมโดยละลาย สีมาลาโคท กรีน หนัก 1.0 กรัม ด้วยน้ำกลั่น ใส่ในขวดวัดปริมาตร ปรับปริมาตรให้ได้เท่ากับ 1 ลิตรบรรจุลงในขวดเก็บสารเคมี เขียนรายละเอียดของข้อสาร เวลาการเตรียม ไว้บนฉลากหน้าขวด แล้วนำสารละลายดังกล่าวมาใช้เจือจางด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้ได้ความเข้มข้นต่างๆ ตามที่กำหนด

### 2. การเตรียมน้ำถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก

ทำการเตรียมโดยการนำสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3 \times 6H_2O$ ) 59.6 กรัมที่ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 1,300 มิลลิลิตร และละลายเฟอร์รัสซัลเฟต ( $FeSO_4 \times 7H_2O$ ) 73.18 กรัมที่ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ผสมกันและให้ความร้อนจนอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมถ่านกัมมันต์แบบผง ของบริษัท DC FINE CHEMICALS ) 164 กรัม ลงไปและคนให้เข้ากัน ปรับ pH โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 M-NaOH จน pH เพิ่มขึ้นเป็น 10-11 และกวนผสมต่ออีก 60 นาที จากนั้นยกลงจากเตาให้ความร้อนลดลง โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล จากนั้นนำไปกรองแล้วตั้งทิ้งไว้ให้แห้งข้ามคืน แล้วนำไปอบด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ (วัดถุดิบ) และถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM, Hitachi Model S3000N) with Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX), Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR, Bruker Model

Tensor 27), Vibrating Sample Magnetometer (VSM, LakeShore Model 7404), X-Ray Diffractometer (XRD, Bruker Model D2 phaser) และ Surface Area Pore Size and Pore Volume Distribution Analyzer (Bel-Japan Model Bel Sorp mini II)

### 3. การศึกษาปัจจัยการดูดซับ

ปัจจัยการดูดซับที่สำคัญที่ทำการศึกษาคือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH 2-7) ระยะเวลาสัมผัส (0-600 นาที) ความเข้มข้นสีมาลาโคท์กรีนเริ่มต้น (100 - 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) และอุณหภูมิ (30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส) ทำการศึกษาในรูปแบบการทดลองแบบกะ มีการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและมีการทำ Blank เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นเริ่มต้น ในการทดลองโดยแต่ละชุดการทดลองจะมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 100 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำแกมมันต์เชิงแม่เหล็ก 0.5 กรัม (ในขวดที่ไม่ใช่ Blank) การทดลองทำโดยใช้เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิได้ ทำการเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ทุกการทดลองจะตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 30 องศาเซลเซียสยกเว้นการทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาเขย่าจะมีการใช้แม่เหล็ก แรงดึงดูดสูงเหนี่ยวนำให้ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก รวมตัวกัน แล้วแยกเอาสารละลายส่วนที่ใสออก จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่อง Shimadzu Spectrophotometer UV-1900 ความยาวคลื่น 616 นาโนเมตร ซึ่งประสิทธิภาพในการดูดซับ (ร้อยละ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 (Kushwaha *et al.*, 2011)

$$\% \text{ Dye removal} = ((C_1 - C_2) / C_1) \times 100 \quad (1)$$

$$q = ((C_1 - C_2) \times V) / M \quad (2)$$

โดย  $C_1$  คือ ความเข้มข้นของสีมาลาโคท์กรีนเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร),  $C_2$  คือ ความเข้มข้นของสีมาลาโคท์กรีนที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัมต่อลิตร),  $V$  คือ ปริมาตรของ สีมาลาโคท์กรีน (ลิตร) และ  $M$  คือ มวลของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก (กรัม)

### 4. การศึกษากลไกการดูดซับ

การศึกษากลไกของการดูดซับ โดยใช้จลนพลศาสตร์การดูดซับ ไอโซเทอร์มของการดูดซับ และอุณหพลศาสตร์ของการดูดซับ เพื่ออธิบายกลไกการดูดซับตั้งแต่การเคลื่อนที่ของอนุภาคสีมาลาโคท์กรีน ไปยึดจับ/ดูดซับบนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กกว่าขั้นตอนใดเป็นขั้นตอนในการควบคุมอัตราเร็วของการดูดซับ (จลนพลศาสตร์การดูดซับ) การ

ดูดซับมีรูปแบบเป็นอย่างไร มีปัจจัยใดที่มีผลต่อการดูดซับ (ไอโซเทอร์มของการดูดซับ) และการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบไหน เกิดขึ้นเองได้หรือไม่ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาอะคายความร้อนหรือดูดความร้อน ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ง่ายหรือยาก (อุณหพลศาสตร์การดูดซับ) จะเห็นได้ว่า ผลที่ได้จะมีความเชื่อมโยงกันและสามารถอธิบายกลไกของการดูดซับได้อย่างครบถ้วน

#### 4.1 จลนพลศาสตร์การดูดซับ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองระยะเวลาสัมผัสมาใช้หาความสัมพันธ์กับสมการ Pseudo First Order Reaction, Pseudo Second Order Reaction และ Intraparticle Diffusion ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Pseudo First Order Reaction: สมมติฐานของสมการนี้ คือ อัตราเร็วของการดูดซับขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ของสีมาลาโคท์กรีนที่อยู่ในสารละลายมายังพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก (Lagergren, 1898)

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - (k_1 / 2.303) t \quad (3)$$

Pseudo Second Order reaction: สมมติฐานของสมการนี้ คือ อัตราเร็วของการดูดซับขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ของสีมาลาโคท์กรีนผ่านชั้นฟิล์มบนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก หรือทำปฏิกิริยาที่พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก (การดูดซับทางเคมี) (Ho and McKay, 1999)

$$t / q_t = (1 / (k_2 q_e^2)) + (1 / q_e) t \quad (4)$$

Intraparticle Diffusion: สมมติฐานของสมการนี้ คือ อัตราเร็วของการดูดซับขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับที่แพร่เข้าไปยังภายในรูพรุนของตัวดูดซับ (Weber & Morris, 1963)

$$q_t = k_d t^{0.5} + C \quad (5)$$

โดยที่  $k_1$  (นาที<sup>-1</sup>),  $k_2$  (กรัมต่อมิลลิกรัมต่อนาที) และ  $k_d$  (มิลลิกรัมต่อกรัม-นาที<sup>0.5</sup>) คือ ค่าคงที่อัตรา (Rate Constant) ในการดูดซับจากแบบจำลองทั้งสามข้างต้น  $q_t$  คือ ความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก ณ เวลาหนึ่งๆ (มิลลิกรัมต่อกรัม),  $t$  คือ ระยะเวลา (นาที) และ  $C$  คือ ค่าคงที่ของสมการ Intraparticle Diffusion (มิลลิกรัมต่อกรัม)

#### 4.2 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับคือการศึกษาความเข้มข้นของสีมาลาโคท์ กรีนเริ่มต้นและอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับมาใช้ในการคำนวณกับสมการของไอโซเทอร์มของ Langmuir และ Freundlich ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Langmuir Isotherm: สมมติฐานของไอโซเทอร์มรูปแบบนี้ คือ เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) ปัจจัยการดูดซับที่สำคัญ คือ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ขนาดของรูพรุน และขนาดของตัวถูกดูดซับ ลักษณะสอดคล้องกับการดูดซับทางเคมีที่ตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาที่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ สมการที่ใช้ ประกอบด้วย

$$C_e / q_e = (1 / q_m) C_e + 1 / (q_m b) \quad (6)$$

หรือ

$$1 / q_e = (1 / (q_m b)) (1 / C_e) + 1 / q_m \quad (7)$$

Frundlich Isotherm: สมมติฐานของไอโซเทอร์มรูปแบบนี้ คือ เป็นการดูดซับแบบมากกว่าหนึ่งชั้น (Multilayer) ปัจจัยการดูดซับที่สำคัญนอกเหนือจากที่กล่าวใน การดูดซับแบบชั้นเดียวแล้วจะรวมถึงแรงปฏิกริยาระหว่างชั้นของตัวถูกดูดซับด้วย

$$\log q_e = \log K_f + (1/n) \log C_e \quad (8)$$

โดยที่  $q_e$  คือ ค่าความสามารถในการดูดซับของ ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม),  $C_e$  คือ ความเข้มข้นของสีมาลาโคท์ กรีน ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร),  $q_m$  และ  $K_f$  คือความสามารถในการดูดซับสูงสุดของ ถ่านกัมมันต์ เชิงแม่เหล็ก,  $b$  ค่าคงที่ของสมการ Langmuir (ลิตรต่อมิลลิกรัม) และ  $1/n$  คือ ค่าคงที่ของสมการ Freundlich ตามลำดับ (Kumar *et al.*, 2006)

#### 4.3 อุณหพลศาสตร์การดูดซับ

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับคือการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นและอุณหภูมิมาใช้ในการคำนวณดังสมการ

$$\ln K_L = (\Delta S^0 / R) - (\Delta H^0 / R) T \quad (9)$$

โดยที่ ค่า  $K_L$  คำนวณได้จากค่าคงที่ของ Langmuir (พลวัฒน์ และคณะ, 2559) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

$$K_L = 1/b \quad (10)$$

จากสมการที่ (9) เมื่อทำการพล็อตกราฟหาค่า  $DS^0$  และ  $\Delta H^0$  จะสามารถหาค่า  $\Delta G^0$  ได้จากสมการ

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad (11)$$

โดยที่  $K_L$  คือ ค่าคงที่สมดุล thermodynamics ของการดูดซับ,  $DS^0$  คือ ค่าเอนโทรปี (จูลต่อโมล-เคลวิน),  $\Delta H^0$  คือ ค่าเอนทาลปี (กิโลจูลต่อโมล),  $\Delta G^0$  คือ พลังงานอิสระ (กิโลจูลต่อโมล),  $R$  คือ ค่าคงที่ของก๊าซในอุดมคติเท่ากับ 8.314 จูลต่อโมล-เคลวิน (Nandi *et al.*, 2009)

#### 5. การศึกษาการคายซับ

ในการวิจัยนี้ได้มีการศึกษาการคายซับโดยใช้สารละลายจำนวนทั้งสิ้น 3 ชนิด ประกอบด้วย น้ำกลั่น สารละลายกรดแอซิดิกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยทำการดูดซับที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาปัจจัยการดูดซับ สำหรับอุณหภูมิทั้งดูดและคายซับใช้ที่อุณหภูมิห้อง สำหรับประสิทธิภาพการคายซับ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$D = C_d / (C_1 - C_2) \times 100 \quad (12)$$

โดยที่  $D$  คือ ประสิทธิภาพการคายซับ (ร้อยละ) และ  $C_d$  ความเข้มข้นของสีมาลาโคท์ กรีน ที่พบในสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

#### ผลการศึกษา

##### 1. การศึกษาคูณสมบัติของวัสดุดูดซับ

การศึกษาคูณสมบัติของวัสดุดูดซับแสดงลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)

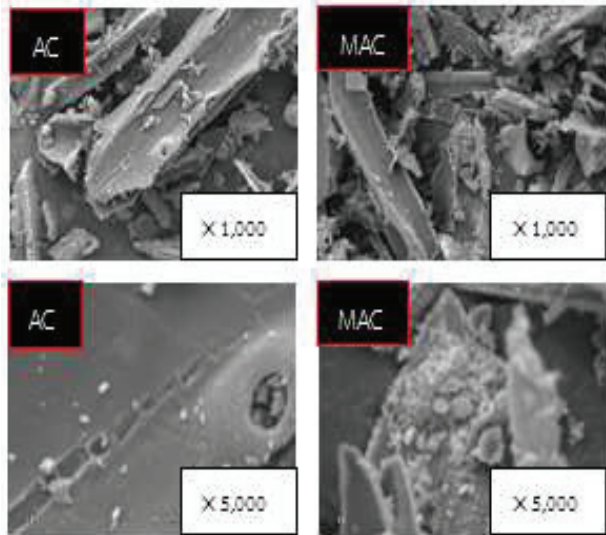


Figure 1 SEM Spectra of AC and MAC

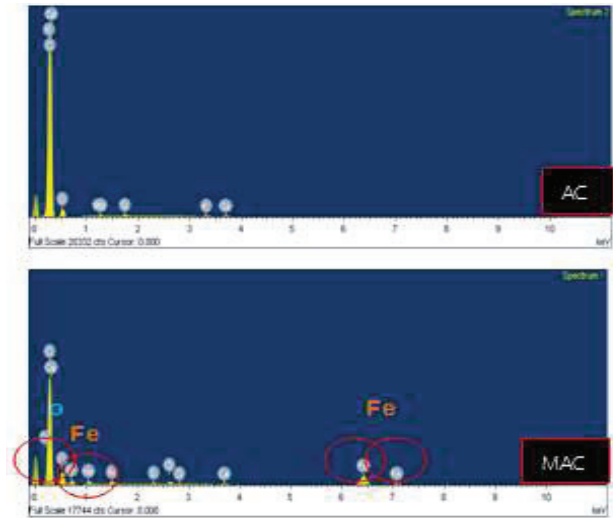


Figure 2 EDX spectra of AC and MAC

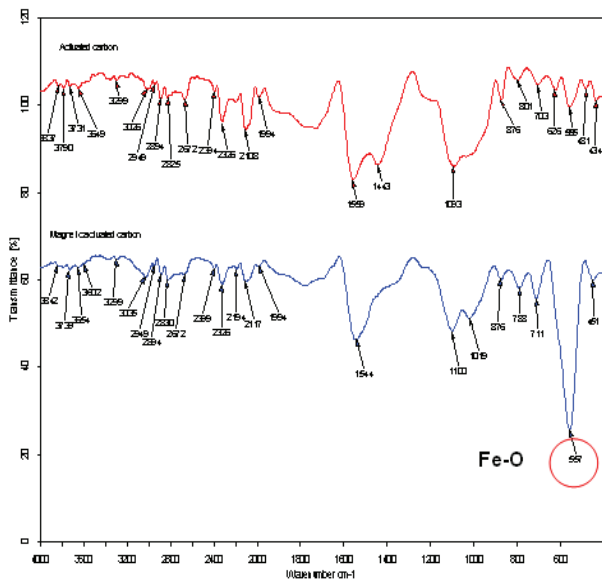


Figure 3 FTIR spectra of AC and MAC

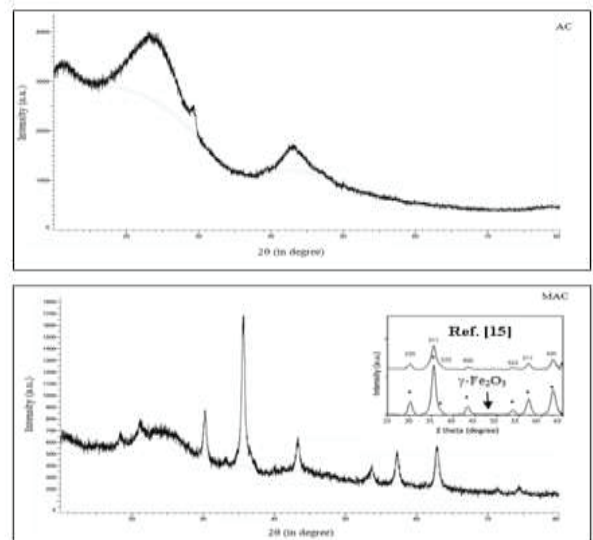
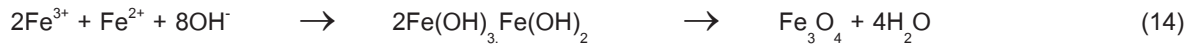


Figure 4 XRD spectra of AC and MAC

จาก Figure 1 พบว่า ภาพพื้นที่ผิวของ ถ่านกัมมันต์ (AC) และ ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก (MAC) ที่ใช้กำลังขยาย 1,000 เท่า ไม่เห็นถึงความแตกต่างของพื้นที่ผิวของทั้งสองวัสดุ แต่เมื่อใช้กำลังขยาย 5,000 เท่า เห็นได้ว่าพื้นที่ผิวของ ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กมีอนุภาคขนาดเล็กมาจับเกาะบนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าอนุภาคเหล่านั้นเป็นอนุภาคของเหล็กออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการเตรียม อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้มีการศึกษาองค์ประกอบของธาตุเพื่อยืนยันถึงการเกิดเหล็กออกไซด์ ซึ่งจากผลของเครื่อง EDX (Figure 2) พบว่า ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กมีร้อยละของธาตุออกซิเจนและธาตุเหล็กเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน นอกจากนี้

เมื่อพิจารณาจากผลที่ได้จากเครื่อง FTIR ใน Figure 3 พบว่า ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กพบพีคที่ความยาวคลื่น 557 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการแสดงถึงการมีอยู่ของพันธะ Fe-O (Chen *et al.*, 2019) ดังนั้น จึงยืนยันได้เบื้องต้นว่ามีการเกิดเหล็กออกไซด์บนพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก สำหรับรูปของเหล็กออกไซด์สามารถอธิบายได้ด้วยผลจาก XRD ดัง Figure 4 จากที่ได้พบว่า มีพีคขึ้นที่  $2\theta = 30.24^\circ(877)$ ,  $35.71^\circ(1685)$ ,  $43.35^\circ(648)$ ,  $53.75^\circ(411)$ ,  $57.12^\circ(466)$ , and  $63.31^\circ(344)$  ซึ่งลักษณะของพีคสอดคล้องกับเหล็กออกไซด์ในรูปของ  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  โดยสมการที่ทำให้เกิดรูปดังกล่าวเป็นดังสมการ (14) - (15) (Ajinkya *et al.*, 2020)

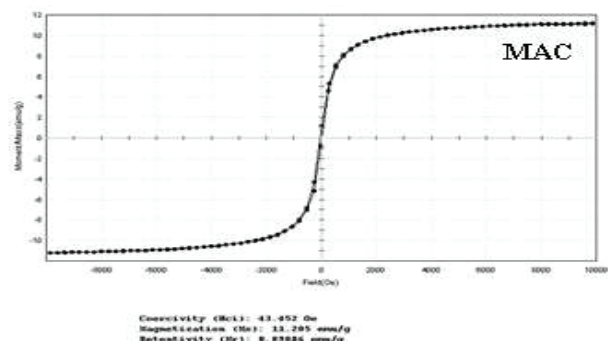
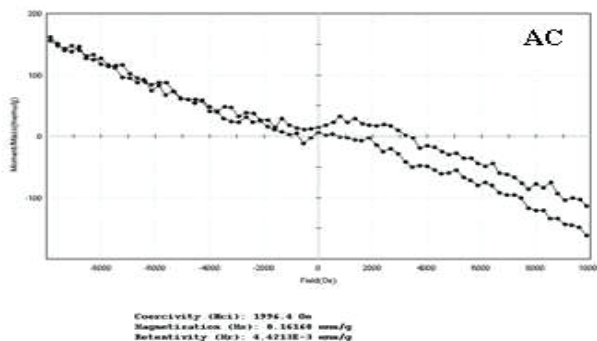


จากการที่มีเหล็กออกไซด์จับอยู่ที่พื้นผิวของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กทำให้เกิดความสามารถในการเหนี่ยวนำเชิงแม่เหล็ก ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าความสามารถในการเหนี่ยวนำเชิงแม่เหล็กที่ได้จากเครื่อง VSM ดัง Figure 5 จากภาพเห็นได้ว่า ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กที่ผลิตขึ้นมีความสามารถในการเหนี่ยวนำเชิงแม่เหล็กเท่ากับ 11.205 หน่วยสนามแม่เหล็กต่อกรัม (emu/g) แตกต่างจากถ่านกัมมันต์ที่มีค่าดังกล่าวอย่างมากอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า กระบวนการเตรียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถผลิตถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กได้จริง และนอกจากคุณสมบัติทั้งหมดข้างต้น เนื่องจากมักมีผู้ตั้งข้อสงสัยเกี่ยวกับการลดลงของพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ เนื่องจากการดูดซับเหล็กออกไซด์ไว้บนพื้นที่ผิว ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ได้ผลดัง Table 1 จากตารางดังกล่าวเห็นได้ว่า

พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก ปริมาตรของรูพรุน และขนาดของรูพรุนมีค่าลดลงทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเข้าไปยึดจับหรือดูดซับของอนุภาคเหล็กออกไซด์ อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยของ Mohan *et al.* (2011) พบว่า ถึงแม้ว่าถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กมีพื้นที่ผิวลดลง แต่ด้วยผลของเหล็กออกไซด์ที่จับกับพื้นที่ผิวของ ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กที่สามารถเกิดกลุ่มฟังก์ชันนอลที่เป็นประจุลบที่พื้นผิวของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก ทำให้เพิ่มขีดความสามารถในการดูดซับให้แก่ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กได้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนควรทำการศึกษาวัสดุทั้งสองชนิดไว้ควบคู่กัน แต่เนื่องจากคุณสมบัติการแยกออกที่ต่างกันมาก ทำให้มีข้อจำกัด ต่อการควบคุมสภาวะที่เกิดขึ้นในการทดลอง ขอบเขตในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเฉพาะในส่วนของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กเท่านั้น

**Table 1** Surface area, total pore volume and mean meter of AC and MAC

Absorbent	Surface Area (m <sup>2</sup> /g)	Total Pore Volume (cm <sup>3</sup> /g)	Mean Pore Diameter (nm)
AC	749.93	0.68	3.92
MAC	571.45	0.56	3.91



**Figure 5** VSM spectra of AC and MAC

## 2. ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

### 2.1 ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ในการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างในงานวิจัยนี้ เนื่องจากในขั้นตอนการทดลองไม่มีการเติมบัฟเฟอร์เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลง/ควบคุมของค่าความเป็นกรด-ด่างขณะทำการทดลอง ดังนั้น ค่าความเป็นกรด-ด่างที่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้จะเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น ซึ่งจากผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างที่ ค่าความเข้มข้นของสีมาลาโคท์

กรีน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ที่ pH 2-7 ได้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงมากและไม่แตกต่างกันมากอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 98.06 - 99.10 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กมีพื้นที่ผิวสูงมาก ทำให้สามารถดูดซับได้เกือบ 100% เป็นผลให้สังเกตเห็นผลของค่าความเป็นกรด-ด่างไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามหากพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงโดยการขยายสเกลพบ ค่าดัง Figure 6

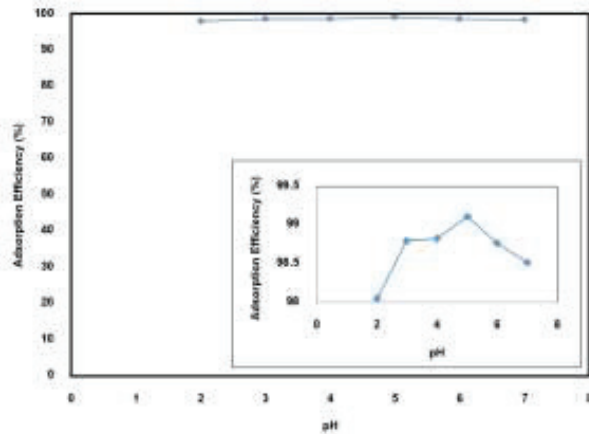


Figure 6 Effect of pH

จาก Figure 6 ที่ pH ต่ำ ประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าต่ำทั้งนี้เนื่องจากในสารละลายมี  $H^+$  สูงทำให้เกิดการแย่งจับระหว่างอนุภาคของสีที่เป็นประจุบวก (Muinde *et al.*, 2017) และสารละลาย  $H^+$  กับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก และเมื่อค่า pH มากขึ้น  $H^+$  มีปริมาณลดลง ประสิทธิภาพการดูดซับจึงสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อ pH ตั้งแต่ 6 ขึ้นไปเกิดการตกตะกอนของอนุภาคสี (สังเกตจากผลที่เกิดขึ้นกับ Blank) ทำให้ค่า pH ที่เหมาะสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ pH 5 เนื่องจากในสภาวะดังกล่าว การลดลงของความเข้มข้นที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการดูดซับเท่านั้น

## 2.2 ผลการศึกษาระยะเวลาสัมผัส

ผลการดูดซับสีมาลาโคไท์กรีน (Malachite green) ด้วยถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กที่ระยะเวลาสัมผัสต่างๆ และความเข้มข้นเริ่มต้นของสีมาลาโคไท์กรีนที่แตกต่างกัน เป็นดัง Figure 7 จากผลดังกล่าว พบว่า ในระยะแรกการดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพื้นที่ว่างบนถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กยังมีเป็นปริมาณมาก จากนั้นอัตราเร็วในการดูดซับจะค่อยๆ ลดลง พร้อมทั้งเกิดทั้งในส่วนของการดูดซับและการคายซับ โดยจุดที่อัตราการดูดซับ = อัตราการคายซับ จะเรียกว่า “จุดสมดุลของการดูดซับ” โดยหลังจากจุดนี้ ประสิทธิภาพการดูดซับจะคงที่ (Namcharee *et al.*, 2018) ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสม คือ จุดสมดุลของการดูดซับ ซึ่งเกิดที่ 240 นาที และเมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีมาลาโคไท์กรีนที่แตกต่างกัน พบว่า อัตราเร็วในการดูดซับมีค่าเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นมีผลต่ออัตราเร็วของการดูดซับ

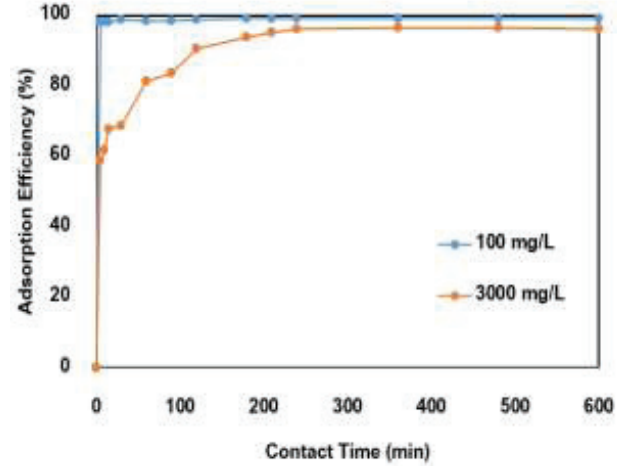


Figure 7 Effect of contact time

## 2.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสีมาลาโคไท์กรีน เริ่มต้น และอุณหภูมิ

ผลการศึกษาความเข้มข้นของสีมาลาโคไท์กรีน เริ่มต้นเป็นไปดัง Figure 8 จากภาพแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการดูดซับสีมาลาโคไท์กรีน มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสีมาลาโคไท์กรีนเริ่มต้นมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากในสภาวะที่มีความเข้มข้นสูง สารละลายเต็มไปด้วยอนุภาคของสีมาลาโคไท์กรีน ทำให้โอกาสที่อนุภาคของสีมาลาโคไท์กรีนเข้าไปยึดจับหรือดูดซับกับถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กมีมากขึ้น และเมื่อคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสีมาลาโคไท์กรีนเริ่มต้นต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาแล้วพบว่า ค่าความเข้มข้นของสีมาลาโคไท์กรีนเริ่มต้นที่เหมาะสม คือ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงข้างต้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นสูงกว่าค่าดังกล่าว สำหรับผลของอุณหภูมินั้นจะเห็นได้ว่าให้ผลที่ไม่ชัดเจนนัก ทั้งนี้ปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนโดยเฉพาะที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิที่สูงขึ้น อาจเนื่องมาจากที่สภาวะดังกล่าว อนุภาคของสีมาลาโคไท์กรีนเกิดการชนกันและจับตัวกันตกตะกอน ทำให้ความเข้มข้นของสีในสารละลายมีค่าลดลง (พิจารณาจากผลการทดลองที่ความเข้มข้นของสีมาลาโคไท์กรีนที่วัดจาก Blank มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้น) อย่างไรก็ตามการสรุปอุณหภูมิตีที่ดีที่สุดจะพิจารณาร่วมกับผลที่ได้จากการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับและ อุณหพลศาสตร์การดูดซับที่จะกล่าวถึงต่อไป

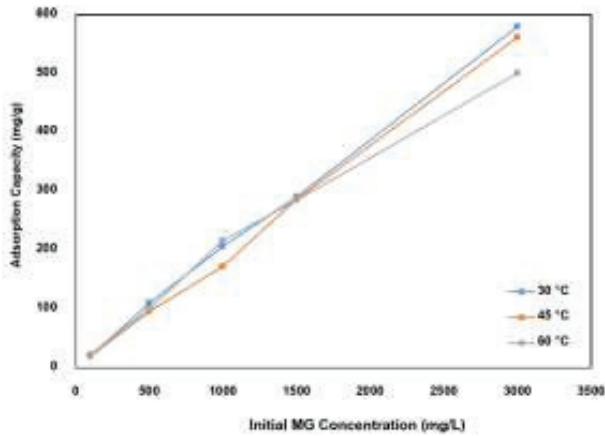


Figure 8 Effect of initial MG concentration and temperature

Table 2 The results of adsorption kinetics

Concentration (mg/L)	Pseudo-First-Order Reaction			Pseudo-Second-Order Reaction			Intraparticle Diffusion		
	$q_e$ (mg/g)	$k_1$ (min <sup>-1</sup> )	$R^2$	$q_e$ (mg/g)	$k_2$ (g/mg/min)	$R^2$	$k_{id}$ (mg/(g.min <sup>0.5</sup> ))	C (mg/g)	$R^2$
100	1.879	0.002	0.201	20.83	0.006	0.998	0.115	17.7	0.647
3,000	287.74	0.007	0.988	76.92	0.169	0.994	12.04	335	0.762

จาก Table 2 แสดงให้เห็นว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับสมการ Pseudo-Second-Order Reaction แสดงให้เห็นว่า อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างอนุภาคสีมาลาโคท์ กรีนและถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก โดยค่าคงที่อัตราในการดูดซับที่ได้จากสมการดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 0.006 กรัมต่อมิลลิกรัม-นาที่ และ

### 3. การศึกษากลไกของการดูดซับ

#### 3.1 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ

ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับโดยใช้สมการ Pseudo-First-Order Reaction, Pseudo-Second-Order Reaction และ Intraparticle Diffusion พบว่า ได้ผลดัง Table 2

0.169 กรัมต่อมิลลิกรัม-นาที่ ที่ความเข้มข้นของสีมาลาโคท์ กรีน เริ่มต้นเท่ากับ 100 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

#### 3.2 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับโดยใช้สมการ ไอโซเทอร์มของ Langmuir และ Freundlich พบว่า ได้ผลดัง Table 3

Table 3 The results of adsorption isotherms

Temp. (°C)	Langmuir			Freundlich		
	$q_m$ (mg/g)	b (L/mg)	$R^2$	$K_f$ (mg/g)	1/n	$R^2$
30	263.16	0.088	0.997	22.39	0.605	0.990
45	312.50	0.067	0.997	23.50	0.575	0.969
60	357.14	0.050	0.996	26.30	0.553	0.948



**Table 4** Monolayer adsorption capacity of different adsorbents for the elimination of MG dye

Absorbent	$q_m$ (mg/g)	Reference
Alg-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> nanoparticles	47.84	Mohammadi <i>et al.</i> (2014)
Conch shell powder	92.3	Chowdhury and Das (2011)
Nylon microplastics	63.48	Lin <i>et al.</i> (2020)
Coconut AC	83.06	Qu <i>et al.</i> (2019)
Magnetic Activated Carbon	357.14	This reasearch

จาก Table 3 การดูดซับที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับไอโซเทอรั่มของ Langmuir แสดงให้เห็นว่าการดูดซับเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) ซึ่งปัจจัยการดูดซับที่สำคัญคือ พื้นที่ผิวและขนาดของรูพรุนของถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กและขนาดของอนุภาค สีมะลาไคท์ กรีน และจากผลการศึกษาข้างต้นเมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุด ( $q_m$ ) พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีแนวโน้มที่การดูดซับที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) และมีความสูงที่สุดอยู่ที่ 357.14 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเป็นค่าที่สูงมากดังแสดงไว้ใน Table 4

### 3.3 ผลการศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับ

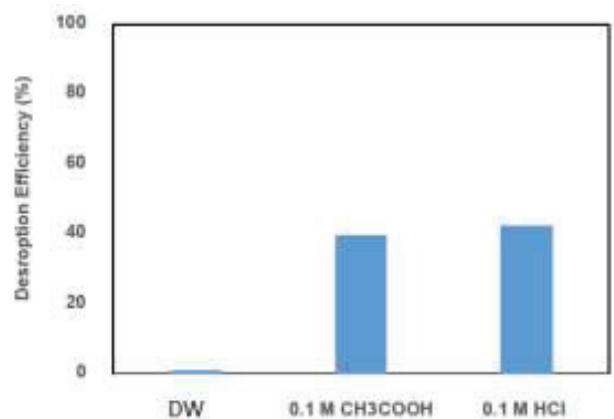
ผลการศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับโดยใช้ค่าคงที่ของ Langmuir ในการคำนวณหาค่า  $K_L$  พบว่า สามารถหาค่าพารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ได้ดัง Table 5 จากตารางดังกล่าวจะให้เห็นว่า  $ΔG^0$  มีค่าเป็นลบ แสดงว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เอง (Spontaneous Reaction) และ  $ΔH^0$  มีค่าเป็นบวกแสดงว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) นอกจากนี้  $ΔS^0$  มีค่าเป็นบวกแสดงให้เห็นว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย และจากผลจากไอโซเทอรั่มการดูดซับและอุณหพลศาสตร์การดูดซับสามารถสรุปได้ว่าปฏิกิริยาการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ คือ 60 องศาเซลเซียส

**Table 5** The results of adsorption thermodynamics

Temp. (°C)	Temp. (K)	$ΔG^0$ (kJ/mol)	$ΔH^0$ (kJ/mol)	$ΔS^0$ (J/mol.K)
30	303	-6.11		
45	318	-7.19	+15.78	+72.24
60	333	-8.28		

### 4. ผลการศึกษาคายซ้ำ

จากการศึกษาคายซ้ำสีมะลาไคท์ กรีน โดยใช้ น้ำกลั่น DI กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 M และกรดแอซิติค (CH<sub>3</sub>COOH) 0.1 M ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ซึ่งผลการศึกษาแสดงได้ดัง Figure 9

**Figure 9** Desorption efficiencies of various leaching agents

จาก Figure 9 แสดงให้เห็นว่า สารละลายกรดสามารถใช้ในการชะสีมาลาโคท์ กรีน ได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่กรดมี  $H^+$  ทำให้เข้าไปแทนที่สีที่มีประจุบวกที่ถูกดูดซับไว้บนถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก และเมื่อพิจารณาความแตกต่างเนื่องจากการใช้กรดต่างชนิดกันที่ความเข้มข้นเดียวกันพบว่า กรดไฮโดรคลอริกซึ่งเป็น กรดแก่ มีความสามารถแตกตัวให้โปรตอน ( $H^+$ ) ได้มากกว่า กรดแอซิติคซึ่งเป็นกรดอ่อนเมื่อนำมาใช้ในการศึกษาการคายซับจึงทำให้กรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพในการคายซับดีกว่าอย่างไรก็ตาม เนื่องจากประสิทธิภาพการคายซับไม่สูงมากนัก ดังนั้นการฝังกลบอย่างปลอดภัยเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการกับถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กหลังผ่านการดูดซับ สีมาลาโคท์ กรีนแล้ว

### สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์และถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก พบว่า ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กที่ผลิตได้มีอนุภาคของเหล็กออกไซด์ในรูปแบบของ  $g-Fe_2O_3$  ยึดจับอยู่บนพื้นผิว และมีความสามารถในการเหนี่ยวนำเชิงแม่เหล็ก จากการศึกษาปัจจัยการดูดซับที่สำคัญ สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีมาลาโคท์ กรีน โดยใช้ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็ก คือ ที่ pH 5 ระยะเวลาสัมผัส 240 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สำหรับการศึกษากลไกการดูดซับ พบว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับสมการ Pseudo-second-order Reaction และสมการไอโซเทอร์มของ Langmuir แสดงให้เห็นว่ากระบวนการดูดซับทางเคมีเป็นขั้นตอนกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ และเป็น การดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 357.14 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และการศึกษา อุณหพลศาสตร์การดูดซับพบว่า การดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้เอง (Spontaneous Reaction) และเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) นอกจากนี้ จากการศึกษาการคายซับ พบว่า สารละลายกรดสามารถใช้ในการชะสีมาลาโคท์ กรีน ออกจากถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กได้ แต่จากประสิทธิภาพการคายซับที่ไม่สูงมากนัก ดังนั้น จึงควรจัดการถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กหลังผ่านการดูดซับโดยการนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัย จากผลการศึกษาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์เชิงแม่เหล็กเป็นตัวดูดซับที่มีศักยภาพในการกำจัดสีมาลาโคท์ กรีน ออกจากน้ำเสีย

### เอกสารอ้างอิง

- Ajinkya, N., Yu, X., Kaithal, P., Luo, H., Somani, P., Ramakrishna, S. (2020). Magnetic iron oxide nanoparticle (IONP) synthesis to applications: Present and future. *Materials*, 13, 4644 (1-35). DOI: 10.3390/ma13204644
- Almeida, C.A.P., Debacher, N.A., Downs, A.J., Cottet, L., Mello, C.A.D. (2009). Removal of methylene blue from colored effluents by adsorption on montmorillonite clay. *Journal of Colloid and Interface Science*, 332, 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.12.012>.
- Chen, Q., Zheng, J., Yang, Q., Dang, Z., Zhang, L. (2019). Insights into the Glyphosate Adsorption Behavior and Mechanism by a  $MnFe_2O_4@Cellulose$ -Activated Carbon Magnetic Hybrid. *Applied Materials & Interfaces*, 11, 15478-15488. <http://dx.doi.org/10.1021/acsami.8b22386>.
- Chowdhury, S., Das, P. (2011). Mechanistic, kinetic, and thermodynamic evaluation of adsorption of hazardous malachite green onto conch shell powder. *Separation Science and Technology*, 46(12), 1966-1976. DOI:10.1080/01496395.2011.584930.
- Getaye, M., Hagos, S., Alemu, Y., Tamene, Z., Yadav, O.P. (2017). Removal of malachite green from contaminated water using Electro-Coagulation technique. *Journal of Analytical & Pharmaceutical Research*, 6(4), DOI: 10.15406/japlr.2017.06.00184.
- Ho, Y.S., McKay, G. (1998). Sorption of dye from aqueous solution by peat. *Chemical Engineering Journal*, 70(2), 115-124. <https://doi.org/10.1016/S0923-00076-1>.
- Jiang, F., Dinh, D. M., Hsieh, Y. L. (2017). Adsorption and desorption of cationic malachite green dye on cellulose nanofibril aerogels. *Carbohydrate Polymers*, 173, 286-294. [https://doi.org/10.1016/0467\(98\)j.carbpol.2017.05.097](https://doi.org/10.1016/0467(98)j.carbpol.2017.05.097).
- Kumar, K.V., Ramamurthi, V., Sivanesan, S. (2006). Biosorption of malachite green, a cationic dye onto *Pithophora* sp, a fresh water algae. *Dyes Pigments*, 69, 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2005.02.005>

- Kushwaha, A.K., Gupta, N., Chattopadhyaya, M.C. (2014). Removal of cationic methylene blue and malachite green dyes from aqueous solution by waste materials of *Daucus carota*. *Journal of Saudi Chemical Society*, 18(3),200-207. <https://doi.org/10.1016/>
- Lagergren, S. (1898). About the theory of so called adsorption of soluble substances. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, 24, 1-39.
- Lin, L., Tang, S., Wang, X., Sun, X., Yu, A. (2020). Adsorption of malachite green from aqueous solution by nylon microplastics: reaction mechanism and the optimum conditions by response surface methodology. *Process Safety and Environmental Protection*, 140, 339-347. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.019>.
- Mohammadi, A., Daemi, H., Barikani, M. (2014). Fast removal of malachite green dye using novel superparamagnetic sodium alginate-coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 69, 447-455. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.05.042>.
- Mohan, D., Sarswat, A., Singh V.K., Franco M.A., Pittman Jr., U. (2011). Development of magnetic activated carbon from almond shells for trinitrophenol removal from water. *Chemical Engineering Journal*, 172(2-3), 1111-1125. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.06.054>.
- Muinde, V., Onyari J.M., Wamalwa, B.M., Wabomba, J. (2017). Adsorption of Malachite Green from Aqueous Solutions onto Rice Husks: Kinetic and Equilibrium Studies. *Journal of Environmental Protection*, 8(3), 215-230. DOI:10.4236/jep.2017.83017.
- Namcharee, N., Sueprasearsit, P., Prabamroong, T. (2018). Adsorption of Nickel (Ni<sup>2+</sup>) Using Rice Husk and Modified Rice Husk. *Journal of Science and Technology MSU*, 37(3), 248-259.
- Nandi, B.K., Goswami, A., Purkait, M.K. (2009). Adsorption characteristics of brilliant green dye on kaolin. *Journal of Hazardous Materials*, 161(1), 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.110>.
- Qu, W., Yuan, T., Yin, G., Xu, S., Zhang, Q., Su, H. (2019). Effect of properties of activated carbon on malachite green adsorption. *Fuel*, 249, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.058>.
- Sundararaman, T. R., Saravanan, A., Senthil Kumar, P., Millicent Mabel, M., Hemavathy, R. V., Karishma, S., Jeevanantham, S., Hemavathi, R., Ishwariya, A., Kowsalya, S. (2021). Adsorptive removal of malachite green dye onto coal-associated soil and conditions optimization. *Adsorption Science & Technology*, Article ID 5545683, <https://doi.org/10.1155/2021/5545683>.
- Wang, L., Wang, J., Yu, A., Yu, Z. (2002). Removal of malachite green by electrochemical oxidation polymerization and electrochemical reduction precipitation: its kinetics and intermediates. *Journal of Solid State Electrochemistry*, <https://doi.org/10.1007/s10008-022-05242-7>.
- Weber, J., Morris, J.C. (1963). Kinetics of adsorption on carbon from solution. *Journal of the Sanitary Engineering Division*, 89, 31-60.

# การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเมืองระหว่างปีที่การระบาดของไวรัสโคโรนา (Covid-19) พ.ศ. 2563 กับปีฐาน พ.ศ.2559 โดยวิธี CCF กรณีศึกษา เทศบาลเมืองชัยภูมิ

## A comparison of city greenhouse gases emission between Thailand's emergency decree (COVID-19) 2020 and 2016 using the CCF method : Chaiyaphum municipality case study

สุรวุฒิ สุดหา<sup>1\*</sup>, ดุษฎีพร หิรัญ<sup>2</sup>

Surawut Sudha<sup>1\*</sup>, Dussadeeporn Hirun<sup>2</sup>

Received: 12 July 2022 ; Revised: 10 October 2022 ; Accepted: 7 November 2022

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ชุมชนเมืองในช่วงที่มีการประกาศพระราชกำหนดการบริหารราชการในสถานการณ์ฉุกเฉินเนื่องด้วยวิกฤติไวรัสโคโรนา 2563 โดยวิธีการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ระดับเมือง (City Carbon Footprint: CCF) จากคู่มือองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก โดยมุ่งศึกษาเขตเทศบาลเมืองชัยภูมิทั้ง 3 ประเภทกิจกรรม เปรียบเทียบกับข้อมูลการปลดปล่อยในปี 2559 ซึ่งเป็นปีก่อนเกิดการระบาด ผู้วิจัยได้ประสานข้อมูลกับสำนักงานเทศบาลเมืองชัยภูมิ สำนักงานปศุสัตว์จังหวัดชัยภูมิ สำนักงานเกษตรอำเภอเมืองชัยภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิจากรายงานกระทรวงต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้ผลการวิจัยคือ ในปี 2559 พื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 119,768.55 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี หรือคิดเป็น 3.27 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจำนวนประชากรต่อปี ส่วนในปี 2563 มีการปลดปล่อย 114,063.22 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี หรือคิดเป็น 3.18 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจำนวนประชากรต่อปี ซึ่งมีปริมาณลดลงกว่าร้อยละ 4.76 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการใช้พลังงานของกระทรวงพลังงาน และสอดคล้องกับการปล่อยคาร์บอนระดับโลกในช่วงปีเดียวกันที่ลดลงร้อยละ 3-11 (He & Mi, 2022) โดยมีกิจกรรมกลุ่มเผาไหม้อยู่กับที่ และกลุ่มกลุ่มเผาไหม้เคลื่อนที่ ที่มีปริมาณลดลงกว่าร้อยละ 9.76 และ 16.04 ตามลำดับ สาเหตุเนื่องจากสถานการณ์การระบาดไวรัสโคโรนา (COVID-19) ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงภาพรวมลดลง ประชาชนอยู่ในที่พักอาศัยมากขึ้น ส่งผลให้ขยะครัวเรือนและของเสียครัวเรือนเพิ่มมากขึ้นเท่าตัว กลุ่มการเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดินมีการปลดปล่อยเพิ่มขึ้น 3 เท่าเนื่องด้วยนโยบายการสนับสนุนการทำปศุสัตว์ในพื้นที่ มีจำนวนสัตว์เพิ่มขึ้นจำนวนมาก แต่พื้นที่สีเขียวของเทศบาลชัยภูมิไม่เพิ่มขึ้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงควรกำหนดนโยบายและโครงการต่างๆ เพื่อเตรียมการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ อาทิ การกำหนดโครงการต่างๆ เพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งในส่วนของ กลุ่มการเผาไหม้อยู่กับที่ในการขนส่งรถจักรยานใช้พลังงานไฟฟ้า กลุ่มเผาไหม้เคลื่อนที่เพื่อรถจักรยานใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลผลิตภัณฑ์และจงใจให้ประชาชนเลือกใช้พลังงานสะอาดมากขึ้น กลุ่มการจัดการของเสียที่รณรงค์ลดและแยกขยะครัวเรือน และกลุ่มการเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดินในการจัดการของเสียปศุสัตว์เชิงนโยบาย และเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเทศบาลเมืองชัยภูมิให้มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นต้น

**คำสำคัญ:** คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ปรากฏการณ์เรือนกระจก ก๊าซเรือนกระจก การปลดปล่อย เทศบาลเมือง

<sup>1</sup> อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้างและระบบราง คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ชัยภูมิ 36000

<sup>2</sup> อาจารย์, สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ชัยภูมิ 36000

<sup>1</sup> Lecturer, Department of Construction and Railway System Engineering, Chaiyaphum Rajabhat University, Chaiyaphum 36000

<sup>2</sup> Lecturer, Department of General Science, Faculty of Education, Chaiyaphum Rajabhat University, Chaiyaphum 36000

\* Corresponding author: Surawut Sudha, Faculty of Art and Science, Chaiyaphum Rajabhat University, Chaiyaphum 36000, yimwow@hotmail.com

## Abstract

This research aims to study the amount of greenhouse gas emissions in urban area during the announcement of the Royal Decree on Government administration in emergency situations due to the Coronavirus Crisis (COVID-19) in 2563. The method of calculation was the assessment of greenhouse gas emissions at the city level (City Carbon Footprint: CCF) from Thailand Greenhouse Organization (TGO) standard manual, focusing on the study of Chaiyaphum Municipality in all 3 types of activities compare that to 2016, the year before the outbreak. The researcher coordinated and collected the data with the Chaiyaphum Municipality Office, Chaiyaphum Provincial Livestock Office, Muang Chaiyaphum Agriculture Office and secondary data from various related ministries' reports. The result of the research was that in 2016, Chaiyaphum municipality had greenhouse gas emissions of 119,768.55 tons of carbon dioxide equivalent per year or 3.27 tons of carbon dioxide equivalent per population per year, while in 2020, there were 114,063.22 tons of carbon dioxide equivalent per year, or to 3.18 tons CO<sub>2</sub> equivalent per capita per year which decreased by more than 4.76 percent. This corresponds to the energy consumption data of the Ministry of Energy and was in line with global carbon emissions that declined 3-11 percent during the same year (He & Mi, 2022). The burning-in-place and the mobile-burning activities were the major activities that decreased by 9.76% and 16.04, respectively. The cause was the Coronavirus (COVID-19) outbreak situation, the overall use of electricity and fuel consumption decreased, then people live in shelters and caused the household waste doubled. Agriculture, forestry and land use groups have tripled in liberation due to policies to support livestock farming in the area with the large increase in the number of animals. The green area of Chaiyaphum municipality did not increase, as was also the case in 2016. Relevant Government Agencies should formulate policies and projects to prepare the reduction of greenhouse gases in the area; such as a campaign to reduce the use of electricity, a campaign to reduce the use of fossil fuels in transportation and to motivate people to choose more clean energy, waste management group campaigning to reduce and separate household waste. agriculture, forestry, and land use groups in policy-based livestock waste management and continually increase green areas in Chaiyaphum Municipality.

**Keywords:** Carbon Footprint, Greenhouse Effect, Greenhouse Gases, Emission, Municipality

## บทนำ

ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมกำลังเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจ ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมหนึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในขณะนี้ คือ ปัญหาภาวะโลกร้อน (Global Warming) สาเหตุหลักของปัญหานี้ เกิดจากบรรดาก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) ที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก โดยประกอบไปด้วยก๊าซสำคัญ 6 ชนิด ซึ่งมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัญหาสำคัญที่สุด เพราะมีสัดส่วนมากที่สุดประมาณร้อยละ 70 ในบรรดาก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด จากสรุปรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2553 ของสำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย ได้แสดงข้อมูลสรุปปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย แบ่งตามภาคการผลิต ปี พ.ศ.2563 พบว่าในปี 2563 ที่ผ่านมา ประเทศไทยมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากทุกภาคส่วนการผลิตรวมประมาณ 354 ล้านตัน (สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2563) จากการจัดลำดับขององค์กร Climate

Watch ในปี 2561 ไทยเป็นประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากเป็นอันดับที่ 20 ของโลก หรือคิดเป็นปริมาณ 0.8% ของก๊าซเรือนกระจกที่มีการปล่อยทั่วโลก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างรวดเร็ว ไม่มีแนวโน้มจะลดลงได้เลย (BBC, 2564)

การจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint: CF) เป็นวิธีการประเภทหนึ่งในการแสดงข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาตลอดวงจรชีวิต ของทั้งผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือหน่วยองค์กรหนึ่ง อันจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางการบริหารจัดการ เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นทั้งในระดับโรงงาน ระดับอุตสาหกรรม และระดับประเทศ ซึ่งได้พัฒนามาเป็นรูปแบบการจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง (City Carbon Footprint: CCF) ที่จะแสดงข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่เมืองตามอาณาเขตภูมิศาสตร์ทางการเมือง (Geopolitical Boundary) โดยจะแสดงทั้งปริมาณการปลดปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกของชุมชนเมืองใน 1 ปีออกมาเป็นหน่วยตันเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์

เทศบาลเมืองชัยภูมิ เป็นองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นรูปแบบเทศบาล ดูแลพื้นที่ปกครองเทศบาลเมืองชัยภูมิซึ่งเป็นพื้นที่ศูนย์กลางการปกครองของจังหวัดชัยภูมิ มีเนื้อที่ 30.78 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณ 19,237 ไร่ มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 36,227 คน จำนวนครัวเรือน 20,241 ครัวเรือน และมีทั้งหมด 25 ชุมชน (เทศบาลเมืองชัยภูมิ, 2562) จากนั้นในปลายปี 2562 เป็นต้นมา ได้เกิดวิกฤติการณ์ไวรัสโคโรนาระบาดทั่วโลก มีผู้ติดเชื้อสะสมรวม 9,046,067 คน เสียชีวิตรวม 470,703 คน ในประเทศไทยมีผู้ติดเชื้อสะสม 3,151 คน และเสียชีวิตสะสมรวม 58 คน (ศูนย์บริหารสถานการณ์โควิด19, 2563) จึงทำให้มีการประกาศพระราชกำหนดฉุกเฉินเพื่อควบคุมการแพร่ระบาดดังกล่าว ที่มีมาตรการควบคุมวิถีชีวิตประชากรมากมาย ที่ทำให้วิถีประชาชนเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า New Normal ปริมาณการเปลี่ยนแปลงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงระยะเวลาสองปีดังกล่าวอาจจะเป็นตัวบ่งชี้หนึ่งว่า วิกฤติการณ์ไวรัสโคโรนาจะทำให้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมในเรื่องภาวะโลกร้อนจากปรากฏการณ์เรือนกระจก เปลี่ยนแปลงอย่างไร เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลเชิงนโยบายในการนำไปสู่การพัฒนาแนวทางลดปัญหาภาวะโลกร้อนในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิได้ต่อไป

## วิธีการศึกษาวิจัย

### 1. การจัดทำข้อมูลก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง

การจัดทำข้อมูลก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองนั้นจะต้องดำเนินการตามคู่มือแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น จัดทำโดยองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (อบก.) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (TGO, 2559) โดยมีขั้นตอนสรุปดังนี้

(1) การกำหนดขอบเขตของเมือง โครงสร้างโดยทั่วไปของเมืองประกอบด้วย ครัวเรือน หน่วยงานราชการ และเอกชน ภาคธุรกิจการค้า และอุตสาหกรรมการผลิตระบบขนส่ง ขอบเขตของเมืองเพื่อการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกจึงเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญ ต้องมีความชัดเจนและเหมาะสม ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตเมืองกรณีศึกษา คือเทศบาลเมืองชัยภูมิ โดยจะมีการ

(1.1) กำหนดเป้าหมาย เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อย และดูดกลับของก๊าซเรือนกระจกในช่วงระยะเวลา 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 ปี พ.ศ.2559 ซึ่งเป็นข้อมูลในปีสุดท้ายก่อนที่จะเกิดการระบาดของไวรัสสายพันธุ์โคโรนา (Covid-19) เป็นฐานข้อมูลการปลดปล่อยปกติ และช่วงที่ 2 พ.ศ.2563 ที่เป็นช่วงปีล่าสุดของการระบาดในช่วงการทำการวิจัย แล้วนำข้อมูลทั้งสองช่วงมาเปรียบเทียบข้อมูล

(1.2) กำหนดขอบเขตของเมือง การกำหนดขอบเขตของเมืองในการรวบรวมแหล่งปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกเป็นการควบคุมการดำเนินงาน (Operation Control) โดยใช้ขอบเขตเทศบาลเมืองชัยภูมิทั้ง 2 ช่วงเวลาตามข้อ (1)

(2) การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน เมื่อต้องกำหนดขอบเขตการดำเนินงานและมีการบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษร โดยจะเข้าดำเนินการประสานงานกับสำนักงานเทศบาลเมืองชัยภูมิ เพื่อขอข้อมูลการปลดปล่อยในขอบเขตต่างๆ ในปี พ.ศ.2559 ตามข้อมูลที่เทศบาลเมืองชัยภูมิได้มีการเก็บรวบรวมไว้แล้ว โดยจะต้องได้กำหนดขอบเขตของการดำเนินงานดังนี้

(2.1) การระบุแหล่งปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องภายในขอบเขตการดำเนินงานของเทศบาลเมืองชัยภูมิ

(2.2) การจำแนกแหล่งปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกออกเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมที่เกิดจากการใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ของเทศบาลเมืองชัยภูมิ

(2.3) การคัดเลือกกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ ที่จำเป็นต้องหาปริมาณและต้องมีการรายงานผลในเขตเทศบาลเมืองชัยภูมิ

ในการกำหนดขอบเขตการดำเนินงาน ต้องระบุกิจกรรมที่มีการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องกับบริบทของเมือง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1: การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรง

การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงจะพิจารณานับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยและดูดกลับจากการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในเขตพื้นที่ของเทศบาลเมืองชัยภูมิ โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการประสานงานขอข้อมูลจากเทศบาลเมืองชัยภูมิตลอดปี พ.ศ. 2559 เป็นฐานซึ่งในปี พ.ศ.สุดท้ายก่อนที่จะเกิดการระบาดของไวรัสโคโรนา (Covid-19) เป็นฐาน โดยจะระบุจาก 3 แหล่งดังนี้

(1) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงที่เกิดจากการเผาไหม้อยู่กับที่ ได้แก่

(1.1) การผลิตพลังงานไฟฟ้า ความร้อน และไอน้ำ แล้วนำพลังงานที่ผลิตได้กระจายสู่เขตพื้นที่เมืองของตนเองหรือกระจายไปยังเมืองอื่น หรือผลิตขึ้นเพื่อขายให้กับหน่วยงานของรัฐ/เอกชน รวมถึงการสูญเสียพลังงานระหว่างการขนส่ง

(1.2) การเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ ที่ใช้ในการดำเนินกิจกรรมต่าง ในเขตเมือง เช่น เครื่องปั่นไฟ และเครื่องจักรกลการเกษตร โดยที่ประชาชนหรือหน่วยงานในเขตเมืองเป็นเจ้าของ หรือหน่วยงานในเขตเมืองเช่าเหมา

(1.3) การเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการหุงต้มในเขตพื้นที่ของเมือง

(1.4) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการผลิต

(2) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรง การเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ได้แก่

(2.1) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากกิจกรรมการขนส่งของยานพาหนะที่ประชากรหรือหน่วยงานในพื้นที่เป็นเจ้าของ หรือหน่วยงานในเขตพื้นที่เป็นผู้เช่าเหมา

(3) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงที่เกิดจากการรั่วไหลและอื่นๆ เช่น

(3.1) การใช้ปุ๋ย หรือสารเคมี เพื่อการชักล้างหรือทำความสะอาดภายในเขตเมือง

(3.2) การจัดการขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในพื้นที่เมืองด้วยวิธีการฝังกลบ หรือการเทกองขยะ

(3.3) การนำขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในพื้นที่เมืองมาย่อยสลายด้วยวิธีการทางชีวภาพ เช่น การนำไปทำปุ๋ยหมัก

(3.4) การบำบัดน้ำเสียและกากตะกอนจากอาคารบ้านเรือน ร้านค้า หรือแม้กระทั่งน้ำเสียจากโรงงานที่ตั้งอยู่ในเขตเมือง

(3.5) การเผาขยะประเภทต่างๆ โดยใช้เตาเผาขยะ และการเผาในที่โล่งแจ้ง

(3.6) การเผาไหม้ชีวมวล

(4) การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงภาคการเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน

(4.1) การปศุสัตว์ ประกอบด้วยการหมักในระบบย่อยอาหารสัตว์ และการจัดการมูลสัตว์

(4.2) การปล่อยและเก็บกักก๊าซเรือนกระจกในภาคการใช้ประโยชน์ที่ดิน ประกอบด้วยข้อมูล พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เพาะปลูก พื้นที่ทุ่งหญ้า พื้นที่ชุ่มน้ำ พื้นที่ตั้งถิ่นฐาน และพื้นที่อื่นๆ

(4.3) แหล่งรวมอื่นๆ เช่น การเผาชีวมวล การใส่ปุ๋ย การใช้ปุ๋ย การปลูกข้าว เป็นต้น

ประเภทที่ 2: การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน

พิจารณานับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยและดูดกลับจากการนำพลังงานในรูปแบบต่างๆ ที่ผลิตและจัดหาจากนอกเขตพื้นที่ของเมืองเข้ามาใช้ในพื้นที่ เช่น ไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำ

ประเภทที่ 3: การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ

พิจารณานับปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยและดูดกลับจากกิจกรรมต่างๆ นอกเหนือจากที่ระบุในประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 เช่น ข้อมูลปริมาณขยะที่เกิดขึ้นภายในเขตการปกครองของเมือง แล้วนำไปกำจัดภายนอกขอบเขตการปกครอง

## 2. ขอบเขตของเทศบาลเมืองชัยภูมิที่พิจารณา

ขอบเขตขององค์กรที่เลือกใช้ คือ แบบควบคุม (Control) โดยแนวทางที่ใช้ในการกำหนดขอบเขต คือ การควบคุมดำเนินงาน (Operational Control)

หน่วยราชการอุปโภคที่พิจารณา ได้แก่

- (1) สำนักงานเทศบาล
- (2) ศูนย์บริการสาธารณสุขทั้ง 3 แห่ง
- (3) โรงเรียนในสังกัดเทศบาลชัยภูมิทั้ง 4 แห่ง
- (4) ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้ง 2 แห่ง
- (5) บ่อกำจัดขยะเทศบาลเมืองชัยภูมิ
- (6) งานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย
- (7) งานพัสดุกองช่าง
- (8) งานสวนกองช่าง
- (9) งานพัสดุกองสาธารณสุข
- (10) สวนสาธารณะและสนามกีฬาในชุมชนที่เทศบาลดูแล

## 3. กำหนดช่วงระยะเวลาการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยจะเก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง พื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิโดยใช้ฐานปีพุทธศักราชจำนวน 2 ปี เปรียบเทียบกัน ระหว่างปีฐานช่วงที่ 1 คือ พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นปีสถานการณ์ปกติล่าสุดก่อนเกิดการระบาดไวรัสโคโรนา (Covid-19) และช่วงที่ 2 คือปี พ.ศ.2563 ซึ่งเป็นปีล่าสุดที่มีการระบาดของไวรัสโคโรนา (Covid-19)

## 4. การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ใช้วิธีการประเมินตามคู่มือการจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง มีสมการคือ

$$GHG_i = A_i \times EF_i$$

โดยที่

$GHG_i$  คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg CO<sub>2</sub>-eq)

$A_i$  คือ ข้อมูลกิจกรรมที่เกิดก๊าซเรือนกระจก (unit) ที่ได้จากฐานข้อมูลของเทศบาลเมืองชัยภูมิ

$EF_i$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO<sub>2</sub>-eq/unit) จากองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก

## ผลการศึกษา

### 1. สรุปปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทศบาลเมืองชัยภูมิ พ.ศ.2559

**Table 1** Determine the amount of compensation received from Victory Chaiyaphum 2016

ข้อมูลกิจกรรม	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg CO <sub>2</sub> -eq)			
	ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3	รวม
กลุ่มเผาไหม้อยู่กับที่	36,431.57	23,808.12	-	60,239.70
การใช้พลังงานไฟฟ้าในเขตทั้งหมด		23,808.12		23,808.12
การใช้พลังงานในที่พักอาศัย	3,200.41			3,200.41
การใช้พลังงานภาคธุรกิจการค้าและอุตสาหกรรมการผลิต	30,395.67			30,395.67
การใช้พลังงานหน่วยงานภาครัฐและเอกชน	2,835.49			2,835.49
การใช้เชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงาน				-
กลุ่มเผาไหม้เคลื่อนที่	33,120.69	-	13,724.82	46,845.51
การใช้พลังงานภาคการขนส่งทางถนน	33,120.69		13,724.82	46,845.51
การใช้พลังงานภาคการขนส่งทางระบบราง				-
การใช้พลังงานภาคการขนส่งทางน้ำ				-
การใช้พลังงานภาคการขนส่งทางอากาศ				-
กลุ่มการจัดการของเสีย	1,139.35	-	9,848.42	10,987.77
การจัดการของเสียด้วยวิธีฝังกลบ			9,848.42	9,848.42
การจัดการของเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ				-
การจัดการของเสียด้วยวิธีการเผาไหม้				-
การจัดการน้ำเสียและการปล่อยทิ้ง	1,139.35			1,139.35
กลุ่มการเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน	1,695.57	-	-	1,695.57
การจัดการปศุสัตว์	229.62			229.62
การจัดการเพาะปลูกข้าว	1,195.24			1,195.24
การใช้ปุ๋ยเคมี	270.70			270.70
การจัดการพื้นที่ป่าไม้	- 155.80			- 155.80
<b>รวมทั้งหมด</b>	<b>72,387.19</b>	<b>23,808.12</b>	<b>23,573.23</b>	<b>119,768.55</b>



ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg CO<sub>2</sub>-eq)

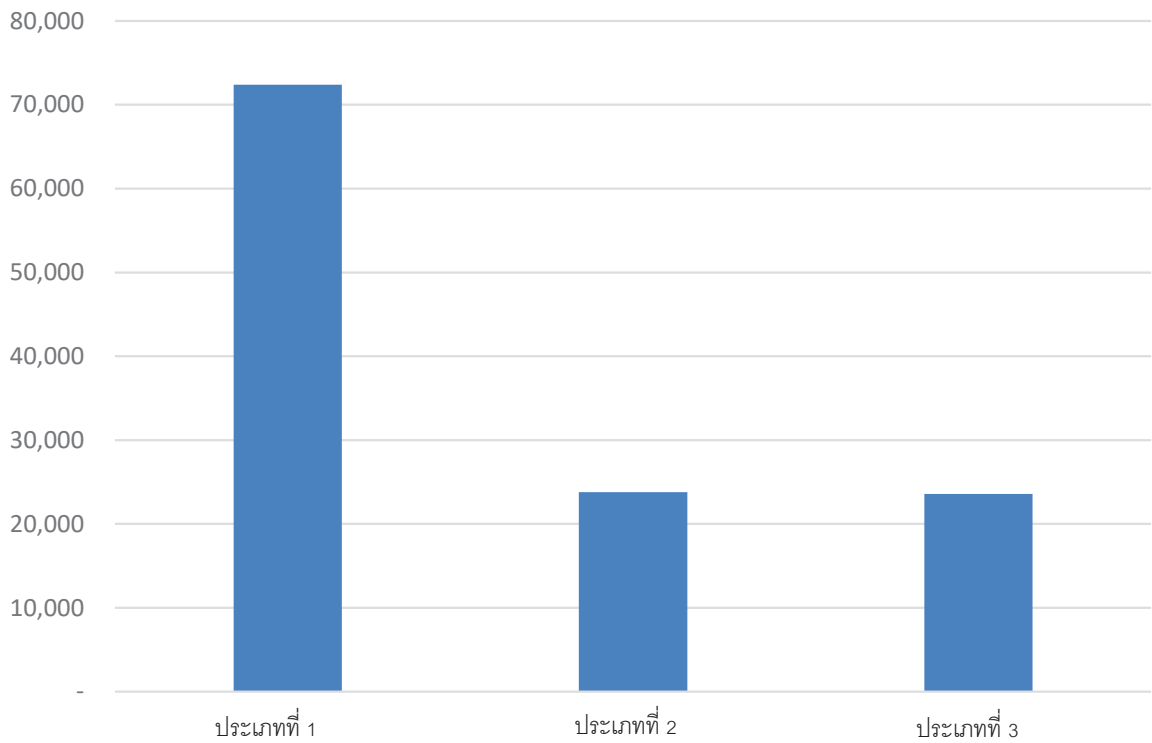


Figure 1 The amount of greenhouse gas emissions of Chaiyaphum Municipality in 2016 classified by type of emission activities

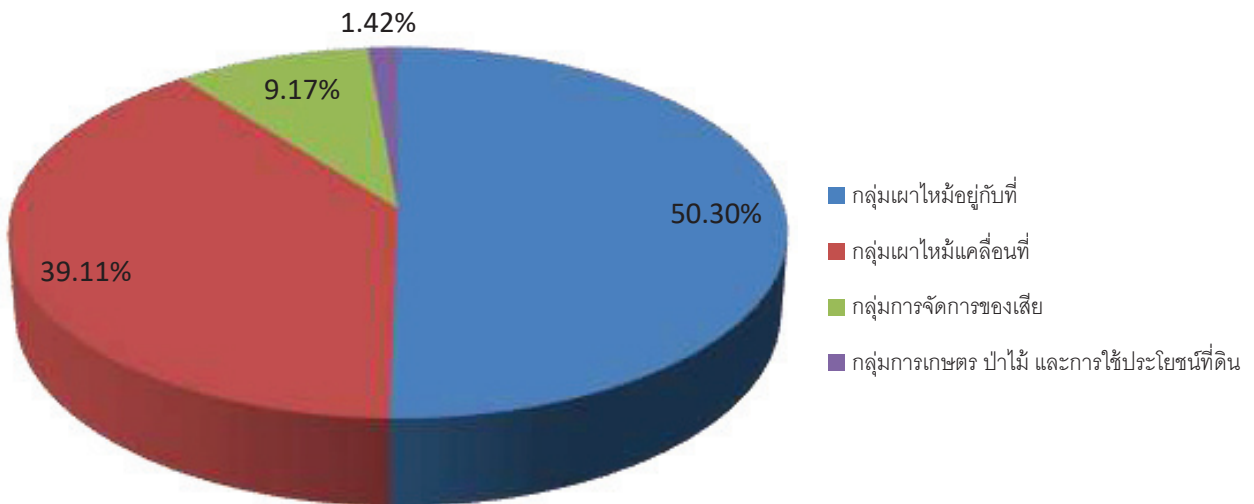


Figure 2 The proportion of greenhouse gas emissions of Chaiyaphum Municipality in 2016 classified by type of activity data

**2. สรุปข้อมูลการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองชัยภูมิ ในปี พ.ศ.2563**

การคำนวณหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองชัยภูมิอีกช่วงปี ผู้วิจัยได้เลือกใช้ข้อมูลปี พ.ศ.2563 ที่มีการระบาดของไวรัสโคโรนา (Covid-19) ตลอดทั้งปี ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลของเทศบาลเมือง

ชัยภูมิ พ.ศ.2559 เป็นฐานการคำนวณหลัก จากนั้นจะใช้วิธีการใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้อง เช่น กระทรวงพลังงาน, การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นต้น มาใช้คิดสัดส่วนการเพิ่มลดปริมาณในกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องแต่ละรายการในปี พ.ศ.2563 ได้ข้อสรุปการปลดปล่อยเป็นดังต่อไปนี้

**Table 2** Summarizes the amount of greenhouse gas emissions of Chaiyaphum Municipality in 2020

ข้อมูลกิจกรรม	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg CO <sub>2</sub> -eq)			
	ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3	รวม
กลุ่มเผาไหม้อยู่กับที่	30,762.60	23,596.83	-	54,359.43
การใช้พลังงานไฟฟ้าในเขตทั้งหมด		23,596.83		23,596.83
การใช้พลังงานในที่พักอาศัย	2,837.22			2,837.22
การใช้พลังงานภาคธุรกิจการค้าและอุตสาหกรรมการผลิต	25,163.48			25,163.48
การใช้พลังงานหน่วยงานภาครัฐและเอกชน	2,761.90			2,761.90
การใช้เชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงาน				-
กลุ่มเผาไหม้เคลื่อนที่	31,098.19	-	8,233.45	39,331.63
การใช้พลังงานภาคการขนส่งทางถนน	31,098.19		8,233.45	39,331.63
การใช้พลังงานภาคการขนส่งทางระบบราง				-
การใช้พลังงานภาคการขนส่งทางน้ำ				-
การใช้พลังงานภาคการขนส่งทางอากาศ				-
กลุ่มการจัดการของเสีย	1,139.35	-	12,898.63	14,037.98
การจัดการของเสียด้วยวิธีฝังกลบ			12,898.63	12,898.63
การจัดการของเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ				-
การจัดการของเสียด้วยวิธีการเผาไหม้				-
การจัดการน้ำเสียและการปล่อยทิ้ง*	1,139.35			1,139.35
กลุ่มการเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน	6,334.17	-	-	6,334.17
การจัดการปศุสัตว์	4,818.68			4,818.68
การจัดการเพาะปลูกข้าว	1,235.64			1,235.64
การใช้ปุ๋ยเคมี	279.86			279.86
การจัดการพื้นที่ป่าไม้	-	155.80	-	155.80
<b>รวมทั้งหมด</b>	<b>69,334.31</b>	<b>23,596.83</b>	<b>21,132.08</b>	<b>114,063.22</b>

หมายเหตุ \* ข้อมูลจากเทศบาลเมืองชัยภูมิไม่มีการอัปเดตข้อมูล จึงใช้ข้อมูลเดิมเนื่องจากจำนวนประชากรทั้งสองปีใกล้เคียงกัน

ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg CO<sub>2</sub>-eq)

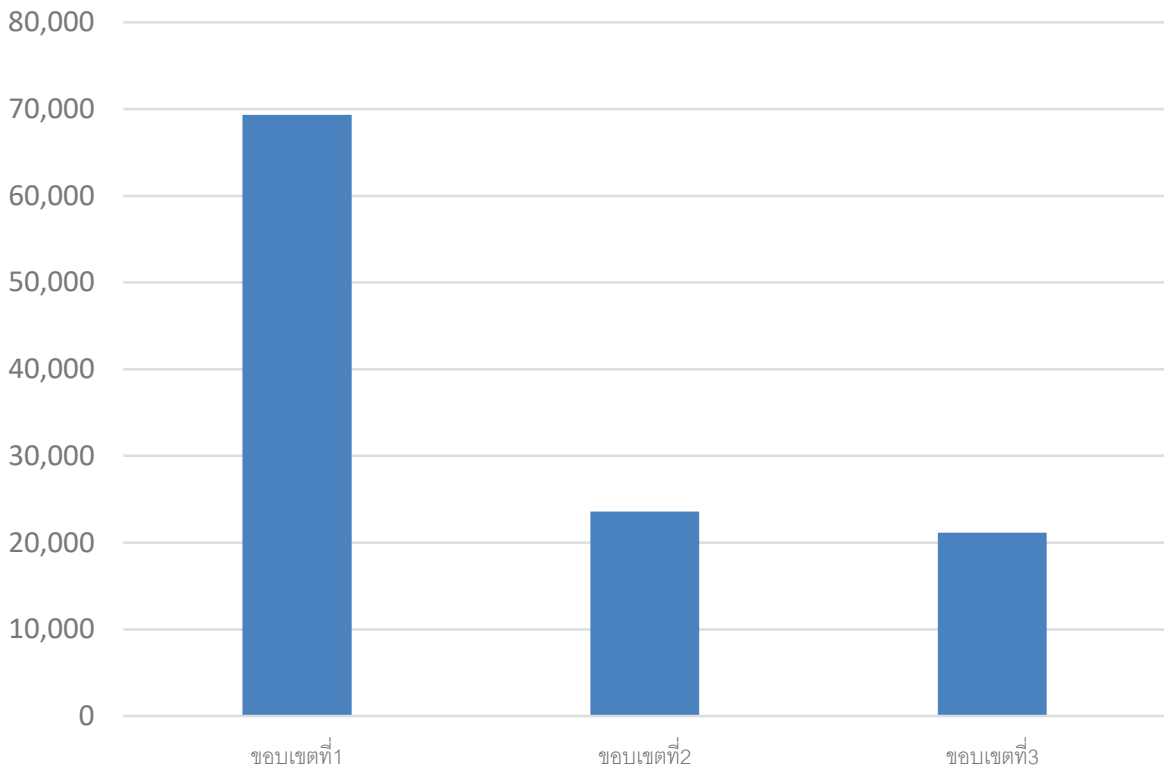


Figure 3 The amount of greenhouse gas emissions of Chaiyaphum Municipality in 2020 classified by type of emission activities

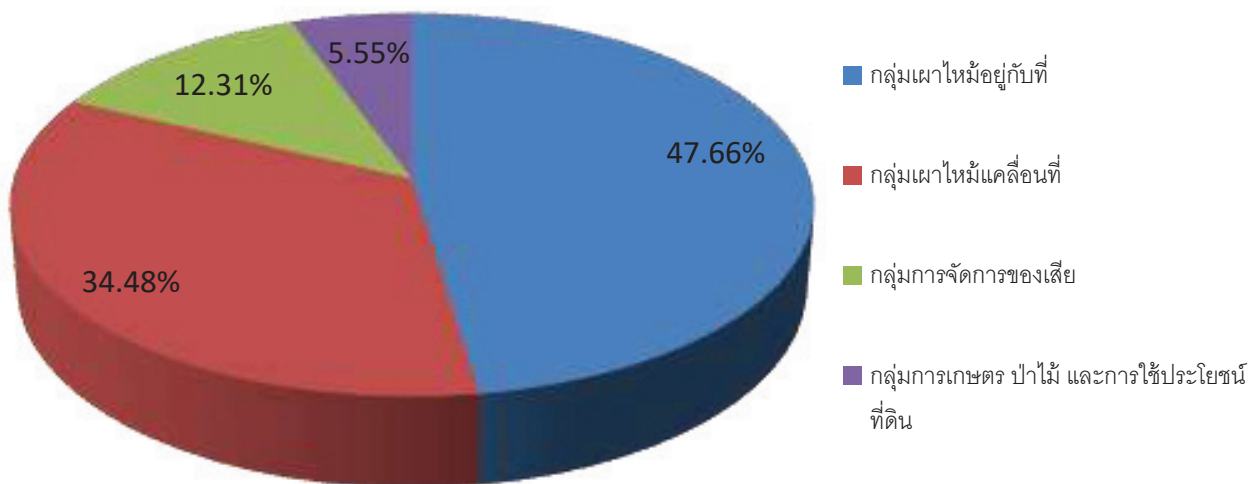


Figure 4 The proportion of greenhouse gas emissions of Chaiyaphum Municipality in 2020 classified by type of activity data

**ผลการวิจัย**

จากผลการศึกษา จึงสรุปปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2559 และ 2563 ได้ดังนี้

(1) การปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2559 เท่ากับ 119,768.55 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือคิดเป็น 3.27 ตัน

คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจำนวนประชากร (จำนวนประชากรเทศบาลเมืองชัยภูมิ ปี 2559 เท่ากับ 36,625 คน) หรือ 6.13 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจำนวนครัวเรือน (จำนวนครัวเรือนเทศบาลเมืองชัยภูมิ ปี 2559 เท่ากับ 19,555 ครัวเรือน) หรือ 3,891.12 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางกิโลเมตร (พื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิเท่ากับ 30.78 ตารางกิโลเมตร)

(2) การปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2563 เท่ากับ 114,063.22 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือคิดเป็น 3.18 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจำนวนประชากร (จำนวนประชากรเทศบาลเมืองชัยภูมิ ปี 2563 เท่ากับ 35,901 คน) หรือ 5.49 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อจำนวนครัวเรือน (จำนวนครัวเรือนเทศบาลเมืองชัยภูมิ ปี 2563 เท่ากับ

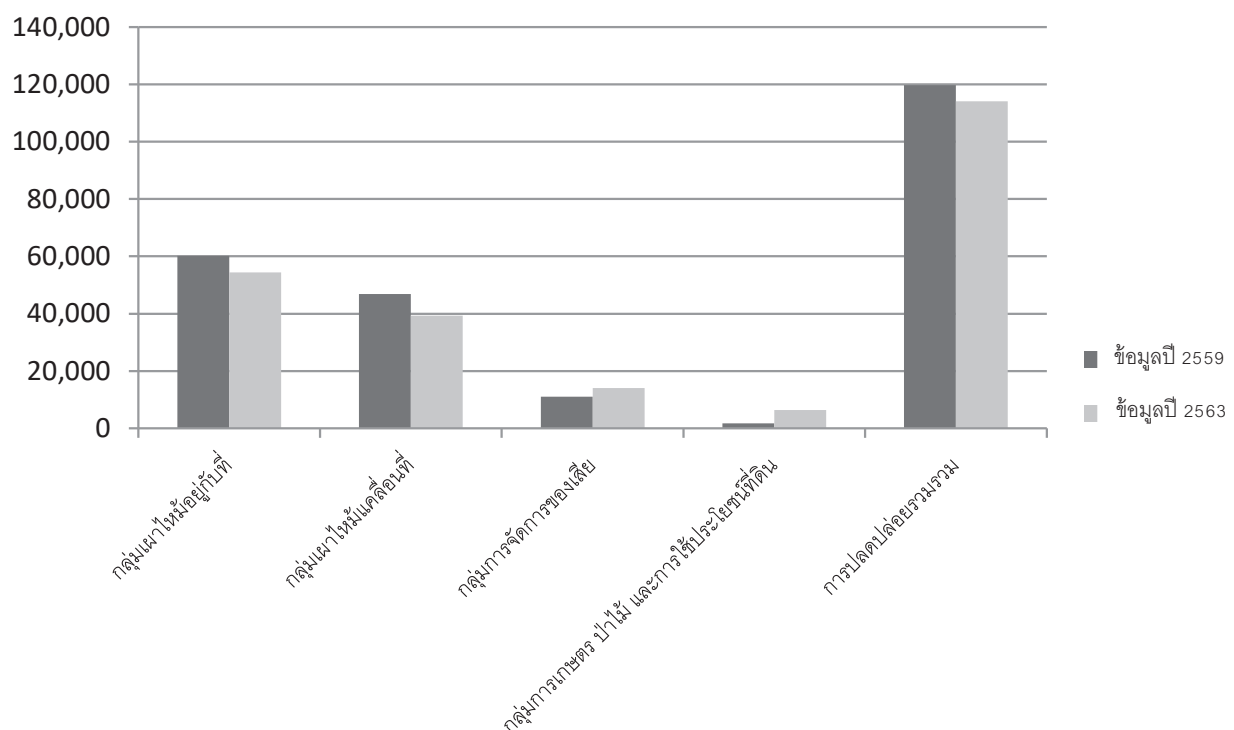
20,764 ครัวเรือน) หรือ 3,705.76 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางกิโลเมตร (พื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิเท่ากับ 30.78 ตารางกิโลเมตร)

(3) เปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2563 (ช่วงที่มีการระบาดของไวรัสโคโรนา Covid-19) กับปี 2559 (ช่วงที่ยังไม่มีการระบาดของไวรัสโคโรนา Covid-19) เป็นดัง Table 3

**Table 3** The amount of greenhouse gas emissions in Chaiyaphum municipal area in 2020 (during the outbreak of the Covid-19 coronavirus) and 2016 (during the period without the outbreak of the Covid- 19) Split by activity data

ข้อมูลกิจกรรม	2559	2563
กลุ่มเผาไหม้อยู่กับที่	60,239.70	54,359.43
กลุ่มเผาไหม้เคลื่อนที่	46,845.51	39,331.63
กลุ่มการจัดการของเสีย	10,987.77	14,037.98
กลุ่มการเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน	1,695.57	6,334.17
รวม	119,768.55	114,063.22

ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg CO<sub>2</sub>-eq)



**Figure 5** Comparison of greenhouse gas emissions of Chaiyaphum Municipality between 2020 and 2016. Classified by type of activity information

ปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2563 เท่ากับ 114,063.22 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งเป็นช่วงที่มีการระบาดของไวรัสโคโรนา Covid-19 ในขณะที่ ปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2559 เท่ากับ 119,768.55 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งเป็นช่วงปกติก่อนที่จะมีการระบาดของไวรัสโคโรนา Covid-19 จะเห็นได้ว่า ปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2563 ลดลงจากปี 2559 ร้อยละ 4.76

### อภิปรายผล

จากข้อมูลที่คำนวณได้ ปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2563 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการระบาดของไวรัสโคโรนา Covid-19 ตลอดปี ลดลงจากปี 2559 ซึ่งเป็นช่วงปกติก่อนที่จะมีการระบาดของไวรัสโคโรนา Covid-19 ลดลงกว่า 5,705.33 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือคิดเป็นลดร้อยละ 4.76 ซึ่งสอดคล้องกับ ข้อมูลการแถลงรายงานจากนายวัชรพงษ์ คุโรวาท ผู้อำนวยการสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน เมื่อวันที่ 21 มกราคม 2564 ว่า จากการใช้พลังงานของประเทศไทย ปี 2563 ลดลงในทุกภาคเศรษฐกิจ ทั้งการผลิตไฟฟ้า ภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และภาคเศรษฐกิจอื่นๆ โดยคาดว่า การปล่อย CO<sub>2</sub> จากการใช้พลังงานอยู่ที่ระดับ 222.8 ล้านตัน CO<sub>2</sub> ลดลงจากปีก่อนร้อยละ 11.1 (กระทรวงพลังงาน, 2563) แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรม การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในช่วงปี 2563 ที่มีการระบาด นั้นมีพฤติกรรมที่ปกติเมื่อเปรียบเทียบกับพฤติกรรมเชิงพื้นที่รวมของประเทศไทยในภาพรวม และ ยังสอดคล้องกับข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับโลกในช่วงเวลาเดียวกัน ที่มีปริมาณการปลดปล่อยลดลงอยู่ระหว่างร้อยละ 3 - 11 (เฉลี่ยร้อยละ 7) ในปี 2563 (Integrated Carbon Observation System: ICOS, 2022) จะเห็นชัดเจนว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกในช่วงที่มีการระบาดปี 2563 เชิงพื้นที่ระดับเมือง กรณีศึกษาพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิ ก็มีปริมาณสอดคล้องกับข้อมูลระดับโลก แต่มีปริมาณต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับทั้งประเทศไทย และระดับโลก เนื่องจาก พื้นที่เมืองชัยภูมิไม่มีการใช้พลังงานในภาคขนส่งประเภทเครื่องบิน รถไฟ และเรือ รวมถึงไม่มีเขตพื้นที่อุตสาหกรรม

ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่า ปริมาณการปล่อยคาร์บอนเฉลี่ยในปี 2563 ในกิจกรรม Industry, Surface Transport จะส่งผลกระทบต่อปริมาณการปลดปล่อยรวมมากที่สุด และยังคงสอดคล้องกับงานวิจัยของต่างประเทศเรื่อง Carbon Implications of

COVID-19 จากมหาวิทยาลัย College London ประเทศอังกฤษ ในช่วงปีเดียวกันที่พบว่าภาพรวมการปล่อยคาร์บอนระดับโลกนั้นลดลงเฉลี่ยร้อยละ 5 (He & Mi, 2022)

เมื่อวิเคราะห์ลึกลงไปในแต่ละกิจกรรมการปลดปล่อยข้อมูลเปรียบเทียบข้อมูลการเพิ่มลดของปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2563 กับ 2559 แยกตามรายกิจกรรมกลุ่มการปลดปล่อย (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2559) ได้ข้อสรุปดังนี้

1. กลุ่มเผาไหม้อยู่กับที่ ซึ่งเป็นกลุ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงภายในอาคารทุกประเภท พบว่า มีปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2563 ลดลงกว่าร้อยละ 9.76 ถึงแม้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในที่พักอาศัยจะเพิ่มขึ้น แต่ภาพรวมปริมาณการใช้ไฟฟ้าในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมทั้งหมดลดลง อาทิ ห้างสรรพสินค้า ห้างร้านต่างๆ ฯลฯ จากสถานการณ์การล็อกดาวน์จากการระบาดของไวรัสโคโรนาในปี 2563 ที่มีการประกาศหลายครั้งตลอดปี 2563 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยปี 2563 กระทรวงพลังงาน ที่แสดงให้เห็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ากลุ่มอุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนมากกว่ากลุ่มที่อยู่อาศัยกว่า 2 เท่าตัว พื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิไม่มีอุตสาหกรรมโรงงาน จึงทำให้สัดส่วนกลุ่มนี้ลดลงอย่างมาก แม้สัดส่วนครัวเรือนจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น

2. กลุ่มเผาไหม้เคลื่อนที่ ซึ่งเป็นกลุ่มการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในยานพาหนะ และอุปกรณ์เคลื่อนที่อื่นๆ พบว่า มีปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2563 ลดลงกว่าร้อยละ 16.04 เนื่องจากสถานการณ์การล็อกดาวน์จากการระบาดของไวรัสโคโรนาในปี 2563 จำนวนหลายครั้ง เกิดรูปแบบการทำงานและการเรียนแบบ Work From Home หลายครั้ง ทำให้การเดินทางลดลงทั้งรูปแบบการเดินทางด้วยยานพาหนะส่วนตัว และระบบขนส่งสาธารณะ และยังคงสอดคล้องกับข้อมูลการใช้น้ำมันของประเทศไทย กระทรวงพลังงาน ปี 2563 ที่ลดลงจากปี 2562 ถึงกว่าร้อยละ 11.5 เนื่องจาก พื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมินั้น เป็นพื้นที่ที่เป็นชุมชนที่พักอาศัยและมีศูนย์ราชการเป็นส่วนใหญ่ การคมนาคมจึงเป็นโดยยานพาหนะส่วนบุคคล เนื่องจากเป็นชุมชนเมืองที่มีพื้นที่ขนาดเล็กจึงแทบไม่มีการคมนาคมรูปแบบอื่น เมื่อเกิดการระบาดของไวรัสโคโรนา (Covid-19) และมีการล็อกดาวน์ จึงมีการปิดหน่วยงาน สถานศึกษา ส่วนราชการ และจัดการทำงานและการเรียนแบบที่บ้าน (Work from Home) เป็นจำนวนหลายครั้ง จึงทำให้การคมนาคมทางบกในเมืองมีจำนวนลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะข้อมูลงานวิจัยในส่วนของน้ำมันดีเซลในเขตเทศบาลเมืองชัยภูมิที่มีปริมาณการใช้ในปี 2563 ลดลงจากปี

2559 มากที่สุด ถึง 450,486.64 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 8.6 เมื่อเปรียบเทียบกับปี 2559 ที่ยังไม่มีภาวะระบาด

3. กลุ่มการจัดการของเสีย ซึ่งเป็นกลุ่มการจัดการด้านขยะมูลฝอยของเทศบาล (ฝั่งกลบ) และการจัดการน้ำทิ้งชุมชน พบว่า มีปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2563 เพิ่มขึ้นกว่าร้อยละ 27.76 เนื่องจากปริมาณขยะชุมชนมีปริมาณที่เพิ่มสูงมากขึ้น สอดคล้องกับข้อมูลการวิจัยกสิกรไทย (2564) ที่พบว่า ภาพรวมทั้งประเทศไทยในช่วงการระบาดของไวรัสโคโรนา (Covid-19) มีปริมาณขยะชุมชนเพิ่มขึ้น 2.0 เท่าจากก่อนเกิดการระบาด โดยเฉพาะขยะติดเชื้อ และสอดคล้องกับผลจากงานวิจัยเรื่อง การศึกษาปริมาณขยะในครัวเรือนช่วงการแพร่ระบาดของโรคไวรัสโคโรนา 2019 ที่ศึกษาข้อมูลขยะครัวเรือนในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล จำนวน 438 ครัวเรือน ที่พบว่า มีขยะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะขยะประเภทหน้ากากอนามัยที่พบในครัวเรือนจากกลุ่มตัวอย่างถึงร้อยละ 85.2 ขยะภาพรวมเพิ่มขึ้นกว่าร้อยละ 60 และสอดคล้องกับข้อมูลต่างประเทศ โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาที่มีการ lock down ทำให้ประชาชนตื่นตระหนกต่อการขาดแคลนอาหาร ทำให้มีการซื้อสินค้าอาหารเพิ่มขึ้น 37% อาหารแช่แข็ง 31% และอาหารบรรจุหีบห่อ 22% (International Food Information Council, 2020) ความตื่นตระหนกต่อการระบาดดังกล่าวจึงทำให้ขาดการวางแผน และมีการซื้ออาหารกักตุนมากเกินไปจนความต้องการและรับประทานไม่หมด เกิดเป็นขยะครัวเรือนที่เพิ่มขึ้นจำนวนมาก และส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของน้ำขยะที่หลุมฝังกลบที่เพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย (ภัทรานิษฐ์ ศรีจันทร์พันธุ์, 2564) นอกจากนี้ด้วยการเติบโตของระบบการค้าด้วยช่องทางออนไลน์ ผ่านสมาร์ตโฟนที่เติบโตขึ้น ทำให้ประชาชนที่ lock down อยู่บ้านมีพฤติกรรมกรซื้อของออนไลน์เพิ่มขึ้น เฉพาะขยะพลาสติกในธุรกิจบรรจุภัณฑ์อาหารอย่างเดียว ก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นในปี 2563 กว่าร้อยละ 15 เมื่อเทียบกับช่วงที่ไม่มีภาวะระบาด (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

4. กลุ่มการเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งเป็นกลุ่มการจัดการพื้นที่การเพาะปลูก การปศุสัตว์ และปริมาณพื้นที่สีเขียว พบว่า มีปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในปี 2563 เพิ่มขึ้นกว่าร้อยละ 273.57 หรือเกือบ 3 เท่าจากปี 2559 โดยเฉพาะการปศุสัตว์ที่มีปริมาณสัตว์ในการปศุสัตว์เพิ่มขึ้นมาก จากปี 2559 ที่มียอดรวมทุกชนิด 5,794 ตัว กลายเป็นยอดรวมทุกชนิด 19,019 ตัว ซึ่งการปลดปล่อยในกลุ่มนี้จะเป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นก๊าซที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) สูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า (IPCC Fourth Assessment Report, 2007; คู่มือการประเมินการปล่อยก๊าซ

เรือนกระจกองค์ประกอบรองส่วนท้องถิ่น (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2559) จึงทำให้ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มนี้ มีปริมาณสูงเพิ่มมากขึ้นทั้งในส่วนในปี 2563 และในภาพรวม นอกจากนี้ จากข้อมูลที่ได้จากการประสานงานสำนักงานปศุสัตว์จังหวัดชัยภูมิ ได้ข้อมูลว่า ช่วงสถานการณ์ระบาดของไวรัสโคโรนา (Covid-19) เกิดภาวะคนตกงานและกลับภูมิลำเนาจำนวนมาก ทางสำนักงานฯ จึงได้ดำเนินงานนโยบายส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์ชุมชน จึงทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้นดังกล่าว และมีผลกับการเพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทนจากการปศุสัตว์ในส่วนพื้นที่การเพาะปลูกก็มีจำนวนเพิ่มขึ้นประมาณ 121.12 ไร่ในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิ อีกทั้งยังมีการส่งเสริมการเลี้ยงไก่และสุกรที่เพิ่มขึ้นจำนวนมาก นอกจากนี้ ยังมีการส่งเสริมการเลี้ยงแพะ ที่ยังไม่มีการปศุสัตว์ในปี 2559 จึงทำให้ปริมาณการปล่อยคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้ ข้อมูลปริมาณพื้นที่สีเขียวในเขตเทศบาลเมืองชัยภูมิมีปริมาณเท่าเดิมกับปี 2559 ยังไม่มีการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตพื้นที่รับผิดชอบแต่อย่างใด

### ข้อเสนอแนะ

1. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิ อาทิ สำนักงานจังหวัดชัยภูมิ เทศบาลเมืองชัยภูมิ ควรนำข้อมูลการลดลงของปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิในช่วงการสถานการณ์ระบาดของไวรัสโคโรนา (Covid-19) เพื่อวิเคราะห์การลดลงในหลายกิจกรรม เพื่อนำไปสู่การจัดทำเป็นแผนยุทธศาสตร์ แนวทาง หรือนโยบายการลดปริมาณการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกเมื่อสิ้นสุดการระบาดแล้ว ดังนี้

1.1 กลุ่มเผาไหม้อยู่กับที่ เมื่อพ้นระยะเวลากการระบาด ประชาชนกลับมาใช้ชีวิตตามปกติ การใช้พลังงานในครัวเรือนในรูปแบบพลังงานไฟฟ้าจะลดลง แต่การใช้พลังงานในสถานที่ทำงาน สถานศึกษา อุตสาหกรรม จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ ควรมีการเตรียมรณรงค์การประหยัดพลังงานในองค์กรทุกประเภทในเขตเทศบาลเมืองชัยภูมิ อาทิ การลดจำนวนจุดไฟฟ้าแสงสว่างที่เกินความจำเป็น การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้ในองค์กร และพื้นที่สาธารณะเป็น LED ทั้งหมด การลดปริมาณการใช้เครื่องปรับอากาศ โดยเฉพาะนอกเวลางาน หรือลดปริมาณพื้นที่ที่ใช้งาน การเพิ่มแรงจูงใจให้ประชาชนทราบและลดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เก่า ทำให้เกิดการใช้ไฟฟ้ามากเกินไป การสนับสนุนให้มีการจัดหาเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดไฟพิเศษ การสนับสนุนให้หน่วยงานราชการในพื้นที่พร้อมใจกันติดตั้งระบบพลังงานสะอาด เช่น โซลาร์เซลล์มาเป็นพลังงานส่วนเสริมในอาคาร เป็นต้น

1.2 กลุ่มเผาไหม้เคลื่อนที่ ตามข้อมูลจะเห็นได้ว่าการลดปริมาณการคมนาคมทางบกในพื้นที่ จะลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนได้อย่างชัดเจน เมื่อสิ้นสุดการระบาดแล้ว การคมนาคมจะกลับมาปกติมีปริมาณเพิ่มขึ้นแน่นอน อันจะทำให้ปริมาณการปล่อยคาร์บอนก็จะกลับมาเพิ่มขึ้น ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรเตรียมนโยบาย การรณรงค์ลดการใช้ยานพาหนะส่วนตัว อาทิ จัดให้มีการ Work from Home สลับกับการทำงานปกติ ในแต่ละสัปดาห์ หรือการผลักดันนโยบายการใช้ยานพาหนะพลังงานสะอาดทั้งรถยนต์ส่วนบุคคล และยานพาหนะสาธารณะในพื้นที่ เช่น รถโดยสารพลังงานไฟฟ้า การสนับสนุนเอกชนให้จัดสร้างสถานีชาร์จบริการในพื้นที่ เพื่อจูงใจให้ประชาชนใช้ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (ในพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิมีสถานีชาร์จเพียงจุดเดียวที่ให้บริการคือภายในลานจอดรถห้างสรรพสินค้าโรบินสันเท่านั้น) โครงการสนับสนุนหรือจูงใจให้ประชาชนติดตั้งระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์บ้านเรือนเพิ่มขึ้น เป็นต้น

1.3 กลุ่มการจัดการของเสีย ส่งเสริมให้มีนโยบายการรณรงค์เรื่องการจัดการขยะอย่างจริงจัง โดยเฉพาะโครงการคัดแยกขยะ การจูงใจผู้ประกอบการในพื้นที่ใช้บรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ แทนพลาสติก การรณรงค์เลิกใช้ถุงพลาสติกอย่างจริงจัง และสนับสนุนให้ประชาชนการนำกระป๋องส่วนตัวในการจับจ่ายซื้อของ โดยเฉพาะในตลาดสดเทศบาลเมืองชัยภูมิ ตลาดโต้รุ่ง และตลาดสดศาลเจ้าพ่อพญาแล เป็นพื้นที่นำร่องอย่างจริงจัง เป็นต้น

1.4 กลุ่มการเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน การส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์เพื่อเศรษฐกิจครัวเรือนเป็นนโยบายที่มีประโยชน์กับประชาชน แต่การเพิ่มปริมาณการปศุสัตว์อย่างเดียวยังทำให้เกิดการปล่อยคาร์บอนเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล หน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะเทศบาลเมืองชัยภูมิ ปศุสัตว์จังหวัด จะต้องมีการนโยบายมาตรการรองรับการเพิ่มจำนวนของสัตว์เลี้ยงในพื้นที่ โดยเฉพาะการจัดการความสะอาด และการจัดการของเสียที่เพิ่มมากขึ้น การบำบัดน้ำเสีย โดยมีการออกมาตรการ อบรมให้ความรู้ การจูงใจ และมีมาตรการการตรวจสอบวงรอบที่ชัดเจน เป็นต้น นอกจากนี้ จะต้องมียุทธศาสตร์การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตพื้นที่รับผิดชอบให้มากขึ้น ปัจจุบันพื้นที่สีเขียวมีเพียง 2 จุดคือ สวนสาธารณะชัยภูมิบริเวณจวนผู้ว่าฯ และสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า ผู้วิจัยเห็นว่าพื้นที่ในบริเวณสนามกีฬาองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ ยังมีพื้นที่ที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์อีกจำนวนมาก สามารถพัฒนาพื้นที่สีเขียวได้ นอกจากนี้ ยังสามารถส่งเสริมพื้นที่เล็กแต่มีจำนวนมาก อาทิ เกาะกลางถนน ฟูตบาศ ฯลฯ ให้มีต้นไม้ยืนต้นได้ จะทำให้พื้นที่ดูดซับคาร์บอนในเขตเทศบาลเมืองชัยภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และยังสามารถจูงใจประชาชนให้ปลูกต้นไม้ยืนต้นในพื้นที่อยู่อาศัยของตนเองได้อีกทางหนึ่ง เป็นต้น

2. แม้ว่าในอนาคต ช่วงระยะเวลาเหตุการณ์ปกติที่สิ้นสุดการระบาดของไวรัสโคโรนา (Covid-19) จะมาถึงก็ตาม แต่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการพื้นที่เทศบาลเมืองชัยภูมิ ควรตระหนักในข้อมูลงานวิจัยนี้ โดยการเตรียมความพร้อมในระดับเชิงนโยบายเพื่อพร้อมรับมือเหตุการณ์การระบาดของไวรัสโคโรนา (Covid-19) ที่อาจเกิดขึ้นอีกได้ในอนาคต หรืออาจเกิดวิกฤติการณ์ระบาดโรคอื่นๆ ในลักษณะต้องล็อกดาวน์คล้ายคลึงกัน มีการกำหนดรูปแบบหรือคู่มือการซักซ้อมเหตุการณ์จำลอง ศึกษาความเป็นไปได้ นวัตกรรมแนวทางการรับมือ มีการสร้างความร่วมมือในพื้นที่ เพื่อให้เกิดการไม่ตระหนก และมีการใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างเกิดประโยชน์สูงสุด เกิดองค์ความรู้และวัฒนธรรมของประชาชน เพื่อรับมือปัญหาในลักษณะเดียวกันสืบต่อไป เป็นองค์ความรู้ในชั้นเรียนหรือคู่มือชุมชนในอนาคตได้ต่อไป ในส่วนของผู้วิจัยได้มอบข้อมูลงานวิจัยนี้แก่เทศบาลเมืองชัยภูมิแล้วเพื่อการนั้น

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากหลายฝ่ายในมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ อาทิเช่น มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิโดยสำนักวิจัยและพัฒนาผู้สนับสนุนทุนวิจัย รวมถึงกองอาคารสถานที่ กองบริการการศึกษา สำนักพัฒนานักศึกษา เป็นต้น รวมถึงหน่วยงานภายนอก อาทิ สำนักงานเทศบาลเมืองชัยภูมิ สำนักปศุสัตว์จังหวัดชัยภูมิ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นต้น ที่ได้กรุณาให้ข้อมูลต่างๆ ของมหาวิทยาลัยในอดีตจนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของคณะผู้วิจัยที่ให้อำนาจใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาเกี่ยวกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของพื้นที่ระดับเมืองในประเทศและผู้สนใจบ้างไม่มากก็น้อย

## เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. (2563). รายงานสถานการณ์การใช้ น้ำมัน และไฟฟ้าของไทย ปี 2563. กระทรวงพลังงาน.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2563). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2563. กรมควบคุมมลพิษ.
- ภัทรานิชฐ์ ศรีจันทร์พานิช. (2564). การศึกษาปริมาณขยะในครัวเรือนช่วงการแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนา 2019. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 41(2).

- ศูนย์บริหารสถานการณ์โควิด. (2563). รายงานข่าวกรณีติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ประจำวันที่ 22 มิถุนายน 2563. กระทรวงสาธารณสุข.
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2564). โควิดพุ่ง ขยะติดเชื้อเพิ่ม 2 เท่า จากก่อนโควิด. *องศาเศรษฐกิจ*, ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, [www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-social-media/Pages/Infectious-Waste-FB-09-09-21.aspx](http://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-social-media/Pages/Infectious-Waste-FB-09-09-21.aspx)
- องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก. (2559). *คู่มือการจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง*. องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก.
- อำนาจ วิชัย. (2563). การประเมินก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองกรณีศึกษา เทศบาลเมืองพะเยา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วทท.)*, ปีที่ 29 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม-สิงหาคม 2564.
- Bengali, S. (2020). *The COVID-19 pandemic is unleashing a tidal wave of plastic waste*. Retrieve June 13, 2020, from <https://www.latimes.com/world-nation/story/2020-06-13/coronavirus-pandemic-plastic-waste-recycling>
- He, K. & Mi, Z. (2022). *Carbon Implications of COVID-19*. Science-Policy Brief for the Multistakeholder Forum on Science, Technology and Innovation for the SDGs.
- Integrated Carbon Observation System ICOS. (2022). *Supplementary data: Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement*. Integrated Carbon Observation System ICOS
- International Food Information Council. (2020). *COVID-19: Impact on food purchasing, eating behaviors and perceptions of food safety*. International Food Information Council.
- Pierre Friedlingstein. (2021). *Impact of COVID-19 on CO2 emissions*. *Global Carbon Project; Climate-Carbon Interactions in the Current Century*. from [http://unfccc.int/sites/default/files/resource/1.GCP\\_.pdf](http://unfccc.int/sites/default/files/resource/1.GCP_.pdf)



## คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งบทความวิจัยเพื่อรับการพิจารณาลงตีพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิกและไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน รวมถึงไม่อยู่ระหว่างพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลงแก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล และนำไปอ้างอิงได้

### การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่เรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษร่วมกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษ ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร **Browallia New**

3.1 ชื่อเรื่องให้อักษรขนาด **18 pt. ตัวหนา**

3.2 ชื่อผู้พิมพ์ให้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ**

3.3 หัวข้อหลักให้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา**

3.4 หัวข้อรองให้อักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา**

3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวบาง**

3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ให้อักษรขนาด 12 pt. ตัวบาง และใส่ Corresponding author

4. ผู้พิมพ์จะต้องจัดเตรียมต้นฉบับในรูปแบบของไฟล์ “.doc” (MS Word) และ “.pdf” (Portable Document Format)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

6. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

7. การส่งบทความ ส่ง online ผ่านระบบ ThaiJo โดยสามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ [www.scjmsu.msu.ac.th](http://www.scjmsu.msu.ac.th)

8. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะจัดส่งคืนผู้พิมพ์เพื่อปรับแก้ไข ก่อนเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา ซึ่งอาจทำให้กระบวนการตีพิมพ์ล่าช้า

## บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

**ชื่อเรื่อง (Title)** ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลักของงานวิจัย ไม่ใช่คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร

**ชื่อผู้พิมพ์ [Author (s)]** และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงบรรณของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

**บทคัดย่อ (Abstract)** เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหา ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ ผลการค้นพบที่สำคัญ และสรุป มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยบทคัดย่อภาษาอังกฤษมีความยาวไม่เกิน 300 คำ สำหรับบทคัดย่อภาษาไทยให้สอดคล้องกับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

**คำสำคัญ (Keywords)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 5 คำ ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา

**บทนำ (Introduction)** เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานการศึกษาท่อนหน้า

**วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods)** ให้ระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ สิ่งื่อนำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปรผล

**ผลการศึกษา (Results)** รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อน และมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิประกอบการรายงานผลการศึกษา

**วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion)** การอภิปรายผลการศึกษาว่าตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ผู้พิมพ์อาจมีข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

**ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams)** ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่อง โดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

**กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)** ระบุงานวิจัยได้รับการสนับสนุนงบประมาณ หรือสนับสนุนด้านอื่นๆ รวมถึงความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

**เอกสารอ้างอิง (References)** ระบุงานการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ APA Style ดังตัวอย่าง สามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ [www.scjmsu.msu.ac.th](http://www.scjmsu.msu.ac.th)

## เอกสารอ้างอิงให้เขียนตามรูปแบบ “Publication Manual of the American Psychological Association” (7<sup>th</sup> Edition)

### 1. หนังสือ (ในรูปแบบรูปเล่ม)

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). *ชื่อเรื่อง* (พิมพ์ครั้งที่). สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง:

วิธาน ฐานะวุฑฒิ. (2547). *หัวใจใหม่-ชีวิตใหม่*. ปิตติศึกษา.

## 2. บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, เลขของปีที่ (เลขของฉบับที่), เลขหน้า. /<https://doi.org/เลขdoi>

ตัวอย่าง:

มานะ สินธุวงษานนท์. (2549). ปัจจัยส่งเสริมการจัดการศึกษาที่ส่งผลต่อคุณภาพนักเรียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารครุศาสตร์*, 18 (2), 115-116.

## 3. รายงานการประชุมเชิงวิชาการ (Proceeding)

ชื่อ-สกุล. (ปี). ชื่อบทความ. ใน/ชื่อบรรณานุกรม (บ.ก.), ชื่อหัวข้อการประชุม. ชื่อการประชุม (น. เลขหน้า). ฐานข้อมูล.

ตัวอย่าง:

พัชราภา ตันติชูเวช. (2553). การศึกษาทั่วไปกับคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ในประเทศมาเลเซีย และสิงคโปร์ ศึกษาโดยเปรียบเทียบกับประเทศไทย. ใน ศิริชัย กาญจนวาสี (บ.ก.), *การขับเคลื่อนคุณภาพการศึกษาไทย. การประชุมวิชาการและเผยแพร่ ผลงานวิจัยระดับชาติ* (น. 97-102). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

## 4. หนังสือพิมพ์และหนังสือพิมพ์ออนไลน์

ชื่อสกุล. (ปี, /วัน/เดือน). ชื่อคอลัมน์. ชื่อหนังสือพิมพ์, เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

พงษ์พรรณ บุญเลิศ. (2561, 15 สิงหาคม). เติลนิวส์ว่าไรดี: 'สื่อพิพิธภัณฑน์' เชื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย 'มิติใหม่' อินเทอร์เน็ต. *เติลนิวส์*, 4.

## 5. หนังสือ (ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์)

ชื่อ สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่). URL

ตัวอย่าง:

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรการศึกษาปฐมวัย พุทธศักราช 2560 สำหรับเด็กอายุ ต่ำกว่า 3-5 ปี*. [http://drive.google.com/file/d/1HiTwiRh1Er73h VYIMh1cYWzQiaNI\\_Vc/view](http://drive.google.com/file/d/1HiTwiRh1Er73h VYIMh1cYWzQiaNI_Vc/view)

## Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are **Accepted** from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be **Revised** as appropriate to the standard. The manuscript must be interesting topic, review knowledge, modern knowledge, and academic comments that are beneficial to readers. The journal publishes 6 issues a year. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December).

### Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. The use of Thai language adheres to the principles of vocabulary, transliteration in English according to the principles of the Royal Society of Thailand. Manuscript should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. Mixing Thai and English should be avoided except for the case of necessity, such as academic vocabulary with no translation or mixing words for easier understanding. English vocabulary written in Thai must use all lowercase except for unique names. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscript should be on A4 standard size paper. Each side must have 1" margins with 2 columns.

3. Browallia New font is required with font size as follows:

3.1 Title of the article: **18 pt. Bold**

3.2 Name (s) of the authors: **16 pt. Unbold**

3.3 Main Heading: **16 pt. Bold**

3.4 Sub-heading: **14 pt. Bold**

3.5 Body of the text: **14 pt. Unbold**

3.6 Footnotes for authors and their affiliations: **12 pt. Unbold**, must be cited at the bottom of the first page. Academic position and corresponding author must be added at footnotes.

4. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" and ".pdf" (Portable Document Format)

5. The number of pages are limited to 12 pages, including references, tables, graphs, or pictures.

6. Types of manuscripts: research articles and review articles.

7. Manuscript submission: online submission via [www.scjmsu.msu.ac.th](http://www.scjmsu.msu.ac.th).

**8. Manuscript with uncorrected format will be sent back to the author before review process which can delay the publication process.**

### Research article / review article must be in sequence as follows:

**Title:** denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters.

**Name (s) of the author (s) :** denoted with affiliation must be in Thai and English, academic position must be specified, and email address for contact the author.

**Abstract:** This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important of findings. The abstract must include objectives, findings, and conclusion. Thai and English abstract is required. The English abstract is restricted to **300 words**. Thai abstract should be relevant to English version.

**Keywords:** Give 4-5 concise words to specify your article

**Introduction:** This section is the initial part of the article, contain information about background, reasons, purposes, and review section.

**Materials and Methods:** A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation

**Results:** Present the output. Li the information in complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

**Discussion and Conclusion:** Discuss how the results are relevant/oppose to the objective and hypothesis. How the result is different/relevant when comparing to the former findings. Give us your reason why result is like that base on reliable researches. This part should end with suggestions for research utilization or providing questions for future studies.

**Tables, figures, diagrams:** Selected only necessary objects to insert in the body of manuscript in accordance with the description in the text. The short description is required in English with completely meaningful. For figures and diagrams, the description is below the picture. But, for table, the description is on top of the table.

**Acknowledgement:** the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

**References:** listed and referred in APA.

## Reference are written in “Publication Manual of the American Psychological Association” (7<sup>th</sup> Edition)

### 1. Book

Mertens, D.M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (4<sup>th</sup> ed.). SAGE.

### 2. Academic Journal

Herbst-Damm, K.L., & Kulik, J.A. (2005). Volunteer support, marital status, and the survival times of terminally ill patients. *Health Psychology*, 24, 225-229. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.24.2.225>

### 3. Conference Proceeding

Katz, I., Gabayan, K., & Aghajan, H. (2007). A multi-touch surface using multiple cameras. In J. Blanc-Talon, W. Philips, D. Popescu, & P. Scheunders (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 4678. Advanced concepts for intelligent vision systems* (pp. 97-108). Springer-Verlag. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-74607-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74607-2_9)

### 4. Newspaper / Online Newspaper

Brody, J.E. (2007, December 11). Mental reserves keep brain agile. *The New York Times*. <http://www.nytimes.com>

### 5. E-book

Dahlberg, G., & Moss, P. (2005). *Ethics and politics in early childhood education*. <https://epdf.tips/ethics-and-politics-in-early-childhoodeducation-contesting-early-childhood.html>

## **Aim and Scope:**

The Journal of Science and Technology aims to disseminate of scientific knowledge in the discipline of Mathematics, Science, Technology, Engineering, Agriculture, Medicine, Health Science, Interdisciplinary in science and technology. The journal publishes both research article and review article.

## **Ownership**

Maharakham University  
Editorial Office  
Division of Research Facilitation and Dissemination,  
Khamriang Sub-district, Kantharawichai District,  
Maha Sarakham Province 44150  
Tel & Fax: 0 4375 4416 ext. 1754

## **Advisors**

President of Maharakham University  
Professor Dr. Visut Baimai  
Professor Dr. Vichai Boonsaeng  
Professor Dr. Peerarak Srinives

## **Editor-in-Chief**

Professor Dr. Preecha Prathepha

## **Assistant Editors**

Professor Dr. Pairoi Pramual  
Maharakham University  
Professor Dr. Sirithon Siriamornpun  
Maharakham University  
Professor Dr. Anongrit Kangrang  
Maharakham University  
Associate Professor Dr. Worapol Aengwanich  
Maharakham University  
Associate Professor Dr. Vallaya Sutthikhum  
Maharakham University

## **Editorial Board**

Professor Dr. Thaweesakdi Boonkerd  
Chulalongkorn University  
Professor Dr. La-orsri Sanoamuang  
Khon Kaen University  
Professor Dr. Pranee Anprung  
Chulalongkorn University  
Professor Dr. Niwat Sonoamuang  
Khon Kaen University  
Professor Dr. Wongsak Laohasiriwong  
Khon Kaen University  
Professor Dr. Kwanjai Kanokmedhakul  
Khon Kaen University  
Professor Dr. Sirikasem Sirilak  
Naresuan University  
Associate Professor Dr. Sunan Saikrasun  
Maharakham University  
Associate Professor Dr. Suwanna Boonyaleepun  
Khon Kaen University

Associate Professor Dr. Chantana Aromdee  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr. Boonchong Chawsithiwong  
National Institute of Development Administration  
Associate Professor Dr. Porntep Tanonkeo  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr. Narumon Sangpradub  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr. Orawich Goompol  
Maharakham University  
Associate Professor Dr. Chawalit Boonpok  
Maharakham University  
Associate Professor Terdsak Khammeng  
Nakhon Phanom University  
Associate Professor Yuen Poovarawan  
Kasetsart University  
Assistant Professor Dr. Napparat Buddhakala  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Assistant Professor Dr. Anucha Pranchana  
Ubon Ratchathani Rajabhat University  
Assistant Professor Dr. Seckson Sukhasena  
Naresuan University  
Assistant Professor Dr. Walaiporn Tongjaroenbuengam  
Maharakham University  
Assistant Professor Dr. Alongkorn Lamom  
Maharakham University  
Assistant Professor Dr. Natapol Pumipuntu  
Maharakham University  
Assistant Professor Dr. Somnuk Puangpronpitag  
Maharakham University  
Dr. Rakjinda Wattanalai  
Siam University  
Dr. Adrian Roderick Plant  
Maharakham University

## **Secretary**

Director of the Division of Research Facilitation  
and Dissemination

## **Assistant secretary**

Phakwilai Rungwisai  
Jirarat Puseerit

## **Six issues per year**

Number 1 January-February  
Number 2 March-April  
Number 3 May-June  
Number 4 July-August  
Number 5 September-October  
Number 6 November-December