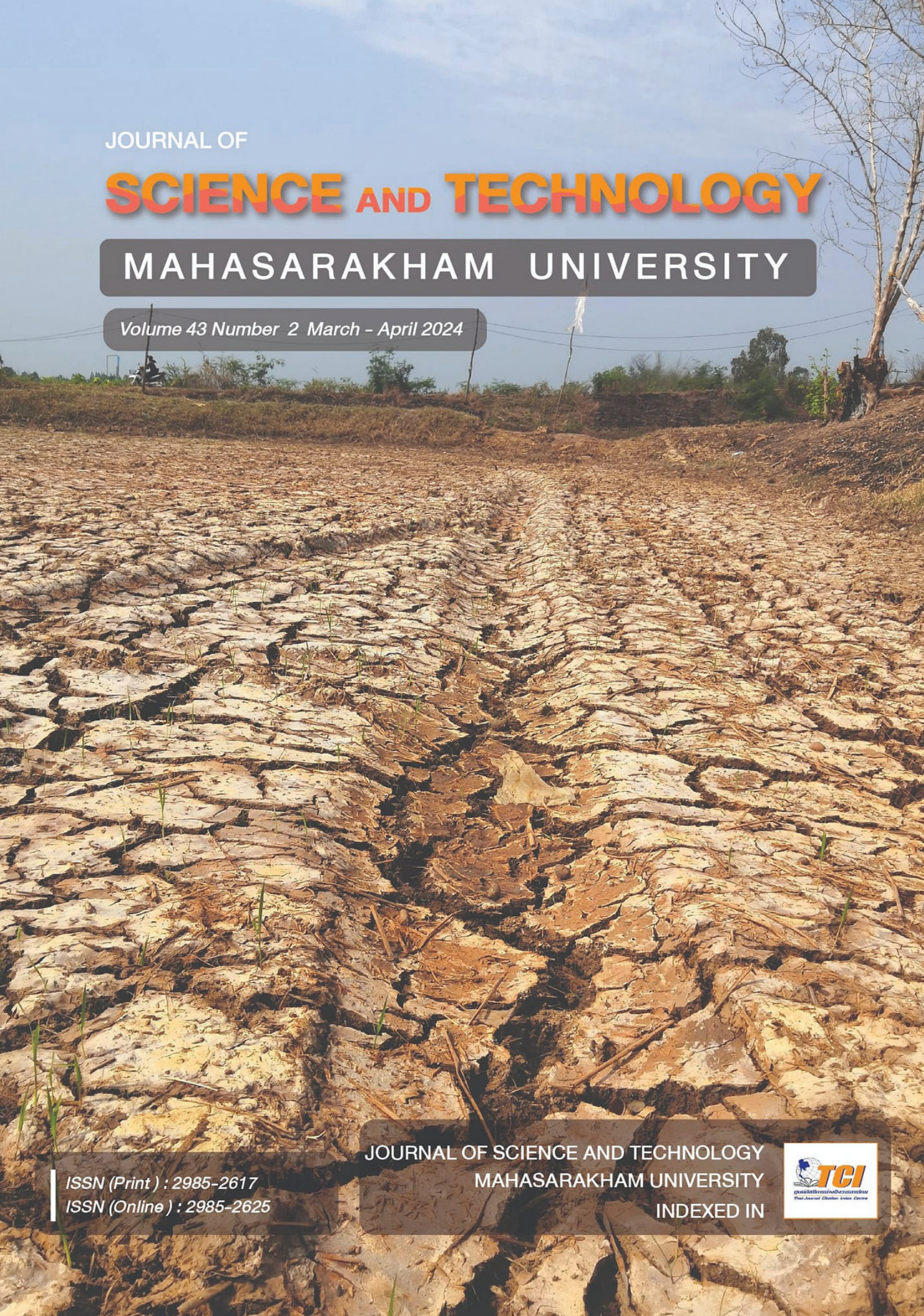


JOURNAL OF

# SCIENCE AND TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Volume 43 Number 2 March - April 2024



ISSN (Print) : 2985-2617  
ISSN (Online) : 2985-2625

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
MAHASARAKHAM UNIVERSITY  
INDEXED IN





# วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

## 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  
รองศาสตราจารย์ ดร.อรวิชัย กุ่มพล  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

## กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็ร้อง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.วงศา เล้าหศิริวงษ์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์  
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์พรณ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์  
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์  
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนอมแก้ว  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาลิต บุญปก  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์เทอดศักดิ์ คำเหม็ง  
มหาวิทยาลัยนครพนม  
รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรรณ  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ณัฐพล ภูมิพันธ์  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา  
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์พร ทองเจริญบัวงาม  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
อาจารย์ เกียรติกร ดร.รักษิณดา 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

เรียนท่านผู้อ่านที่รักทุกท่าน

งานวิจัยนับเป็นรากฐานสำคัญในการสร้างองค์ความรู้ใหม่และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ การตีพิมพ์ผลงานวิจัยจึงมีบทบาทสำคัญในการสื่อสาร แลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ทางการวิจัยระหว่างนักวิชาการ เพื่อให้เกิดการต่อยอดองค์ความรู้และนวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ยินดีที่ได้มีส่วนร่วมในการเปิดพื้นที่แลกเปลี่ยนความสร้างสรรค์ เป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานวิชาการคุณภาพสูงของนักวิชาการ ทั้งในและต่างประเทศ รวมถึงบทความวิจัยและบทความปริทัศน์ในสาขาต่างๆ อาทิ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ รวมถึงสหวิทยาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

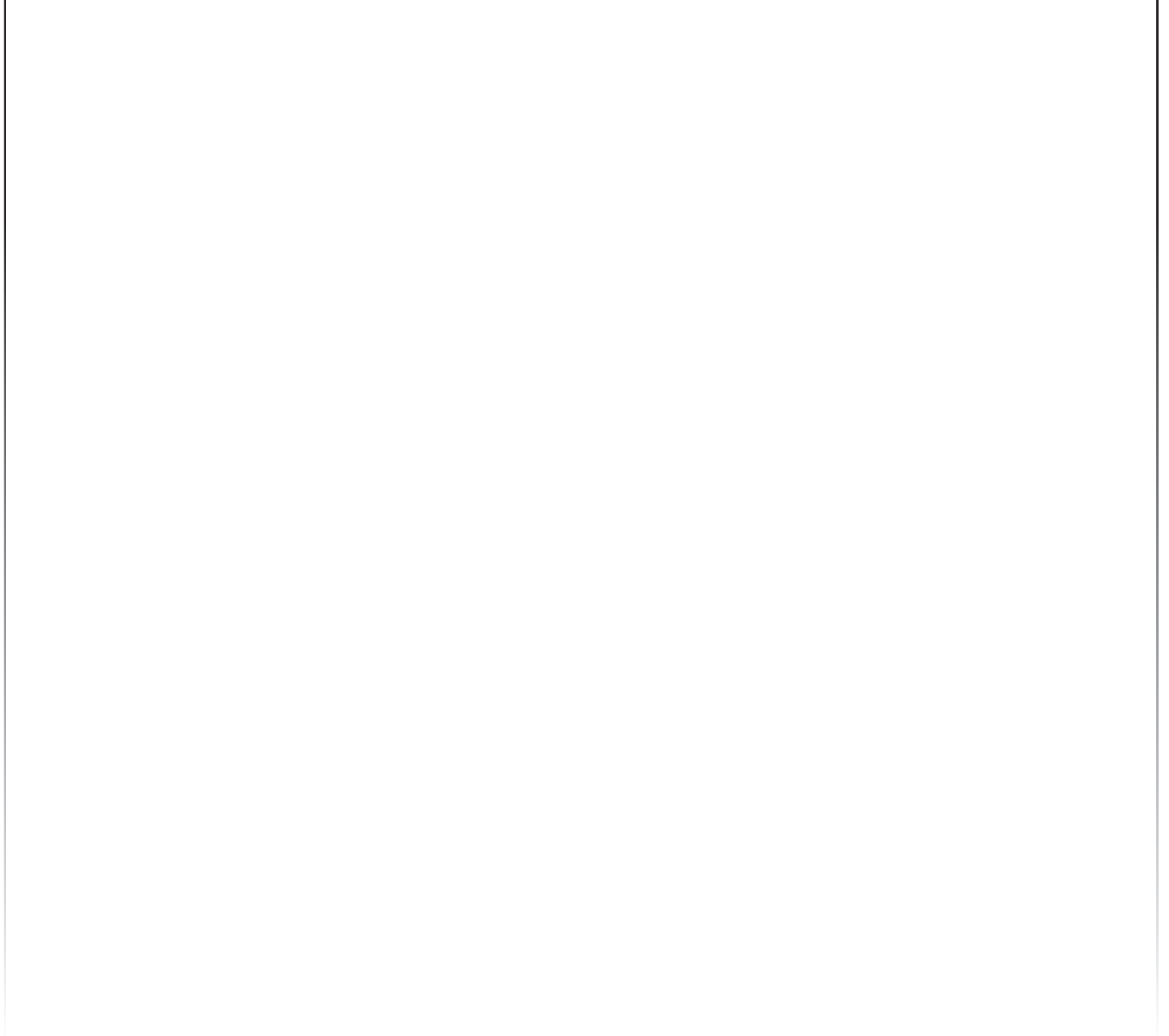
ในฉบับนี้ วารสารได้คัดสรรบทความวิจัยคุณภาพจากนักวิชาการหลากหลายแขนง ซึ่งผ่านกระบวนการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างเข้มงวด เพื่อให้มั่นใจว่าผลงานทั้งหมดมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล โดยมีบทความด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ 3 เรื่อง คณิตศาสตร์ 2 เรื่อง วิศวกรรมศาสตร์ 1 เรื่อง และวิทยาศาสตร์กายภาพ 2 เรื่อง

ทางคณะกรรมการขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ได้ส่งผลงานมายังวารสารฉบับนี้ และขอบคุณคณะผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้อุทิศเวลาอันมีค่าในการพิจารณากลั่นกรองบทความเหล่านี้ ด้วยความวิริยะอุตสาหะและความเป็นมืออาชีพ เราจะคงมุ่งมั่นรักษามาตรฐานคุณภาพของวารสารให้คงอยู่ และเป็นสื่อกลางในการถ่ายทอดองค์ความรู้ จากงานวิจัยสู่สาธารณชนต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม





## สารบัญ

### Computer and Information Technology

- การเรียนรู้ของเครื่องเพื่อทำนายระดับความรุนแรงของความผิดปกติของความยืดหยุ่นปอดของพนักงานโรงงาน 84  
Machine learning for predicting the severity of restrictive lung defect among factory workers  
ณัฐวุฒิ แถมเงิน, ปกรณ์ ล่องทอง, พงศศรัณย์ ทองหนูน้อย, กนกวรรณ ละอองศรี, อนามัย เทศกะทีก,  
พีรพล ศิริพงษ์วุฒิกร, ณฐนนท์ เทพตะขบ และ วิริยะ มหิกุล  
Nattawut Theamngoen, Pakorn Longthong, Phongsaran Thongnunuy, Kanokwan Laoongsri,  
Anamai Thetkathuek, Peerapon Siripongwutikorn, Nathanon Theptakob and Wiriya Mahikul
- การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเชิงพื้นที่ของคดียาเสพติดในอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 96  
Applying spatial statistical analysis to narcotics litigation in Muang Nakorn Pathom, Nakorn Pathom Province  
วิจิตรา ผลิตเจริญผล และ อรประภา ภูมมะกาญจนะ โรแบร์  
Wichitra Phlicharoenphon and Omprapa Pummakarnchana Robert
- การสังเคราะห์อย่างรวดเร็วของคลาสส่วนน้อยโดยใช้เครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิดสำหรับปัญหาการจำแนกประเภทข้อมูลที่ไม่สมดุล 108  
Fast synthesis of the minority class using generative adversarial networks for imbalanced data classification problems  
วฤษาย์ ร่มสายหยุด  
Walisa Romsaiyud

### Mathematics

- ลำดับใหม่ที่สอดคล้องกับลำดับ  $k$ -ฟีโบนัชชี 122  
Some novel sequences related to  $k$ -Fibonacci sequences  
พงษ์พันธ์ มุขะวชิ, เพ็ญศิริ สมพงษ์, สุพรรณิ สมพงษ์ และ ไกรลิขิต ลาดปะละ  
Phongphan Mukwachi, Pensiri Sompong, Supunnee Sompong and Krailikhit Latpala
- ตัวแบบทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุจังหวัดสงขลาและจังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2560 131  
A predictive model for the work needs of the elderly in Songkhla and Khon Kaen Province, 2017  
เขมิกา อูระวงศ์, เยาวลักษณ์ เรืองเมือง, วรินทิพย์ สุขอนันต์, นภัสสร ขุนศรี และ เกษมา ผลผลา  
Khemika Urawong, Yaowalak Ruangmuang, Warintip Sukanan, Napatson Kunsri and Kesama Pholpha

### Engineering

- การจำลองเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและการไหลด้วยการพุ่งชนของของไหลนาโน 141  
บนแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีศรีระบายความร้อน  
Numerical simulation of heat transfer and fluid flow of nanofluid jet impingement on straight fin heat sink  
คมกฤษณ์ ชัยโย  
Khomgris Chaiyo

### Physical Science

- คุณลักษณะของการส่งถ่ายยาแบบไร้เข็มโดยใช้วิธีการกระแทก 152  
Characteristics of a needle free drug delivery by using impact driven method  
ปรีชญา มุขดา  
Prachya Mukda
- ประสิทธิภาพของเครื่องตรวจเอกสารสำหรับกระดาษที่ผ่านการกด 160  
The efficiency of document examination for indented writing of papers  
ณรงค์ กุลนิเทศ, นนทพัทธ์ ยิ่งประยูร และ อธิป ลอศิริกุล  
Narong Kulnides, Nontaphat Yangprayut and Athip Lorsirigool

# การเรียนรู้ของเครื่องเพื่อทำนายระดับความรุนแรงของความผิดปกติของความยืดหยุ่นปอดของพนักงานโรงงาน

## Machine learning for predicting the severity of restrictive lung defect among factory workers

ณัฐวุฒิ แถมเงิน<sup>1</sup>, ปกรณ์ ล่องทอง<sup>1</sup>, พงศศรัณย์ ทองหนูน้อย<sup>1</sup>, กนกวรรณ ละอองศรี<sup>2</sup>, อนามัย เทศกะทีก<sup>2</sup>, พีรพล ศิริพงษ์วุฒิกร<sup>3</sup>, ณฐนนท์ เทพตะขบ<sup>1</sup> และ วิริยะ มหิกุล<sup>1\*</sup>  
Nattawut Theamngoen<sup>1</sup>, Pakorn Longthong<sup>1</sup>, Phongsaran Thongnununuy<sup>1</sup>, Kanokwan Laoongsri<sup>2</sup>, Anamai Thetkathuek<sup>2</sup>, Peerapon Siripongwutikorn<sup>3</sup>, Nathanon Theptakob<sup>1</sup> and Wiriya Mahikul<sup>1\*</sup>

Received: 14 June 2023 ; Revised: 25 July 2023 ; Accepted: 4 August 2023

### บทคัดย่อ

กลุ่มโรคที่มีความผิดปกติของความยืดหยุ่นของปอดโดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคนิวมโคโนไอซิส (Pneumoconiosis) เป็นโรคที่พบบ่อยในผู้คนที่มีการสัมผัสสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นแร่ การตรวจสอบสมรรถภาพปอดด้วยวิธีสไปโรเมทรี (Spirometry) เป็นวิธีมาตรฐานในการทดสอบสมรรถภาพการทำงานของปอด อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวมีข้อจำกัดเนื่องจากค่าใช้จ่ายและอุปสรรคในการตรวจมีราคาแพง และประสบการณ์ของผู้อ่านผลการตรวจ ส่งผลให้ผู้พนักงานกลุ่มเสี่ยงไม่สามารถเข้าถึงการตรวจสมรรถภาพปอดได้ทันเวลาที่ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำการเรียนรู้ของเครื่องมาช่วยทำนายระดับความรุนแรงของความผิดปกติของความยืดหยุ่นของปอดเบื้องต้น ก่อนที่จะนำไปสู่การตรวจสไปโรเมทรีต่อไป โดยแบ่งระดับความรุนแรงของความยืดหยุ่นของปอดเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มปกติ รุนแรงน้อย และ รุนแรงปานกลางถึงมาก การศึกษาได้นำข้อมูลจากการตรวจสมรรถภาพปอดในกลุ่มพนักงานของโรงงานเฟอร์นิเจอร์ ทั้งหมด 685 คน จากศึกษาภาคตัดขวาง มาใช้สร้างแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องด้วยเทคนิค 6 แบบ ได้แก่ Logistic Regression, Decision Tree, Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost และ Support Vector Machine (SVM) พบว่าผลลัพธ์การฝึกแบบจำลองที่ดีที่สุด คือ แบบจำลอง Random Forest ร่วมกับเทคนิคการจัดการข้อมูลไม่สมดุล และการคัดเลือกตัวแปรที่สำคัญ 20 ตัวแปรด้วยวิธีการ Recursive Feature Elimination (RFE) พบว่า กลุ่มตัวแปรที่สำคัญในการทำนายระดับความรุนแรง ได้แก่ น้ำหนัก ส่วนสูง อายุ ประวัติการศึกษา ชั่วโมงการทำงาน การสูบบุหรี่ การใช้หน้ากากอนามัย และอาการบางอย่างเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ เช่น หายใจติดขัด และอาการการมีเสมหะ โดยมีค่าเฉลี่ยของ F1-score, precision, recall และ accuracy เท่ากับ 0.74, 0.74, 0.76 และ 0.75 ตามลำดับ แบบจำลองทำนายประสิทธิภาพปอดถูกนำไปสร้างเป็นเว็บแอปพลิเคชันเพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่าย และได้มีการนำไปให้พนักงานในโรงงานตรวจคัดกรองเบื้องต้น ซึ่งผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพการคัดกรอง ความสะดวกรวดเร็วในการใช้งาน และการประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้แอปพลิเคชันตรวจคัดกรองนี้

**คำสำคัญ:** กลุ่มโรคที่มีการจำกัดการขยายตัวของปอด, พนักงานโรงงาน, สไปโรเมทรี, การเรียนรู้ของเครื่อง, เว็บแอปพลิเคชัน

### Abstract

Restrictive lung disease such as pneumoconiosis is the most common disease among people working in dusty environment such as mines and in industry. The gold standard diagnosis for this disease is spirometry, which is used to evaluate the lung performance. However, this tool has certain limitations such as high service costs, limited access

<sup>1</sup> วิทยาลัยแพทยศาสตร์ศรีสวางควัฒน ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพฯ 10210

<sup>2</sup> คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

<sup>3</sup> ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

<sup>1</sup> Princess Srisavangavadhana College of Medicine, Chulabhorn Royal Academy, Bangkok 10210

<sup>2</sup> Faculty of Public Health, Burapha University, Chonburi Province 20131

<sup>3</sup> Department of Engineering Computer, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

\* Corresponding author: Wiriya Mahikul, Princess Srisavangavadhana College of Medicine, Chulabhorn Royal Academy, Bangkok, Thailand 10210  
E-mail: wiriya.mah@cra.ac.th



to the device, and availability of specialists. These limitations impede early detection of this disease. The objective of this study is to utilize machine learning algorithms to predict the severity of restrictive lung defects among factory workers, aiding in early identification before proceeding to the spirometry test. Three severity classes considered. - Normal, Mild, and Moderate or Severe. By using spirometry's results and behavioral data among 685 workers from a cross-sectional study in a furniture factory in Thailand, six machine learning algorithms were developed. They were Logistic Regression, Decision Tree, Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost and Support Vector Machine (SVM). The best model was Random Forest with Synthetic Minority Oversampling (SMOTE) to deal with imbalance class and Recursive Feature Elimination (RFE) to select most important features. The important features for prediction were weight, height, age, education, hours of work, smoking and mask wearing at the f1-score = 0.746, precision = 0.743, recall = 0.756, and accuracy = 0.75. The model was deployed through a web application for ease of use and the application was used among the factory workers for early screening of the disease. The users were satisfied with the application for its effectiveness, ease of use, time, and cost savings.

**Keywords:** Restrictive lung disease, factory workers, spirometry, machine learning, web application

## บทนำ

หนึ่งในกลุ่มโรคที่จำกัดการขยายตัวของปอดที่พบได้มากที่สุดในประเทศไทย ได้แก่ โรคฝุ่นจับปอด (pneumoconiosis) ซึ่งเป็นโรคที่มักเกิดในผู้ที่ประกอบอาชีพอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นมาก เช่น เหมือง หรือโรงงาน โรคฝุ่นจับปอดเป็นหนึ่งในโรคที่พบมากที่สุดในกลุ่มโรคหลอดลมอุดกั้นเรื้อรังทั้งในประเทศไทยและนานาชาติ การสัมผัสฝุ่นในโรงงานสามารถสร้างความเสียหายให้กับสมรรถภาพปอดอย่างถาวรได้ (Kunpeuk *et al.*, 2021) การตรวจสมรรถภาพปอดมีวิธีการมาตรฐาน (gold standard) คือวิธีสไปโรเมตรี (spirometry) ซึ่งเป็นการตรวจสมรรถภาพปอดด้วยเครื่อง Spirometer

ค่าความยืดหยุ่นของปอด (restrictive defect) ใช้เป็นมาตรฐานในการวินิจฉัยโรคฝุ่นจับปอดหรือโรคที่มีความผิดปกติของปอด เช่น โรคหลอดลมโป่งพอง (bronchiectasis), โรคหอบหืด (asthma) โรคถุงลมโป่งพอง (emphysema) และ หลอมลมฝอยอักเสบเฉียบพลัน (acute bronchiolitis) เป็นต้น (Martinez-Pitre *et al.*, 2022) อย่างไรก็ตาม การตรวจด้วยวิธี Spirometry มีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ งบประมาณในการจัดซื้อเครื่อง Spirometer ความเชี่ยวชาญของบุคลากรผู้ให้บริการ Spirometry มาตรฐานของอุปกรณ์ที่ต้องใช้ควบคู่กับเครื่องตรวจ เป็นต้น ส่งผลให้ทั่วประเทศ มีโรงพยาบาลเพียงร้อยละ 47 เท่านั้นที่มีเครื่อง Spirometer ไว้สำหรับให้บริการผู้ป่วย (Martinez-Pitre *et al.*, 2022)

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายและบุคลากรดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงนำเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) มาใช้ในการคัดแยกผู้มีความเสี่ยงโรคปอด โดยได้มีการนำเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องมาใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการศึกษาก่อนหน้า โดยเฉพาะโรคมะเร็งปอด (Gould *et al.*, 2021, Guo *et al.*, 2022, Chandran *et al.*, 2023) โดยแนวคิดของการเรียนรู้ของเครื่อง (machine

learning) คือการให้ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้และสร้างแบบจำลองจากข้อมูลเพื่อแก้ปัญหา ซึ่งมีความแตกต่างหลักจากการแก้ปัญหาด้วยการเขียนโปรแกรมแบบดั้งเดิมที่ใช้ข้อมูลขาเข้า (input) และกำหนดกฎหรือชุดคำสั่ง (program) บางอย่างเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ ในขณะที่การเรียนรู้ของเครื่องเป็นการใส่ข้อมูลให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลเพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขาเข้ากับข้อมูลขาออก เพื่อให้ได้ขั้นตอนการประมวลผลหรือแบบจำลองสำหรับการดำเนินการกับข้อมูลอื่นๆ ที่ตามมาในภายหลัง เช่น งานวิจัยการสร้างแบบจำลองเพื่อนำไปใช้ในการทำนายโอกาสเกิดโรคที่พบบ่อย (Kumar *et al.*, 2021) งานของ Steven J Pascoe และคณะศึกษาการนำลักษณะทางคลินิกมาใช้สำหรับการทำนายผลตรวจสำหรับเครื่อง spirometry ของโรคปอดอุดกั้น (Pascoe *et al.*, 2018) งานของ Alan Kaplan และคณะศึกษาการใช้งานการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการทำงานกับแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจและความเป็นไปได้ในการวินิจฉัยโรคหอบหืดและโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Kaplan *et al.*, 2021) และงานของ Hongbo Liu ศึกษาการใช้ งานการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการวินิจฉัยโรคฝุ่นจับปอดจากข้อมูลแรงงานโรงงานถ่านหิน (Liu *et al.*, 2009) จากการศึกษา พบว่าโดยส่วนใหญ่ของงานวิจัยดังกล่าวมานั้นไปที่การวินิจฉัยกลุ่มโรคที่มีการอุดกั้นทางเดินทางเดินหายใจ (obstructive lung disease) โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง การเรียนรู้ของเครื่องโดยรวมให้ความแม่นยำที่น่าพอใจ โดยมีค่า Receiver Operating Characteristic curve (ROC Curve) มากกว่า 0.87 แบบจำลองที่ใช้กันกันอย่างแพร่หลายในงานด้านวิทยาศาสตร์ข้อมูลในการจำแนกความผิดปกติแบบแบ่งกลุ่ม (classification) (Hazra *et al.*, 2017) ได้แก่ Logistic Regression, Random Forest และ Support Vector Machine อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนมากยังไม่มีการศึกษาการคัดกรองโรคในกลุ่มโรคที่ปอดมีขนาดเล็กกว่าปกติ

(restrictive lung disease) เช่น โรคฝุ่นจับปอด (pneumoconiosis) ซึ่งพบมากในกลุ่มแรงงานในโรงงานที่มีฝุ่น โดยทั้ง 2 กลุ่มโรคสามารถวินิจฉัยได้จากค่า Obstructive (ภาวะมีการอุดกั้นหรือมีการตีบของหลอดลม) และ Restrictive (ภาวะมีการจำกัดการขยายตัวของปอด) จากเครื่อง spirometry ดังนั้นการศึกษานี้จึงนำการใช้การเรียนรู้ของเครื่องมาฝึกเพื่อใช้เป็นเครื่องมือคัดกรองเบื้องต้น สำหรับผู้เข้ารับการทดสอบโอกาสประสพภาวะและระดับความผิดปกติของความยืดหยุ่นของปอด (restrictive defect) อันเป็นการเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงการประเมินประสิทธิภาพปอดในระยะแรกของความผิดปกติ และนำแบบจำลองมาพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถภาพปอดพนักงานกลุ่มเสี่ยงต่อไป

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการทำนายความผิดปกติในการขยายตัวของปอดโดยการใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง
2. เพื่อประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องร่วมกับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการวิเคราะห์สมรรถภาพปอด

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### การจำแนกความรุนแรงของความผิดปกติ

โดยการให้ผู้รับการทดสอบหายใจผ่านเครื่อง Spirometer โดยเร็วและแรง เครื่องจะมีการประมวลค่าต่างๆ เกี่ยวกับสมรรถภาพปอด ค่าที่มีความสำคัญประกอบด้วย ค่าแสดงปริมาตรอากาศที่ถูกขับออกมาในวินาทีแรกของการหายใจออกอย่างรวดเร็วและแรงเต็มที่ (force expiratory volume in one second: FEV1) ค่าปริมาตรสูงสุดของอากาศที่หายใจออกจนกระทั่งหายใจเข้าเต็มที่ (force vital capacity: FVC) และค่าที่แสดงการอุดกั้นของหลอดลม (FEV1/FVC) ซึ่งจะบอกถึงระดับของการอุดกั้น (obstructive defect) และความยืดหยุ่น (restrictive defect) ของปอด (HITAP, 2017) แต่ก็จำเป็นต้องใช้ข้อมูลอื่นๆ ในการคัดกรองด้วย เช่น ผลการซักประวัติหรือผลการตรวจร่างกายอื่นๆ โดย ในผู้ที่มีความยืดหยุ่นของปอดผิดปกติ (restrictive defect) จะมีค่า FEV1 และ FVC ที่น้อยกว่าปกติแต่ค่า FEV1/FVC เป็นปกติ ดัง Table 1

#### การเรียนรู้ของเครื่อง

การเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) คือ แนวคิดเพื่อให้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้จากข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาด้วยตนเองโดยใช้ข้อมูล ซึ่งมีความแตกต่างจากการแก้ปัญหาด้วยการเขียนโปรแกรมแบบดั้งเดิม เนื่องจากการเขียนโปรแกรมแบบดั้งเดิมจะเป็นการใส่ข้อมูลเข้า

(input) และกำหนดกฎหรือชุดคำสั่ง (program) บางอย่างเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ ในขณะที่การเรียนรู้ของเครื่องเป็นการใส่ข้อมูลให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลเพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขาเข้ากับข้อมูลขาออกเพื่อให้ได้ขั้นตอนการประมวลผลหรือแบบจำลอง สำหรับการใช้กับข้อมูลอื่นๆ ที่เกิดขึ้นมาในภายหลัง โดยมีตัวอย่างคือ การสร้างแบบจำลองเพื่อนำไปใช้ในการทำนายโอกาสเกิดโรคหัวใจ เป็นต้นโดยการเรียนรู้ของเครื่องถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning) คือ การเรียนรู้ผ่านโจทย์ที่มีเฉลยคำตอบชัดเจน กล่าวคือข้อมูลที่มีการระบุลักษณะของประเภทข้อมูลที่ต้องการทำนาย (labels) โดยมีรูปแบบ ทั้งหมด 2 รูปแบบได้แก่

1.1 Classification task เป็นโจทย์ที่มีการกำหนดเฉลยเป็นกลุ่ม ยกตัวอย่างเช่นใช้ข้อมูลส่วนบุคคลได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก และส่วนสูงเพื่อทำนายว่าคุณคือเป็นหมามีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานหรือไม่ เป็นต้น

1.2 Regression task เป็นโจทย์ที่มีการกำหนดเฉลยเป็นตัวเลข และดำเนินการหาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างสมการที่สามารถทำนายค่าได้ใกล้เคียงกับค่าเฉลยมากที่สุด ยกตัวอย่างเช่นใช้ข้อมูลสภาพแวดล้อม และสิ่งอำนวยความสะดวกใกล้เคียง เพื่อทำนายราคาบ้านในพื้นที่ที่สนใจ เป็นต้น

โดยในงานวิจัยนี้เป็นการใช้การเรียนรู้ของเครื่องในรูปแบบการเรียนรู้แบบมีผู้สอนในงานประเภท Classification task โดยใช้ข้อมูลจากแบบสำรวจเพื่อมาทำนายระดับความเสี่ยงของการประสพภาวะปอดยืดหยุ่นผิดปกตินั่นเอง

2. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (unsupervised learning) คือการเรียนรู้ที่ไม่มีคำตอบตายตัวถูกกำหนดให้ถูกแบ่งเป็น 2 รูปแบบได้แก่

2.1 Clustering task คือการให้แบบจำลองศึกษา ลักษณะข้อมูลและทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามลักษณะที่แบบจำลองพบ

2.2 Dimensionality reduction คือการลดจำนวนมิติของข้อมูลโดยทำให้ลักษณะของข้อมูลเดิมน้อยที่สุด เช่น การลดข้อมูลจากลักษณะทรงกลม 3 มิติ เหลือเพียงวงกลมบนระนาบ 2 มิติ เป็นต้น

3. การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (reinforcement learning) คือ การเรียนรู้ที่ให้คอมพิวเตอร์ได้ เรียนรู้เพื่อหาแนวทางปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมแล้วได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด สำหรับการเรียนรู้แบบนี้จะต้องมีการกำหนดนโยบายการให้รางวัลว่าในสถานการณ์ไหนจะให้รางวัลเท่าไร ตัวอย่างเช่น alphaGo ที่ถูกฝึกให้เล่นเกมโกะเอาชนะผู้เล่นแชมป์โลกได้ เป็นต้น



## การทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองด้วย Confusion matrix

เป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองเพื่อวัดประสิทธิภาพสำหรับการนำมาใช้จริง โดยกรณีที่ยกมาแสดงเป็นการวัดประสิทธิภาพสำหรับการแบ่งกลุ่มเป็น 2 กลุ่ม (binary classification) โดยเริ่มต้นจะมีค่าที่ต้องสนใจทั้งหมด 4 ค่าได้แก่

**1. True Positive (TP)** คือการที่แบบจำลองสามารถทำนายเหตุการณ์ที่สนใจเกิดขึ้นได้ถูกต้อง ซึ่งในกรณีของงานนี้คือ ทำนายว่าผู้รับการทดสอบมีโอกาสเสี่ยงเป็นโรคฝุ่นจับปอด และผู้รับการทดสอบเสี่ยงเป็นโรคฝุ่นจับปอดจริง เป็นต้น

**2. False Positive (FP)** คือการที่แบบจำลองทำนายว่าเกิดเหตุการณ์ที่สนใจแต่ความจริงแล้วเหตุการณ์ที่สนใจไม่เกิดขึ้น

**3. True Negative (TN)** คือการที่แบบจำลองทำนายว่าเหตุการณ์ที่สนใจไม่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง เช่นทำนายว่าผู้รับการทดสอบไม่เป็นโรคโรคฝุ่นจับปอด และผู้รับการทดสอบนั้นไม่เป็นโรคฝุ่นจับปอดจริง เป็นต้น

**4. False Negative (FN)** คือการที่แบบจำลองทำนายว่าเหตุการณ์ที่สนใจไม่เกิดขึ้น แต่ในความจริงแล้วเกิดเหตุการณ์ที่สนใจขึ้น

โดยจากค่าทั้ง 4 ค่าที่ได้จากการทดสอบจะสามารถนำไปคำนวณหาความแม่นยำได้ทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่

**1. Accuracy** ( $\frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN}$ ) เป็นค่าที่ใช้สำหรับการวัดแบบจำลองในภาพรวมสามารถแบ่งข้อมูลได้ถูกกลุ่ม

อย่างไรก็ตามค่านี้อาจไม่มีประสิทธิภาพมากนักหากมีความไม่สมดุลระหว่างกลุ่มเกิดขึ้น เช่น Positive 90% และ Negative 10% หากแบบจำลองทำนายทุก ๆ ข้อมูลเป็น Positive จะพบว่า มีค่า Accuracy = 90% แต่ประสิทธิภาพของแบบจำลองไม่ดีนัก จึงควรใช้ค่าอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

**2. Precision** ( $\frac{TP}{TP+FP}$ ) หรือ True Positive Rate เป็นค่าที่ใช้วัดความแม่นยำที่สนใจเฉพาะกับการทำนายกลุ่มที่สนใจเท่านั้นว่าจากที่ทำนายว่าเกิดเหตุการณ์ที่สนใจทั้งหมดมีความแม่นยำเพียงใด เหมาะสมกับการใช้ทำนายเหตุการณ์ที่ต้องใช้มูลค่าสูงในการดำเนินการ เช่น การตรวจร่างกายแบบ invasive เพราะเป็นกระบวนการที่ไม่ใช่การตรวจแบบทั่วไปและมีการรบกวนร่างกายของคนไข้ ดังนั้นจึงต้องมีความแม่นยำสูง

**3. Recall** ( $\frac{TP}{TP+FN}$ ) เป็นค่าที่ใช้สำหรับการวัดประสิทธิภาพโดยคำนวณว่าจากกลุ่มที่เกิดเหตุการณ์ที่สนใจทั้งหมด แบบจำลองสามารถทำนายได้ถูกต้องเพียงใด เหมาะสมกับการใช้ในการวัดประสิทธิภาพแบบจำลองที่มีจุดมุ่งหมายในการคัดกรอง เนื่องจากไม่สนใจว่าแบบจำลองถูกต้องมากเพียงใด แต่สนใจว่าแบบจำลองครอบคลุมกลุ่มที่สนใจแค่ไหน

**4. F1-Score** ( $2 * \frac{precision*recall}{precision+recall}$ ) เป็นค่าที่สามารถใช้เป็นตัวแทนในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้งหมดได้ในค่าเดียว เนื่องจากค่านี้ใช้การเฉลี่ยแบบ harmonic จากทั้งคะแนน precision และ recall มาแล้ว และมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ค่า accuracy สำหรับการวัดข้อมูลที่มีความไม่สมดุลระหว่างกลุ่ม

**Table 1** Classifying the severity of the disorder.

Group	FVC (% Estimate value)	FEV1 (% Estimate value)	FEV1/FVC (%)	FEF25-75% (% Estimated value)
Normal	>80	>80	>70	>65
Mild	66-80	66-80	60-70	50-65
Moderate	50-65	50-65	45-59	35-49
Severe	<50	<50	<45	<35

## ภาพรวมการทำงานของระบบ

ภาพรวมการทำงานของระบบประกอบด้วย การนำเข้าข้อมูลเพื่อปรับแต่งและทำความสะอาด ก่อนที่จะนำไปพัฒนาแบบจำลอง ทั้งหมด 6 รูปแบบ คือ Logistic Regression, Decision tree, Random Forest, Gradient boosting, XGBoost และ Support Vector Machine ซึ่งเมื่อทำการประเมินและได้แบบจำลองที่ดีที่สุดแล้วจะนำ Python script ไปใช้เป็นแกนเบื้องหลังสำหรับการทำนายข้อมูลทดสอบที่ได้

ผ่านหน้าเว็บติดต่อผู้ใช้งานซึ่งไม่ซับซ้อนและสามารถปรับแต่งได้ง่าย รวมถึงมีข้อมูลเกี่ยวกับโรคเพื่อให้ความรู้กับผู้ใช้งาน โครงสร้างการทำงานของระบบเริ่มจากการให้ผู้ผู้ใช้ใส่ข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ csv ที่มีค่าคอลัมน์ตามที่กำหนดไว้ลงผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน จากนั้นระบบจะทำนายโดยใช้โมเดล Machine Learning และแสดงผลการทำนายผ่านทางหน้าจอ โดยเว็บแอปพลิเคชันจะถูกสร้างด้วย Flask framework ที่ใช้ภาษา Python เป็นหลัก ระบบจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วน

Frontend (user interface) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากผู้ใช้และแสดงผลพร้อมถึงข้อมูลต่างๆ ของเว็บแอปพลิเคชัน เขียนด้วยภาษา HTML, CSS, และ JavaScript และ ส่วน Backend ซึ่งเป็นส่วนเรียกใช้โมเดล Machine Learning เพื่อทำนาย

ผลลัพธ์ของข้อมูลที่รับเข้ามา และส่งผลลัพธ์ที่ได้กลับไปยัง ส่วน Frontend เขียนด้วยภาษา Python ใช้ไลบรารี Pandas ในการเก็บและจัดการกับข้อมูล และใช้ไลบรารี Scikit-learn ในการสร้างโมเดล Machine Learning

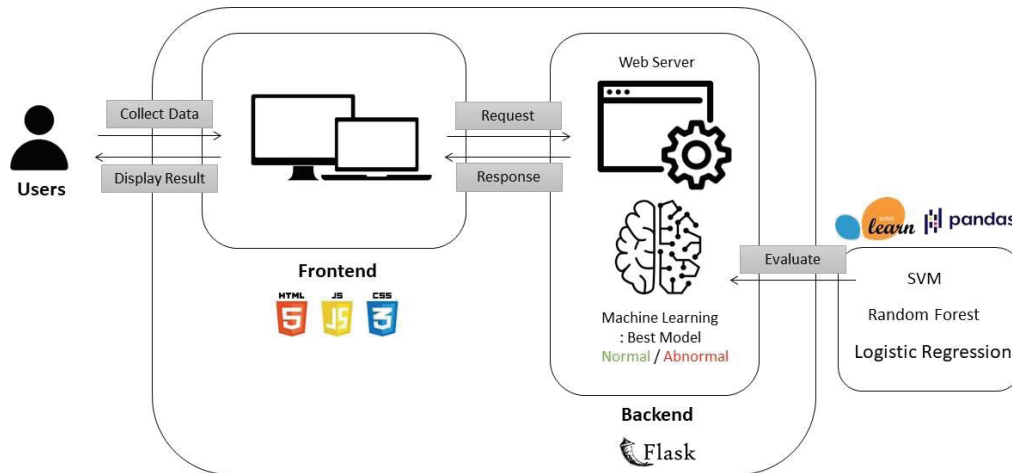


Figure 1 Overall working structure of the system.

## การพัฒนาแบบจำลอง

### ข้อมูลที่น่าสนใจ

ข้อมูลที่น่าสนใจในการฝึกแบบจำลอง Machine learning เป็น ชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยเรื่อง Rubberwood dust and lung function among Thai furniture factory workers (Thetkathuek *et al.*, 2010) ซึ่งเป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง โดยเก็บข้อมูลในช่วงเดือนเมษายน ถึงตุลาคม ปี พ.ศ. 2550 จากโรงงานเฟอร์นิเจอร์อย่างพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ได้มาจากแบบสอบถามพนักงานที่ทำงานในโรงงานยางพาราจากผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 685 คน จากโรงงานยางพารา 8 แห่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย อายุของผู้ตอบแบบสอบถามมีตั้งแต่อายุ 15-64 ปี โดยในชุดข้อมูลจะมีข้อมูลค่าฝุ่นของโรงงาน ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบรับแบบสอบถาม ประวัติการทำงาน ประวัติการเจ็บป่วย พฤติกรรมการป้องกันในขณะทำงาน และผลของการตรวจสมรรถภาพปอดด้วยวิธี Spirometry ชุดข้อมูลนี้มีคอลัมน์ทั้งหมด 110 คอลัมน์ ซึ่งเป็นคอลัมน์ที่สามารถนำมาใช้ในงานนี้ได้ทั้งหมด 86 คอลัมน์ ประกอบด้วยคอลัมน์ที่เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (qualitative data) ทั้งหมด 64 คอลัมน์, ข้อมูลเชิงปริมาณ (quantitative data) จำนวน 13 คอลัมน์และคอลัมน์ที่เกี่ยวข้องกับการแปลผล (label data) ทั้งหมด 9 คอลัมน์

### การเตรียมข้อมูล

1. การนำเข้าชุดข้อมูลที่เก็บมาจากแบบสอบถามและตรวจคุณภาพของข้อมูล

- ทำการอ่านไฟล์ Excel ด้วยไลบรารี pandas
  - ศึกษาชนิดของข้อมูลในแต่ละคอลัมน์
  - ศึกษาขอบเขตของคอลัมน์ที่ให้ค่าเป็นตัวเลข
  - ศึกษาความสัมพันธ์ของคลาสจากการดูจำนวนหรือร้อยละของข้อมูลที่อยู่ในแต่ละคลาส
2. การจัดการข้อมูลที่ยังไม่สมบูรณ์
- ทำการตัดคอลัมน์ที่มีข้อมูลซ้ำกัน
  - ทำการตัดแถวข้อมูลบางแถวที่มีคุณภาพต่ำ เช่น มีข้อมูลไม่สอดคล้องกับคอลัมน์
  - ทำการแทนค่าลงในช่องว่าง เนื่องจากบางครั้งข้อมูลจากแบบสอบถามจะมีการเว้นหรือข้ามคำถามตามคำตอบในข้อก่อนหน้า
  - แปลงชนิดของข้อมูลในบางคอลัมน์ที่เป็นตัวเลขให้เป็นตัวอักษร ให้ตรงกับความหมายของข้อมูลในเชิงลำดับ ไม่ใช่เชิงค่าตัวเลข
3. การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น
- ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนาย (feature) กับผลลัพธ์ของการตรวจ Spirometry เช่น การใช้ crosstab เพื่อดูการกระจายตัวของผลตรวจเทียบกับตัวแปรทำนาย หรือการใช้เครื่องมือทางสถิติ เช่น การทดสอบ Chi-Square เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร
  - คัดเลือกตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ไปใช้ในการฝึกการเรียนรู้ของเครื่องต่อไป



- นำข้อมูลส่วนที่ใช้ในการฝึกไปใช้ฝึกด้วยแบบจำลอง Logistic Regression, Decision Tree, Random Forest, Support Vector Machine, Gradient Boosting tree และ XGBoost

#### 4. การสร้าง ปรับแต่ง และประเมินผลแบบจำลอง

- ทำการแบ่งข้อมูลที่คัดเลือกและผ่านการทดสอบมาแล้ว เป็นข้อมูลสำหรับฝึกและทดสอบแบบจำลองด้วยอัตราส่วน 70:30

- จับเวลาในช่วงที่ทำการฝึกแบบจำลอง เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ผลลัพธ์ในภายหลัง

- ทำการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ และวัดผลประสิทธิภาพด้วย confusion matrix ร่วมกับการทำ k-fold cross validation เพื่อเลือกพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด

- ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองเพื่อตัดสินใจเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด

### การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน

ข้อกำหนดในการออกแบบ

เว็บแอปพลิเคชันจะถูกแบ่งออกเป็น 3 หน้า โดยจะมีรายละเอียดส่วนประกอบของแต่ละหน้าดังนี้

1. หน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับอธิบายข้อมูลต่างๆ ของเว็บแอปพลิเคชัน

- ข้อมูลทั่วไปของเว็บแอปพลิเคชัน
- รายละเอียดและตัวอย่างของข้อมูลนำเข้าของเว็บแอปพลิเคชัน

- ผลลัพธ์และวิธีการแปลผลของเว็บแอปพลิเคชัน

2. หน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

- มีช่องสำหรับใส่ข้อมูลลงในเว็บแอปพลิเคชัน (มีการแสดงตัวอย่างของข้อมูลที่ใส่ไป)

- ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลจากการเรียนรู้ของเครื่อง

3. หน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับอธิบายข้อมูลของผู้จัดทำ

- ข้อมูลติดต่อของผู้จัดทำ และมหาวิทยาลัย
- อธิบายข้อมูลทั่วไปต่างๆ ในการจัดทำเว็บแอปพลิเคชัน

### ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานของส่วนการเรียนรู้ของเครื่องแบบประเมินความพึงพอใจในการใช้เว็บแอปพลิเคชัน

การประเมินความพึงพอใจในการใช้เว็บแอปพลิเคชัน ได้จากการสัมภาษณ์ผู้ใช้เว็บแอปพลิเคชัน 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบ ด้านเนื้อหา และ ด้านการใช้งาน หัวข้อการประเมินทั้งหมด ประกอบด้วย

1. ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบ จะประเมินความสวยงามและความทันสมัยของเว็บแอปพลิเคชัน ความน่าสนใจของหน้าเว็บแอปพลิเคชันพลิเคชัน และความง่ายในการอ่านข้อความในสีพื้นหลังและสีตัวอักษรที่เลือกใช้

2. ด้านเนื้อหา จะประเมินความถูกต้องและชัดเจนของเนื้อหา ปริมาณของเนื้อหาว่ามีความเพียงพอต่อการทำความเข้าใจหรือไม่ การจัดลำดับเนื้อหาเป็นขั้นตอน และความต่อเนื่องของเนื้อหา

3. ด้านการใช้งาน จะประเมินความง่ายของการใช้งานจริง ความสามารถในการนำไปใช้งานจริง ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนาย ประโยชน์ในการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน และภาพรวมของเว็บแอปพลิเคชันต่อความต้องการของผู้ใช้

1. ผู้ใช้สามารถทราบผลการทำนายโดยอาศัยข้อมูลนำเข้าคู่กับโครงสร้างในการวิเคราะห์จากผู้พัฒนา (prediction model)

2. ผู้ใช้และผู้พัฒนาสามารถดูรายละเอียดที่เกี่ยวกับเว็บแอปพลิเคชัน (about us)

ในภาพรวมของการดำเนินงานของส่วนการเรียนรู้ของเครื่อง แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่

### การสำรวจข้อมูล

จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นพบว่าข้อมูลสำหรับการดำเนินการมีลักษณะเป็นไฟล์ประเภท csv ขนาด 685 แถว 110 คอลัมน์ ซึ่งประกอบไปด้วยคอลัมน์ที่ไม่ได้ใช้ประกอบการฝึกแบบจำลอง เนื่องจากเป็นข้อมูลทับซ้อนหรือข้อมูลอ่อนไหว เช่น รายละเอียดชื่อผู้เข้ารับการทดสอบสไปโรเมตรีย์ ชื่อโรงงาน จังหวัดที่ตั้งของโรงงาน จำนวน 27 คอลัมน์ คอลัมน์ที่ใช้สำหรับการฝึกแบบจำลองทั้งหมด 77 คอลัมน์ แบ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (categorical data) ซึ่งเบี่ยงข้อมูลที่สามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้ เช่นข้อมูลแผนกที่ทำงานอยู่ ข้อมูลสถานะการแต่งงาน เป็นต้นทั้งหมด 63 คอลัมน์ และข้อมูลเชิงปริมาณ (numerical data) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีลักษณะเป็นตัวเลข เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง จำนวนชั่วโมงในการทำงานทั้งหมด 14 คอลัมน์ และคอลัมน์ผลการวินิจฉัยที่ได้จากการตรวจสไปโรเมตรีย์จำนวน 6 คอลัมน์ โดยภาพรวมการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นเป็นดัง Figure 6

ข้อมูลของคอลัมน์ที่ใช้สำหรับการฝึกแบบจำลองสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้ทั้งหมด 4 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มข้อมูลส่วนบุคคล เช่น เพศ อายุ ความสูง น้ำหนัก
- กลุ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโรงงาน เช่น ฝ่ายที่ทำงาน ปริมาณฝุ่นในพื้นที่ทำงาน ชั่วโมงการทำงานต่อวัน
- กลุ่มข้อมูลประเภทพฤติกรรมด้านสุขภาพ เช่น การสูบบุหรี่ การดื่มสุรา การใช้หน้ากากอนามัย
- ข้อมูลประวัติการเจ็บป่วย เช่น ประวัติการเป็นโรค

ทางเดินหายใจต่างๆ ประวัติการแน่นหน้าอก ประวัติการไอ

ส่วนข้อมูลเป้าหมายเป็นข้อมูลกลุ่มผลตรวจสไปโรเมตรีรี่ ได้แก่ ค่าร้อยละของค่า FVC ร้อยละของค่า FEV ร้อยละของค่า FEV ต่อ FVC ค่า FEF 25-75 ผลวินิจฉัย obstructive defect และผลวินิจฉัย restrictive defect ซึ่งเป็นข้อมูลที่จะถูกใช้สำหรับการฝึกแบบจำลองในงานนี้ ผลการสำรวจจำนวนผลวินิจฉัย restrictive defect แต่ละกลุ่มได้ผลลัพธ์ดัง Figure 2 และ 3



Figure 2 Overview of survey data and types of data

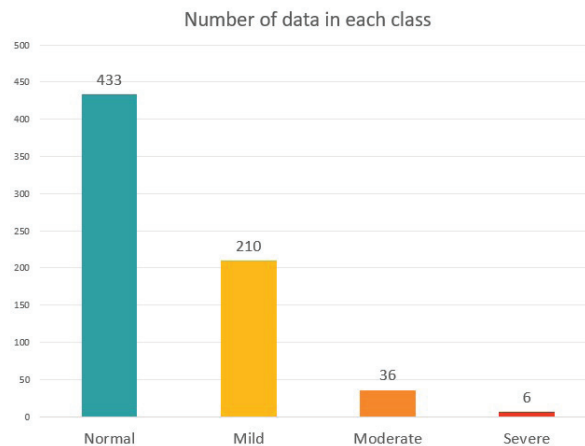


Figure 3 Survey of data groups in Restrictive defect test

จากการสำรวจพบว่าผลการวินิจฉัยแบ่งเป็น 4 ประเภทคือสภาพปกติ (normal) มีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 433 แถว, สภาพปกติเริ่มมีความผิดปกติ (mild) มีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 210 แถว, สภาพปกติมีความผิดปกติ (moderate) มีจำนวนข้อมูล 36 แถว และสภาพปกติผิดปกติร้ายแรง (severe) มีจำนวนข้อมูล 6 แถว

**การทำความสะอาดข้อมูล**

แก้ไขค่าวินิจฉัย restrictive defect เนื่องจากหลังจากสำรวจข้อมูลแล้วพบว่าการบันทึกผลวินิจฉัยของคอลัมน์ restrictive defect ผิดพลาด ทำให้ต้องบันทึกเพื่อแก้ไขใหม่

แก้ไขการบันทึกค่าในตัวแปรอื่นๆ ที่มีปัญหา เนื่องจากพบว่าข้อมูลเชิงคุณภาพบางคอลัมน์มีข้อมูลเกินที่กำหนด หลังจากแปลงชนิดของข้อมูลให้เป็นตัวเลข

normalize data เนื่องจากข้อมูลเชิงปริมาณในชุดข้อมูลนี้มีระยะที่ห่างกันค่อนข้างมาก อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ จึงทำการ normalize ด้วยวิธี Min-Max scaling คือ การกำหนดให้ค่าทั้งหมดอยู่ระหว่างช่วง 0 ถึง 1

ทำ one-hot encoding เนื่องจากข้อมูลเชิงคุณภาพในงานนี้มีประเภทของข้อมูลมากกว่า 2 ประเภทจึงแยกแต่ละคอลัมน์ออกไปเป็นคอลัมน์ละ 1 ค่าเช่นจากคอลัมน์ Domicil ที่มีบรรจุก่าถิ่นกำเนิดไว้มีการกำหนดค่าเป็น 1 ถึง 6 จะถูกแบ่งออกเป็น 6 คอลัมน์ได้แก่ คอลัมน์ Domicil-1 ที่มีค่าเพียง 0, 1 เท่านั้น เป็นจำนวนทั้งหมด 6 ตาราง เป็นต้น เรียกวิธีการนี้ว่าการทำ One-hot encoding

**การทดลองเพื่อหากลุ่มที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการฝึกการเรียนรู้ของเครื่อง**

การทดลองนี้ทำการฝึกฝนแบบจำลอง 6 แบบ ได้แก่ Logistic Regression, Decision tree, Random Forest, Gradient boosting, XGBoost และ SVM โดยใช้ไฮเปอร์พารามิเตอร์ตั้งต้น และใช้ค่า f1-score ในการประเมินผล โดยเป็นงานประเภท Multi-class classification task โดยมี

ข้อมูล label เป็นข้อมูลผลการตรวจประสิทธิภาพปอดเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ Normal, Mild และกลุ่มสุดท้ายคือข้อมูลที่รวมกลุ่ม Moderate และ Severe ไว้ด้วยกัน เรียกว่า Moderate+Severe โดยมีกลุ่ม Normal 432 แถว กลุ่ม Mild 208 แถว กลุ่ม Moderate+Severe 45 แถว ประสิทธิภาพของทั้ง 6 แบบ จำลองแสดงดัง Table 2

**Table 2** Results of the 3 groups training experiment using lung performance data.

Model	f1-score Normal group	f1-score Mild group	f1-score Moderate+Severe group	Training time
Logistic Regression	0.68	0.17	0.00	78 ms
Decision Tree	0.63	0.28	0.07	34 ms
Random Forest	0.75	0.20	0.00	299 ms
Gradient Boosting	0.72	0.21	0.22	920 ms
XGBoost	0.71	0.27	0.13	1270 ms
SVM	0.70	0.19	0.07	51 ms

**Table 3** Amount of data in 3 groups comparism before and after oversampling of lung performance test data.

Lung Function Test	No. of Rows before oversampling	No. of Rows after oversampling
Normal	432	432
Mild	208	432
Moderate and Severe	45	432

**Table 4** Results of the 3 groups training experiment using lung performance data.

Model	f1-score Normal group	f1-score Mild group	f1-score Moderate and Severe group	Training time
Logistic Regression	0.69	0.61	0.84	124 ms
Decision Tree	0.59	0.65	0.84	24 ms
Random Forest	0.76	0.78	0.95	310 ms
Gradient Boosting	0.72	0.69	0.92	1500 ms
XGBoost	0.72	0.73	0.94	729 ms
SVM	0.72	0.63	0.85	105 ms

จาก Table 2 พบว่าสามารถประเมินค่า f1-score ได้ทั้ง 3 กลุ่ม อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพที่ได้ไม่น่าพอใจ แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของความต่างกันระหว่างกลุ่มไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยเพียงการรวมกลุ่มของข้อมูล ดังนั้นจึงมีการใช้เครื่องมือที่ใช้จัดการข้อมูลที่มีขนาดไม่สมดุลดังการทดลองต่อไป

**การจัดการข้อมูลที่มีขนาดไม่สมดุลด้วย SMOTE (synthetic minority oversampling technique)**

เนื่องจากจำนวนข้อมูลในกลุ่ม Moderate and Severe มีปริมาณค่อนข้างน้อย งานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคการ oversampling เพื่อเพิ่มจำนวนข้อมูลส่วนน้อยให้มีจำนวนใกล้เคียงกับข้อมูลส่วนมากด้วยวิธี SMOTE (synthetic



minority oversampling technique) จำนวนข้อมูลก่อนและหลังประยุกต์ใช้วิธี SMOTE แสดงดัง Table 3

การทำวิธีสังเคราะห์ข้อมูลเพิ่ม จะเพิ่มจำนวนข้อมูลของกลุ่มที่มีข้อมูลน้อยทั้งหมดให้มีจำนวนเท่ากับจำนวนข้อมูลของกลุ่มที่ใหญ่ที่สุด ในส่วนข้อมูลที่ตรวจ ประสิทธิภาพปอดแบบ 3 กลุ่มดำเนินการฝึกแบบจำลองต่างๆ ด้วยค่า Hyperparameter ตั้งต้นของ Library scikit-learn และได้ผลลัพธ์ดัง Table 4

จาก Table 4 พบว่าหลังจากนำข้อมูลที่ผ่านมาการทำ Oversampling มาใช้ในการฝึกพบว่า เมื่อมีจำนวนกลุ่มที่น้อยลงทำให้ค่า f1-score ในกลุ่ม Normal และ Mild มีแนวโน้มที่จะมีค่าดีขึ้นเล็กน้อย ส่วนกลุ่ม Moderate and Severe ยังคงมีโอกาสเกิดปัญหา overfitting เนื่องจากข้อสมมติฐาน 2 ประการได้แก่การที่ข้อมูลมีค่า f1-score เพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับผลแบบจำลองก่อนการทำ oversampling เช่นในแบบจำลอง Logistic Regression (0.00 และ 0.84) เป็นต้น กอปรกับจำนวนข้อมูลตั้งต้นในกลุ่มเยอะสุดมีจำนวน

432 ข้อมูล เมื่อเทียบกับกลุ่ม Moderate and Severe ที่มีจำนวนน้อยที่สุดมีเพียง 45 ข้อมูล (Table 3) ซึ่งด้วยหลักการของ Oversampling จะทำการเพิ่มข้อมูลจากลักษณะของจำนวนข้อมูลเดิมให้มีจำนวนเท่ากับข้อมูลกลุ่มใหญ่ ดังนั้นจึงมีสมมติฐานว่าจำนวนชุดข้อมูลที่น้อยอาจทำให้มีรูปแบบที่น้อยเกินไปในการทำ Oversampling จึงเกิดการ Overfitting ในแบบจำลองขึ้นได้

#### การปรับค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ของแบบจำลองร่วมกับ k-fold cross validation

การทำ 5-fold cross validation ร่วมกับการปรับไฮเปอร์พารามิเตอร์ถูกนำมาใช้เพื่อหาโครงสร้างแบบจำลองที่ให้ประสิทธิภาพของการเรียนรู้ของเครื่องได้ดีที่สุด โดยเริ่มจากการใช้วิธี Randomized search เพื่อการหาช่วงที่แบบจำลองจะสามารถให้ประสิทธิภาพได้ดี ตามด้วยการใช้ Grid search ในการหาค่าไฮเปอร์พารามิเตอร์ที่แบบจำลองให้ประสิทธิภาพดีในช่วงที่มีขนาดเล็ก และประเมินผลด้วยการใช้ค่า f1-score โดยได้ผลลัพธ์ดัง Table 5

**Table 5** Results after hyperparameter adjustment.

Model	Optimal hyperparameter value	Everage f1-score
Logistic Regression	Solvers = lbfgs	0.70023
Decision Tree	Max depth = 32, Max features = 20, Min sample leaf = 15	0.674431
Random Forest	Max features = 15, Min samples leaf = 2, Min samples split = 10, Max depth = 64	0.745796
Gradient Boosting	n_Estimators = 500, Max depth = 9, Learning rate = 1	0.731759
XGBoost	Max depth = 7, Gamma = 2, Min child weight = 4	0.714132
SVM	Kernel = rbf, Decision function shape = ovo, Gamma = scale	0.739056

จากผลลัพธ์ใน Table 5 พบว่าเมื่อทำการ Cross validate แล้วแบบจำลอง Random Forest ที่ผ่านการปรับปรุงไฮเปอร์พารามิเตอร์ให้ค่าเฉลี่ย f1-score มากที่สุดที่ 0.745796 โดยแบบจำลองใช้ตัวแปรทำนายที่มี ซึ่งเราสามารถปรับปรุงแบบจำลองโดยลดจำนวนตัวแปรลงและทำการปรับปรุงไฮเปอร์พารามิเตอร์อื่นๆเพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพที่สุดและง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้งานต่อไป

#### การเลือกตัวแปรที่สำคัญในการฝึกแบบจำลอง

การเลือกตัวแปรที่สำคัญสำหรับการฝึกแบบจำลองใช้วิธี RFE (recursive feature elimination) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการคัดเลือกโดยกลวิธีการเลือกขึ้นอยู่กับประเภทแบบจำลองที่ใช้ (estimator) และตัวแปรที่ทำให้แบบจำลองนั้น

ผิดพลาดน้อยที่สุดในการทำนาย โดยทำให้ mean absolute error (MAE) ต่ำสุด จะถูกใช้ในกลุ่มตัวแปรที่สำคัญในการทำนายระดับความรุนแรงต่อไป โดยแต่ละแบบจำลองจะมีขั้นตอนการเลือกต่างกัน เช่น กลุ่มแบบจำลองเชิงเส้น (linear models) จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปร (coefficient) ในขณะที่กลุ่มแบบจำลองที่ใช้ต้นไม้เป็นฐาน (tree-based models) จะใช้ค่าความสำคัญของตัวแปร (feature importance) ในการคัดเลือก หลังจากนั้นจะทำการวนซ้ำซ้ำเพื่อหาจำนวนตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด โดยในงานนี้กำหนดจำนวนตัวแปรไว้ที่ 20 ตัวแปร และในการทดลองนี้ทำการทดลองเฉพาะข้อมูล 2 กลุ่มที่ผ่านการทำ oversampling ด้วยวิธี SMOTE มาเท่านั้น ได้ผลดัง Table 6

**Table 6** Results of 3 groups training with selecting variables in data.

Model	Everage f1-score
Logistic Regression	0.59
Decision Tree	0.62
Random Forest	0.74
Gradient Boosting	0.72
XGBoost	0.68
SVM	0.5

จาก Table 6 พบว่า แบบจำลอง Random Forest มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดซึ่งสามารถให้ค่าเฉลี่ย f1-score ระหว่างกลุ่ม Normal, Mild และ Moderate อยู่ที่ 0.74 และ 20 ตัวแปรที่ดีที่สุดประกอบด้วยตัวแปรเช่น แผนกที่ทำงาน ประวัติการสูบบุหรี่ และอายุระหว่าง 21 ถึง 25 ปี ซึ่งจากการทดลองในส่วนการเรียนรู้ของเครื่องทั้งหมดสรุปได้ว่า แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในเว็บแอปพลิเคชันคือ แบบจำลอง Random Forest แบบ 3 กลุ่มข้อมูล (normal, mild และ moderate+severe) ที่ผ่านการทำ oversampling ด้วยวิธี SMOTE และคัดเลือกตัวแปรที่สำคัญด้วย RFE จำนวน 20 ตัวแปร

### ผลการดำเนินงานของเว็บแอปพลิเคชัน

แบบจำลอง Random forest ในหัวข้อก่อนหน้าถูกนำไปใช้ร่วมกับเว็บแอปพลิเคชันที่ได้พัฒนาขึ้นตามที่ได้ ออกแบบไว้ ซึ่งสามารถเข้าถึงได้จากลิงก์ <https://whispering-wildwood-41614-c10f966ed49e.herokuapp.com/> โดยใน ส่วนของ Frontend หรือ UI ถูกเขียนด้วยภาษา HTML, CSS, และ JavaScript และทำงานร่วมกับโปรแกรมส่วน Backend ผ่าน Flask framework หน้าเว็บแอปพลิเคชันที่ได้ทำการ ออกแบบไว้ มีทั้งหมด 3 หน้า คือ 1. หน้าหลัก 2. การทำนาย 3. เกี่ยวกับเรา ตัวอย่างหน้าการทำนายของเว็บแอปพลิเคชัน แสดงดัง Figure 4

**Figure 4** Prediction page of web application

### ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้เว็บแอปพลิเคชัน

จากการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน จำนวน 10 ท่านซึ่งเป็นหัวหน้าแผนกโรงงานเกี่ยวกับการใช้งาน เว็บแอปพลิเคชันใน 3 ด้าน สรุปผลการประเมินความพึงพอใจ ในแต่ละด้านได้ดังนี้

ในด้านความสวยงาม ผู้ใช้มีความพึงพอใจเนื่องจาก หน้าเว็บแอปพลิเคชันมีรูปแบบที่ค่อนข้างเรียบง่าย ผู้ใช้ได้ แนะนำให้เพิ่มรูปภาพหรือมีการตกแต่งหน้าเว็บเพื่อเพิ่มความ สวยงามและความสะดวกใช้งาน

ในด้านเนื้อหา ผู้ใช้มีความพึงพอใจเนื่องจาก เนื้อหา มีความถูกต้อง อ่านแล้วสามารถเข้าใจได้ง่าย มีประโยชน์ ในการทำความเข้าใจและการใช้งาน แต่เนื้อหาบางหัวข้อมี ปริมาณทำให้ผู้ใช้ไม่สามารถทำความเข้าใจได้ทั้งหมด จึงได้ แนะนำให้มีการลดเนื้อหาบางหัวข้อให้น้อยลงหรือแบ่งเนื้อหา เป็นข้อ จะทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายมากยิ่งขึ้น

ในด้านการใช้งาน ผู้ใช้พึงพอใจเว็บแอปพลิเคชันที่ สามารถใช้งานได้สะดวก เข้าใจวิธีการใช้งานได้ง่าย วิธีการ ใช้งานไม่ยุ่งยาก โดยรวมเว็บแอปพลิเคชันมีประโยชน์ใน การใช้งาน

## สรุปและอภิปรายผล

ผลจากการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพปอดสำหรับการคัดกรองผู้มีโอกาสเกิดกลุ่มโรคที่มีการจำกัดการขยายตัวของปอดใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องประเภทต่างๆ เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดจากชุดข้อมูลจากงานวิจัยเรื่อง Rubberwood dust and lung function among Thai furniture factory workers พบว่าแบบจำลอง Random Forest ร่วมกับข้อมูลการบันทึกผลตรวจ Restrictive defect 3 กลุ่ม (normal, mild และ moderate + severe) จากเครื่อง Spirometry มีประสิทธิภาพดีที่สุดโดยมีค่า accuracy โดยรวม 0.75 และ แบบจำลองที่ได้ถูกนำไปใช้ในส่วน back-end ของเว็บแอปพลิเคชัน โดยใช้รูปแบบของข้อมูลนำเข้า เป็นการรับไฟล์ csv เพื่อทำนายระดับความรุนแรงของความผิดปกติของความยืดหยุ่นของปอดของพนักงานจำนวนมากพร้อมกันในครั้งเดียว โดยผลที่ได้จากแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้งานของผู้ใช้ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaplan *et al.* (2021) ที่ทำการสำรวจประสิทธิภาพของปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้ของเครื่องในกลุ่มโรคปอดโดยในโรคกลุ่ม Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) และหอบหืดให้ผลลัพธ์อยู่ระหว่าง 0.75-1.00 และมีค่า f1-score ของกลุ่ม Normal, Mild และ Moderate + Severe เท่ากับ 0.67 0.69 และ 0.88 ตามลำดับ โดยตัวแปรที่ช่วยทำนายที่ดีที่สุด ได้แก่ แผนกที่ทำงาน ประวัติการสูบบุหรี่ และอายุระหว่าง 21 ถึง 25 ปี โดยตัวแปรดังกล่าวบางตัวได้แก่ อายุปีที่ทำงาน และแผนกที่ทำงาน มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hongbo Liu และคณะ (Liu *et al.*, 2009)

งานวิจัยนี้เลือกใช้เพียงแบบจำลองพื้นฐานและแบบจำลองในกลุ่ม Ensemble เท่านั้น ในอนาคตเมื่อมีจำนวนข้อมูลมากขึ้นอาจมีการทดลองใช้แบบจำลองในกลุ่มการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) และกลุ่มเครือข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) เพื่อค้นหาแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดต่อไป

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ถูกใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพกับข้อมูลตรวจจากตรวจสไปโรเมตรีในช่วงเวลาเดียวกัน จึงมีข้อเสนอแนะให้มีการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองเทียบกับผลตรวจจริงอีกครั้งเมื่อถึงช่วงเวลาในการตรวจในโรงงานในอนาคต เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้งานจริงต่อไป

## ข้อเสนอแนะ

แบบจำลองที่ได้สามารถใช้เพื่อเป็นเครื่องมือคัดกรองเบื้องต้นเพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายก่อนตัดสินใจตรวจสไปโรเมเตอร์ ในด้านแนวทางการพัฒนา จำเป็นต้องเพิ่ม

ปริมาณข้อมูลที่ใช้ฝึกแบบจำลอง รวมถึงเพิ่มความสมดุลของกลุ่มข้อมูลให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน เพื่อให้อัลกอริทึมสามารถเรียนรู้รูปแบบในข้อมูลที่หลากหลายและได้แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- Chandran, U., Reps, J., Yang, R., Vachani, A., Maldonado, F., & Kalsekar, I. (2023). Machine learning and real-world data to predict lung cancer risk in routine care. *cancer epidemiology, biomarkers & prevention. A Publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*, 32(3), 337-343. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-22-0873>
- Gould, M. K., Huang, B. Z., Tammemagi, M. C., Kinar, Y., & Shiff, R. (2021). Machine learning for early lung cancer identification using routine clinical and laboratory data. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 204(4), 445-453. <https://doi.org/10.1164/rccm.202007-2791OC>
- Guo, Y., Yin, S., Chen, S., & Ge, Y. (2022). Predictors of underutilization of lung cancer screening: a machine learning approach. *European journal of cancer prevention*, 31(6), 523-529. <https://doi.org/10.1097/CEJ.0000000000000742>
- Hazra, A., Bera, N., & Mandal, A. (2017). Predicting lung cancer survivability using SVM and logistic regression algorithms. *International Journal of Computer Applications*, 174, 19-24. doi:10.5120/ijca2017915325
- HITAP. (2017). *การศึกษาการเข้าถึงบริการตรวจสมรรถภาพปอดด้วยวิธี spirometry ที่มีประสิทธิภาพ ในโรงพยาบาลชุมชน*. <https://www.hitap.net/documents/173095>
- Kaplan, A., Cao, H., FitzGerald, J. M., Iannotti, N., Yang, E., Kocks, J. W. H., Mastoridis, P. (2021). Artificial intelligence/machine learning in respiratory medicine and potential role in asthma and COPD diagnosis. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 9(6), 2255-2261. doi:10.1016/j.jaip.2021.02.014
- Kumar, N., Narayan Das, N., Gupta, D., Gupta, K., & Bindra, J. (2021). Efficient automated disease diagnosis using machine learning models. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021, 9983652. doi:10.1155/2021/9983652



- Kunpeuk, W., Julchoo, S., Phaiyaron, M., Sosom, J., Sinam, P., Sukaew, T., Siriruttanapruk, S. (2021). A scoping review on occupational exposure of silica and asbestos among industrial workers in Thailand. *Outbreak, Surveillance, Investigation & Response (OSIR) Journal* 14(2), 41-51. <http://osirjournal.net/index.php/osir/article/view/231>
- Liu, H., Tang, Z., Yang, Y., Weng, D., Sun, G., Duan, Z., & Chen, J. (2009). Identification and classification of high risk groups for Coal Workers' Pneumoconiosis using an artificial neural network based on occupational histories: a retrospective cohort study. *BMC Public Health*, 9(1), 366. 10.1186/1471-2458-9-366
- Luize, A. P., Menezes, A. M., Perez-Padilla, R., Muiño, A., López, M. V., Valdivia, G., Lisboa, C., Montes de Oca, M., Tálamo, C., Celli, B., Nascimento, O. A., Gazzotti, M. R., Jardim, J. R., & PLATINO Team (2014). Assessment of five different guideline indication criteria for spirometry, including modified GOLD criteria, in order to detect COPD: data from 5,315 subjects in the PLATINO study. *NPJ primary care respiratory medicine*, 24, 14075. <https://doi.org/10.1038/npjpcrm.2014.75>
- Martinez-Pitre, P. J., Sabbula, B. R., & Cascella, M. (2022). Restrictive lung disease. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Pascoe, S. J., Wu, W., Collison, K. A., Nelsen, L. M., Wurst, K. E., & Lee, L. A. (2018). Use of clinical characteristics to predict spirometric classification of obstructive lung disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 13, 889-902. doi:10.2147/copd.S153426
- Qi, X. M., Luo, Y., Song, M. Y., Liu, Y., Shu, T., Liu, Y., Pang, J. L., Wang, J., & Wang, C. (2021). Pneumoconiosis: current status and future prospects. *Chinese medical journal*, 134(8), 898-907. <https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000001461>
- Thetkathuek, A., Yingratanasuk, T., Demers, P. A., Thepaksorn, P., Saowakhontha, S., & Keifer, M. C. (2010). Rubberwood dust and lung function among Thai furniture factory workers. *Int J Occup Environ Health*, 16(1), 69-74. 10.1179/107735210800546281

# การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเชิงพื้นที่ของคดียาเสพติดในอำเภอเมือง จังหวัด นครปฐม

## Applying spatial statistical analysis to narcotics litigation in Muang Nakorn Pathom, Nakorn Pathom Province

วิจิตรา ผลิเจริญผล<sup>1</sup> และ อรประภา ภูมมะกาญจนะ โรแบร์<sup>2\*</sup>  
Wichittra Phlicharoenphon<sup>1</sup> and Ornprapa Pummakarnchana Robert<sup>2\*</sup>

Received: 18 April 2023 ; Revised: 23 June 2023 ; Accepted: 25 July 2023

### บทคัดย่อ

คดียาเสพติดเป็นคดีที่เกิดขึ้นมากที่สุดในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่ของการเกิดคดียาเสพติดด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในพื้นที่ความรับผิดชอบของ สภ.เมืองนครปฐม โดยรวบรวมข้อมูลการเกิดคดียาเสพติดระหว่าง ปี 2556 ถึง ปี 2560 เพื่อ 1) ศึกษาแบบรูปของการเกิดคดียาเสพติดด้วยเครื่องมือ Moran's I 2) วิเคราะห์จุดความร้อนของการเกิดคดียาเสพติดด้วยเครื่องมือ Getis-Ord Gi\* 3) วิเคราะห์ทิศทางการกระจายของคดียาเสพติดด้วยเครื่องมือ Standard Deviational Ellipse และ 4) ศึกษาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของการเกิดคดียาเสพติดและการใช้ที่ดิน ผลการศึกษาแสดงให้เห็น 1) แบบรูปการเกิดคดียาเสพติดในพื้นที่ความรับผิดชอบของ สภ.เมืองนครปฐมเป็นแบบเกาะกลุ่ม โดยมีค่า Moran's I เท่ากับ 0.31, 0.34, 0.27, 0.24 และ 0.17 ตามลำดับ 2) บริเวณที่เกิดคดียาเสพติดสูง โดยมีค่า GiZscore มากกว่า 1.65 ในปี 2556 และปี 2557 ได้แก่ ตำบลพระปฐมเจดีย์ และตำบลห้วยจรเข้มะ ปี 2558 ได้แก่ ตำบลพระปฐมเจดีย์ ตำบลวังตะกูน และตำบลสนามจันทร์ ปี 2559 ได้แก่ ตำบลพระปฐมเจดีย์ ตำบลห้วยจรเข้มะ และตำบลบ่อพลับ และปี 2560 ได้แก่ ตำบลสนามจันทร์ 3) ทิศทางการกระจายของคดียาเสพติดทั้ง 5 ปี มีแนวโน้มไปทางทิศตะวันออกเฉียงของพื้นที่ศึกษา และ 4) การจับกุมคดียาเสพติดสูงพบในแบบรูปการใช้ที่ดินประเภทชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ผลการวิจัยสามารถใช้ประกอบการพิจารณาวางแผนเชิงนโยบายที่เกี่ยวข้องกับยาเสพติดได้

**คำสำคัญ:** ยาเสพติด, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, สถิติภูมิศาสตร์, อัตราสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของมอแรน, จุดความร้อน, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรูปวงรี

### Abstract

Narcotics litigation is the main legal case in Muang Nakhon Pathom District, Nakhon Pathom Province. This investigation aimed to explore spatial analysis of narcotics litigation using a Geographic Information System in the responsibility area of Muang Nakhon Pathom Police Station using data on narcotics litigation collected between 2013 and 2017. The purposes of this study were: 1) to examine the pattern of narcotics litigation using Moran's I, 2) to investigate the spatial distribution of narcotics litigation using hot spot analysis based Getis-Ord Gi\*, 3) to find out the directional distribution of narcotics litigation using Standard Deviational Ellipse, and 4) to explore the spatial relationship between narcotics litigation and land use. The results of the study was as follows. 1) The pattern of the narcotics litigation over 5 years was clustered according to Moran's I value, which was discovered at 0.31, 0.34, 0.27, 0.24, and 0.17, sequentially over the 5 years. 2) The spatial distribution of cases revealed hotspot areas with a GiZscore greater than 1.65 present at Phrapathom Chedi and Huai Chorakhe districts in 2013 and 2014, Phrapathom Chedi, Wang Takoo, and

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาเอก สาขานิติวิทยาศาสตร์และงานยุติธรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>1</sup> Ph.D. student, Department of Forensic Science and Criminal Justice, Faculty of Science, Silpakorn University

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Environment Science, Faculty of Science, Silpakorn University

\* Corresponding author: Omprapa Pummakarnchana Robert

Sanam Chan districts in 2015, Phrapathom Chedi, Huai Chorakhe and Bo Plab district in 2016, and Sanam Chan district in 2017. 3) The directional distribution of the cases over 5 years was distributed to the west of the study area. 4) Urban and built-up land were found to be places where most narcotics litigation occurred. The research results can be used to consider policy plans related to the Narcotics problem.

**Keywords:** Narcotics, geographic information system, geostatistics, Moran's I, Getis-Ord  $G_i^*$ , standard deviational ellipse

## บทนำ

ปัญหาหายาเสพติดเป็นปัญหาสำคัญระดับประเทศ ที่ทวีความรุนแรงและมีแนวโน้มในการขยายตัวตามสภาวะเศรษฐกิจและสังคม ปัจจุบันพบว่ายาเสพติดมีราคาถูกลง ทั้งผู้เสพและผู้ขายสามารถเข้าถึงยาเสพติดได้มากขึ้น ยิ่งส่งผลกระทบต่อทั้งความต้องการผู้เสพ สวัสดิภาพของชุมชน และประเทศชาติ ปัจจัยที่สัมพันธ์กับการใช้ยาเสพติด เช่น ปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ เพศและอายุ และปัจจัยทางสังคม ได้แก่ สัมพันธภาพภายในครอบครัว อิทธิพลของสื่อ สภาพแวดล้อม (Mungkung *et al.*, 2016) ยาเสพติดเป็นปัญหาที่บั่นทอนเสถียรภาพทั้งด้านเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศ (Office of Drugs and Crime, 2022) รวมถึงเป็นหนึ่งในสาเหตุในการก่อให้เกิดอาชญากรรม ก่อให้เกิดผลเสียต่อทั้งประชาชน เศรษฐกิจ สังคม และประเทศชาติที่ภาครัฐตระหนักและพยายามหาวิธีการป้องกัน ปราบปรามและแก้ไข (Burachat, 2017) จากรายงานสถานการณ์ยาเสพติดในพื้นที่สำนักงานป้องกันและปราบปรามยาเสพติด ภาค 7 ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม ปี 2559 ที่รายงานสถานการณ์การจับกุมยาเสพติด (ปส.1) จำนวน 5,514 คดี เมื่อจำแนกตามพื้นที่จังหวัด พบว่าสถิติการจับกุมคดียาเสพติดสูงที่สุด 3 อันดับแรกเกิดที่จังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดราชบุรี และจังหวัดนครปฐม โดยยาเสพติดที่มีการจับกุมมากที่สุดได้แก่ ยาบ้า กัญชา และยาไอซ์ และมีสถิติการจับยึดยาบ้ามากที่สุดที่จังหวัดนครปฐม (Office of Narcotics Control Board, 2016) สอดคล้องกับรายงานสถิติคดียาเสพติดที่น่าสนใจจากรายงานผลการปราบปรามยาเสพติดทั่วประเทศ ประจำปี 2563 ที่แสดงข้อมูลการลักลอบลำเลียงยาเสพติดเพื่อส่งมอบให้ลูกค้าในจังหวัดนครปฐมจำนวน 5,900,000 เม็ด (Office of Narcotics Control Board, 2020) อีกทั้ง รายงานสถิติคดียาเสพติดที่น่าสนใจจากรายงานผลการปราบปรามยาเสพติดทั่วประเทศ ประจำปี 2564 ที่แสดงข้อมูลการจับกุมผู้ต้องหาพร้อมของกลางยาบ้าในจังหวัดนครปฐมจำนวน 8,000,000 เม็ด (Thailand Narcotics Control, 2021) รวมถึงสถิติคดีอาญาประจำ สภ.เมืองนครปฐม ตั้งแต่ปี 2556 ถึง ปี 2560 พบสถิติคดียาเสพติดสูงเป็นอันดับแรก

การวิเคราะห์ข้อมูลยาเสพติดและสถิติการจับกุมคดียาเสพติดร่วมกับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ที่มีการนำปัจจัย

ทางกายภาพ และสังคมมาพิจารณาประกอบการวิเคราะห์จะสามารถช่วยให้การวิเคราะห์ปัญหาในรูปแบบเชิงลึกได้ และส่งผลในการตัดสินใจของผู้มีอำนาจหน้าที่ที่เกี่ยวข้องให้เป็นอย่างดีทันเหตุการณ์และเป็นรูปธรรมมากขึ้น (Tongngern *et al.*, 2019) รวมถึงการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับการวิเคราะห์ทางสถิติภูมิศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลยาเสพติดเพื่อศึกษาแบบรูป แนวโน้มทิศทาง และสถานการณ์ของอาชญากรรมที่เกี่ยวข้องกับยาเสพติดได้ (Wongsa & Bualah, 2017)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าปัจจุบันมีการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เหตุอาชญากรรมเพื่อสนับสนุนการทำงานของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องอย่างแพร่หลาย เช่น การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของการเกิดอาชญากรรมโดยใช้วิธีการประมาณความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนลเพื่อศึกษาแบบรูปและลักษณะการเกิดอาชญากรรม เพื่อศึกษาความเสี่ยงและปัจจัยต่อการเกิดอาชญากรรมสูง วิเคราะห์ข้อมูลตำแหน่งที่เกิดเหตุอาชญากรรมและแสดงผลในแบบรูปเชิงพื้นที่ของบริเวณที่มีความหนาแน่นของการเกิดอาชญากรรม ผลการศึกษาสามารถใช้สนับสนุนการตัดสินใจวางแผนป้องกันอาชญากรรมที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต (Yiampisan & Srivanit, 2010) หรือการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์วิเคราะห์ข้อมูลจุดเกิดเหตุอาชญากรรม โดยการสร้างแผนที่การใช้ที่ดินที่แสดงตำแหน่งของจุดเกิดเหตุอาชญากรรมและการสร้างพื้นที่กันชน ในระยะ 500 เมตรรอบจุดความร้อนของแต่ละเหตุอาชญากรรมเพื่อศึกษาพื้นที่รอบเหตุการณ์ที่สนใจด้วยเครื่องมือ ILWIS และโปรแกรม ArcGIS ในประเทศไนจีเรีย ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นภาพรวมของเหตุอาชญากรรมประเภทที่เกิดจากความเชื่อหรือลัทธิปล้น และข่มขืนในพื้นที่ชุมชนและบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัย อีกทั้งผลการศึกษาที่แสดงผลเป็นพื้นที่ซ้อนทับกันของแนวกันชนสามารถใช้เป็นแนวทางในการแนะนำเพื่อวางแผนเฝ้าระวังการเกิดเหตุอาชญากรรมได้ (Toju *et al.*, 2014) นอกจากนี้การใช้สถิติภูมิศาสตร์ยังสามารถนำมาใช้ในการศึกษาแบบรูปของการเกิดคดี ศึกษาพื้นที่ที่มีการเกิดคดีสูง และหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่มีการเกิดเหตุสูงร่วมกับปัจจัยกายภาพรวมถึงแนวโน้มและทิศทางของการกระจายตัวของการเกิดคดีได้ เช่น เพื่อศึกษา



แบบรูปของการเกิดเหตุลักทรัพย์ด้วย Moran's I เพื่อศึกษาพื้นที่ที่เกิดเหตุลักทรัพย์สูงด้วย Getis-Ord Gi\* ศึกษาแนวโน้มและทิศทางการกระจายตัวของเหตุอาชญากรรมประเภทลักทรัพย์ด้วย Standard Deviational Ellipse สุดท้ายศึกษาความสัมพันธ์ของการเกิดคดีลักทรัพย์ร่วมกับการใช้ที่ดินและความหนาแน่นของประชากรที่เกิดขึ้นในอำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี (Srithamrong, 2016) และการใช้สถิติภูมิศาสตร์ระดับครอบครัว Moran's I เพื่อค้นหาแบบรูปของการลักลอบล่าเหยื่อยาเสพติด และสถิติภูมิศาสตร์ระดับเฉพาะ Getis-Ord Gi\* เพื่อศึกษาพื้นที่ที่มีการลักลอบล่าเหยื่อยาเสพติดเช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Srithamrong (2016) แต่ Dechsiri and Robert (2019) วิเคราะห์เพื่อคาดการณ์การลักลอบล่าเหยื่อยาเสพติดบริเวณจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเชียงรายโดยใช้ข้อมูลจากข่าวด้านยาเสพติดจากสื่อชนิดต่างๆ แล้ววิเคราะห์แบบรูปการจับกุมด้วย Moran's I วิเคราะห์จุดความร้อนด้วย Getis-Ord Gi\* แล้วนำผลการวิเคราะห์พื้นที่จับกุมสูงพิจารณาร่วมกับปัจจัยทางกายภาพเพื่อหาพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการลักลอบล่าเหยื่อยาเสพติดและการลักลอบล่าเหยื่อยาเสพติดในอนาคตด้วย Standard Deviational Ellipse หรือใช้ข้อมูลการจับกุมคดียาเสพติดเพื่อวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงของคดียาเสพติดโดยใช้แผนที่จุดความร้อน (hotspot map) และเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละพื้นที่ที่เกิดคดียาเสพติดด้วยแผนที่เฉพาะเรื่อง (choropleth map) (In-ain, 2018)

จากการทบทวนวรรณกรรม สรุปได้ว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นวิธีการที่สามารถใช้ศึกษาแบบรูปประเมินความเสี่ยง และคาดการณ์แนวโน้มของการเกิดอาชญากรรม โดยการใช้สถิติเชิงพื้นที่แบบครอบครัว Moran's I ในการศึกษาแบบรูปการเกิดอาชญากรรม เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ได้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา (Srithamrong, 2016) ใช้สถิติเชิงพื้นที่แบบเฉพาะที่ Getis-Ord Gi\* ประเมินจุดความร้อน เนื่องจาก ผลลัพธ์ที่ได้เหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ต่อ (Dechsiri & Robert, 2019) และใช้ Standard Deviational Ellipse คาดการณ์แนวโน้มของการเกิดอาชญากรรมในพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาในครั้งนี้ทำให้เห็นภาพรวมของการเกิดคดียาเสพติด สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาปรับนโยบายในการป้องปรามการเกิดคดียาเสพติดในอนาคตได้

**วัตถุประสงค์การวิจัย**

- 1) เพื่อศึกษาแบบรูปของการเกิดคดียาเสพติด
- 2) เพื่อวิเคราะห์จุดความร้อนของการเกิดคดียาเสพติด
- 3) เพื่อวิเคราะห์ทิศทางการกระจายของคดียาเสพติด

- 4) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของการเกิดคดียาเสพติดและการใช้ที่ดิน

**ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยข้อมูลสถิติคดียาเสพติดของสถานีตำรวจภูธรเมืองนครปฐม ข้อมูลปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ ขอบเขตการปกครอง การใช้ที่ดิน ดังแสดงใน Table 1

2. พื้นที่ศึกษา ได้แก่ อำเภอเมืองนครปฐมในขอบเขตความรับผิดชอบของสถานีตำรวจภูธรเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม ดังแสดงใน Figure 1

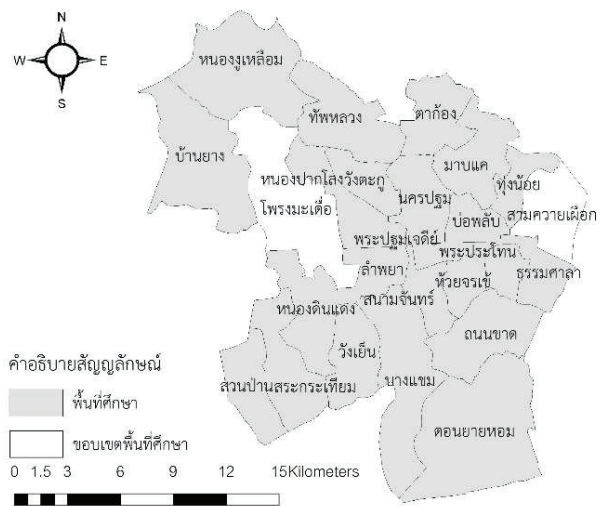


Figure 1 Study area

**วิธีดำเนินการวิจัย**

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลสถิติคดียาเสพติดจังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีสถิติการจับกุมคดียาเสพติดสูงที่สุด 3 อันดับแรกในพื้นที่จากรายงานของสำนักงานป้องกันและปราบปรามยาเสพติด ภาค 7 และมีสถิติการจับยึดยาบ้ามากที่สุด (Office of Narcotics Control Boards, 2016) อีกทั้งเป็นคดีที่มีสถิติสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสถิติคดีอาญาทั้งหมดของสถิติคดีอาญาในพื้นที่ศึกษา โดยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลสถิติดังกล่าวตั้งแต่ปี 2556 ถึง ปี 2561 จากสถานีตำรวจภูธรเมืองนครปฐม โดยขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย 4 ขั้นตอน เริ่มจากการเตรียมข้อมูลนำเข้า โดยนำเข้าข้อมูลคดียาเสพติดประจำ สภ.เมืองนครปฐม ตั้งแต่ปี 2556 ถึงปี 2561 ที่เป็นข้อมูลทุติยภูมิในรูปแบบสมุดจดบันทึก ปรับให้อยู่ในรูปแบบนามสกุลไฟล์.xls จากนั้นคัดกรองข้อมูลเบื้องต้นแล้วปรับแต่งข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบนามสกุลไฟล์.shp เพื่อที่สามารถนำเข้าสู่ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS เวอร์ชัน 10.1 แล้ววิเคราะห์ข้อมูลด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบรูปการเกิดคดียาเสพติดด้วยเครื่องมือสถิติเชิงพื้นที่แบบครอบคลุม Moran's I โดยค่าความสัมพันธ์ Moran's I มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 โดยค่าบวกที่อยู่ในช่วง 0 ถึง +1 หมายถึงมีแบบรูปความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของการเกิดคดีเป็นแบบเกาะกลุ่มกัน ค่าลบที่อยู่ในช่วง 0 ถึง -1 หมายถึงแบบรูปความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของการเกิดคดีเป็นแบบกระจายตัว และค่า 0 หมายถึงมีแบบรูปความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่ไม่แน่นอน

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์พื้นที่ที่เกิดคดียาเสพติดสูงด้วยสถิติเชิงพื้นที่แบบเฉพาะ Getis-Ord Gi\* โดยที่ค่า z-score มากกว่า 1.65 หมายถึงมีการเกาะกลุ่มกันของการเกิดคดีสูง และหากค่า z-score น้อยกว่า 1.65 หมายถึงมีการเกาะกลุ่มของการเกิดคดีต่ำ

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์แนวโน้มและทิศทางการกระจายตัวของการเกิดคดียาเสพติด โดยการนำผลการวิเคราะห์จุดความร้อนไปวิเคราะห์ต่อด้วยเครื่องมือ Standard Deviational Ellipse เพื่อประเมินทิศทางการกระจายตัวของคดีในปีถัดไป โดยการแปรผลจากทิศทางการหมุนของแกนยาว หรือค่า rotation เพื่อคาดการณ์ทิศทางการกระจายตัวของการเกิดคดี จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์โดยการนำค่าเฉลี่ยของมุมของทิศการหมุนของแกนยาวที่วิเคราะห์ในปี 2556 ถึงปี 2560 เปรียบเทียบกับทิศทางการกระจายตัวของการเกิดคดียาเสพติดในปี 2561 และ 4. ขั้นตอนศึกษาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของการเกิดคดียาเสพติดและการใช้ที่ดินโดยการประเมินร้อยละของจุดเกิดเหตุคดียาเสพติดในปี 2558 และ ปี 2560 ที่เกิดขึ้นในแต่ละประเภทของการใช้ที่ดินในปีเดียวกัน

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เลือกสถิติเชิงพื้นที่แบบครอบคลุม Moran's I เนื่องจากให้ผลทางสถิติที่มีค่าสูง และสถิติเชิงพื้นที่แบบเฉพาะที่ Getis-Ord Gi\* เนื่องจากผลการวิเคราะห์เหมาะสมสำหรับนำไปใช้วิเคราะห์ต่อ (Dechsiri & Robert, 2019) รายละเอียดของสถิติภูมิศาสตร์มีดังต่อไปนี้

1. อัตราสัมพันธ์เชิงพื้นที่ Moran's I เป็นสถิติเชิงพื้นที่แบบครอบคลุมใช้ศึกษาแบบรูปเชิงพื้นที่ของอาชญากรรม โดยการเปรียบเทียบค่าของอาชญากรรมที่สนใจกับอาชญากรรมอื่นๆ โดยการเกิดอาชญากรรมต้องมีการแจกแจงปกติเท่านั้น ดังสมการที่ (1)

$$I = \left( \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \right) \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{X})(x_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

โดยที่

I คือ ค่าความสัมพันธ์ Moran's I

$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2$  คือ ผลรวมของกำลังสองของความต่างระหว่างค่าเหตุการณ์กับค่าเฉลี่ยเหตุการณ์

$x_i, x_j$  คือ จำนวนการเกิดเหตุการณ์ของแต่ละรูปคดีหรือค่าปัจจัยที่สนใจ ในตำแหน่งที่ i และ j

$\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ยของการเกิดเหตุการณ์ในรูปคดีหลายเหลี่ยม

N คือ ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

$w_{ij}$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของตำแหน่ง i และ j



Figure 2 Methodology





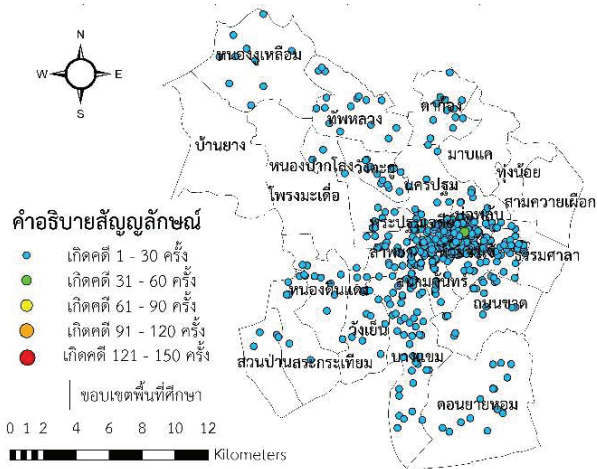


Figure 4 Number of Narcotics litigation in 2014

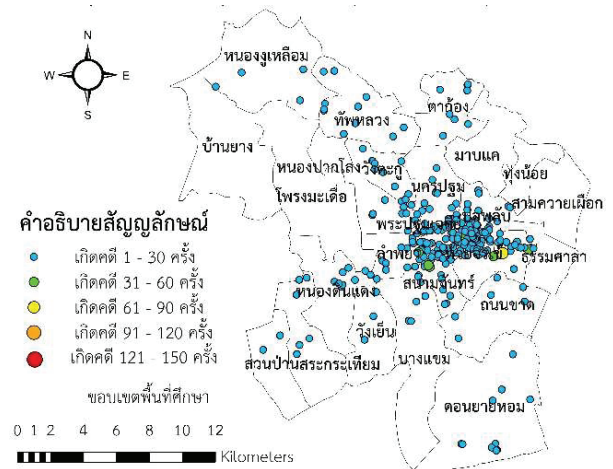


Figure 7 Number of Narcotics litigation in 2017

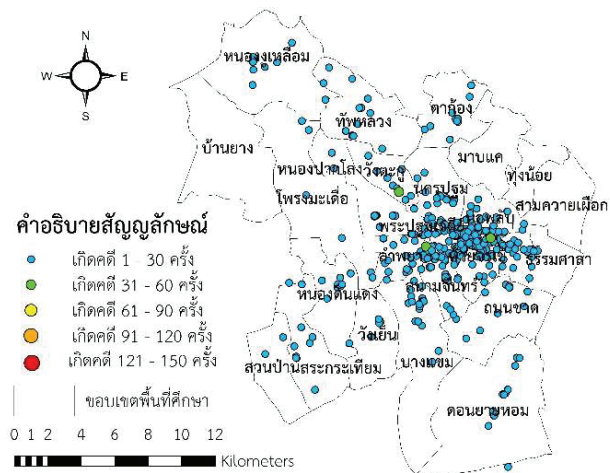


Figure 5 Number of Narcotics litigation in 2015

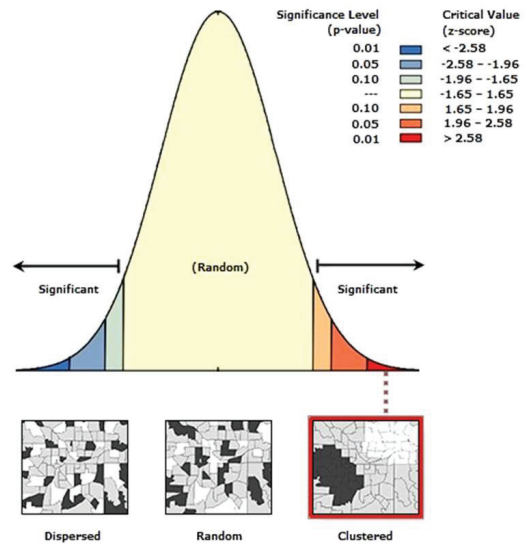


Figure 8 Spatial autocorrelation report of Narcotics litigation in 2013

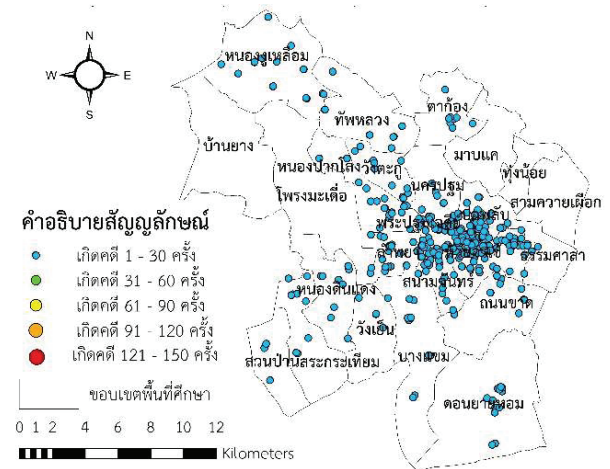


Figure 6 Number of Narcotics litigation in 2016

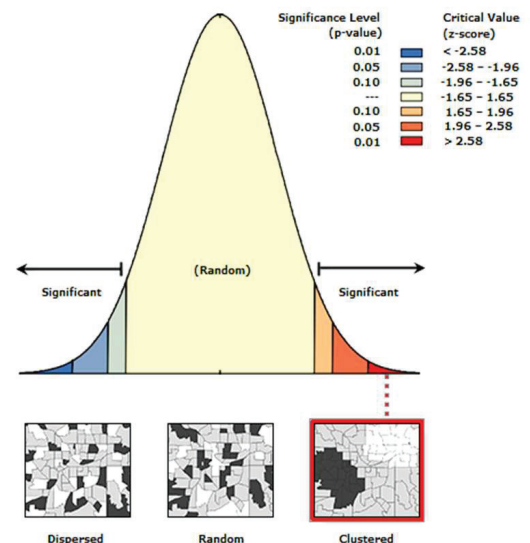


Figure 9 Spatial autocorrelation report of Narcotics litigation in 2014

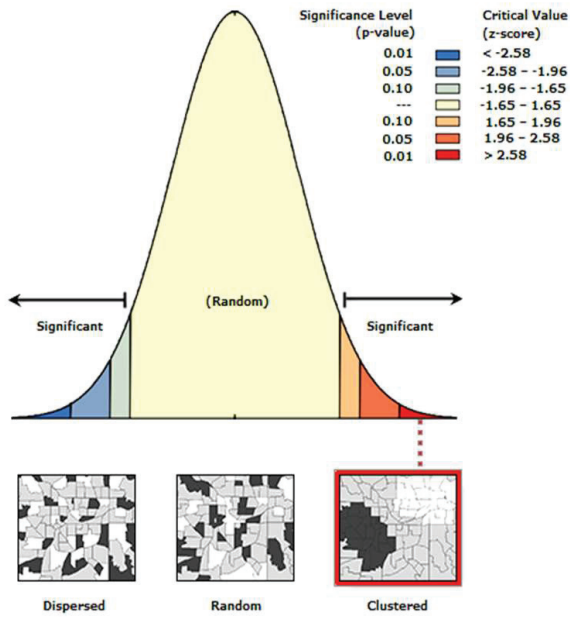


Figure 10 Spatial autocorrelation report of Narcotics litigation in 2015

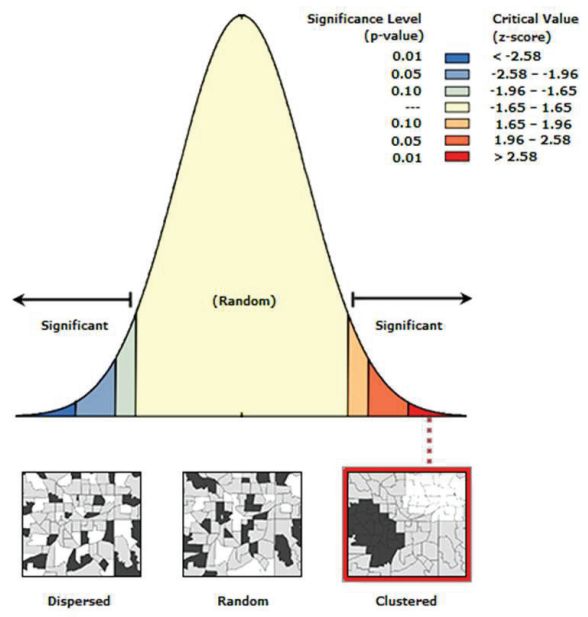


Figure 12 Spatial autocorrelation report of Narcotics litigation in 2017

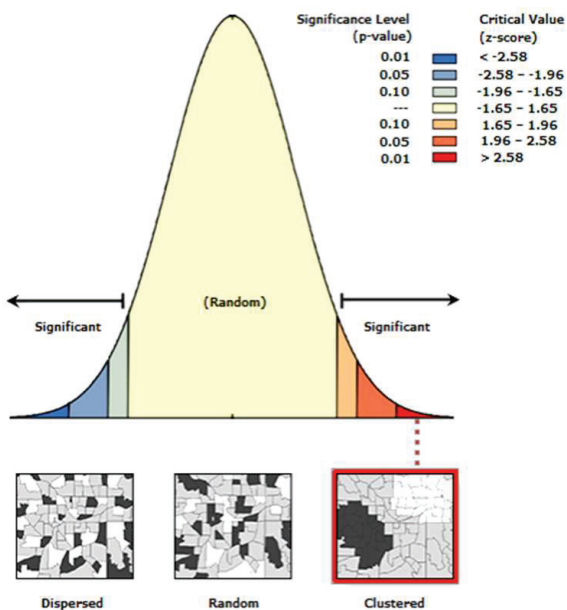


Figure 11 Spatial autocorrelation report of Narcotics litigation in 2016

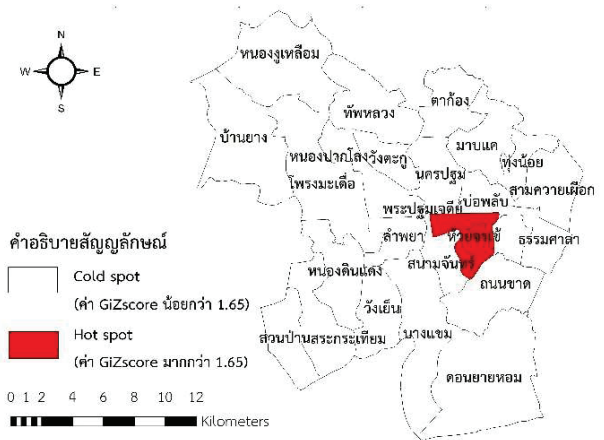


Figure 13 Hotspot analysis of Narcotics litigation in 2013

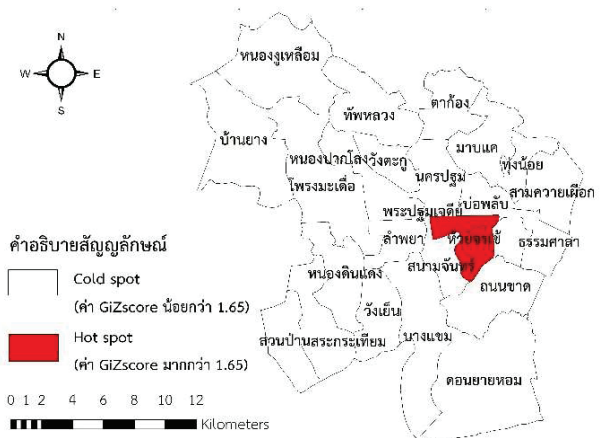


Figure 14 Hotspot analysis of Narcotics litigation in 2014

**Table 2** The Narcotics litigation pattern between 2013 and 2017

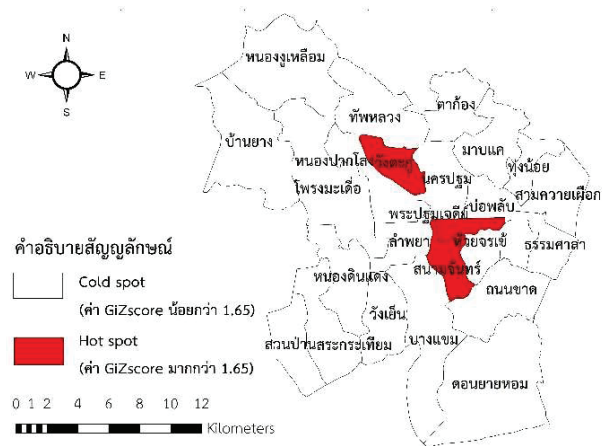
Year	z-score	p-value	ค่า Moran's I	results
2556	0.01	>2.58	0.31	cluster
2557	0.01	>2.58	0.34	cluster
2558	0.01	>2.58	0.27	cluster
2559	0.01	>2.58	0.24	cluster
2560	0.01	>2.58	0.17	cluster

The z-score value represents the critical value and line between the acceptance and rejection  $H_0$  of a hypothesis test, p-value represents the level of statistical significance.

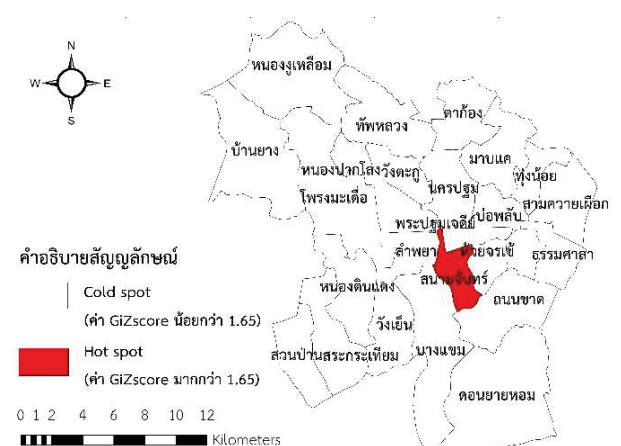
**2) จุดความร้อนของการเกิดคดียาเสพติด**

พื้นที่ที่เกิดคดียาเสพติดสูงเป็นผลการศึกษาที่ได้จากการวิเคราะห์จุดความร้อนด้วยสถิติเชิงพื้นที่ระดับเฉพาะ Getis Ord  $G_i^*$  ผลการวิเคราะห์พบว่าบริเวณที่เกิดคดียาเสพติดสูง (ค่า  $G_i^*$  มากกว่า 1.65) ในปี 2556 ได้แก่ ตำบลพระปฐมเจดีย์ และตำบลห้วยจระเข้ ปี 2557 ได้แก่

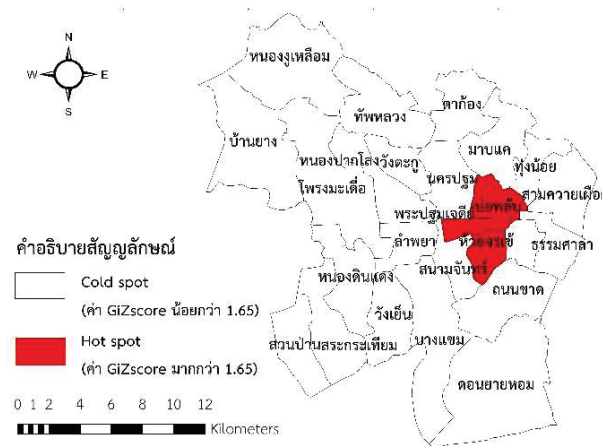
ตำบลพระปฐมเจดีย์ และตำบลห้วยจระเข้ ปี 2558 ได้แก่ ตำบลพระปฐมเจดีย์ ตำบลวังตะกุก และตำบลสนามจันทร์ ปี 2559 ได้แก่ ตำบลพระปฐมเจดีย์ ตำบลห้วยจระเข้ ตำบลบ่อพลับ และในปี2560 ได้แก่ ตำบลสนามจันทร์ ดังแสดงใน Figure 13 ถึง 17 และ Table 2 ตามลำดับ



**Figure 15** Hotspot analysis of Narcotics litigation in 2015



**Figure 17** Hotspot analysis of Narcotics litigation in 2017



**Figure 16** Hotspot analysis of Narcotics litigation in 2016

**3) ทิศทางการกระจายของคดียาเสพติด**

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ที่เกิดคดียาเสพติดสูงจากข้อ 2 ถูกนำมาวิเคราะห์ทิศทางการกระจายของคดียาเสพติดด้วยเครื่องมือ Standard Deviational Ellipse ผลการวิเคราะห์ทิศทางการกระจายคดียาเสพติดในปี 2556 แสดงค่า rotation เท่ากับ 168.41 ทิศทางการกระจายตัวของการเกิดคดีไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ ครอบคลุมตำบลดอนยายหอม ตำบลถนนขาด ตำบลสนามจันทร์ ตำบลพระปฐมเจดีย์ และตำบลนครปฐม ดังแสดงใน Figure 18 ปี 2557 แสดงค่า rotation เท่ากับ 125.85 ทิศทางการกระจายตัวของการเกิดคดีไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ ครอบคลุมตำบลห้วยจระเข้ ตำบลสนามจันทร์ ตำบลลำพญา ตำบลพระปฐมเจดีย์ ตำบลนครปฐม ดังแสดงใน Figure 19



ปี 2558 แสดงค่า rotation เท่ากับ 134.68 ทิศทางการกระจายตัวของ การเกิดคดีไปทางทิศตะวันออกของพื้นที่ ครอบคลุมตำบลห้วยจรเข้ ตำบลสนามจันทร์ ตำบลลำพญา ตำบลพระปฐมเจดีย์ ตำบลพระประโทณ ตำบลหนองปากโลง ตำบลวังตะกั่ว ดังแสดงใน Figure 20 ปี 2559 แสดงค่า rotation เท่ากับ 140.85 ทิศทางการกระจายตัวของ การเกิดคดีไปทางทิศตะวันออกของพื้นที่ ครอบคลุมตำบลห้วยจรเข้ ตำบลถนนขาด ตำบลสนามจันทร์ ตำบลบางแถม ตำบลลำพญา ตำบลพระปฐมเจดีย์ ตำบลหนองปากโลง ตำบลวังตะกั่ว ตำบลนครปฐม ดังแสดงใน Figure 21 และในปี 2560 แสดงค่า rotation เท่ากับ 101.45 ทิศทางการกระจายตัวของ การเกิดคดีไปทางทิศตะวันออกของพื้นที่ ครอบคลุมตำบลพระประโทณ ตำบลห้วยจรเข้ ตำบลสนามจันทร์ ตำบลลำพญา ตำบลพระปฐมเจดีย์ ตำบลนครปฐม ดังแสดงใน Figure 22 และ Table 3 เนื่องจากตำบลดอนยายหอม และตำบลพระประโทณ เป็นเส้นทางเดินรถบรรทุกที่มุ่งหน้าสู่อำเภอมหาชัยที่เป็นแหล่งชุมนุมที่หนาแน่นของแรงงานต่างด้าว ตำบลถนนขาด เป็นบริเวณที่อยู่อาศัยและหน่วยงานราชการ ตำบลสนามจันทร์ ตำบลพระปฐมเจดีย์ ตำบลนครปฐม ตำบลห้วยจรเข้ เป็นพื้นที่เศรษฐกิจที่มีประชากรหนาแน่น ตำบลลำพญา เป็นพื้นที่ของถนนสายเลี่ยงเมืองมุ่งหน้าสู่จังหวัดราชบุรี ตำบลวังตะกั่วเป็นเส้นทางเดินรถบรรทุก และเรือข้ามแห่งใหม่

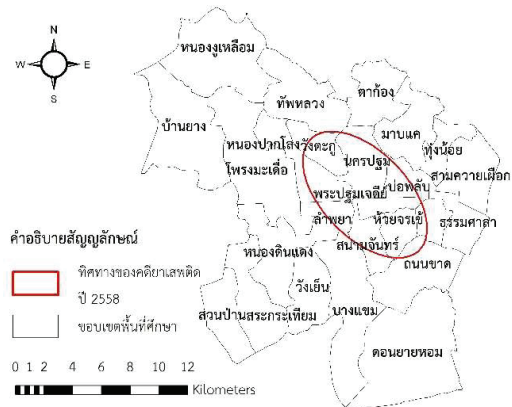


Figure 20 Distribution of Narcotics litigation in 2015

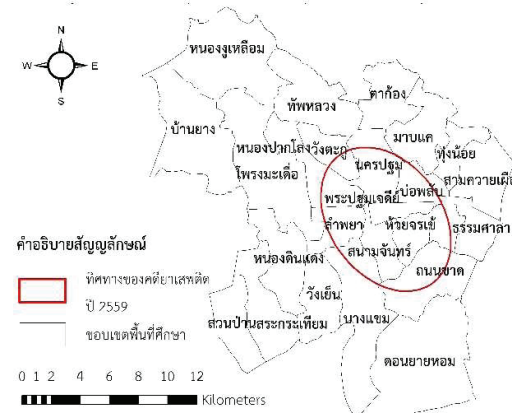


Figure 21 Distribution of Narcotics litigation in 2016

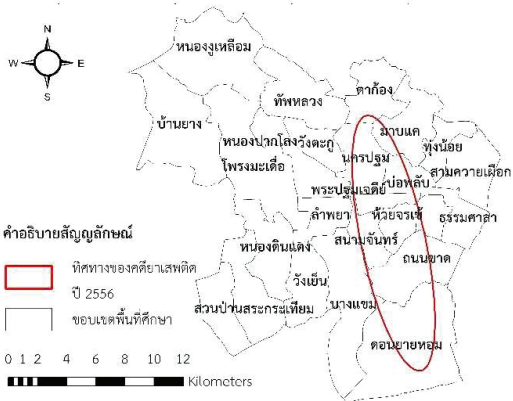


Figure 18 Distribution of Narcotics litigation in 2013

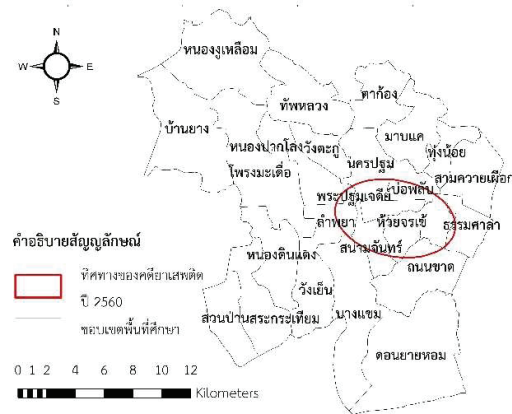


Figure 22 Distribution of Narcotics litigation in 2017

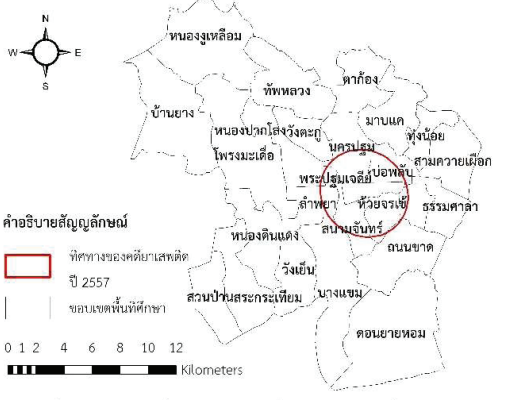


Figure 19 Distribution of Narcotics litigation in 2014

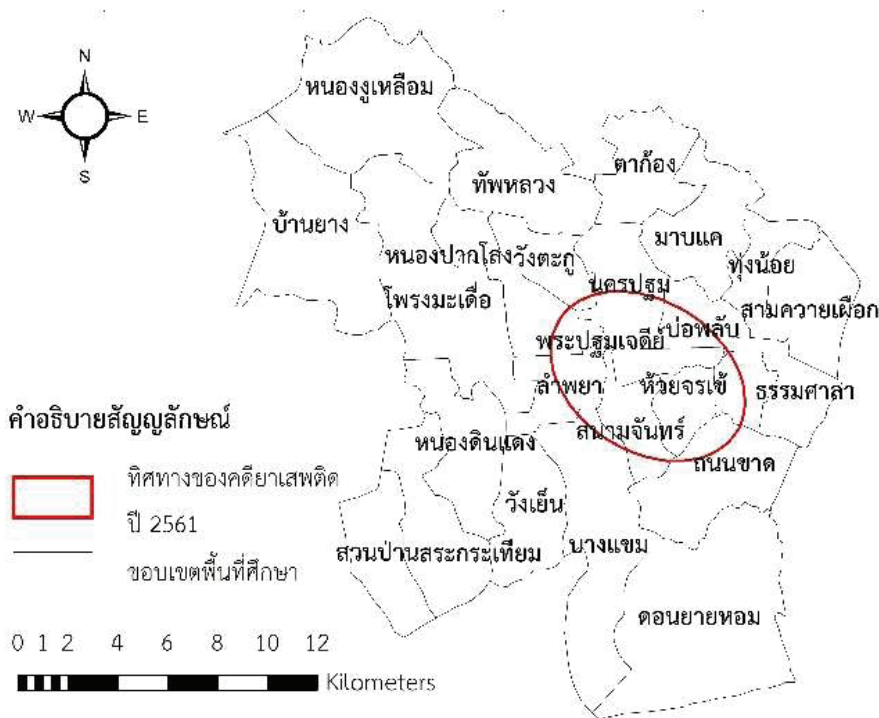


**Table 3** Direction distribution results of Narcotics litigation

Year	Rotation
2556	168.40533
2557	125.85092
2558	134.67520
2559	140.84622
2560	101.44881

ผลการตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของการคาดการณ์การเกิดคดียาเสพติดโดยนำค่าเฉลี่ยของ rotation ที่ศึกษาจำนวน 5 ปี มาใช้คาดการณ์การเกิดคดียาเสพติดในปี 2561 พบว่ามีค่า rotation เฉลี่ยเท่ากับ 134.25 ทิศทางการเกิดคดีไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับ

ผลการวิเคราะห์การคาดการณ์ของคดียาเสพติดปี 2561 พบว่ามีทิศทางการเกิดคดีไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือค่า rotation เท่ากับ 120.63 ซึ่งค่าเคลื่อนไปจากผลการคาดการณ์ 13.62 องศา คิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 95.44 ดังแสดงใน Figure 23 และ Table 4



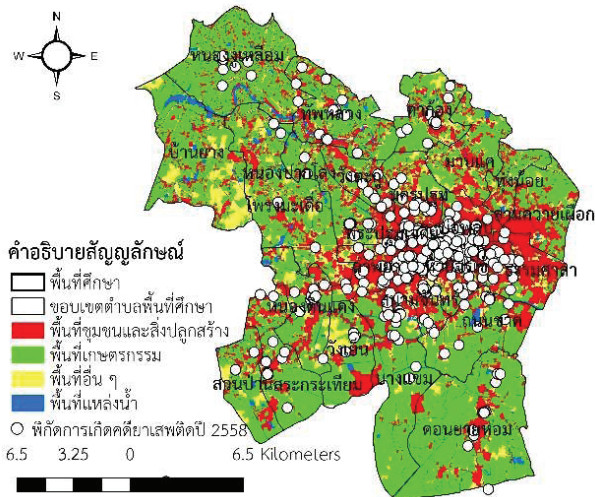
**Figure 23** Distribution of Narcotics litigation in 2018

**Table 4** The validation of the analysis

Narcotics litigation	Trend and distribution (degree)
predict cases in 2018	134.25
Observed cases in 2018	120.63

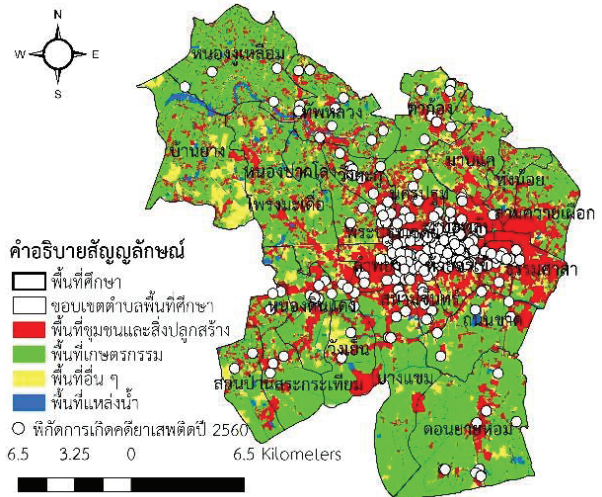
**4. ความสัมพันธ์ของการเกิดคดียาเสพติดกับการใช้ที่ดิน**

ผลการศึกษาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของการเกิดคดียาเสพติดและการใช้ที่ดิน พบว่า ปี 2558 เกิดคดียาเสพติดทั้งหมด 806 จุด เป็นพิกัดที่เกิดเหตุบริเวณการใช้ที่ดินประเภท



**Figure 24** The spatial relationship between land use and Narcotics litigation in 2015

พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 736 จุด คิดเป็นร้อยละ 91.32 แสดงผลการวิเคราะห์ใน Figure 24 และปี 2560 เกิดคดียาเสพติดทั้งหมด 916 จุด เป็นพิกัดที่เกิดเหตุบริเวณการใช้ที่ดินประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 862 จุด แสดงผลการวิเคราะห์ใน Figure 25 ตามลำดับ



**Figure 25** The spatial relationship between land use and Narcotics litigation in 2016

**สรุปผลการวิจัย**

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ของการเกิดคดียาเสพติดด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในพื้นที่ความรับผิดชอบของสถานีตำรวจนครปฐม ผลการวิเคราะห์พบว่า แบบรูปการเกิดคดียาเสพติดในพื้นที่ความรับผิดชอบของ สภ.เมืองนครปฐมระหว่าง ปี 2556 ถึง ปี 2560 เป็นแบบเกาะกลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับแผนที่แสดงช่วงจำนวนครั้งของการเกิดคดียาเสพติดระหว่างปี 2556 ถึง ปี 2560 โดยผลการศึกษาแบบรูปทำให้เห็นภาพรวมของแบบรูปการเกิดคดียาเสพติดในพื้นที่ศึกษา

ผลการวิเคราะห์จุดความร้อนของการเกิดคดียาเสพติด ระหว่างปี 2556 ถึง ปี 2560 แสดงการเกิดคดียาเสพติดสูงบริเวณตำบลที่เป็นพื้นที่เศรษฐกิจ มีผู้คนหนาแน่นเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย โดยบริเวณที่เกิดคดียาเสพติดสูง (ค่า GiZscore มากกว่า 1.65) ได้แก่ ตำบลพระปฐมเจดีย์ ตำบลห้วยจระเข้ม ตำบลสนามจันทร์ และตำบลวังตะกั่ว สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์แบบรูปการเกิดคดียาเสพติด

ผลการศึกษาทิศทางการกระจายของคดียาเสพติดพบทิศทางการกระจายไปทางทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษาคครอบคลุมตำบลดอนยายหอม ตำบลถนนขาด ตำบลสนามจันทร์ ตำบลพระปฐมเจดีย์ ตำบลนครปฐม ตำบลห้วยจระเข้ม ตำบลลำพญา ตำบลพระประโทน ตำบลหนองปากโลง ตำบล

วังตะกั่ว ทั้งนี้ ผลการศึกษาทิศทางการกระจายของคดียาเสพติดช่วยให้เห็นภาพรวมและทิศทางของการเกิดคดียาเสพติด

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการเกิดคดียาเสพติดกับการใช้ที่ดิน พบบริเวณที่มีการจับกุมหรือพิกัดที่เกิดคดียาเสพติดสูงในแบบรูปการใช้ที่ดินประเภทพื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้างมากกว่าร้อยละ 90 โดยส่วนใหญ่เกิดในแบบรูปการใช้ที่ดินประเภทตัวเมืองและย่านการค้า

**การอภิปรายผล**

การวิจัยในครั้งนี้ประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่ของการเกิดคดียาเสพติด โดยศึกษาบริเวณพื้นที่ความรับผิดชอบของสถานีตำรวจนครปฐม ผลการศึกษาแสดงแบบรูป จุดความร้อน และพิกัดที่เกิดคดียาเสพติดบริเวณการใช้ที่ดินประเภทพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีผู้คนหนาแน่น แตกต่างจากบริเวณรอบนอกใจกลางพื้นที่ศึกษาที่มีใช้แหล่งชุมชน สอดคล้องกับข้อค้นพบจากงานวิจัยของ Tongngern *et al.* (2019) เรื่องปัจจัยที่ทำให้เกิดคดียาเสพติด ได้แก่ ปัจจัยเชิงประชากร และการแพร่ระบาดของยาเสพติดที่กระจายไปตามพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นและประชากรผู้เข้ายาเสพติดจากการศึกษาพบว่าลักษณะการจับกุมคดียาเสพติดเป็นได้ทั้งแบบด่านสกัดจับเป้าหมายและการจับกุมของสายตรวจที่ลาดตระเวน จึงทำให้สถิติที่เกิดการจับกุมส่วนใหญ่จำกัดตาม

พื้นที่ที่เป็นพื้นที่เฝ้าระวังหรือเส้นทางที่เฝ้าระวังป้องกันปราบปรามเป้าหมาย ประกอบกับข้อมูลดิบของคดียาเสพติดบางส่วนเป็นข้อมูลที่ไม่ชัดเจน เช่น ระบุเฉพาะตำบล หมู่ที่ หรือระบุเพียงชื่อถนน ซึ่งมีผลต่อความแม่นยำของการวิเคราะห์

### เอกสารอ้างอิง

- Abdulhafedh, A. (2017). A novel hybrid method for measuring the spatial autocorrelation of vehicular crashes: Combining Moran's index and Getis-Ord  $G_i^*$  statistic. *Journal of Civil Engineering*, 7(2), 208-221.
- Burachat, J. (2017). Analysis of current drug situation problem. *Journal of Research and Development Institute, Rajabhat Maha Sarakham University*, 4(2), 37-56.
- Dechsiri, B., & Robert, O. (2019). Drug trafficking estimation based on Geo-statistics. *Defence Technology Academic Journal*. 3(1), 52-61.
- In-ain, T. (2018). *Developing a spatial database for the application of GIS in drug offences analysis*. [https://www.agi.nu.ac.th/nred/Document/is-PDF/2561/geo\\_2561\\_018\\_FullPaper.pdf](https://www.agi.nu.ac.th/nred/Document/is-PDF/2561/geo_2561_018_FullPaper.pdf).
- Mungkung, W., & Wacharasin, C., & Deoisres, W. (2016). Family factors influencing substance abuse in male adolescents at a Juvenile Vocational Training Centre. *The Public Health Journal of Burapha University*. 11(2), 53-63.
- Office of Drugs and Crime. (2022). *World drug report 2022*. <https://www.unodc.org/>
- Office of the Narcotics Control Board. (2016). *Thailand narcotics control annual report*. [https://www.oncb.go.th/EN\\_ONCB/Pages/publications.aspx](https://www.oncb.go.th/EN_ONCB/Pages/publications.aspx)
- Office of the Narcotics Control Board. (2020). *Thailand narcotics control annual report*. [https://www.oncb.go.th/EN\\_ONCB/Pages/publications.aspx](https://www.oncb.go.th/EN_ONCB/Pages/publications.aspx)
- Srithamrong, T. (2016). *Crime risk area assessment based geo-spatial statics* [Master's thesis, Silpakorn University]. Silpakorn University.
- Toju, B., & Okeke, H., & Christain, C. (2014). Crime mapping in Nigeria using GIS. *Journal of Geographic Information System*. 6(5), 453-466.
- Tongngern, S., & Supalaknari, S., & Choosakoonkriang, S. (2019). Analysis of demographic data of the offenders and case data of narcotics cases in Ban Pong district in 2015. *Journal of Social Sciences*, 9(1), 123-133.
- Wongsa, S., & Bualah, K. (2017). Analysis of spatial drug epidemic situation and evaluation of the implementation of drug suppression and prevention strategy in 2016 by the office of the narcotics control board region 6. *The National Conference 2017 Continuation Report of the 2nd Conference: Social Development and Administration Strategy*. <https://www.academia.edu/>
- Yiampisan, M., & Srivanit, M. (2010). Using the Kernel density estimation surface for criminal pattern: A case study in Phranakhon District. *Journal of Architectural/ Planning Research and Studies*, 7(1), 87-102.

# การสังเคราะห์อย่างรวดเร็วของคลาสส่วนน้อยโดยใช้เครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิดสำหรับปัญหาการจำแนกประเภทข้อมูลที่ไม่สมดุล

## Fast synthesis of the minority class using generative adversarial networks for imbalanced data classification problems

วฤษาย์ ร่มสายหยุด<sup>1\*</sup>  
Walisa Romsaiyud<sup>1\*</sup>

Received: 21 April 2023 ; Revised: 28 June 2023 ; Accepted: 17 July 2023

### บทคัดย่อ

อัลกอริทึมเครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิด (แแกน) คือ คลาสของเครือข่ายประสาทแบบเชิงลึก ที่สามารถสร้างตัวอย่างข้อมูลในสถานการณ์ข้อมูลที่ไม่สมดุลได้ ซึ่งแแกนประกอบด้วย 2 ส่วนที่เกิดขึ้นพร้อมกัน ได้แก่ ส่วนการสร้างแบบจำลองเชิงกำเนิด และส่วนแยกแยะ โดยส่วนการสร้างแบบจำลองเชิงกำเนิดจะสุ่มข้อมูลจากชุดข้อมูลฝึกสอน และส่วนแยกแยะจะดำเนินการแยกแยะข้อมูลจากข้อมูลตัวอย่างที่สร้างขึ้นและจากข้อมูลจริง การวิจัยนี้ศึกษาการถ่ายโอนข้อมูลที่ทับซ้อนกันระหว่างการสร้างแบบจำลองบนข้อมูลแบบสตรีมมิงในเวลาเรียลไทม์ โดยนำเสนอวิธีการสร้างส่วนขยายใหม่บนแแกนที่เรียกว่า แแกนทูที (GANs2T) บนพื้นฐานของอนุกรมเวลาแบบตาราง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองและระยะเวลา ซึ่งใช้วิธีการจับข้อมูลโครงสร้างของค่าความแปรปรวนร่วมกันของข้อมูลจากคลัสกลุ่มน้อย และสร้างข้อมูลสังเคราะห์จากความน่าจะเป็น ด้วยการใช้อัลกอริทึมนี้เรียนรู้ข้อมูลบนข้อมูลแบบสตรีมมิง การวัดประสิทธิภาพโดยดำเนินการกับวิธีการเรียนรู้ของข้อมูลที่ไม่สมดุล ทั้งจากใบนรีคลาส และมัลติคลาสจากชุดข้อมูลมาตรฐานจำนวนหลายชุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่า GANs2T ร่วมกับอัลกอริทึม XGBoost (GANs2T+XGBoost) มีค่าความถูกต้อง = 84.93%, ค่าความแม่นยำ = 90.48%, ค่าความครบถ้วน = 88.13%, ค่าประสิทธิภาพโดยรวม = 89.53% และค่าเฉลี่ยของเวลาในการฝึกสอนแบบจำลองเท่ากับ 60.20 วินาที

**คำสำคัญ:** แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง, ข้อมูลที่ไม่สมดุล, อัลกอริทึมเครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิด, วิธีการเพิ่มข้อมูลสังเคราะห์, คลาสส่วนน้อย

### Abstract

Generative Adversarial Networks (GANs) are a class of deep neural networks that can be used to generate data examples in imbalanced data situations. GANs consist of two simultaneously trained modes: generative and discriminative modeling. The generative model generates new data as random noise from the training dataset, and the discriminator model distinguishes examples from generated new data and real data. We studied the overlapping data transfer during a generating model in distributed real-time data streaming. This paper proposes a new extension method on GANs called GANs2T based on tabular time series to improve the model performance and execution time.

We use this technique to capture the covariance structure of the minority class and to generate synthetic samples along the probability contours for learning algorithms on streaming data. The experimental testing is performed on binary-class and multi-class imbalanced learning methods from several benchmark datasets. The results validate GANs2T combine with the XGBoost (GANs2T+XGBoost) algorithm for the overall accuracy = 84.93%, precision = 90.48%, recall = 88.13%, F1-score = 89.93 and average training time for training model = 60.20 seconds.

**Keywords:** Machine learning model, imbalanced data, generative adversarial networks algorithm, synthetic data augmentation approach, minority class

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

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

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



## บทนำ

การเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning: ML) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ จำนวนมาก อาทิ การเรียนรู้จากรูปแบบ (pattern recognition) การวิเคราะห์เชิงทำนาย (predictive analytics) หรือการทำงานแบบอัตโนมัติ (automation) ต่างๆ (Theobald, 2021) เช่น การเรียนรู้จากรูปแบบการฉ้อโกงเงินจากบัญชีต่างๆ ของลูกค้า การวิเคราะห์เชิงทำนายการโจมตีเครื่องเซิร์ฟเวอร์ (server) จากผู้ไม่ประสงค์ดี การทำงานแบบอัตโนมัติสำหรับการทำนายผลการออกกลางคัน (dropout) ของนักศึกษา หรือการวิเคราะห์ผลการตรวจหามะเร็งจากภาพการตรวจคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic resonance imaging: MRI) เป็นต้น ซึ่งการดำเนินการต่างๆ เหล่านี้อาศัยหลักการจำแนกข้อมูล (data classification) ของการเรียนรู้ของเครื่องแบบมีผู้สอน (supervised machine learning) โดยจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงมากยิ่งขึ้น ก็เมื่อข้อมูลฝึกสอน (training data) สำหรับสร้างแบบจำลอง (model) เป็นข้อมูลที่มีความสมดุลกันของข้อมูลภายในคลาสผลลัพธ์ (result class) ตัวอย่างเช่น การทำนายการออกกลางคัน (dropout) ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 1,000 คน โดยจะต้องมีข้อมูลการออกกลางคัน และไม่ออกกลางคันจำนวนเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน เช่น สัดส่วน 500:500 (ซึ่งในความเป็นจริง นักศึกษาที่ออกกลางคันมีจำนวนน้อย) หรือในกรณีของภาพจากการทำ MRI สำหรับการตรวจหามะเร็งปอดในระยะแรกจะต้องมีภาพที่เป็นปอดปกติ และภาพที่มีเซลล์มะเร็งอย่างละเท่ากัน (ซึ่งในความเป็นจริงภาพเซลล์มะเร็งอาจจะมี 1 ภาพจากทั้งหมด 50,000 ภาพ) จะเห็นได้ว่าในความเป็นจริงเป็นไปได้ค่อนข้างน้อย เนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่เป็นข้อมูลที่ไม่สมดุล (imbalanced data) ส่งผลให้แบบจำลองการวิเคราะห์เชิงทำนายผลมีประสิทธิภาพลดลง หรือการทำนายผลมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนสูง

จากผลงานวิจัยจำนวนมาก และการศึกษาค้นคว้าของหน่วยงานวิจัยต่างๆ ได้ให้ความสำคัญกับการแก้ปัญหาการจำแนกประเภทที่ไม่สมดุล (imbalanced classification problems) เช่น งานวิจัยของ Alberto (2018) นำเสนอวิธีการสุ่มตัวอย่าง (sampling method) ทั้งการสุ่มตัวอย่างแบบน้อย (random under-sampling) และการสุ่มตัวอย่างแบบมาก (random over-sampling) โดยการสุ่มตัวอย่างแบบน้อยจะนำข้อมูลจากคลาสส่วนใหญ่ (majority class) มาลดขนาดลงให้มีขนาดเท่ากับคลาสส่วนน้อย (minority class) ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลบางส่วนหายไป และการสุ่มตัวอย่างแบบมากจะทำการเพิ่มขนาดของคลาสส่วนน้อย ให้มีค่าเท่ากับคลาสส่วนใหญ่ ซึ่งจะส่งผลให้แบบจำลองเกิดการฟิตเกินไป (overfit) กับข้อมูลฝึกสอน (training data) เมื่อใช้งานจริงทำนายผลผิดพลาด

จากปัญหาดังกล่าวต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิคที่เรียกว่า “SMOTE” หรือ Synthetic Minority Oversampling TEchnique ซึ่งถูกพัฒนาโดย Chawla *et al* (2002) ได้รับความนิยมอย่างมากในการแก้ปัญหาการไม่สมดุลของข้อมูล โดยใช้หลักการของอัลกอริทึม เค-เพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (k-Nearest Neighbors) โดยนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณจากคลาสส่วนน้อยที่ใกล้กันและสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ขึ้นมาให้มีสัดส่วนเท่ากับคลาสส่วนใหญ่ แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดในกรณีที่เมื่อข้อมูลมีจำนวนน้อยมากอาจจะทำให้ประสิทธิภาพแบบจำลองต่ำ เช่น มีข้อมูล 1 รายการ หรือสัดส่วน 1000000:1 ตัวอย่างกรณีลูกค้าธนาคารที่ปกติเป็นลูกค้าที่ไม่ฉ้อโกง แต่อาจจะมีบางคนหรือส่วนน้อย (He & Ma, 2013) เช่น 1 คนที่ฉ้อโกง หรือกรณีข้อมูลภาพจากฟิล์มเอ็กซเรย์ที่ปกติเป็นภาพปอดแบบปกติ แต่มีภาพมะเร็งที่ปอดในตำแหน่งใหม่ (ไม่เคยมีมาก่อน) เพียง 1 ภาพ นอกจากนี้มีการนำหลักการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning: DL) มาประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ให้เหมือนกับข้อมูลเดิม เช่น อัลกอริทึมเครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิด หรือเรียกว่า แจน (generative adversarial networks: GANs) (Jakub & Vladimir, 2019) ที่อาศัยหลักการทำงานของเครือข่ายประสาทเทียม (neural network) ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก โดยส่วนที่ 1 ทำหน้าที่สร้างข้อมูล หรือสังเคราะห์ข้อมูล เรียกว่า ผู้สร้าง (generator) ซึ่งดำเนินการสร้างข้อมูลใหม่จากการเสริมข้อมูล (data augmentation) หรือการเพิ่มข้อมูลขึ้นมา และส่วนที่ 2 ทำหน้าที่แยกแยะข้อมูลใหม่ เรียกว่า ผู้แยกแยะ (discriminator) ซึ่งดำเนินการแยกแยะข้อมูลจริงกับข้อมูลที่สร้างขึ้นใหม่ ตัวอย่างการประยุกต์อัลกอริทึม GANs เช่นงานด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (computer vision) สำหรับแยกแยะรูปภาพต่างๆ หรือการสร้างภาพใบหน้าด้วยปัญญาประดิษฐ์

ดังนั้น งานวิจัยนี้ ขอเสนอการสังเคราะห์คลาสส่วนน้อยอย่างรวดเร็วโดยใช้เครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิดสำหรับปัญหาการจำแนกประเภทข้อมูลที่ไม่สมดุล ตามหลักการเรียนรู้ของเครื่องแบบมีผู้สอน (supervised machine learning) ที่ข้อมูลมีป้ายกำกับ (labeled data) และสามารถทำได้ทั้งกับข้อมูลที่มีคลาสผลลัพธ์แบบไบนารีคลาสหรือ 2 คลาส (binary-class) และมัลติคลาส (multi-class) หรือหลายคลาส บนข้อมูลแบบต่อเนื่องหรือแบบสตรีมมิง (streaming data) ในเวลาเรียลไทม์ได้ และจากนั้นประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง ในสภาพแวดล้อมจริง

## ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในส่วนนี้ขออธิบายทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จำนวน 5 ประเด็น ได้แก่ 1) ชุดข้อมูลและผลลัพธ์ 2) ข้อมูลไม่สมดุล 3) วิธีการสุ่มตัวอย่าง 4) อัลกอริทึม

เครื่องช่วยฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิด และ 5) ข้อมูลแบบสตรีมมิง รายละเอียดดังนี้

1. ชุดข้อมูลและผลลัพธ์ของคลาส (dataset and class result) โดยชุดข้อมูลคือข้อมูลต่างๆ ที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง เช่น ชุดข้อมูลนักศึกษา ชุดข้อมูลภาพ X-ray ปอด หรือชุดข้อมูลเฟลวิติโอการสอบออนไลน์ เป็นต้น และ

ผลลัพธ์ของคลาส เป็นการนำชุดข้อมูลตามคุณลักษณะของข้อมูล และค่าของข้อมูล พร้อมทั้งกำหนดคลาสผลลัพธ์ หรือข้อมูลที่มีป้ายกำกับ (labeled data) สำหรับบ่งบอกผลลัพธ์ของข้อมูลตามคุณลักษณะ และเพื่อให้อัลกอริทึมในกลุ่มการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning) สามารถเรียนรู้และเข้าใจรูปแบบของข้อมูลจากคลาสผลลัพธ์ ดัง Table 1

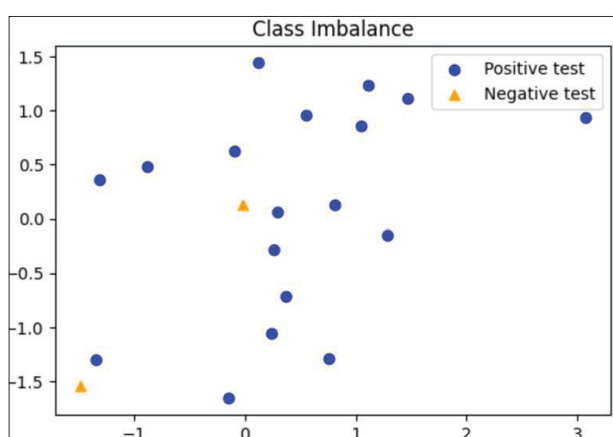
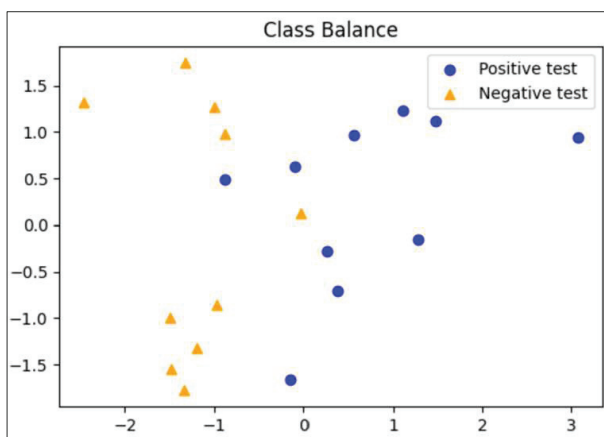
**Table 1** The example of Covid-19 dataset and result class

cough	Fever	runny nose	...	result class
Y	39	Y		1
N	37	N		0
Y	37	N		0
N	36	N		0
N	38	N		0

จาก Table 1 ตัวอย่างของชุดข้อมูลโควิด-19 และคลาสผลลัพธ์ ซึ่งประกอบด้วยคุณลักษณะของข้อมูลจำนวนหลายคุณลักษณะ (คอลัมน์) ได้แก่ ไอ (cough) เป็นไข้ (fever) น้ำมูกไหล (runny nose) รวมถึงคุณลักษณะอื่นๆ และคลาสผลลัพธ์ (result class) ซึ่งเป็นคุณลักษณะสุดท้ายของชุดข้อมูลนี้ ที่ประกอบด้วยค่า 2 ค่าคือ 0 หรือ 1 โดยที่ 0 หมายถึงมีผลไม่ได้ติดเชื้อโควิด-19 หรือผลตรวจเป็นลบ (negative test) และ 1 หมายถึงมีผลติดเชื้อโควิด-19 หรือผลตรวจเป็นบวก (positive test) จากความหมายของรายการที่ 1 หรือในแถวที่ 1 ที่คุณลักษณะข้อมูลไอ มีค่าเป็น Y หมายถึง มีการไอ, คุณลักษณะเป็นไข้ มีค่าเป็น 39 หมายถึง ตัวร้อนหรือมีไข้สูง, คุณลักษณะข้อมูลน้ำมูกไหล มีค่าเป็น Y หมายถึง มีน้ำมูกไหล และจากการเก็บข้อมูลผลลัพธ์ของคลาสการติดเชื้อโควิด-19 มีค่าเป็น 1 แสดงว่ามีผลติดเชื้อโควิด ซึ่งที่ผลลัพธ์

ของคลาสการติดเชื้อโควิดมีค่าเป็น 0 หรือ 1 จะเรียกคลาสแบบนี้ว่าไบนารีคลาส (binary-class) หรือคลาสที่มีค่า 2 ค่าภายในคลาสผลลัพธ์ เช่น มีค่าเป็น 0 หรือ 1, T หรือ F และ Y หรือ N เป็นต้น และสำหรับคลาสที่มีค่าภายในคลาสผลลัพธ์มากกว่า 2 ค่า เรียกว่ามัลติคลาส (multi-class) เช่น 0 หรือ 1 หรือ 2 และ positive หรือ negative หรือ neutral ซึ่งมีค่า 3 ค่าภายในคลาส เป็นต้น

2. ข้อมูลไม่สมดุล (imbalanced data) หมายถึงชุดข้อมูลที่มีคลาสผลลัพธ์ หรือบางครั้งเรียกว่าผลลัพธ์เป้าหมาย (target result) มีการกระจายของข้อมูลภายในคลาสแบบไม่เท่ากัน กล่าวคือมีคลาสใดคลาสหนึ่งมีจำนวนข้อมูลที่สูงมากกว่าอีกคลาสหนึ่งเป็นจำนวนมาก (Weiss, 2013) ดัง Figure 1



**Figure 1** The balanced data and imbalanced data from 20 sample data

จาก Figure 1 แสดงข้อมูลแบบสมดุล และข้อมูลแบบไม่สมดุล ของชุดข้อมูลผู้ป่วยโควิด-19 และคลาสผลลัพท์ ซึ่งมีคลาส 2 คลาสได้แก่ คลาสผลตรวจเป็นลบ (negative test) และคลาสผลตรวจเป็นบวก (positive test) จาก Figure 1a. แสดงจำนวนคลาสผลตรวจเป็นลบ (เป็นรูปสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม) มีจำนวน 10 รายการ และคลาสผลตรวจเป็นบวก (เป็นรูปวงกลม และสี่เหลี่ยม) มีจำนวน 10 รายการ เท่ากันทั้ง 2 คลาส (จากข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด 20 รายการ) กล่าวคือมีจำนวนผู้ป่วยที่เป็นโควิด-19 และไม่เป็นโควิด-19 มีจำนวนเท่ากัน หรือเรียกว่าข้อมูลมีความสมดุลกัน สำหรับ Figure 1b. แสดงข้อมูลแบบไม่สมดุล ของคลาสการติดเชื้อโควิด ที่มีคลาสผลตรวจเป็นบวก มีจำนวน 18 รายการ และคลาสผลตรวจเป็นลบ มีจำนวน 2 คน ส่งผลให้ข้อมูลเกิดความไม่สมดุลของข้อมูลทั้ง 2 คลาส หรือที่เรียกว่าเกิดปัญหาข้อมูลแบบไม่สมดุล (imbalanced data problem)

ในการสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องให้มีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านความถูกต้อง (accuracy) ความน่าเชื่อถือ (reliability) และสามารถนำไปใช้งาน (implementation) ได้จริงนั้น กระบวนการเตรียมข้อมูล (data preparation) ซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญของกระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning process)

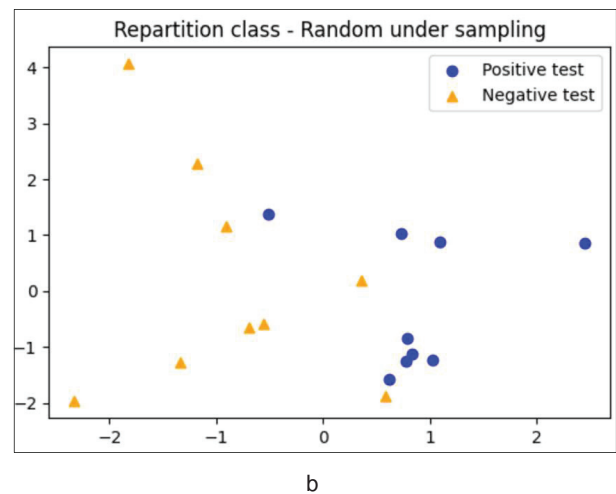
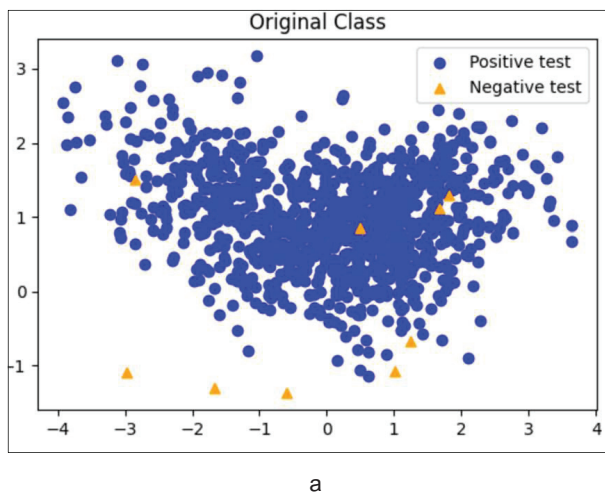


Figure 2 Random under-sampling

จาก Figure 2a. แสดงข้อมูลที่คลาสผลตรวจเป็นบวก (positive test) เป็นคลาสส่วนใหญ่ และคลาสผลตรวจเป็นลบ (negative test) เป็นคลาสส่วนน้อยที่ข้อมูลมีสัดส่วนความไม่สมดุลของคลาสสูง และจาก Figure 2b. ดำเนินการลบข้อมูลจากคลาสส่วนใหญ่ หรือ คลาสผลตรวจเป็นบวกของชุดข้อมูลฝึกสอน ให้มีจำนวนคลาสเท่ากับคลาสส่วนน้อย หรือคลาสผลตรวจเป็นลบ ซึ่งส่งผลให้ทั้ง 2 คลาสมีจำนวนคลาสผลลัพท์เท่ากัน

ที่จะต้องจัดเตรียมข้อมูลให้พร้อมในการสร้างแบบจำลอง โดยวิธีหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือการทำให้อข้อมูลมีความสมดุล เพื่อให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้จากรูปแบบข้อมูลจากข้อมูลในแต่ละคลาส และคุณลักษณะข้อมูลที่เท่ากัน ไม่เอนเอียงไปทางข้อมูลคลาสส่วนใหญ่ ซึ่งจะทำให้แบบจำลองไม่มีประสิทธิภาพกับข้อมูลคลาสส่วนน้อย หรือทำนายข้อมูลใหม่ที่เป็นข้อมูลส่วนน้อยไม่ได้ และมีความคลาดเคลื่อนสูง ส่งผลให้แบบจำลองไม่มีความน่าเชื่อถือ และไม่สามารถใช้งานจริงได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดการข้อมูลที่ไม่สมดุล เพื่อให้เกิดความสมดุลของข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง

3. วิธีการสุ่มตัวอย่าง (sampling method) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการแก้ปัญหาข้อมูลไม่สมดุล ซึ่งประกอบด้วย 2 วิธีหลัก (Japkowicz & Stephen, 2002) ได้แก่ การสุ่มตัวอย่างแบบน้อย (random under-sampling) และการสุ่มตัวอย่างแบบมาก (random over-sampling)

3.1 การสุ่มตัวอย่างแบบน้อย (random under-sampling) เป็นวิธีการสุ่มเลือกตัวอย่างจากข้อมูลของคลาสส่วนใหญ่ โดยทำการลบข้อมูลจากคลาสส่วนใหญ่ออกจากชุดข้อมูลฝึกสอน (training dataset) เพื่อให้คลาสส่วนใหญ่มีขนาดเท่ากับคลาสส่วนน้อย ดัง Figure 2

ตัวอย่างวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบน้อย เช่น Tomek Links เป็นวิธีการหาคลาสที่ตรงกันข้ามในบริเวณใกล้เคียง และลบคลาสที่ตรงกันข้าม หรือคลาสส่วนใหญ่ออกจากงานวิจัยของ Jonathan *et al.* (2020) ประยุกต์ Tomek Links สำหรับทำนายผู้ใช้ที่ขายสินค้าสำหรับผู้หญิงแบบรายวัน ของข้อมูลจากเหมืองข้อมูลที่มีความไม่สมดุลของข้อมูล และงานวิจัยของ Sridhar & Sanagavarapu (2021) และ Japkowicz and Stephen (2002) พบว่าวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบน้อยเป็นการ

สร้างปัญหาอย่างมาก เนื่องจากเกิดการสูญหายของข้อมูล ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูล เกิดขึ้นกับข้อมูลของคลาสส่วนน้อย ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอต่อการเรียนรู้จากรูปแบบของข้อมูล ส่งผลให้แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อทำงานในสภาพแวดล้อมการทำงานจริง

3.2 การสุ่มตัวอย่างแบบมาก (random over-sampling) เป็นการสุ่มเลือกตัวอย่างจากคลาสส่วนน้อย โดยการเสริมข้อมูล หรือเพิ่มข้อมูลไปยังชุดข้อมูลฝึกสอน เพื่อให้มีขนาดเท่ากับข้อมูลของคลาสส่วนใหญ่ ดัง Figure 3

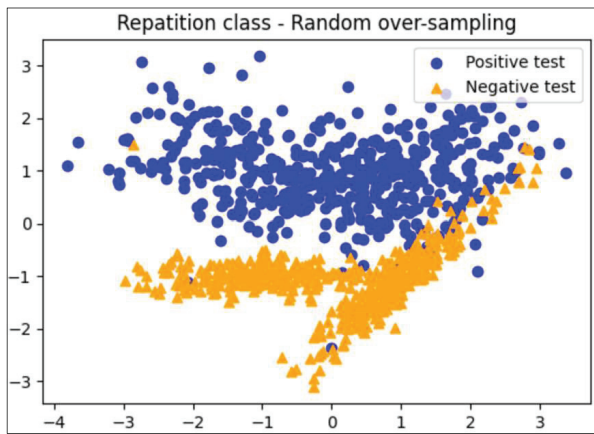


Figure 3 Random over-sampling

จาก Figure 3 การสุ่มตัวอย่างแบบมากดำเนินการโดยสร้างข้อมูลให้สมดุลด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบมากจากคลาสผลตรวจเป็นลบ (negative test) ซึ่งเป็นคลาสส่วนน้อย จากนั้นทำการเสริมข้อมูล หรือเพิ่มข้อมูลไปยังชุดข้อมูลฝึกสอนของคลาสส่วนน้อย ให้มีจำนวนคลาสเท่ากับคลาสส่วนใหญ่ ซึ่งส่งผลให้ทั้ง 2 คลาส มีจำนวนคลาสผลลัพธ์เท่ากัน

ตัวอย่างวิธีการการสุ่มตัวอย่างแบบมาก เช่น SMOTE มาจากชื่อเต็ม Synthetic Minority Oversampling Technique เป็นวิธีการสังเคราะห์ข้อมูลสำหรับคลาสกลุ่มน้อยในบริเวณใกล้เคียงกับข้อมูลที่มีอยู่แล้ว โดยใช้หลักการของอัลกอริทึม K-Nearest Neighbors (k-NN) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมสำหรับจำแนกข้อมูล โดยเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลใหม่จากข้อมูลเดิมที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันมากที่สุด จำนวน k ตัว หรือกล่าวได้ว่าการกำหนดค่า k คือการกำหนดว่าจะวิเคราะห์ข้อมูลที่ใกล้ข้อมูลที่ต้องการจำแนกที่สุดจำนวนกี่ข้อมูล (พิจารณาจากค่า k เช่น k = 1, 2, 3..., n) จากนั้นทำการหาระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean distance) สำหรับหาค่าระยะทางระหว่างจุดสองจุดในแนวเส้นตรง เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลของคลาสส่วนน้อยให้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในบริเวณระหว่างระยะทางของจุด 2 จุด ดังสมการที่ 1 (Maureen et al., 2016)

$$X_{new} = X_i + (\hat{X} - X_i) * \delta \tag{1}$$

จากสมการที่ 1 โดย  $X_{new}$  คือ ตำแหน่งของข้อมูลจากคลาสส่วนน้อยที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ ระหว่างตำแหน่งของ  $X_i$  และ  $\hat{X}$  ของคลาสส่วนน้อย และ  $\delta$  เป็นค่าการสุ่มตัวเลขระหว่าง [0,1] ดัง Figure 4

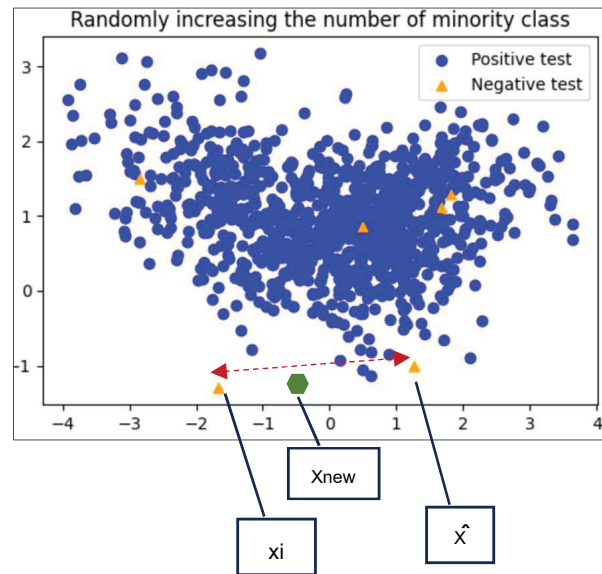


Figure 4 The synthetic data with SMOTE method

จาก Figure 4 ข้อมูลของคลาสส่วนน้อย หรือคลาสผลตรวจเป็นลบ (negative test) ที่แสดงด้วยรูปสามเหลี่ยมสีส้ม จะทำการสังเคราะห์ข้อมูลขึ้นมาใหม่ ตามจำนวนสัดส่วนของคลาสส่วนใหญ่ต่อคลาสส่วนน้อย เพื่อให้เกิดความสมดุลของคลาส ดังนั้นจะมีการสังเคราะห์คลาสส่วนน้อยเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้ 1) กำหนดหาจำนวนตำแหน่งทั้งหมดที่จะสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ด้วยอัลกอริทึม k-NN เพื่อหาจำนวนค่า k ตำแหน่งในข้อมูลคลาสส่วนน้อย, 2) เลือกตำแหน่ง  $X_i$  และตำแหน่ง  $\hat{X}$  จากการกระจายข้อมูลในคลาสกลุ่มน้อย, 3) คำนวณหาระยะทางระหว่างตำแหน่ง  $X_i$  และ  $\hat{X}$  ด้วยวิธีการหาระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean distance) เพื่อหาระยะทางระหว่างตำแหน่งของจุด 2 จุดในแนวเส้นตรงที่ใกล้ที่สุด (ตามแนวเส้นปะสีแดง), 4) สร้างเวกเตอร์คุณลักษณะ (feature vector) เพื่อเก็บค่าข้อมูลและตำแหน่งที่สร้าง, 5) นำข้อมูลของ 2 ตำแหน่งมาลบกัน ( $\hat{X} - X_i$ ) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากค่าผลต่างของระยะห่างจะถูกนำมาคูณด้วยตัวเลขสุ่ม  $\delta$  ซึ่งมีค่าระหว่าง (0,1) เพื่อให้ได้ตำแหน่งข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ ( $X_{new}$ ) แสดงด้วยรูปหลายเหลี่ยมสีเขียว ที่อยู่ห่างจากข้อมูลในตำแหน่งที่  $X_i$  และ 6) การระบุตำแหน่งของข้อมูลใหม่ที่ทำกรสังเคราะห์ขึ้นมาคือค่า  $X_{new}$  ระหว่างตำแหน่ง  $X_i$  และ  $\hat{X}$  ได้อย่างถูกต้อง



จากงานวิจัยของ วิทยา ปัญญา และ วุฒยา รมสายหยุด (2565) ประยุกต์ใช้วิธีการ SMOTE ในการแก้ไขปัญหาข้อมูลที่ไม่สมดุลสำหรับการพยากรณ์การหลบหนีของผู้ขอปล่อยชั่วคราวในคดีอาชญากรรม จากชุดข้อมูลของศาลจังหวัดพะเยา หรืองานวิจัยของ Bao and Yang (2023) ดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพของ SMOTE ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในการสังเคราะห์ข้อมูลของเครือข่ายประสาทเทียม (neural network) และนอกจากนี้มีงานวิจัยจำนวนมากดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ SMOTE และ ADASYN เช่น งานวิจัยของ พุทธิพร ธนธรรมเมธี และเยาวเรศ ศิริสถิตย์กุล (2561) พัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ โดยข้อมูลกลุ่มน้อย คือข้อมูลที่สนใจ และการจำแนกความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้สูงกว่าข้อมูลกลุ่มมาก ซึ่งข้อมูลชุดนี้มีจำนวนรวมของคลาส 0 และคลาส 1 สูงกว่าคลาส 2 และคลาส 3 เป็นจำนวนมาก จึงเกิดความไม่สมดุลของข้อมูล ส่งผลให้การจำแนกข้อมูลผิดพลาดได้ การปรับความไม่สมดุลของข้อมูลทั้งแบบ 2 คลาส และแบบ 3 คลาส มีผลการดำเนินงานทำให้แบบจำลองนี้สามารถนำมาใช้ในแผนส่งเสริมสุขภาพเพื่อวินิจฉัยและบำบัดผู้สูงอายุ นอกจากวิธีของ SMOTE แล้วยังมีวิธีอื่นที่พัฒนาต่อยอดจาก SMOTE เช่น SMOTENC, SMOTEEN, ADASYN, BorderlineSMOTE, KMeansSMOTE หรือ SVM SMOTE เป็นต้น

4. อัลกอริทึมเครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิด (generative adversarial networks: GANs) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เครือข่ายแค้น (Brownlee, 2019) เป็นเทคนิคที่สร้างข้อมูลใหม่ให้เหมือนข้อมูลจริง โดยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนผู้สร้าง (generator) และส่วนผู้แยกแยะ (discriminator) ดัง Figure 5

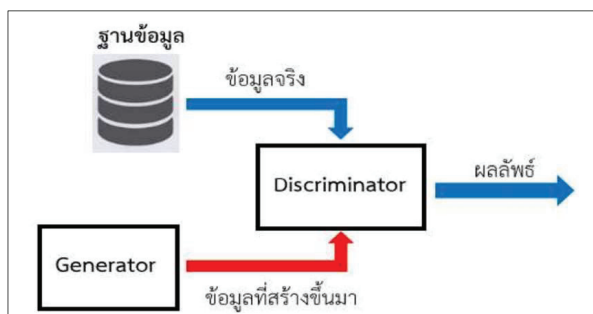


Figure 5 Generative Adversarial Networks: GANs (ภิรมย์ คงเลิศ, 2565)

จาก Figure 5 อัลกอริทึมเครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิด (generative adversarial networks: GANs) หรือเครือข่ายแค้น เป็นอัลกอริทึมที่ดำเนินการหารูปแบบในการเรียนรู้ด้วยตัวเอง โดยแบบจำลองจะทำการสร้างผลลัพธ์จากข้อมูลนำเข้า (input data) และได้ผลลัพธ์ใหม่ จากภาพเริ่มต้นจากการนำชุดข้อมูลจากฐานข้อมูล เช่น ข้อมูลไฟล์ภาพ ซึ่งเป็นข้อมูลจริงจากฐานข้อมูล และส่วนผู้สร้าง (generator) ทำหน้าที่สร้างข้อมูลใหม่ และนำข้อมูลที่สร้างขึ้นมา เข้าสู่ส่วนผู้แยกแยะ (discriminator) ที่ทำหน้าที่ตัดสินหรือแยกแยะว่าข้อมูลที่รับเข้ามานั้น เป็นข้อมูลจริง (จากฐานข้อมูล) หรือข้อมูลที่สร้างใหม่ขึ้นมา (จากส่วนผู้สร้าง) โดยที่ส่วนผู้สร้างจะต้องพยายามสร้างข้อมูลให้เหมือนกับข้อมูลจริงมากที่สุด ส่วนผู้แยกแยะต้องแยกแยะว่าข้อมูลที่สร้างขึ้นมาใหม่นี้เป็นข้อมูลจริง ๆ ทำให้ส่วนผู้แยกแยะจะต้องปรับความสามารถของตนเองเพื่อไม่ให้โดนส่วนผู้สร้างหลอก โดยที่ทั้งสองส่วนนี้จะต้องแข่งขันกันเพื่อปรับปรุงการทำงานของตัวเอง เพื่อสร้างข้อมูลใหม่ที่เหมือนข้อมูลจริง

สมการที่ 2 สมการของเครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิด หรือเครือข่ายแค้น (Goodfellow et al., 2020)

$$G^{\min D \max V(D,G)} = \sum_{x \sim p_{data}(x)} [\log D(x)] + \sum_{z \sim p_z(z)} [\log(1 - D(G(z)))] \quad (2)$$

โดยที่

- $G^{\min D \max V(D,G)}$  คือ การกำหนดเป้าหมาย เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการทำงานของอัลกอริทึม จะต้องดำเนินการให้ส่วนผู้สร้าง (generator) มีค่าน้อย (minimum) หรือไม่เก่งในการสร้างข้อมูลใหม่ และส่วนผู้แยกแยะ (discriminator) มีค่าเป็นสูงสุด (maximum) มีความเก่งในการแยกแยะข้อมูล
- $V$  คือ ฟังก์ชันมูลค่า (value function) ที่มูลค่าของ action หรือ state ที่มีค่าสูง แสดงว่าทำ action นั้น แล้วจะได้ reward ที่สูงตามมา โดยคำนวณหาจาก  $(D, G)$
- $\sum_{x \sim p_{data}(x)} [\log D(x)]$  คือฟังก์ชันการทำงานของส่วนผู้สร้าง ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างภาพขึ้นมาใหม่ ให้มีค่าความเป็นไปได้หรือ  $D(x)$  สูงสุดที่ทำให้ผู้แยกแยะไม่สามารถจำแนกได้ (ถ้า  $D(x)=1$  หมายความว่าผู้แยกแยะบอกว่า  $x$  เป็นรูปจริง หรือ  $D(x)=0$  หมายความว่าผู้แยกแยะบอกว่า  $x$  นั้นมาจากส่วนผู้สร้าง)

- P data(X) คือการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวอย่างข้อมูล
- $\sum_x \sim p_z(z) [\log(1 - D(G(z)))]$  คือฟังก์ชันการทำงานของส่วนแยกแยะ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกภาพที่สร้างภาพขึ้นมาใหม่ด้วยค่า  $D(G(z))$  กับภาพจริง
- P z(Z) คือการกระจายความน่าจะเป็นของการรบกวน (noise)

จากสมการที่ 2 โดยที่ G คือส่วนผู้สร้าง และ D คือส่วนผู้แยกแยะ ซึ่งจะมีการเรียนรู้จำและแยกแยะรูปภาพจำนวนมาก โดยจะดำเนินการทำงานซ้ำๆ เพื่อฝึกสอนแบบจำลอง ซึ่งในแต่ละรอบการทำงานอาจเกิดการสูญเสีย (loss) หรือทำนายไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับอัลกอริทึมให้เหมาะสมเพื่อลดค่าการสูญเสีย และเพื่อให้ผู้แยกแยะสามารถจำแนกสิ่งปลอมได้อย่างถูกต้อง

งานวิจัยของ Maniyar, *et al* (2022) ทำการสังเคราะห์ภาพใบหน้าของบุคคลจากข้อมูลเสียง โดยทั้งภาพและเสียงเป็นแหล่งข้อมูลหลักจากอัลกอริทึม GANs เพื่อสร้างส่วนผู้สร้าง และส่วนผู้แยกแยะ และงานวิจัยของ Strelcenia & Prakoonwit (2022) นำแบบจำลอง GANs มาใช้สร้างข้อมูลสังเคราะห์เพื่อช่วยในการจัดประเภทกิจกรรมต่างๆ ของการนั่งรถจักรยานยนต์สำหรับหากิจกรรมที่แท้จริงที่จะเป็นการนั่งรถ

5. ข้อมูลแบบสตรีมมิง (data streaming) คือข้อมูลถูกสร้างขึ้นอย่างต่อเนื่องจากแหล่งข้อมูลจำนวนมาก ตามลำดับอนุกรมเวลา  $t$  และสามารถแสดงเป็น  $S_t = \{d_t, d_{t+1}, \dots, d_t\}$  ตามลำดับเวลาที่ต่อเนื่องกัน ซึ่ง  $S_t$  คือข้อมูลแบบสตรีมมิงที่เข้ามาแบบต่อเนื่อง และมีลำดับ (sequence) ณ เวลา  $t$  ที่  $t = 1, 2, 3, \dots, n$  และ  $d$  คือขนาดของข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา ตัวอย่างแอปพลิเคชันที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลข้อมูลแบบสตรีมมิง เช่น เครื่องจักรที่ทำงานแบบอัตโนมัติในฟาร์มจะส่งข้อมูลไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ตลอดเวลา เพื่อแสดงสถานะในการทำงาน การเคลื่อนที่ของโดรนจะมีการระบุตำแหน่งและส่งภาพถ่ายจากโดรนกลับมายังหน่วยควบคุมกลาง หรือระบบนำทางในรถยนต์ ที่ใช้อุปกรณ์จีพีเอส (GPS) สามารถกำหนดตำแหน่งละติจูด (latitude) และลองจิจูด (longitude) ของ

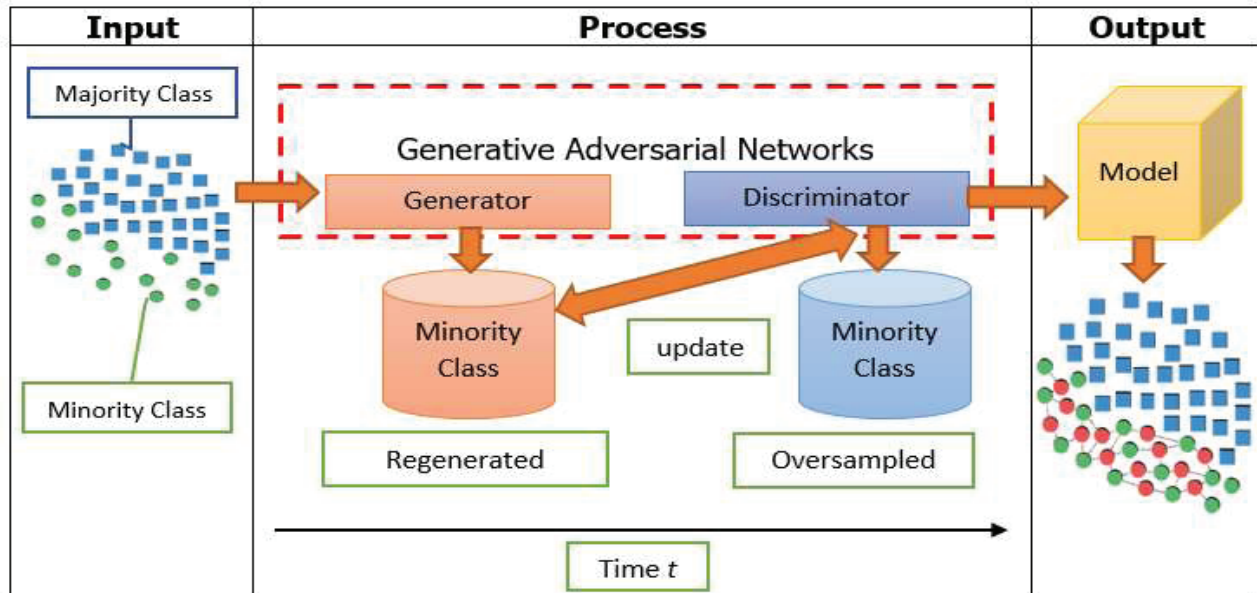
การเคลื่อนที่ และแสดงผลที่หน้าจอของโปรแกรมกูเกิลแมปเป็นต้น และงานวิจัยของ Bernardo & Valle (2020) นำเสนอเทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบมากบนข้อมูลแบบสตรีมมิง ซึ่งเรียกว่า VFC-SMOTE โดยใช้หลักการเรียนรู้ของเครื่องแบบสตรีมมิง และประเมินประสิทธิภาพด้านเวลา ด้านการใช้หน่วยความจำ และด้านความเร็วในการกู้คืนข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับงานวิจัยของ Brophy *et al.* (2023) นำเสนอการทบทวนวรรณกรรม (literature review) ที่เกี่ยวข้องกับจำแนกประเภทข้อมูลด้วยอัลกอริทึม GANs และ GANs บนข้อมูลแบบสตรีมมิง รวมถึงงานวิจัยของ Xiaomin Li *et al.*, (2022) นำเสนอสถาปัตยกรรมที่เรียกว่า Transformer Time-Series GANs ที่ประยุกต์การสร้างภาพใหม่ ด้วยเทคนิคการลดขนาดภาพ เพื่อสร้างของข้อมูลใหม่ที่มีขนาดเล็กได้อย่างถูกต้อง ในแต่ละลำดับของอนุกรมเวลา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาและต่อยอดจากงานวิจัยของ Brophy *et al.*, (2023) และ Li *et al.* (2022)

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ดำเนินการโดยใช้วิธีการการสุ่มตัวอย่างแบบมาก เพื่อสังเคราะห์คลาสส่วนน้อย และสร้างวิธีการขยาย (extension method) บนอัลกอริทึมเครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิด สำหรับแก้ไขปัญหาการจำแนกประเภทข้อมูลที่ไม่สมดุล และข้อมูลที่มีป้ายกำกับที่สามารถทำงานได้บนข้อมูลแบบต่อเนื่องหรือแบบสตรีมมิงในเวลาเรียลไทม์ได้ และประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองในสถานการณ์จริง

### วิธีดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในส่วนนี้ประกอบด้วย 5 ประเด็น ได้แก่ 1) สถาปัตยกรรมและกระบวนการทำงาน 2) การสร้างส่วนขยายเพิ่มเติมบนอัลกอริทึมเครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิดบนข้อมูลแบบสตรีมมิง 3) กลุ่มตัวอย่างข้อมูล และเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา 4) กระบวนการทดลอง และ 5) การประเมินประสิทธิภาพการทำงาน รายละเอียดดังนี้

1. สถาปัตยกรรมและกระบวนการทำงาน โดยดำเนินการนำข้อมูลที่ไม่สมดุลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ (data sources) โดยเป็นข้อมูลที่มีคลาสส่วนใหญ่ มากกว่าคลาสส่วนน้อย จากนั้นทำการสร้างวิธีการขยายบนอัลกอริทึมเครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิด ดัง Figure 6



**Figure 6** The overall system architecture of Fast Synthetic the Minority Class using Generative Adversarial Networks for Imbalanced Data Classification Problems

จาก Figure 6 ภาพรวมสถาปัตยกรรมการทำงานของ การสังเคราะห์คลาสส่วนน้อยโดยใช้อัลกอริทึมเครือข่าย ฝายตรงข้ามเชิงกำเนิด หรือแทน สำหรับแก้ปัญหาการจำแนก ประเภทข้อมูลที่ไม่สมดุล เริ่มต้นจาก 1) การนำข้อมูลเข้า (Input) โดยนำตัวอย่างชุดข้อมูลเกณฑ์มาตรฐาน (benchmark) จากเว็บไซต์ KEEL-dataset repository สำหรับข้อมูลที่ไม่สมดุล จำนวน 20 ชุดข้อมูล ประกอบด้วยคลาสส่วนใหญ่ (majority class) มากกว่าคลาสส่วนน้อย (minority class) จากภาพคลาส ส่วนใหญ่แทนด้วยสีเหลี่ยมสีน้ำเงิน และคลาสส่วนน้อยแทน ด้วยวงกลมสีเขียว ซึ่งมีทั้งจำนวนคุณลักษณะที่แตกต่างกัน และมีจำนวนคลาสผลลัพธ์เป็นแบบไบนารีคลาส และ มัลติคลาส จากนั้นนำข้อมูลเข้าสู่การประมวลผล 2) การประมวลผล ข้อมูล (data processing) ด้วยอัลกอริทึมเครือข่ายฝายตรง ข้ามเชิงกำเนิดที่ทำการสังเคราะห์ข้อมูลส่วนน้อยขึ้นมาใหม่ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ผู้สร้าง (generator) และผู้แยกแยะ (discriminator) บนข้อมูลคลาสส่วนน้อย โดยดำเนินการสร้างใหม่ (regenerated) หรือสร้างข้อมูลใหม่จากการเสริมข้อมูล (data augmentation) ขึ้นมาได้ทั้งแบบที่ไม่มีข้อมูล หรือมีข้อมูลเพียง 1 รายการ ให้ข้อมูลเกิดความสมดุล จากนั้นส่วนผู้แยกแยะ จะทำการปรับปรุง (update) ข้อมูลที่ได้สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่

โดยทำการปรับปรุงข้อมูลตลอดเวลา  $t$  และผลที่ได้ จะทำการปรับปรุงข้อมูลอีกครั้งที่คลาสส่วนน้อย เพื่อให้ ผู้แยกแยะทำการจำแนกประเภทข้อมูลให้มีความถูกต้อง และแม่นยำ จากนั้นนำข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ ส่งไป ที่กระบวนการส่วนผลลัพธ์ และ 3) ส่วนผลลัพธ์ (output) เป็นการนำข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่จากการสุ่มตัวอย่าง แบบมาก มาดำเนินการสร้างแบบจำลองจากข้อมูลที่สมดุล ในเวลา  $t$

2. การสร้างส่วนขยายเพิ่มเติมบนอัลกอริทึมเครือข่าย ฝายตรงข้ามเชิงกำเนิดบนข้อมูลแบบสตรีมมิง หรือเรียกว่า แกนหนูที่ (GANs2T) บนพื้นฐานของอนุกรมเวลาแบบตาราง (tabular time series) เพื่อปรับปรุงแบบจำลอง

**Algorithm 1:** GANs2T extension method

- Input:**  
 S: data stream  
 T = time series-dependent rows  
 V = vector for building time series dictionary  
 $G_i$  = Generator for each minority class  
 $r_i$  = number of synthetic observations  
 $\hat{r}$  = probability of  $\sum_i \hat{r}_i = 1$
- The first phase:
1.  $S \leftarrow d_1, d_2, \dots, d_n, \dots, d_i \in D$
  2.  $T \leftarrow t_{i+1}, t_{i+2}, \dots, t_{i+T}$
  3.  $V \leftarrow 0, 1, 2, \dots$
- The second phase:
4. Create sliding window from  $d_T$   
 $N = \text{len}(\text{array})$  //length of the array  
 $\text{callarray} = \text{sum}(\text{arr}[:,k])$  //k-elements  
 $\text{sumvalue} = \text{callarray}$   
 for  $l$  in range(n-k):  
 $\text{callarray} = \text{callarray} - \text{arr}[l] + \text{arr}[l+k]$   
 $\text{sumvalue} = \max(\text{callarray}, \text{sumvalue})$
  5. Optimization the sliding window
- The third phase:
6. Data transformation method to tabular time series with GANs
  7. Generating Synthetic data which is the number of synthetic observations  

$$G_i = \hat{r}_i \frac{r_i}{\sum_{i=1}^m r_i}$$
  8. Update the discriminator on GANs  

$$\nabla_{\theta_d} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \log(1 - D(G(z^{(i)})))$$
  9. Use the Binary Cross-Entropy Loss function

**Output:** GANs2T model

จาก Algorithm 1 การสร้างวิธีการขยาย (extension method) เพื่อเติมบนอัลกอริทึมเครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิด หรือเรียกว่าแกนทูที (GANs2T) ซึ่ง 2T มาจากคำว่าอนุกรมเวลาแบบตาราง (tabular time series) ซึ่งนิยมใช้ในการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (natural language processing: NLP) มาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพแบบจำลองในระหว่างการถ่ายโอนข้อมูลที่ทับซ้อนกันของเวลาในขณะที่มีการสร้างแบบจำลองบนข้อมูลแบบสตรีมมิงในเวลาเรียลไทม์ การดำเนินการแบ่งเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1: กำหนดตัวแปรหลัก 3 ตัวแปรได้แก่ data stream, time series และ vector ระยะที่ 2: ทำการสร้างวิธีการเลื่อนหน้าต่าง (sliding window method) บนข้อมูลแบบสตรีมมิงเพื่อนำขั้นตอนของเวลา (t) ก่อนหน้ามาใช้สำหรับการทำนายในขั้นตอนต่อไป และทำการปรับวิธีการเลื่อนหน้าต่างให้เหมาะสมกับข้อมูล และระยะที่ 3: ทำการสร้างอนุกรมเวลาแบบตาราง (tabular time series) บนอัลกอริทึมแกน เพื่อกำหนดโครงสร้างแบบลำดับชั้นบนข้อมูล จากนั้นแปลงข้อมูล (data transform) ด้วยการเข้ารหัสแถวแต่ละแถว เพื่อลดขนาดข้อมูลให้ประมวลผลในเวลา t ที่ข้อมูลเข้ามาต่อเนื่องกันได้ ส่งผลให้การเข้ารหัสอนุกรมเวลาแบบตารางนี้สามารถฝึกสอนข้อมูลแบบล่วงหน้าตั้งแต่ข้อมูลเริ่มเข้าสู่ระบบถึงข้อมูลปลายทางได้ จากนั้นทำการสร้างข้อมูลใหม่จากการสังเคราะห์ที่เวลา t และการปรับค่านำหนักให้เป็นมาตรฐานของแต่ละโหนดภายในส่วนผู้แยกแยะของ GANs เพื่อให้สามารถแยกแยะข้อมูลได้ถูกต้องในเวลา t ใดๆ และการสร้างฟังก์ชันสูญเสียสำหรับการหาค่าผลลัพธ์กับค่าจริงว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร สุดท้ายได้ผลลัพธ์ตัวจำแนกแยกแยะข้อมูลระหว่างคลาส และปรับคลาสกลุ่มน้อยให้เพิ่มมากขึ้นได้

### 3. กลุ่มตัวอย่างข้อมูล และเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

3.1 กลุ่มตัวอย่างข้อมูล งานวิจัยนี้นำตัวอย่างชุดข้อมูลเกณฑ์มาตรฐาน (benchmark) จากเว็บไซต์ KEEL-dataset repository (KEEL-dataset, 2023) สำหรับข้อมูลที่ไม่สมดุล จำนวน 20 ชุดข้อมูล มีคลาสส่วนใหญ่ มากกว่าคลาสส่วนน้อย ใน 4 รูปแบบ จำแนกตามแต่ละสัดส่วน ได้แก่ 1) 1.5-9, 2) 9.1-40, 3) 41-100 และ 4) มากกว่า 100 และมีจำนวนคุณลักษณะที่แตกต่างกัน รวมถึงมีจำนวนคลาสผลลัพธ์ทั้งแบบไบนารีคลาส และแบบมัลติคลาส ที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล (data preparation) เรียบร้อยแล้ว กล่าวคือเป็นข้อมูลที่พร้อมสำหรับการสร้างแบบจำลอง ซึ่งมีการคัดเลือกคุณลักษณะ (feature selection) เสร็จสิ้น ทำให้ข้อมูลเหล่านี้พร้อมใช้งานจริง และเป็นชุดข้อมูลที่งานวิจัยจำนวนมากยอมรับ และได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร

ชั้นนำระดับนานาชาติสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

**Table 2** The example dataset for 20 items

No.	dataset title	No. of feature	Ratio
	wine	9	1.5
	Iris0	4	2
	Vehicle3	9	3.2
	Glass6	9	6.38
	Glass0	8	8.44
	Yeast-2_vs_4	8	9.08
	Glass2	9	10.29
	yeast-1-2-8-9_vs_7	8	30.57
	Yeast5	8	32.73
	Thyroid	7	36.94
	lymphography	8	40.5
	winequality-white-3_vs_7	11	44
	winequality-red-8_vs_6-7	11	46.5
	winequality-white-3-9_vs_5	11	58.28
	shuttle-2_vs_5	9	66.67
	ecoli	8	71.50
	poker-8_vs_6	10	85.88
	kddcup-rootkit-imap_vs_back	41	100.14
	pageblocks	10	164
	shuttle	9	853

จาก Table 2 ชุดข้อมูลตัวอย่างจำนวน 20 รายการ โดยสัดส่วน 1000 ตัวอย่าง เช่น ชุดข้อมูลลำดับที่ 1 คือ wine มีจำนวนคุณลักษณะ = 9 คุณลักษณะ (feature) และมีสัดส่วน 1.5 หมายความว่า 1:1.5 หรือจำนวนคลาสส่วนใหญ่ 1500 คลาส ต่อจำนวนคลาสส่วนน้อย 1000 คลาส โดยข้อมูลลำดับที่ 1-5 เป็นข้อมูลที่มีค่าสัดส่วนระหว่าง 1.5-9, ข้อมูลลำดับที่ 6-10 เป็นข้อมูลที่มีค่าสัดส่วนระหว่าง 9.1-40, ข้อมูลลำดับที่ 11-17 เป็นข้อมูลที่มีค่าสัดส่วนระหว่าง 41-100 และข้อมูลลำดับที่ 18-20 เป็นข้อมูลที่มีค่าสัดส่วนมากกว่า 100



**Table 3** Setting values for parameters of GANs

Parameter	Generator Value	Discriminator Value
The total neurons per hidden layer	128, 256, 512, 1024	512, 256, 128
Optimizer	Adam (15.00 steps)	Adam (15.00 steps)
Loss Function	BCEWithLogitsLoss	BCEWithLogitsLoss
Learning Rate	Le-4	Le-4
Batch-size for training	128	128

จาก Table 3 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ GANs ประกอบด้วยพารามิเตอร์จำนวน 5 พารามิเตอร์หลัก ได้แก่ The total neurons per hidden layer, Optimizer, Loss Function, Learning Rate และ Batch-size for training ของค่า Generator และ ค่า Discriminator

3.2 เครื่องมือ (รวมถึงวิธีการสร้าง และการตรวจสอบคุณภาพ) เครื่องมือที่ใช้คือ Google-Colab และใช้ภาษาไพทอน (Python) ในการพัฒนา โดยเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลด้วยหน่วยประมวลผลกราฟิกส์ (Graphics Processing Unit: GPU) สำหรับการจัดการกระแสข้อมูลด้วย Apache Spark ใช้ไลบรารี PySpark รุ่น 3.0.0 โดยเรียกใช้ไลบรารี (library) ของ GAN\_DeepLearning4J ในการสร้างแบบจำลองของ GANs บนกระแสข้อมูล และทำการประเมินผลแบบจำลองด้วยไลบรารีของ pyspark.ml.evaluation model จำนวน 2 โมดูล ได้แก่ Binary Classification Evaluator และ Multiclass Classification Evaluator และวัดประสิทธิภาพแบบจำลองจากค่าความถูกต้อง (accuracy) ค่าความแม่นยำ (precision) ค่าความครบถ้วน (recall) ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-measure) และค่าเฉลี่ยของเวลา (average training time) ในการฝึกสอนแบบจำลอง

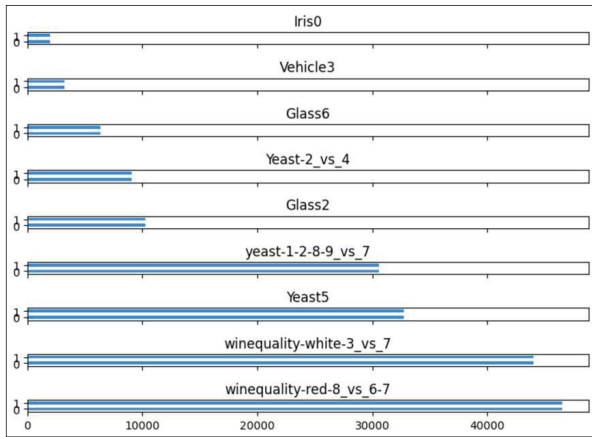
4. กระบวนการทดลอง ดำเนินการใน 3 ประเด็น ได้แก่ การสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ด้วย GANs2T ของไบนารีคลาส และแบบมัลติคลาส และการเปรียบเทียบกระบวนการภายใน GANs ระหว่าง Discriminative และ Predictive กับ GANs2T

4.1 การสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ด้วย GANs2T ของไบนารีคลาส และมัลติคลาส ดำเนินการโดยนำวิธีการของ GANs2T มาดำเนินการสังเคราะห์คลาสกลุ่มน้อยดัง Table 4

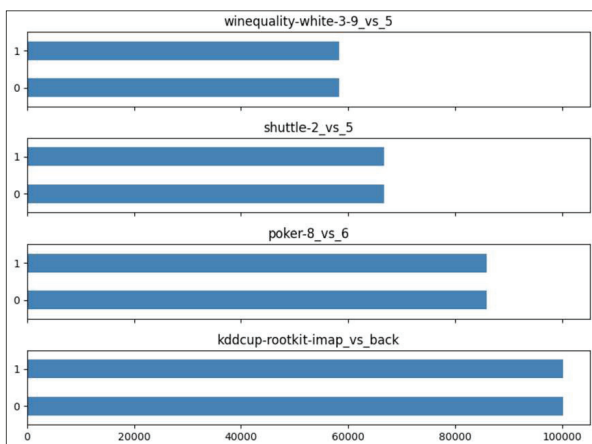
**Table 4** Synthesising data with GANs2T for binary-class

No.	Dataset title	Initial class ratio	Ratio GANs2T
	Iris0	1000:2000	2000:2000
	Vehicle3	1000:3200	3200:3200
	Glass6	1000:6380	6380:6380
	Yeast-2_vs_4	1000:9080	9080:9080
	Glass2	1000:10290	10290:10290
	yeast-1-2-8-9_vs_7	1000:30570	30570:30570
	Yeast5	1000:32730	32730:32730
	winequality-white-3_vs_7	1000:44000	44000:44000
	winequality-red-8_vs_6-7	1000:46500	46500:46500
	winequality-white-3-9_vs_5	1000:58280	<b>58279:58280</b>
	shuttle-2_vs_5	1000:66670	<b>66669:66670</b>
	poker-8_vs_6	1000:85880	<b>85878:85880</b>
	kddcup-rootkit-imap_vs_back	1000:100140	<b>100138:100140</b>

จาก Table 4 การสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ด้วย GANs2T ของไบนารีคลาส จากทั้งหมด 13 ชุดข้อมูล พบว่าเมื่อสัดส่วนระหว่างคลาสส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 50000 ตัวอย่าง เมื่อใช้วิธีการสังเคราะห์คลาสส่วนน้อยด้วย GANs2T กลุ่มตัวอย่างที่มีการทับซ้อน (overlap) ของคลาสส่วนใหญ่ได้รับความสนใจจากวิธี GANs2T มากที่สุด ทำให้คลาสส่วนน้อยเกิดการสังเคราะห์ที่ผิดปกติได้ (หมายความว่าคลาสส่วนน้อยทำการสังเคราะห์ข้อมูลของคลาสใหม่ได้ไม่สอดคล้องหรือใกล้เคียงกับสัดส่วนของคลาสส่วนใหญ่) และส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำนายผลของแบบจำลองต่ำลง ดังนั้นหากใช้วิธี GANs2T ในกรณีที่มีกลุ่มตัวอย่างข้อมูลและสัดส่วนมากกว่า 50000 จะต้องมีการหาข้อมูลที่ผิดปกติ (outlier) และลบออกไปก่อนการสังเคราะห์ จะทำให้ค่าสัดส่วนกลับมาเป็นปกติ ดัง Figure 7



a



b

Figure 7 Synthesising data with GANs2T for binary-class and binary-class with noise

จาก Figure 7a. แสดงการสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ด้วย GANs2T ของไบนารีคลาส (สัดส่วนที่สังเคราะห์ข้อมูลของคลาสส่วนใหญ่ และคลาสส่วนน้อยมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน) จากจำนวน 9 ตัวอย่าง ที่ GANs2T สามารถสังเคราะห์คลาสกลุ่มน้อยได้เท่ากับคลาสกลุ่มส่วนใหญ่ และ Figure 7b. แสดงการสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ด้วย GANs2T ของไบนารีคลาสแบบมีสัญญาณรบกวน หรือเรียกว่าผิดปกติจำนวน 4 ตัวอย่างที่ GANs2T สามารถสังเคราะห์คลาสกลุ่มน้อยได้ไม่เท่ากับคลาสกลุ่มส่วนใหญ่ (+/- ค่า 1-2)

Table 5 Synthesising data with GANs2T for multi-class

No.	Dataset title	Initial class ratio	Ratio GANs2T
	wine	1000:1500	1500: 1500
	Glass0	1000:8440	8440: 8440
	Thyroid	1000:36940	36940: 36940
	lymphography	1000:40500	40500: 40500
	ecoli	1000:71500	71500: 71500
	pageblocks	1000:164000	164000: 164000
	shuttle	1000:853000	853000: 853000

จาก Table 5 การสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ด้วย GANs2T ของมัลติคลาส จากทั้งหมด 7 ชุดข้อมูล พบว่าเมื่อการสังเคราะห์ด้วยวิธี GANs2T ของข้อมูลแบบมัลติคลาส จะได้ผลดีในการสังเคราะห์คลาสกลุ่มน้อยต่อสัดส่วนข้อมูลที่มีแตกต่างระหว่างคลาสส่วน น้อย (ระหว่างค่า 1500 - 853000) และเมื่อข้อมูลมีคลาสส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า 800000 ตัวอย่าง การสังเคราะห์คลาสส่วนน้อยก็สามารถคำนวณหาสัดส่วนได้ตามปกติ ดัง Figure 8

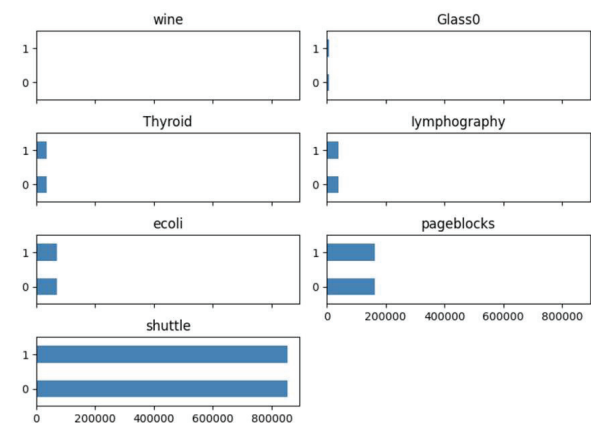


Figure 8 The results of synthetic data with GANs2T for multi-class

4.2 การเปรียบเทียบกระบวนการภายใน GANs ระหว่าง Discriminative และ Predictive กับ GANs2T เพื่อวัดประสิทธิภาพการแยกแยะ และการทำนายข้อมูลระหว่าง GANs และ GANs2T จากคุณลักษณะ (feature) และคลาสผลลัพธ์ของชุดข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลทั้งแบบตัวเลข (numeric) และข้อมูลเชิงอันดับ (ordinal data) จึงใช้อัลกอริทึม XGBoost หรือ eXtreme Gradient Boosting ในการวิเคราะห์เชิงทำนาย (predictive analytics) ข้อมูลใหม่ ดัง Table 6

**Table 6** The performance evaluation of discriminative and predictive measures using GANs and GANs2T models

Metric	Method	Accuracy		
		Training step 0	Training step 5000	Training step 10000
Discriminative	GANs	52.73%	<b>59.32%</b>	56.78%
	GANs2T	51.50%	55.52%	<b>59.24%</b>
Predictive	GANs	55.70%	56.96%	58.36%
	GANs2T	54.02%	56.98%	<b>59.44%</b>

จาก Table 6 การวัดประสิทธิภาพการแยกแยะ และ การทำนายข้อมูลโดยใช้แบบจำลอง GANs และ GANs2T โดยวัดค่าความถูกต้อง จากการฝึกสอนข้อมูลซึ่งแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนได้แก่ 0, 5000 และ 10000 และใช้อัลกอริทึม XGBoost สำหรับการทำนายข้อมูลใหม่ พบว่าในขั้นตอน Discriminative วิธีการ GANs มีค่าความถูกต้องสูงสุด = 59.32% สำหรับการฝึกสอนข้อมูล 5000 รอบ และในขั้นตอน Predictive วิธีการ GANs2T มีค่าความถูกต้องสูงสุด = 59.44% สำหรับการฝึกสอนข้อมูล 10000 รอบ จะเห็นได้ว่าวิธีการ GANs2T จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพบนข้อมูลที่มีการฝึกสอนจำนวนมาก (กล่าวคือทำการฝึกสอนจำนวน 10000 รอบ)

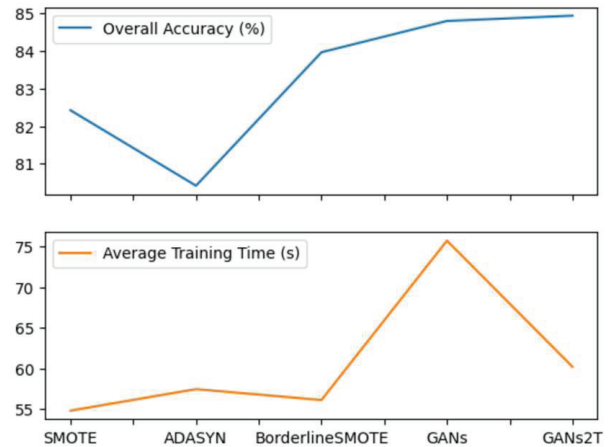
5. การประเมินประสิทธิภาพการทำงาน โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบมาก จำนวน 5 วิธี ได้แก่ SMOTE, ADASYN, BorderlineSMOTE, GANs และ GANs2T บนข้อมูลแบบสตรีมมิง ดัง Table 6

**Table 7** Comparing the performance of random over-sampling with 5 methods

Methods	Overall Accuracy (%)	Average Training Time (s)
SMOTE+XGBoost	82.42	<b>54.80</b>
ADASYN+XGBoost	<b>80.42</b>	57.45
BorderlineSMOTE +XGBoost	83.96	56.11
GANs+XGBoost	84.79	<b>75.72</b>
GANs2T+XGBoost	<b>84.93</b>	60.20

จาก Table 7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการสุ่มตัวอย่างแบบมากด้วย 5 วิธี พบว่า GANs2T มีค่า overall

accuracy สูงสุด แต่ average training time ใช้เวลาค่อนข้าง นานกว่าวิธีการ SMOTE แต่เร็วกว่าวิธีการของ GANs ดัง Figure 9



**Figure 9** The comparison results with 5 methods on overall accuracy and average training time

จาก Figure 9 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบ 5 วิธีการ กับภาพรวมความถูกต้อง และค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการฝึกสอนข้อมูลของข้อมูลที่ไม่สมดุล พบว่าค่าความถูกต้องของวิธีการ GANs2T มีค่าความถูกต้องสูงที่สุด = 84.93 และวิธีการ ADASYN มีค่าความถูกต้องต่ำที่สุด = 80.42 สำหรับค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการฝึกสอนข้อมูล วิธีการ SMOTE ใช้เวลาเร็วที่สุด = 54.80 และวิธีการ GANs ใช้เวลาช้าที่สุด = 75.72 โดยรองลงมาคือ GANs2T = 60.20

จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพด้วย confusion matrix กับอัลกอริทึม GANs2T+XGBoost มีค่าความถูกต้อง (accuracy) = 84.93 ค่าความแม่นยำ (precision) = 90.48 ค่าความครบถ้วน (recall) = 88.13 และค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F1-score) = 89.53

### สรุปผลการดำเนินงาน และอภิปรายผล

#### สรุปผลการดำเนินงาน

ผลการศึกษการสร้างแบบจำลองการสังเคราะห์คลาสส่วนน้อยอย่างรวดเร็วโดยใช้เครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิดสำหรับปัญหาการจำแนกประเภทข้อมูลที่ไม่สมดุล สรุปได้ดังนี้

1.1 ผลการสร้างแบบจำลองการสังเคราะห์คลาสส่วนน้อยอย่างรวดเร็วโดยใช้เครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิดสำหรับปัญหาการจำแนกประเภทข้อมูลที่ไม่สมดุล สามารถแก้ไขปัญหาข้อมูลไม่สมดุลจากการสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ด้วย GANs2T ได้ โดยไบนารีคลาส พบว่าสามารถสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ตรงตามสัดส่วนของคลาสส่วนใหญ่กับข้อมูลของคลาสส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 50000 ตัวอย่าง และมัลติคลาส

พบว่าจะได้ผลดีในการสังเคราะห์คลาสกลุ่มน้อยกับสัดส่วนข้อมูลที่มีแตกต่างระหว่างคลาสส่วนน้อย (จำนวน 1500 - 853000 รายการ)

1.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการสังเคราะห์คลาสส่วนน้อยอย่างรวดเร็วโดยใช้เครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิดสำหรับปัญหาการจำแนกประเภทข้อมูลที่ไม่สมดุล ซึ่งมีค่าความถูกต้อง (accuracy) ของการทำนาย (predictive) ระหว่างอัลกอริทึม GANs และ GANs2T มีค่า 58.36% และ 59.44% ซึ่งอัลกอริทึม GANs2T มีประสิทธิภาพสูงกว่าอัลกอริทึม GANs และเมื่อนำ GANs2T มาใช้งานร่วมกับอัลกอริทึม XGBoost จะมีค่าความถูกต้อง 84.93% และค่าเฉลี่ยเวลาการฝึกสอนแบบจำลอง 60.20 วินาที

### อภิปรายผล

ผลการศึกษาก่อสร้างแบบจำลองการสังเคราะห์คลาสส่วนน้อยอย่างรวดเร็วโดยใช้เครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิดสำหรับปัญหาการจำแนกประเภทข้อมูลที่ไม่สมดุลสามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้

จากผลการศึกษาพบว่า การสังเคราะห์คลาสส่วนน้อยโดยใช้เครือข่ายฝ่ายตรงข้ามเชิงกำเนิด ในสถานการณ์ที่ข้อมูลไม่สมดุล และข้อมูลถูกสร้างขึ้นอย่างต่อเนื่องจากแหล่งข้อมูลจำนวนมาก หรือ streaming data จากเว็บไซต์ KEEL-dataset repository สำหรับข้อมูลที่ไม่สมดุล จำนวน 20 ชุดข้อมูล มีคลาสส่วนใหญ่ (majority class) มากกว่าคลาสส่วนน้อย (minority class) มีจำนวนคุณลักษณะ (feature) ที่แตกต่างกัน และมีจำนวนคลาสผลลัพธ์ทั้งแบบไบนารีคลาสและมัลติคลาส เข้าสู่ส่วนการประมวลผลข้อมูล (data processing) ซึ่งได้พัฒนาวิธีการขยาย (extension method) ใหม่ชื่อว่า GANs2T เป็นวิธีการที่นำข้อมูลแบบตาราง (tabular data) จากชุดข้อมูลตัวอย่าง เพื่อให้ส่วนผู้สร้าง (generator) ทำการสร้างข้อมูล และผู้แยกแยะ (discriminator) ทำการค้นหาข้อมูลคลาสส่วนน้อย โดยดำเนินการสร้างข้อมูลใหม่จากการเสริมข้อมูล (data augmentation) บนอัลกอริทึม GANs ซึ่งจะคล้ายกับวิธีการของ Brophy *et al.* (2023) และ Li *et al.* (2022) ที่สามารถใช้โอนูกรมเวลาแบบตาราง (tabular time series) มาช่วยแก้ปัญหาการสร้างแบบจำลองอย่างรวดเร็วบนข้อมูลแบบสตรีมมิ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การสร้างวิธีการขยายใหม่ ที่เรียกว่า GANs2T สามารถทำงานได้อัลกอริทึม GANs และสามารถทำงานร่วมกับอัลกอริทึมอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบมาก จำนวน 5 วิธี ได้แก่ SMOTE+XGBoost, ADASYN+XGBoost,

BorderlineSMOTE+XGBoost, GANs+XGBoost และ GANs2T+XGBoost บนข้อมูลแบบ streaming data พบว่า GANs2T มีค่า overall accuracy สูงสุด = 84.93%

ข้อเสนอแนะในประเด็นต่อยอดงานวิจัย สามารถใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning: DL) เช่น Recurrent neural network: RNN หรือ Long Short-Term Memory: LSTM มาประยุกต์ใช้ในการทำการบนข้อมูลแบบสตรีมมิ่งในเวลาเรียลไทม์

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ภายใต้ทุนสนับสนุนการวิจัยเลขที่ IRD-15000-11.25/2565

### เอกสารอ้างอิง

- พุทธิพร ธนธรรมเมธี และเยาวเรศ ศิริสถิตย์กุล. (2561). เทคนิคการจำแนกข้อมูลที่พัฒนาสำหรับชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลของภาวะข้อเข่าเสื่อมในผู้สูงอายุ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 27(6), 1164-1178.
- ภิรมย์ คงเลิศ. (2565). หน่วยที่ 9 การเรียนรู้เชิงลึก. ใน *ประมวลสาระชุดวิชาปัญญาประดิษฐ์และการประยุกต์ หน่วยที่ 6-10*. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.
- วิทยา ปัญญา และ วุฒิชัย ร่มสายหยุด. (2565). วิธีการสร้างแบบจำลองเชิงทำนายพฤติกรรมการผัดเจี้ยนไขการปล่อยชั่วคราวของศาลจากชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 42(2), 1686-9664.
- Alberto, F., Salvador, G., Mikel, G., Ronaldo, C. P., Bartosz, K., & Francisco, H. (2018). Learning from imbalanced data sets. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-98074-4>.
- Bernardo, A., & Valle, E. D. (2020). VFC-SMOTE: very fast continuous synthetic minority oversampling for evolving data streams. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 35, 2679-2713. <https://doi.org/10.1007/s10618-021-00786-0>.
- Bao, Y. & Yang, S. (2023). Two novel SMOTE methods for solving imbalanced classification problems. *IEEE Access*, 11, 5816-5823. 10.1109/ACCESS.2023.3236794.



- Brophy, E., Wang, Z., She, Q., & Ward, T. (2023). Generative adversarial networks in time series: A systematic literature review. *ACM Computing Surveys*, 55(10), 1-31. <https://doi.org/10.1145/3559540>.
- Brownlee, J. (2019). *Generative adversarial networks with python*. <https://www.scribd.com/document/473922459/Jason-Brownlee-Generative-Adversarial-Networks-with-Python-2020-pdf>
- Chawla, N., Bowyer, K., Hall, L. & Kegelmeyer, W. (2002). SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16, 321-357.
- Goodfellow, L., Pougel-Abadie, J., Mirza, M., Bing X., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A. & Bengio, Y. (2020). Generative adversarial networks. *Communications of the ACM*, 63(11), 139-144. <https://doi.org/10.1145/3422622>.
- He, H., & Ma, Y. (2013). *Imbalanced learning*. John Wiley & Sons.
- Jakub, L., & Vladimir, B. (2019). *GANs in action*. Manning.
- Japkowicz, N. & Stephen, S. (2002). The class imbalance problem: A systematic study. *Intelligent Data Analysis*, 6(5), 203-231.
- Jonathan, B., Putra, P. H. & Ruldeviyani, Y. (2020). Observation imbalanced data text to predict users selling products on female daily with SMOTE, Tomek, and SMOTE-Tomek. *IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT)* (pp. 81-85). 10.1109/IAICT50021.2020.9172033.
- KEEL-dataset. (2023). *Imbalanced data sets*. <https://sci2s.ugr.es/keel/imbalanced.php>.
- Li, X., Metsis, V., Wang, H., Hee, A., & Ngu, H. (2022). *TTS-GAN: A transformer-based time-series generative adversarial network*. AIME 2022. Springer.
- Maniyar, H., Budihal, S. V. & Siddamal, S. V. (2022). Persons facial image synthesis from audio with generative adversarial networks. *ECTI-CIT Transactions*, 16(2), 135-141.
- Maureen, L. C., Lauron, & Jaderick, P. P. (2016). *Improved sampling techniques for learning an imbalanced data set*. ArXiv abs/1601.04756.
- Theobald, O. (2021). *Machine learning for absolute beginners: A plain English introduction* (3<sup>rd</sup> ed). Independently published.
- Sridhar, S. & Sanagavarapu, S. (2021). Handling data imbalance in predictive maintenance for machines using SMOTE-based oversampling. *13<sup>th</sup> International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)* (pp. 44-49). 10.1109/CICN51697.2021.9574668.
- Strelcenia, E. & Prakoonwit, S. (2022). Comparative analysis of machine learning algorithms using GANs through credit card fraud detection. *International Conference on Computing, Networking, Telecommunications & Engineering Sciences Applications (CoNTESA)* (pp. 1-5). 10.1109/CoNTESA57046.2022.10011268.
- Weiss, G. M. (2013). *Foundations of imbalanced learning, imbalanced learning: Foundations, algorithms, and applications*. John Wiley & Sons.

# ลำดับใหม่ที่สอดคล้องกับลำดับ $k$ -ฟีโบนัชชี

## Some novel sequences related to $k$ -Fibonacci sequences

พงษ์พันธ์ มุขวะชชี<sup>1</sup>, เพ็ญศิริ สมพงษ์<sup>2</sup>, สุพรรณณี สมพงษ์<sup>3</sup> และ ไกรลิขิต ลาตปะละ<sup>4\*</sup>

Phongphan Mukwachi<sup>1</sup>, Pensiri Sompong<sup>2</sup>, Supunnee Sompong<sup>3</sup> and Krailikhit Latpala<sup>4\*</sup>

Received: 13 March 2023 ; Revised: 18 May 2023 ; Accepted: 27 June 2023

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เราได้นำเสนอสามลำดับรูปแบบใหม่ของ  $\gamma_n$ ,  $\alpha_n$  และ  $\beta_n$  ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกันผ่านความสัมพันธ์เวียนเกิด และเราได้สังเกตถึงความสัมพันธ์ของลำดับทั้งสามนี้สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของลำดับ  $k$ -ฟีโบนัชชี เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์นี้เราได้นำหลักอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์ มาใช้สำหรับแสดงความถูกต้องของทฤษฎี และแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาในงานนี้

คำสำคัญ: ลำดับ  $k$ -ฟีโบนัชชี, ความสัมพันธ์เวียนเกิด, อุปนัยเชิงคณิตศาสตร์

### Abstract

In this research, we introduce three novel sequences of  $\gamma_n$ ,  $\alpha_n$  and  $\beta_n$ . These sequences are related to each other through the recurrence relation, and we have observed that their relationship can be expressed using  $k$ -Fibonacci sequences. To prove this relationship, we used mathematical induction. We have shown the validity of our theorem, and the results are presented in this study.

**Keywords:**  $k$ -Fibonacci sequences, recurrence relation, mathematical induction

<sup>1</sup> อาจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สกลนคร 47000

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ สกลนคร 47000

<sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สกลนคร 47000

<sup>4</sup> อาจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สกลนคร 47000

<sup>1</sup> Lecturer, Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000 Thailand

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of General Science, Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus, Sakon Nakhon 47000 Thailand

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000 Thailand

<sup>4</sup> Lecturer, Department of Mathematics, Faculty of Education, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, 47000 Thailand

\* Corresponding author: Krailikhit@snru.ac.th

**Introduction**

For any integer number  $k \geq 1$ , the  $n$  th  $k$ -Fibonacci sequence, denoted as  $\{F_{k,n}\}_{n=0}^\infty$ , is defined by (Falcon & Plaza, 2007) as a recursive sequence as follows:

$$F_{k,n+1} = kF_{k,n} + F_{k,n-1}$$

where  $F_{k,0} = 0$  and  $F_{k,1} = 1$ . The first 8 members of  $k$ -Fibonacci sequences are shown below:

$$0, 1, k, k^2 + 1, \dots, k^3 + 2k, k^4 + 3k^2 + 1, k^5 + 4k^3 + 3k, k^6 + 5k^4 + 6k^2 + 1.$$

(Atanassov, 2018) studied two new combined 3-Fibonacci sequences. Let  $a, b, c, d$  be arbitrary real numbers and  $\{F_n\}_{n=0}^\infty$  be the standard Fibonacci sequence. The first set of sequences has the form for  $n \geq 0$ ,

$$\alpha_{n+2} = \gamma_{n+1} + \beta_{n+1},$$

$$\beta_{n+2} = \gamma_{n+1} + \alpha_{n+1},$$

$$\gamma_{n+2} = \gamma_{n+1} + \gamma_n.$$

where  $\alpha_0 = a, \beta_0 = b, \gamma_0 = c, \gamma_1 = d$ . From these sequences and for each natural number  $n \geq 1$  the result are the following,

$$\alpha_{2n+1} = b + F_{2n-1}a + (F_{2n}-1)d,$$

$$\alpha_{2n} = a + F_{2n}c + (F_{2n+1}-1)d,$$

$$\beta_{2n-1} = a + F_{2n-1}c + (F_{2n}+1)d,$$

$$\beta_{2n} = b + F_{2n}c + (F_{2n+1}-1)d,$$

$$\gamma_{n+2} = F_{n+1}c + F_{n+2}d.$$

The second set of sequences has the form for  $n \geq 0$ ,

$$\alpha_{n+1} = \alpha_{n+1} + \alpha_n,$$

$$\beta_{n+1} = \alpha_{n+1} + \gamma_n,$$

$$\gamma_{n+1} = \alpha_{n+1} + \beta_n.$$

where  $\alpha_0 = a, \beta_0 = b, \gamma_0 = c, \alpha_1 = d$ . From these sequences and for each natural number  $n \geq 1$  the result are the following,

$$\alpha_n = F_{n-1}c + F_n d,$$

$$\beta_{2n-1} = (F_{2n}-1)a + b + (F_{2n+1}-1)d,$$

$$\beta_{2n} = (F_{2n+1}-1)a + c + (F_{2n+2}-1)d,$$

$$\gamma_{2n-1} = (F_{2n}-1)a + c + (F_{2n+1}-1)d,$$

$$\gamma_{2n} = (F_{2n+1}-1)a + b + (F_{2n+2}-1)d.$$

In the same year, he studied two additional new combined 3-Fibonacci sequences part 2. Let  $a, b, c$  be arbitrary real numbers and  $\{F_n\}_{n=0}^\infty$  be the standard Fibonacci sequence. The first set of sequences has the form for  $n \geq 0$ ,

$$\alpha_{n+1} = \beta_n + \gamma_n,$$

$$\beta_{n+1} = \alpha_n + \gamma_n,$$

$$\gamma_{n+1} = \frac{\alpha_{n+1} + \beta_{n+1}}{2} + \gamma_n,$$

where  $\alpha_0 = 2a, \beta_0 = 2b, \gamma_0 = c$ . From these sequences and for each natural number  $n \geq 1$  the result are the following.

$$\alpha_n = (F_{2n-1}+(-1)^n)a + (F_{2n-1}-(-1)^n)b + F_{2n}c,$$

$$\beta_n = (F_{2n-1}-(-1)^n)a + (F_{2n-1}+(-1)^n)b + F_{2n}c,$$

$$\gamma_n = F_{2n}a + F_{2n}b + F_{2n+1}c.$$

The second set of sequences has the form for  $n \geq 0$ ,

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + \frac{\beta_n + \gamma_n}{2},$$

$$\beta_{n+1} = \alpha_{n+1} + \gamma_n,$$

$$\gamma_{n+1} = \alpha_{n+1} + \beta_n.$$

where  $\alpha_0 = a, \beta_0 = 2b, \gamma_0 = 2c$ . From these sequences and for each natural number  $n \geq 1$  the result are the following.

$$\alpha_n = F_{2n-1}a + F_{2n}b + F_{2n}c,$$

$$\beta_n = F_{2n}a + (F_{2n+1} + (-1)^n)b + (F_{2n+1} - (-1)^n)c,$$

$$\gamma_n = F_{2n}a + (F_{2n+1} - (-1)^n)b + (F_{2n+1} + (-1)^n)c.$$

(Nubpetchploy & Pakapongpun, 2021) generated three combined sequences related to Jacobsthal sequences. Let  $a, b, c, d$  be arbitrary real numbers and  $J_n$  be the Jacobsthal sequences. The first set of sequences has the form for  $n \geq 0$ ,

$$\gamma_{n+2} = \gamma_{n+1} + 2\gamma_n,$$

$$\alpha_{n+1} = \gamma_{n+1} + 2\beta_n,$$

$$\beta_{n+1} = \gamma_{n+1} + 2\alpha_n.$$

where  $\alpha_0 = a, \beta_0 = b, \gamma_0 = c, \gamma_1 = d$ . From these sequences and for each natural number  $n \geq 1$  the result are the following.

$$\begin{aligned} \gamma_n &= 2J_{n-1}c + J_n d, \\ \alpha_n &= 2\alpha_{n-1} + (J_n + (-1)^n)c + j_n d + (-2)^n(a-b), \\ \beta_n &= 2\beta_{n-1} + (J_n + (-1)^n)c + j_n d - (-2)^n(a-b). \end{aligned}$$

The second set of sequences has the form for  $n \geq 0$ ,

$$\begin{aligned} \gamma_{n+2} &= \gamma_{n+1} + 2\gamma_n, \\ \alpha_{n+1} &= \gamma_n + 2\beta_n, \\ \beta_{n+1} &= \gamma_n + 2\alpha_n. \end{aligned}$$

where  $\alpha_0 = a, \beta_0 = b, \gamma_0 = c, \gamma_1 = d$ . From these sequences and for each natural number  $n \geq 1$  the result are the following.

$$\begin{aligned} \gamma_n &= 2J_{n-1}c + J_n d, \\ \alpha_n &= 2\alpha_{n-1} + (J_{n-1} + (-1)^{n-1})c + j_{n-1}d + (-2)^n(a-b), \\ \beta_n &= 2\beta_{n-1} + (J_{n-1} + (-1)^{n-1})c + j_{n-1}d - (-2)^n(a-b). \end{aligned}$$

The third set of sequences has the form for  $n \geq 0$ ,

$$\begin{aligned} \gamma_{n+1} &= \frac{\alpha_{n+1} + \beta_{n+1}}{2} + 2\gamma_n, \\ \alpha_{n+1} &= \gamma_n + 2\beta_n, \\ \beta_{n+1} &= \gamma_n + 2\alpha_n. \end{aligned}$$

where  $\alpha_0 = 2a, \beta_0 = 2b, \gamma_0 = c$ . From these sequences and for each natural number  $n \geq 1$  the result are the following.

$$\begin{aligned} \gamma_{n-1} &= (J_{2n-1}-1)(a+b) + J_{2n-1}c, \\ \alpha_n &= (J_{n+1}^2 - J_n^2 + 1)(a+b) + (-1)^n J_n a + (-1)^{n+1} (2J_{n+1} \\ &+ J_n)b + J_{2n}c, \\ \beta_n &= (J_{n+1}^2 - J_n^2 + 1)(a+b) + (-1)^n J_n b + (-1)^{n+1} (2J_{n+1} \\ &+ J_n)a + J_{2n}c. \end{aligned}$$

(Atanassov, 2022) introduce on two new combined 3-Fibonacci sequences. Let  $a, b, c, d, e$  be arbitrary real numbers and  $\{F_n\}_{n=0}^\infty$  be the standard Fibonacci sequence. The first set of sequences has the form for  $n \geq 1$ ,

$$\begin{aligned} \alpha_{n+1} &= \alpha_n + \alpha_{n-1}, \\ \beta_{n+1} &= \beta_n + \beta_{n-1}, \\ \gamma_{n+1} &= \frac{\alpha_n + \beta_n}{2} + \gamma_n. \end{aligned}$$

where  $\alpha_0 = 2a, \beta_0 = 2b, \gamma_0 = c, \alpha_1 = 2d, \beta_1 = 2e$ . From these sequences and for each natural number  $n \geq 1$  the result are the following.

$$\begin{aligned} \alpha_n &= 2F_{n-1}a + 2F_n d, \\ \beta_n &= 2F_{n-1}b + 2F_n e, \\ \gamma_n &= F_n a + F_n b + c + (F_{n+1}-1)d + (F_{n+1}-1)e. \end{aligned}$$

The second set of sequences has the form for  $n \geq 1$ ,

$$\begin{aligned} \alpha_{n+1} &= \alpha_n + \alpha_{n-1}, \\ \beta_{n+1} &= \beta_n + \beta_{n-1}, \\ \gamma_{n+1} &= \frac{\alpha_{n+1} + \beta_{n+1}}{2} + \gamma_n. \end{aligned}$$

where  $\alpha_0 = a, \beta_0 = b, \gamma_0 = c, \alpha_1 = 2d, \beta_1 = 2e$ . From these sequences and for each natural number  $n \geq 1$  the result are the following.

$$\begin{aligned} \alpha_n &= 2F_{n-1}a + 2F_n d, \\ \beta_n &= 2F_{n-1}b + 2F_n e, \\ \gamma_n &= F_n a + F_n b + c + (F_{n+1}-1)d + (F_{n+1}-1)e. \end{aligned}$$

(Pakapongpun & Kongson, 2022) introduced three combined sequences related to  $k$ -Fibonacci sequences. Let  $a, b, c, d$  be arbitrary real numbers and  $\{F_{k,n}\}_{n=0}^\infty$  be the  $k$ -Fibonacci sequence. The first set of sequences has the form for  $n \geq 0$ ,

$$\begin{aligned} \gamma_{n+2} &= k\gamma_{n+1} + \gamma_n, \\ \alpha_{n+1} &= k\gamma_n + \beta_n, \\ \beta_{n+1} &= k\gamma_n + \alpha_n. \end{aligned}$$



where  $\alpha_0 = a, \beta_0 = b, \gamma_0 = c, \gamma_1 = d$ . From these sequences the result are the following theorem 1.1.

Theorem 1.1. For any positive integer  $k$  and  $n$ ,

- (a)  $\gamma_n = F_{k,n}d + F_{k,n-1}c,$
- (b)  $\alpha_{2n} = (F_{k,2n} + F_{k,2n-1} - 1)d + (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} + (F_{k,2} - 1)c + a,$
- (c)  $\beta_{2n} = (F_{k,2n} + F_{k,2n-1} - 1)d + (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} + (F_{k,2} - 1)c + b,$
- (d)  $\alpha_{2n-1} = (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} - 1)d + (F_{k,2n-2} + F_{k,2n-3} + (F_{k,2} - 1)c + b,$
- (e)  $\beta_{2n-1} = (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} - 1)d + (F_{k,2n-2} + F_{k,2n-3} + (F_{k,2} - 1)c + a.$

The second set of sequences has the form for  $n \geq 0$ ,

$$\begin{aligned} \gamma_{n+2} &= k\gamma_{n+1} + \gamma_n, \\ \alpha_{n+1} &= k\gamma_{n+1} + \beta_n, \\ \beta_{n+1} &= k\gamma_{n+1} + \alpha_n. \end{aligned}$$

where  $\alpha_0 = a, \beta_0 = b, \gamma_0 = c, \gamma_1 = d$ . From these sequences the result are the following theorem 1.2.

Theorem 1.2. For any positive integer  $k$  and  $n$ ,

- (a)  $\gamma_n = F_{k,n}d + F_{k,n-1}c,$
- (b)  $\alpha_{2n} = (F_{k,2n+1} + F_{k,2n} - 1)d + (F_{k,2n} + F_{k,2n-1} - 1)c + a,$
- (c)  $\beta_{2n} = (F_{k,2n+1} + F_{k,2n} - 1)d + (F_{k,2n} + F_{k,2n-1} - 1)c + b,$
- (d)  $\alpha_{2n-1} = (F_{k,2n} + F_{k,2n-1} - 1)d + (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} - 1)c + b,$
- (e)  $\beta_{2n-1} = (F_{k,2n} + F_{k,2n-1} - 1)d + (F_{k,2n-2} + F_{k,2n-3} + (F_{k,2} - 1)c + a.$

The third set of sequences has the form for  $n \geq 0$ ,

$$\begin{aligned} \gamma_{n+1} &= k\gamma_n + \frac{\alpha_n + \beta_n}{2} \\ \alpha_{n+1} &= k\gamma_n + \beta_n, \\ \beta_{n+1} &= k\gamma_n + \alpha_n. \end{aligned}$$

where  $\alpha_0 = 2a, \beta_0 = 2b, \gamma_0 = c$ . From these sequences, the result are the following theorem 1.3.

Theorem 1.3. For any positive integer  $k$  and  $n$ ,

- (a)  $\gamma_{n+1} = \gamma_n (F_{k,2} + F_{k-1}) = \gamma_1 (F_{k,2} + F_{k-1})^n,$
- (b)  $\alpha_{2n} = \gamma_1 (F_{k,2} + F_{k-1})^{2n-1} + a - b,$
- (c)  $\alpha_{2n-1} = \gamma_1 (F_{k,2} + F_{k-1})^{2n-2} + b - a.$

In this paper, we introduce a new three set of combined sequences which are more general context related to  $k$ -Fibonacci sequences.

### Main Results

We applied those three sets of sequences from (Pakongpun & Kongson, 2022) work as follows. Let  $a, b, c, d$  and  $s$  be arbitrary real numbers with  $s \neq 0$ . The first set of sequences has the form for  $n \geq 0$ ,

$$\begin{aligned} \gamma_{n+2} &= k\gamma_{n+1} + \gamma_n, \\ \alpha_{n+1} &= ks\gamma_{n+1} + \beta_n, \\ \beta_{n+1} &= ks\gamma_{n+1} + \alpha_n. \end{aligned}$$

where  $\alpha_0 = a, \beta_0 = b, \gamma_0 = c$  and  $\gamma_1 = d$ .

From these sequences, we generate the first few members of the sequences  $\{\gamma_n\}_{n=0}^\infty, \{\alpha_n\}_{n=0}^\infty$  and  $\{\beta_n\}_{n=0}^\infty$  with respect to  $n$  represented in Table 1, Table 2 and Table 3 respectively.

**Table 1** This table shows first 8 members of  $\{\gamma_n\}_{n=0}^\infty$  from the first set of sequences.

$n$	$\{\gamma_n\}_{n=0}^\infty$
0	$c$
1	$d$
2	$kd + c$
3	$k^2d + kc + d$
4	$k^3d + k^2c + c + 2kd + c$
5	$k^4d + k^3c + 3k^2d + 2kc + d$
6	$k^5d + k^4c + k^3d + 3k^2c + 3kd + c$
7	$k^6d + k^5c + 5k^4d + 4k^3c + 6k^2d + 3kc + d$

**Table 2** This table shows first 8 members of  $\{\alpha_n\}_{n=0}^\infty$  from the first set of sequences.

$n$	$\{\alpha_n\}_{n=0}^\infty$
0	$a$
1	$ksc + b$
2	$ks(c+d) + a$
3	$k^2sd + ks(2c+d) + b$
4	$k^3sd + k^2s(c+d) + ks(2c+2d) + a$
5	$k^4sd + k^3s(c+d) + k^2s(c+3d) + ks(3c+2d) + b$
6	$k^5sd + k^4s(c+d) + k^3s(c+4d) + k^2s(3c+3d) + ks(3c+3d) + a$
7	$k^6sd + k^5s(c+d) + k^4s(c+5d) + k^3s(4c+4d) + k^2s(3c+6d) + ks(4c+3d) + b$

**Table 3** This table shows first 8 members of  $\{\beta_n\}_{n=0}^\infty$  from the first set of sequences.

$n$	$\{\beta_n\}_{n=0}^\infty$
0	$b$
1	$ksc + a$
2	$ks(c+d) + b$
3	$k^2sd + ks(2c+d) + a$
4	$k^3sd + k^2s(c+d) + ks(2c+2d) + b$
5	$k^4sd + k^3s(c+d) + k^2s(c+3d) + ks(3c+2d) + a$
6	$k^5sd + k^4s(c+d) + k^3s(c+4d) + k^2s(3c+3d) + ks(3c+3d) + b$
7	$k^6sd + k^5s(c+d) + k^4s(c+5d) + k^3s(4c+4d) + k^2s(3c+6d) + ks(4c+3d) + a$

Theorem 2.1. For any positive integer  $k$  and  $n$ ,

- (a)  $\gamma_n = F_{k,n}d + F_{k,n-1}c,$
- (b)  $\alpha_{2n} = (F_{k,2n} + F_{k,2n-1} - 1)sd + (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} + F_{k,2n-3} - 1)sc + a,$
- (c)  $\beta_{2n} = (F_{k,2n} + F_{k,2n-1} - 1)sd + (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} + F_{k,2n-3} - 1)sc + b,$
- (d)  $\alpha_{2n-1} = (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} - 1)sd + (F_{k,2n-2} + F_{k,2n-3} + F_{k,2n-4} - 1)sc + b,$  for  $n \geq 2,$
- (e)  $\beta_{2n-1} = (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} - 1)sd + (F_{k,2n-2} + F_{k,2n-3} + F_{k,2n-4} - 1)sc + a,$  for  $n \geq 2.$

*Proof.* we will prove (a) by mathematical induction.

Let  $P(n)$  be a statement  $\gamma_n = F_{k,n}d + F_{k,n-1}c$  for  $n \geq 1$ , we will show that  $P(1)$  is true.

Since  $F_{k,1}d + F_{k,0}c = (1)d + (0)c = d = \gamma_1$ , then  $P(1)$  is true. Let  $m \geq 1$ , assume that  $P(1), P(2), \dots, P(m-1), P(m)$  are true that is,  $\gamma_n = F_{k,i}d + F_{k,i-1}c$ , where  $1 \leq i \leq m$ .

We will show that  $P(m+1)$  is true.

consider,

$$\begin{aligned} \gamma_{m+1} &= k\gamma_m + \gamma_{m-1} \\ &= k(F_{k,m}d + F_{k,m-1}c) + F_{k,m-1}d + F_{k,m-2}c \\ &= k(F_{k,m} + F_{k,m-1})d + (kF_{k,m-1} + F_{k,m-2})c \\ \gamma_{m+1} &= F_{k,m+1}d + F_{k,m}c. \end{aligned}$$

Then  $P(m+1)$  is true.

By mathematical induction, the statement  $P(n)$  is true for all  $n \geq 1$ .

Next, we will prove (b) by mathematical induction.

Let  $P(n)$  be a statement,

$$\begin{aligned} \alpha_{2n} &= (F_{n-2n} + F_{k,2n-1} - 1)sd \\ &\quad + (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} + F_{k,2} - 1)sc + a, \text{ for } n \geq 1. \end{aligned}$$

We will show that  $P(1)$  is true.

Now consider,

$$\begin{aligned} &(F_{k,2(n)} + F_{k,2(1)-1} - 1)sd \\ &+ (F_{k,2(1)-1} + F_{k,2(1)-2} + F_{k,2} - 1)sc + a \\ &= (F_{k,2} + F_{k,1} - 1)sd + (F_{k,1} + F_{k,0} + F_{k,2} - 1)sc + a \\ &= (k+1-1)sd + (1+0+k-1)sc + a \\ &= ksd + ksc + a \\ &= ks(c+d) + a = \alpha_{2(1)}. \end{aligned}$$

Then  $P(1)$  is true.

Let  $m \geq 1$ , assume that  $P(m)$  is true that is,

$$\begin{aligned} \alpha_{2n} &= (F_{k-2m} + F_{k,2n-1} - 1)sd \\ &\quad + (F_{k,2m-1} + F_{k,2m-2} + F_{k,2} - 1)sc + a. \end{aligned}$$

We will show that  $P(m+1)$  is true.

Consider,

$$\begin{aligned} \alpha_{2m+2} &= ks\gamma_{2m+1} + \beta_{2m+1} \\ &= ks(F_{k,2m+1}d + F_{k,2m}c) + ks\gamma_{2m} + \alpha_{2m} \\ &= ks(F_{k,2m+1}d + F_{k,2m}c) + ks(F_{k,2m}d + F_{k,2m-1}c) \\ &\quad + (F_{k,2m} + F_{k,2m-1} - 1)sd + (F_{k,2m-1} + F_{k,2m-2} + \\ &\quad F_{k,2} - 1)sc + a \\ &= [(kF_{k,2m+1} + F_{k,2m})sd + (kF_{k,2m} + F_{k,2m-1}) \\ &\quad sd - sd] + [(kF_{k,2m} + F_{k,2m-1})sc + (kF_{k,2m-1} \\ &\quad + F_{k,2m-2})sc + F_{k,2}sc - sc] + a \\ &= (F_{k,2m+2} + F_{k,2m+1} - 1)sd + (F_{k,2m+1} + F_{k,2m} \\ &\quad + F_{k,2} - 1)sc + a \\ \alpha_{2(m+1)} &= (F_{k,2(m+1)} + F_{k,2(m+1)-1})sd \\ &\quad + (F_{k,2(m+1)-1} + F_{k,2(m+1)-2} + F_{k,2} - 1)sc + a. \end{aligned}$$

Then  $P(m+1)$  is true.

By mathematical induction the statement  $P(n)$  is true for all  $n > 1$ .

The proof of (c) is similar to (b).

To prove equation (d) for  $n \geq 2$ , using (a) and (c) we have,

$$\begin{aligned} \alpha_{2n-1} &= ks\gamma_{2n-2} + \beta_{2n-2} \\ &= ks(F_{k,2n-2}d + F_{k,2n-3}c) + (F_{k,2n-2} + F_{k,2n-3} - 1)sd \\ &\quad + (F_{k,2n-3} + F_{k,2n-4} + F_{k,2} - 1)sc + b \\ &= [(kF_{k,2n-2} + F_{k,2n-3})sd + (F_{k,2n-2}sd - sd)] + \\ &\quad [(kF_{k,2n-3} + F_{k,2n-4})sc + (F_{k,2n-3}sc + F_{k,2}sc - sc)] \\ &\quad + b \\ &= (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} - 1)sd + (F_{k,2n-2} + F_{k,2n-3} \\ &\quad + F_{k,2} - 1)sc + b, \end{aligned}$$

then

$$\begin{aligned} \alpha_{2n-1} &= (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} - 1)sd \\ &\quad + (F_{k,2n-2} + F_{k,2n-3} + F_{k,2} - 1)sc + b. \end{aligned}$$

is true.

**By (a), (b), and the proof is similar to (d), then we have (e).**

The proof is complete.

Next, we present the second sequences.

The second set of sequences has the form for

$n \geq 0$ ,

$$\begin{aligned} \gamma_{n+2} &= k\gamma_{n+1} + \gamma_n, \\ \alpha_{n+1} &= k\gamma_{n+1} + \beta_n, \\ \beta_{n+1} &= k\gamma_{n+1} + \alpha_n. \end{aligned}$$

where  $\alpha_0 = a, \beta_0 = b, \gamma_0 = c$  and  $\gamma_1 = d$ .

From these sequences, we generate the first 7 members of the sequences  $\{\alpha_n\}_{n=0}^\infty$  and  $\{\beta_n\}_{n=0}^\infty$  with respect to  $n$  represented in Table 4, and Table 5 respectively.

**Table 4** This table shows first 7 members of  $\{\alpha_n\}_{n=0}^\infty$  from the second set of sequences.

$n$	$\{\alpha_n\}_{n=0}^\infty$
0	$a$
1	$ksd + a$
2	$k^2sd + ks(c+d) + a$
3	$k^3sd + k^2s(c+d) + ks(c+2d) + b$
4	$k^4sd + k^3s(c+d) + k^2s(c+3d) + ks(2c+2d) + a$
5	$k^5sd + k^4s(c+d) + k^3s(c+4d) + k^2s(3c+3d) + ks(2c+3d) + b$
6	$k^6sd + k^5s(c+d) + k^4s(c+5d) + k^3s(4c+4d) + k^2s(3c+6d) + ks(3c+3d) + a$

**Table 5** This table shows first 7 members of  $\{\beta_n\}_{n=0}^\infty$  from the second set of sequences.

$n$	$\{\beta_n\}_{n=0}^\infty$
0	$b$
1	$ksd + a$
2	$k^2sd + ks(c+d) + b$
3	$k^3sd + k^2s(c+d) + ks(c+2d) + a$
4	$k^4sd + k^3s(c+d) + k^2s(c+3d) + ks(3c+2d) + b$
5	$k^5sd + k^4s(c+d) + k^3s(c+4d) + k^2s(3c+3d) + ks(2c+3d) + a$
6	$k^6sd + k^5s(c+d) + k^4s(c+5d) + k^3s(4c+4d) + k^2s(3c+6d) + ks(3c+3d) + b$

Theorem 2.2. For any positive integer  $k$  and  $n$ ,

- (a)  $\gamma_n = F_{k,n}d + F_{k,n-1}c,$
- (b)  $\alpha_{2n} = (F_{k,2n+1} + F_{k,2n} - 1)sd + (F_{k,2n} + F_{k,2n-1} - 1)sc + a,$
- (c)  $\beta_{2n} = (F_{k,2n+1} + F_{k,2n} - 1)sd + (F_{k,2n} + F_{k,2n-1} - 1)sc + b,$
- (d)  $\alpha_{2n-1} = (F_{k,2n} + F_{k,2n-1} - 1)sd + (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} - 1)sc + b,$
- (e)  $\beta_{2n-1} = (F_{k,2n} + F_{k,2n-1} - 1)sd + (F_{k,2n-1} + F_{k,2n-2} - 1)sc + a.$

*Proof.* The proofs are similar to theorem 2.1.

Finally, the last sequences in our work.

The third set of sequences has the form for

$n \geq 0,$

$$\gamma_{n+1} = k\gamma_n + \frac{\alpha_n + \beta_n}{2s}$$

$$\alpha_{n+1} = ks\gamma_n + \beta_n,$$

$$\beta_{n+1} = ks\gamma_n + \alpha_n.$$

where  $\alpha_0 = 2as, \beta_0 = 2sb$  and  $\gamma_0 = c.$

The first 7 members of the sequences  $\{\gamma_n\}_{n=0}^\infty,$   $\{\alpha_n\}_{n=0}^\infty$  and  $\{\beta_n\}_{n=0}^\infty$  are show in Table 6, Table 7, and Table 8 respectively.

**Table 6** This table shows first 7 members of  $\{\gamma_n\}_{n=0}^\infty$  from the third set of sequences.

$n$	$\{\gamma_n\}_{n=0}^\infty$
0	$c$
1	$kc + a + b$
2	$k^2c + k(a+b+c) + a + b$
3	$k^3c + k^2(a+b+2c) + k(2a+2b+c) + a + b$
4	$k^4c + k^3(a+b+3c) + k^2(3a+3b+3c) + k(3c+3b+c) + a + b$
5	$k^5c + k^4(a+b+4c) + k^3(4c+4b+6c) + k^2(6a+6b+4c) + k(4a+4b+c) + a + b$
6	$k^6c + k^5(a+b+5c) + k^4(5a+5b+10c) + k^3(10a+10b+10c) + k^2(10a+10b+5c) + k(5a+5b+c) + a + b$

**Table 7** This table shows first 7 members of  $\{\alpha_n\}_{n=0}^\infty$  from the third set of sequences.

$n$	$\{\alpha_n\}_{n=0}^\infty$
0	$2as$
1	$ksc + 2bs$
2	$k^2sc + ks(a+b+c) + 2as$
3	$k^3sc + k^2s(a+b+2c) + ks(2a+2b+c) + 2bs$
4	$k^4sc + k^3s(a+b+3c) + k^2s(3a+3b+3c) + ks(3a+3b+c) + 2as$
5	$k^5sc + k^4s(a+b+4c) + k^3s(4c+4b+6c) + k^2s(6a+6b+4c) + ks(4a+4b+c) + 2bs$
6	$k^6sc + k^5s(a+b+5c) + k^4s(5a+5b+10c) + k^3s(10a+10b+10c) + k^2s(10a+10b+5c) + ks(5a+5b+c) + 2as$

**Table 8** This table shows first 7 members of  $\{\beta_n\}_{n=0}^\infty$  from the third set of sequences.

$n$	$\{\beta_n\}_{n=0}^\infty$
0	$2bs$
1	$ksc + 2as$
2	$k^2sc + ks(a+b+c) + 2bs$
3	$k^3sc + k^2s(a+b+2c) + ks(2a+2b+c) + 2as$
4	$k^4sc + k^3s(a+b+3c) + k^2s(3a+3b+3c) + ks(3a+3b+c) + 2bs$
5	$k^5sc + k^4s(a+b+4c) + k^3s(4c+4b+6c) + k^2s(6a+6b+4c) + ks(4a+4b+c) + 2as$
6	$k^6sc + k^5s(a+b+5c) + k^4s(5a+5b+10c) + k^3s(10a+10b+10c) + k^2s(10a+10b+5c) + ks(5a+5b+c) + 2bs$

Theorem 2.3. For any positive integer  $k$  and  $n$ ,

- (a)  $\gamma_{n+1} = \gamma_n(F_{k,2} + F_{k,1}) = \gamma_1(F_{k,2} + F_{k,1})^n,$
- (b)  $\alpha_{2n} = \gamma_1s(F_{k,2} + F_{k,1})^{2n-1} + as - bs,$
- (c)  $\beta_{2n} = \gamma_1s(F_{k,2} + F_{k,1})^{2n-1} + bs - as,$
- (d)  $\alpha_{2n-1} = \gamma_1s(F_{k,2} + F_{k,1})^{2n-2} + bs - as,$
- (e)  $\beta_{2n-1} = \gamma_1s(F_{k,2} + F_{k,1})^{2n-2} + as - bs.$



*Proof.* To prove (a) we will show that  $\gamma_{n+1} = \gamma_n(F_{k,2} + F_{k,1})$  since,  $\gamma_{n+1} = k\gamma_n + \frac{\alpha_n + \beta_n}{2s}$  and we know that,

$$\frac{\alpha_n + \beta_n}{2s} = \frac{(k\gamma_{n-1} + \beta_{n-1}) + (k\gamma_{n-1} + \alpha_{n-1})}{2s}$$

$$= k\gamma_{n-1} + \frac{\alpha_{n-1} + \beta_{n-1}}{2s},$$

so, we have  $\gamma_{n+1} = k\gamma_n + k\gamma_{n-1} + \frac{\alpha_{n-1} + \beta_{n-1}}{2s}$

Since  $\gamma_n = k\gamma_{n-1} + \frac{\alpha_{n-1} + \beta_{n-1}}{2s}$

we get that,

$$\begin{aligned} \gamma_{n+1} &= k\gamma_n + \gamma_n \\ &= \gamma_n(k+1) \end{aligned}$$

$$\gamma_{n+1} = \gamma_n(F_{k,2} + F_{k,1}).$$

Next, we will show that  $\gamma_{n+1} = \gamma_n(F_{k,2} + F_{k,1})^n$ .

Since  $\gamma_n = \gamma_{n-1}(F_{k,2} + F_{k,1})$

we have that,

$$\begin{aligned} \gamma_2 &= \gamma_1(F_{k,2} + F_{k,1}), \\ \gamma_3 &= \gamma_2(F_{k,2} + F_{k,1}) = \gamma_1(F_{k,2} + F_{k,1})^2, \\ \gamma_4 &= \gamma_3(F_{k,2} + F_{k,1}) = \gamma_1(F_{k,2} + F_{k,1})^3, \\ &\vdots \\ \gamma_{n+1} &= \gamma_1(F_{k,2} + F_{k,1})^n. \end{aligned}$$

thus  $\gamma_{n+1} = \gamma_n(F_{k,2} + F_{k,1}) = \gamma_1(F_{k,2} + F_{k,1})^n$ .

We will prove (b) by mathematical induction.

Let  $P(n)$  be the statement

$$\alpha_{2n} = \gamma_1 s(F_{k,2} + F_{k,1})^{2n-1} + as - bs \text{ for } n \geq 1.$$

We will show that  $P(1)$  is true.

consider,

$$\begin{aligned} &\gamma_1 s(F_{k,2} + F_{k,1})^{2(1)-1} + as - bs \\ &= s(kc+a+b)(k+1) + as - bs \\ &= k^2sc + ksa + ksb + ksc + as - bs + as + bs \\ &= k^2sc + ks(a+b+c) + 2as + \alpha_{2(1)} \end{aligned}$$

Then  $P(1)$  is true.

Let  $n \geq 1$ , assume that  $P(m)$  is true.

That is,  $\alpha_{2m} = \gamma_1 s(F_{k,2} + F_{k,1})^{2m-1} + as - bs$ .

We will show that  $P(m+1)$  is true.

Consider,

$$\begin{aligned} \alpha_{2(m+1)} &= \alpha_{2m+2} \\ &= ks\gamma_{2m+1} + \beta_{2m+1} \\ &= ks\gamma_{2m+1} + \beta_{2m} + \alpha_{2m} \\ &= ks\gamma_1(F_{k,2} + F_{k,1})^{2m} + ks\gamma_1(F_{k,2} + F_{k,1})^{2m-1} \\ &\quad + \gamma_1 s(F_{k,2} + F_{k,1})^{2m-1} + as - bs \\ &= ks\gamma_1(k+1)^{2m} + ks\gamma_1(k+1)^{2m-1} \\ &\quad + \gamma_1 s(k+1)^{2m-1} + as - bs \\ &= ks\gamma_1(k+1)(k+1)^{2m-1} + ks\gamma_1(k+1)^{2m-1} \\ &\quad + \gamma_1 s(k+1)^{2m-1} + as - bs \\ &= \gamma_1 s(k+1)^{2m-1} + [k(k+1)+k+1] + as - bs \\ &= \gamma_1 s(k+1)^{2m+1} + as - bs \\ &= \gamma_1 s(F_{k,2} + F_{k,1})^{2(m+1)-1} + as - bs \end{aligned}$$

then  $P(m+1)$  is true.

By mathematical induction the statement  $P(n)$  is true for all  $n \geq 1$ .

The proof of (c) is similar to (b).

From (a) and (c) we have (d), and similarly from (a) and (b) we also have (e).

### Conclusion and Discussion

A new three combined sequences related to  $k$ -Fibonacci sequences from new types were introduced and explicit formulas for their members are given.

From our sequences,

the first set of sequences,

$$\begin{aligned} \gamma_{n+2} &= k\gamma_{n+1} + \gamma_n \\ \alpha_{n+1} &= ks\gamma_n + \beta_n \\ \beta_{n+1} &= ks\gamma_n + \alpha_n \end{aligned}$$

the second set of sequences,

$$\begin{aligned} \gamma_{n+2} &= k\gamma_{n+1} + \gamma_n \\ \alpha_{n+1} &= ks\gamma_{n+1} + \beta_n \\ \beta_{n+1} &= ks\gamma_{n+1} + \alpha_n \end{aligned}$$

the third set of sequences,

$$\begin{aligned}\gamma_{n+1} &= k\gamma_n + \frac{\alpha_n + \beta_n}{2s} \\ \alpha_{n+1} &= ks\gamma_n + \beta_n, \\ \beta_{n+1} &= ks\gamma_n + \alpha_n.\end{aligned}$$

If  $s = 1$ , then the results correspond to the 3 set of sequences and the theorem 1.1, 1.2, and 1.3 in (Pakapongpun & Kongson, 2022). Other new schemes, modifying the standard form of  $k$ -Fibonacci sequences and new combined sequences will be discussed in the future.

### Acknowledgements

We thank the referees for their valuable reports that have improved this work.

### References

Falcon, S., & Plaza, Á. (2007). On the fibonacci k-numbers. *Chaos, Solitons Fractals*, 32(5), 1615-1624.

Atanassov, K. T. (2018). On two new combined 3-Fibonacci sequences. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 24(2), 90-93.

Atanassov, K. T. (2018). On two new combined 3-Fibonacci sequences. Part 2. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 24(3), 111-114.

Nubpetchploy, S., Pakapongpun, A. (2021). Three combined sequences related to Jacobsthal sequences. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, 16(1), 149-157.

Atanassov, K. T. (2022). On two new combined 3-Fibonacci sequences. Part 3. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 28(1), 143-146.

Pakapongpun, A., & Kongson, J. 2022. "Three combined sequences related to k-Fibonacci sequences. *Computer Science*, 7(2), 551-559.

# ตัวแบบทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุจังหวัดสงขลาและจังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2560

## A predictive model for the work needs of the elderly in Songkhla and Khon Kaen Province, 2017

เขมิกา อูระวงศ์<sup>1</sup>, เยาวลักษณ์ เรืองเมือง<sup>2\*</sup>, วรินทิพย์ สุขอนันต์<sup>2</sup>, นภัสสร ขุนศรี<sup>2</sup> และ เกษมา ผลผลา<sup>2</sup>  
Khemika Urawong<sup>1</sup>, Yaowalak Ruangmuang<sup>2\*</sup>, Warintip Sukanan<sup>2</sup>,  
Napatson Kunsri<sup>2</sup> and Kesama Pholpha<sup>2</sup>

Received: 7 May 2023 ; Revised: 10 July 2023 ; Accepted: 4 August 2023

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความต้องการทำงานของผู้สูงอายุ และสร้างตัวแบบทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุจังหวัดสงขลาและจังหวัดขอนแก่น ข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือ ข้อมูลผู้สูงอายุที่มีอายุตั้งแต่ 55 ปีขึ้นไป ในจังหวัดสงขลา 558 คน และขอนแก่น 718 คน รวม 1,276 คน จากโครงการสำรวจประชากรผู้สูงอายุในประเทศไทย พ.ศ.2560 ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ สถิติวิเคราะห์ได้แก่ การทดสอบไคกำลังสอง (Chi-squared test) การวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติก (Logistic regression analysis)

ผลการวิจัยพบว่า ผู้สูงอายุจำนวน 549 คน (ร้อยละ 43.0) ใน 1,276 คน มีความต้องการทำงาน โดยความต้องการทำงานของผู้สูงอายุในจังหวัดสงขลา (ร้อยละ 43.2) และขอนแก่น (ร้อยละ 42.9) ไม่แตกต่างกัน (P-value=0.916) ผู้สูงอายุที่มีวัยต่างกันจะมีความต้องการทำงานแตกต่างกัน (P<0.05; P-value=0.000) โดยผู้สูงอายุวัยก่อนเกษียณอายุมีความต้องการทำงาน (ร้อยละ 67.2) มากกว่าผู้สูงอายุวัยหลังเกษียณอายุ (ร้อยละ 33.6) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความต้องการทำงานของผู้สูงอายุได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส จำนวนสมาชิกในครัวเรือน การเป็นเจ้าของบ้าน ประวัติการรับราชการหรือรัฐวิสาหกิจ รายได้ ความเพียงพอของรายได้ การอ่านออกเขียนได้ ระยะเวลาที่ต้องการทำงานต่อ สถานะอยู่อาศัยในครัวเรือน ภาวะสุขภาพร่างกาย สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา ตัวแบบในการทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุซึ่งสามารถทำนายได้ถูกต้องร้อยละ 86.4 ด้วยปัจจัยทำนายเพียงปัจจัยเดียวคือ สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา

คำสำคัญ: ผู้สูงอายุ, ความต้องการทำงาน, การวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติก

### Abstract

This research aimed to study factors related to the work need of the elderly and to create a model to predict the work need of the elderly in Songkhla and Khon Kaen provinces. The sample data included the elderly aged 55 years and over in Songkhla Province (558 people) and in Khon Kaen Province (718 people) totaling 1,276 people, obtained from the 2017 Survey of the Elderly in Thailand by the National Statistical Office. Analytical statistics included Chi-squared test and Logistic regression analysis.

The results showed that 549 (43.0%) of 1,276 elderly people had work needs. The work needs of the elderly in Songkhla (43.2%) and Khon Kaen (42.9%) were not different (P-value=0.916). Elderly people of different ages had different work needs (P<0.05; P-value=0.000). Pre-retirement elderly had greater work need (67.2%) than

<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

<sup>2</sup> นักศึกษา, หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (สถิติ) สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

<sup>1</sup> Assistant Professor, Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90110

<sup>2</sup> Bachelor of Science (Statistics), Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90110

\* Correspondent author: Email: jantra.s@psu.ac.th

post-retirement elderly (33.6%). Factors that were statistically significantly correlated with work need of the elderly were sex, age, education level, marital status, number of household members, home ownership, history of government service or state enterprise, income, adequacy of income, literacy, time required to continue working, household status, physical health status and employment status in the past 12 months. The model for predicting the work need of the elderly, was able to predict with 86.4 percent accuracy, with only one predicting factor that was employment status in the past 12 months.

**Keywords:** Elderly, work need, logistic regression analysis

## บทนำ

ประเทศไทย โดยการสำรวจประชากรสูงอายุของสำนักงานสถิติแห่งชาติ พบว่าจำนวนผู้สูงอายุในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2560 และปี 2564 มีจำนวนผู้สูงอายุ (60 ปีขึ้นไป) ร้อยละ 16.8 และ 19.6 ของจำนวนประชากรทั้งประเทศ ซึ่งถือได้ว่าประเทศไทยก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (complete aged society) และคาดการณ์จำนวนผู้สูงอายุร้อยละ 28 เข้าสู่สังคมผู้สูงอายุระดับสุดยอด (super aged society) ในปี 2578 โดยจะมีผลทำให้โครงสร้างทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะด้านกำลังแรงงานที่ผู้สูงอายุจะเข้ามามีบทบาทในการเป็นกำลังแรงงานเพิ่มขึ้น ผู้สูงอายุที่มีงานทำมีความสำคัญต่อการขับเคลื่อนการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ (วิทยาลัยประชากรศาสตร์, 2564) และ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2565)

การเตรียมความพร้อมรองรับสังคมผู้สูงอายุในระดับนโยบายของภาครัฐได้ดำเนินการ โดยกรมกิจการผู้สูงอายุ กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ เป็นหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบภารกิจเกี่ยวกับผู้สูงอายุ จัดทำมาตรการขับเคลื่อนระเบียบวาระแห่งชาติ เรื่องสังคมสูงอายุ สอดคล้องกับรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พุทธศักราช 2560 พระราชบัญญัติผู้สูงอายุ พ.ศ. 2546 ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี และแผนผู้สูงอายุแห่งชาติ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2545 - 2564) ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 พ.ศ. 2552 ก่อให้เกิดการบูรณาการการทำงานระหว่างหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาสังคม เพื่อให้ผู้สูงอายุได้รับการส่งเสริม ศักยภาพคุ้มครอง และพิทักษ์สิทธิ สามารถดำเนินชีวิตได้อย่างมั่นคง และมีคุณภาพชีวิตที่ดี สำหรับผู้มีรายได้น้อยมีมาตรการความช่วยเหลือภาครัฐ ได้แก่ เบี้ยยังชีพผู้สูงอายุ การกั๊ยมกองทุนผู้สูงอายุผ่านบัตรสวัสดิการแห่งรัฐ (กรมกิจการผู้สูงอายุ, 2562) นอกเหนือจากนั้นมีการส่งเสริมการทำงานเพื่อเพิ่มรายได้ของผู้สูงอายุ ตลอดจนการให้คำปรึกษารับสมัครงาน และจัดอบรมฝึกอาชีพสำหรับผู้สูงอายุ เป็นการช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุให้สามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน

การศึกษางานของผู้สูงอายุไทยในปี 2564 ที่ผ่านมามีร้อยละ 34.7 ของผู้สูงอายุยังคงทำงานอยู่ด้วยเหตุผลหลักเนื่องจากสุขภาพแข็งแรงหรือยังมีแรงทำงาน (ร้อยละ 47.3) และต้องการรายได้เลี้ยงครอบครัวหรือตนเอง (ร้อยละ 44.6) (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2565) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่ผู้สูงอายุยังคงต้องการทำงาน กลุ่มผู้สูงอายุเหล่านี้ยังคงช่วยสร้างรายได้ให้กับตนเอง ครอบครัว และจะเข้ามามีบทบาทในการเป็นกำลังแรงงานเพิ่มขึ้นในอนาคตทดแทนประชากรวัยแรงงานที่ลดลงภายในปี พ.ศ. 2643 ตามการคาดการณ์ขององค์การระหว่างประเทศ อ้างอิงใน (วิทยาลัยประชากรศาสตร์, 2564) จึงมีความสำคัญที่เราควรคาดการณ์ได้ว่าผู้สูงอายุจะมีความต้องการทำงานมากขึ้นเพียงใด ปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อความต้องการทำงาน และใช้ในการทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุ เพื่อส่งเสริมการจ้างงานและการทำงานในกลุ่มผู้สูงอายุให้ทำงานได้ตามศักยภาพและมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ซึ่งประเด็นเหล่านี้มีผู้ศึกษาไว้แล้วสำหรับผู้สูงอายุทั้งที่ทำงานอยู่ในหน่วยงานภาครัฐ ภาคอุตสาหกรรม อาศัยในเขตกรุงเทพมหานครและส่วนภูมิภาค ได้แก่ ชาราทิพย์ พวงเชียง (2550) วิจิต จรุงสุจริตกุล (2559) สุเนตร สุวรรณละออง (2561) มโนลี ศรีเปารยะ เพ็ญพงษ์ (2562) วีรวรรณ แก้วใส (2563) พงษ์พันธ์ แจ่มสว่าง (2563) และจตุพร สุวกุลศิริ และคณะ (2564) เป็นต้น

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาข้อมูลผู้สูงอายุจังหวัดสงขลาและจังหวัดขอนแก่น ในช่วงอายุวัยก่อนเกษียณอายุ (55-59 ปี) และวัยหลังเกษียณอายุ (อายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป) ภายใต้บริบทด้านสังคม เศรษฐกิจ การศึกษา และการคมนาคมขนส่ง ที่คล้ายคลึงกัน อันจะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อค้นพบจากการศึกษานี้ไปใช้วางแผนส่งเสริมสนับสนุนให้ผู้สูงอายุที่มีความต้องการทำงานได้มีโอกาสในการทำงานตามความพร้อมและศักยภาพที่เหมาะสมต่อไป



## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความต้องการทำงานของผู้สูงอายุ และสร้างตัวแบบทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุจังหวัดสงขลาและจังหวัดขอนแก่น

## วิธีการวิจัย

1. ข้อมูลและแหล่งข้อมูล ข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ศึกษา คือข้อมูลผู้สูงอายุในจังหวัดสงขลาและจังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2560 อายุตั้งแต่ 55 ปีขึ้นไป ที่มีการบันทึกครบถ้วนสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ จังหวัดสงขลาจำนวน 558 คน และจังหวัดขอนแก่นจำนวน 718 คน รวม 1,276 คน ซึ่งได้จาก "ผลการสำรวจประชากรผู้สูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2560" ดำเนินการโดยสำนักงานสถิติแห่งชาติซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลสถานการณ์ผู้สูงอายุ

ทั้งนี้การใช้ข้อมูลตัวอย่างผู้สูงอายุ จังหวัดสงขลาและจังหวัดขอนแก่น รวมเป็นชุดตัวอย่างกรณีศึกษา เพื่อชี้ให้เห็นความต้องการทำงานของผู้สูงอายุในภูมิภาคที่ต่างกัน (ภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) ภายใต้ความคล้ายคลึงกันของจังหวัดสงขลาและจังหวัดขอนแก่น ในบริบทตามลำดับดังนี้ ด้านสังคม (ประชากรปี 2564: จำนวน 1,431,536 และ 1,790,863 คน ร้อยละของผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป: 16.59 และ 18.89) ด้านเศรษฐกิจ (รายได้ครัวเรือนปี 2564: 22,691.40 และ 18,028.45 บาท/เดือน) ด้านการศึกษามีสถาบันการศึกษาชั้นนำในจังหวัด และด้านการคมนาคมขนส่งมีศักยภาพของพื้นที่ที่เป็นเมืองเศรษฐกิจขนาดใหญ่ในภูมิภาค ประกอบด้วย การขนส่งระบบราง ท่าอากาศยาน และท่าเรือ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2564) (คณะกรรมการบริหารงานจังหวัดแบบบูรณาการจังหวัดสงขลา, 2562) และ (กลุ่มงานยุทธศาสตร์และข้อมูลเพื่อการพัฒนาจังหวัด สำนักงานจังหวัดขอนแก่น, 2565)

2. ตัวแปรในการศึกษานี้ ได้จากข้อมูลการสำรวจประชากรผู้สูงอายุในประเทศไทย พ.ศ.2560 ดำเนินการโดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ ประกอบด้วยตัวแปรตาม คือ ความต้องการทำงาน(ต้องการ ไม่ต้องการ) และตัวแปรอิสระ 19 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ซึ่งอยู่ภายใต้ 3 ปัจจัย ได้แก่ (1) ปัจจัยด้านประชากร ประกอบด้วย 9 ตัวแปรคือ เพศ อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส เขตที่อยู่อาศัย จังหวัด จำนวนบุตร จำนวนสมาชิกในครัวเรือน และการเป็นเจ้าของบ้าน (2) ปัจจัยด้านการงานและเศรษฐกิจ ประกอบด้วย 7 ตัวแปรคือ ภาวะหนี้สิน ประวัติการรับราชการหรือรัฐวิสาหกิจ การออมหรือมีทรัพย์สินอื่น รายได้ ความเพียงพอของรายได้ การอ่านออกเขียนได้ และระยะเวลาที่ต้องการทำงานต่อ (3) ปัจจัยด้านสุขภาพและการเกื้อหนุนประกอบด้วย 3 ตัวแปรคือ สถานะการอยู่อาศัยในครัวเรือน ภาวะ

สุขภาพร่างกาย และสถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา

3. ขนาดตัวอย่างผู้สูงอายุที่ใช้เพื่อตอบวัตถุประสงค์การหาปัจจัยที่ใช้ในการทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุในจังหวัดสงขลาและขอนแก่น พ.ศ. 2560 ด้วยการถดถอยลอจิสติก 1,276 คนมากกว่าที่แนะนำ คือ 30p โดยที่ p คือ จำนวนตัวแปรทำนาย (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2554) ในตัวแบบที่ได้จากงานวิจัยนี้

4. การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS Version 28 ด้วยสถิติพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ในการสรุปข้อมูลด้านประชากร ด้านการทำงานและเศรษฐกิจ และด้านสุขภาพและการเกื้อหนุน รวมทั้งข้อมูลความต้องการทำงานของผู้สูงอายุ สำหรับการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ต่อความต้องการทำงานใช้การทดสอบไคกำลังสอง (Chi-squared Test) และการทดสอบของฟิชเชอร์ (fisher's exact test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การสร้างตัวแบบการทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุใช้การวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติก (logistic regression analysis) โดยใช้ Hosmer and Lemeshow Test และการเปรียบเทียบผลการทำนายกับข้อมูลจริง สำหรับการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ และ Wald Test สำหรับการทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรทำนาย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยตัวแปรตามคือความต้องการทำงาน (ต้องการ/ไม่ต้องการ) และตัวแปรอิสระ 19 ตัว คัดเลือกเหลือ 14 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับความต้องการทำงาน (Chi-squared  $P < 0.05$ ) และมีความสัมพันธ์กันระหว่าง 2 ตัวแปรเชิงคุณภาพต่ำกว่า 0.70 (Cramér's V statistics  $< 0.70$ ) เข้าในตัวแบบการคัดเลือกตัวแปรเข้าตัวแบบด้วยวิธี Forward stepwise: likelihood ratio โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.10 สำหรับการนำตัวแปรทำนายเข้าและออกจากตัวแบบ ตามลำดับ พิจารณาความสามารถในการอธิบายความผันแปรด้วย Cox&Snell  $R^2$  ซึ่งจะต้องมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ และ Nagelkerke  $R^2$  ซึ่งจะมีค่ามากกว่า Cox&Snell  $R^2$  เสมอ นำไปคูณด้วย 100 เป็นค่า  $R^2$  เทียม หรือเรียกว่า Pseudo  $R^2$  ซึ่งเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่อธิบายความผันแปรในการวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติก (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2554)

## ผลการศึกษา

### 1. ข้อมูลทั่วไปของตัวอย่างผู้สูงอายุ ดัง Table 1

1.1 ข้อมูลด้านประชากร ผู้สูงอายุโดยภาพรวมสองจังหวัดมากกว่าครึ่งเป็นเพศหญิง(ร้อยละ 54.8) เป็นผู้สูงอายุวัยหลังเกษียณ มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป (ร้อยละ 72.0) ที่เหลืออายุ 55-59 ปี การศึกษาเรียนจบระดับต่ำกว่าประถมศึกษา

(ร้อยละ 78.3) มีสถานภาพสมรส (ร้อยละ 69.5) อาศัยอยู่นอกเขตเทศบาล (ร้อยละ 57.9) จังหวัดขอนแก่น (ร้อยละ 56.3) ที่เหลือจังหวัดสงขลา มีจำนวนบุตร 1-2 คน (ร้อยละ 52.1) รองลงมาไม่มีบุตร (ร้อยละ 46.8) มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือน 2-3 คน (ร้อยละ 55.6) และผู้สูงอายุเองหรือคู่สมรสเป็นเจ้าของบ้าน (ร้อยละ 86.4)

1.2 ข้อมูลด้านการทำงานและเศรษฐกิจ

ตัวอย่างเกือบทั้งหมดระบุว่าตนเองไม่มีหนี้สิน (ร้อยละ 99.8) ไม่เคยรับราชการหรือรัฐวิสาหกิจ (ร้อยละ 97.1) มีการออมหรือมีทรัพย์สินอื่น (ร้อยละ 86.8) รายได้ตั้งแต่ 50,000 บาทขึ้นไปต่อปี (ร้อยละ 58.4) มีรายได้ไม่เพียงพอ/เพียงพอเป็นบางครั้ง (ร้อยละ 44.7) รองลงมาไม่มีรายได้เพียงพอ (ร้อยละ 44.4) สามารถอ่านออกเขียนได้ (ร้อยละ 93.5) และ

ไม่แน่ใจทำงานต่อ/ระยะเวลาที่จะทำงานต่อ (ร้อยละ 69.6)

1.3 ข้อมูลด้านสุขภาพและการเกื้อหนุนผู้สูงอายุเป็นหัวหน้าครัวเรือน (ร้อยละ 61.5) มีภาวะสุขภาพร่างกายอยู่ในระดับดี (ร้อยละ 49.0) รองลงมาคือปานกลาง (ร้อยละ 41.2) และได้ทำงานในระหว่าง 12 เดือนที่ผ่านมา (ร้อยละ 50.9)

2. ข้อมูลความต้องการทำงาน ดัง Table 1

ผู้สูงอายุตัวอย่าง 1,276 คน มีความต้องการทำงานจำนวน 549 คน (ร้อยละ 43.0) และไม่ต้องการทำงานจำนวน 727 คน (ร้อยละ 57.0) ผู้สูงอายุในจังหวัดสงขลา (ร้อยละ 43.2) และขอนแก่น (ร้อยละ 42.9) มีความต้องการทำงานแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value=0.0916) ดัง Table 1

**Table 1** Numbers (percentages) of the elderly classified according to the sociodemographic variables of the elderly and the P-values of Chi-squared test and the Fisher's P-value of Fisher's exact test.

Sociodemographic variables	Work need		Total	Sociodemographic variables	Work need		Total
	Yes	No			Yes	NO	
1. Gender	P-value = 0.000*			11. History of government service/state enterprise	P-value = 0.000*		
Male	306(53.0)	271(47.0)	577(45.2)	Used to	28(75.7)	9(24.3)	37(2.9)
Female	243(34.8)	456(65.2)	699(54.8)	Never	521(42.1)	718(57.9)	1,239(97.1)
2. Age	P-value = 0.000*			12. Saving/Other assets	P-value = 0.583		
55-59 years	240(67.2)	117(32.8)	357(28.0)	Have	480(43.3)	628(56.7)	1,108(86.8)
60 years or more	309(33.6)	610(66.4)	919(72.0)	Do not have	69(41.1)	99(58.9)	168(13.2)
3. Education level	P-value = 0.000*			13. Annual income	P-value = 0.000*		
None	11(19.6)	45(80.4)	56(4.4)	Below 10,000 baht	3(7.3)	38(92.7)	41(3.2)
Primary school or less	426(42.6)	573(57.4)	999(78.3)	10,000 - 29,999 baht	41(18.6)	179(81.4)	220(17.2)
Primary school or higher	112(50.7)	109(49.3)	221(17.3)	30,000 - 49,999 baht	100(36.9)	171(63.1)	271(21.2)
4. Marital status	P-value = 0.000*			From 50,000 baht or more	405(54.4)	339(45.6)	744(58.4)
Single	16(39.0)	25(61.0)	41(3.2)	14. Income sufficiency	P-value = 0.000*		
Married	445(50.2)	442(49.8)	887(69.5)	Left over	81(58.3)	58(41.7)	139(10.9)
Widowed/others	88(25.3)	260(74.7)	348(27.3)	Enough	217(38.3)	349(61.7)	566(44.4)
5. Residential area	P-value = 0.489			Not/sometimes enough	251(44.0)	320(56.0)	571(44.7)
In the municipality	225(41.9)	312(58.1)	537(42.1)	15. Literacy	P-value = 0.000*		
Outside the municipality	324(43.8)	415(56.2)	739(57.9)	Can	540(45.3)	653(54.7)	1,193(93.5)
6. Province	P-value = 0.916			Cannot	9(10.8)	74(89.2)	83(6.5)
Songkhla	241(43.2)	317(56.8)	558(43.7)	16. Time required	P-value = 0.000*		
Khon Kaen	308(42.9)	410(57.1)	718(56.3)	to continue working			
7. Number of children	P-value = 0.149			1 - 9 years	140(76.5)	43(23.5)	183(14.3)
Childless	241(42.3)	329(57.7)	570(46.8)	10 years or more	159(77.6)	46(22.4)	205(16.1)
1-2 children	276(43.5)	358(56.5)	634(52.1)	Not sure continue working	250(28.2)	638(71.8)	888(69.6)
3-4 children	9(69.2)	4(30.8)	13(1.1)	17. Household status	P-value = 0.040*		
Not specified	23(-)	36(-)	59(-)	Head of household (HH)	347(44.2)	438(55.8)	785(61.5)
8. Household size	P-value = 0.007*			Husband/wife of HH	168(43.9)	215(56.1)	383(30.0)
1 person	41(31.5)	89(68.5)	130(10.2)	Father/mother/others of HH	34(31.5)	74(68.5)	108(8.5)
2 - 3 persons	316(44.5)	394(55.5)	710(55.6)	18. Physical health status	P-value = 0.000*		
4 - 5 persons	129(41.0)	186(59.0)	315(24.7)	Good	332(53.1)	293(46.9)	625(49.0)
6 or more persons	63(52.1)	58(47.9)	121(9.5)	Moderate	205(39.0)	321(61.0)	526(41.2)
9. Home ownership	P-value = 0.002*			Not good	12(9.6)	113(90.4)	125(9.8)
Elderly/Spouse	484(43.9)	619(56.1)	1,103(86.4)	19. Employed status	P-value = 0.000*		
Parents	19(63.3)	11(36.7)	30(2.4)	in the past 12 months			
Child/son-in-law	46(32.2)	97(67.8)	143(11.2)	Work	513(78.9)	137(21.1)	650(50.9)
/daughter-in-law/others				Do not work	36(5.8)	590(94.2)	626(49.1)
10. Debt	Fisher P-value = 1			Total of each item	549(43.0)	727(57.0)	1,276(100)
In debt	1(50.0)	1(50.0)	2(0.2)				
No debt	548(43.0)	726(57.0)	1,274(99.8)				

\* Statistically significant at the 0.05 level

ผู้สูงอายุที่มีวัยต่างกันจะมีความต้องการทำงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Chi-squared  $P < 0.05$ ;  $P\text{-value} = 0.000$ ) โดยผู้สูงอายุวัยก่อนเกษียณอายุ (อายุเต็ม 55-59 ปี) มีความต้องการทำงาน (ร้อยละ 67.2) มากกว่าผู้สูงอายุวัยหลังเกษียณอายุ (อายุเต็ม 60 ปีขึ้นไป) ซึ่งมีความต้องการทำงานเพียง (ร้อยละ 33.6)

**3. การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (ด้านประชากร ด้านการทำงานและเศรษฐกิจ ด้านสุขภาพและการก่อก้อน) ต่อความต้องการทำงาน**

ปัจจัยด้านประชากร (เพศ อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส จำนวนสมาชิกในครัวเรือน การเป็นเจ้าของบ้าน) ปัจจัยด้านการทำงาน (ประวัติการรับราชการหรือรัฐวิสาหกิจ รายได้ ความเพียงพอของรายได้ การอ่านออกเขียนได้ ระยะเวลาที่ต้องการทำงานต่อ) ปัจจัยด้านสุขภาพและการก่อก้อน (สถานะอยู่อาศัยในครัวเรือน ภาวะสุขภาพร่างกาย สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา) รวม 14 ตัวแปรจากทั้งหมด 19 ตัวแปร มีความสัมพันธ์กับความ

ต้องการทำงาน (ต้องการ/ไม่ต้องการ) ของผู้สูงอายุในสองจังหวัด (Chi-squared  $P < 0.05$ ) ดัง Table 1

**4. การสร้างตัวแบบทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุในสองจังหวัด**

ผลการสร้างตัวแบบทำนายความต้องการทำงาน (ต้องการ/ไม่ต้องการ) ของผู้สูงอายุในสองจังหวัด โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกแสดงดัง Table 2 ซึ่งได้ตัวแบบที่มีความสามารถในการทำนายถูกต้อง 86.4% แสดงดัง Table 3 ดังนี้

$P$  (ความต้องการทำงานของผู้สูงอายุในสองจังหวัด) =

$$P(Y=1) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

เมื่อ  $Z = -2.797 + (4.117) X$

$Y$  คือ ความต้องการทำงาน (1 = ต้องการ, 0 = ไม่ต้องการ)  $X$  คือ สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา (1 = ทำงาน, 0 = ไม่ทำงาน)

**Table 2** Parameter estimate, standard error, test statistic and odds ratio ( $\text{Exp}(\beta)$ ) for variables in the predictive model for the work need of the elderly in Songkhla and Khon Kaen Provinces.

Step	Variables	n(%)	$\beta$	S.E.	Wald	df	P-Value	$\text{Exp}(\beta)$
1	Employed status in the past 12 months							
	Work	650(50.9)	4.117	0.197	437.714	1	0.000*	61.369
	Do not work	626(49.1)						reference
	Constant		-2.797	0.172	265.364	1	0.000*	0.061
Hosmer P-value = 1 Cox&Snell $R^2 = 0.465$ , Nagelkerke $R^2 = 0.625$								
2	Age							
	pre-retirement elderly	357(28.0)	0.414	0.185	4.988	1	0.026*	1.513
	post-retirement elderly	919(72.0)						reference
	Income sufficiency							
	Left over	139(10.9)	0.587	0.296	9.867	2	0.007*	1.799
	Enough	566(44.4)	-0.308	0.180	3.921	1	0.048*	0.735
	Not/sometimes enough	571(44.7)			2.936	1	0.087	reference
	Employed status in the past 12 months							
	Work	650(50.9)	4.022	0.203	392.899	1	0.000*	55.829
	Do not work	626(49.1)						reference
	Constant		-2.792	0.198	198.602	1	0.000*	0.061
Hosmer P-value = 0.263 Cox&Snell $R^2 = 0.472$ , Nagelkerke $R^2 = 0.634$								

**Table 3** The prediction of the work need of the elderly in Songkhla and Khon Kaen Provinces.

Step	Observed data of the elderly in Songkhla and Khon Kaen Provinces	Prediction			
		Work need		Percentage of correct prediction	
		No	Yes		
1	Work need	No	590	137	81.2
		Yes	36	513	93.4
Overall percentage of correct prediction					86.4
2	Work need	No	590	137	81.2
		Yes	36	513	93.4
Overall percentage of correct prediction					86.4

จาก Table 2 ตัวแปรที่มีนัยสำคัญใช้ในการทำนายความต้องการทำงาน (Y) มี 1 ตัวแปร คือ สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา (ขั้นที่ 1) ทั้งนี้ตัวแปรอายุและความเพียงพอของรายได้ เป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับความต้องการทำงานของผู้สูงอายุ และมีนัยสำคัญในตัวแบบ (ขั้นที่ 2) แต่ไม่ทำให้ความสามารถในการทำนายของตัวแบบเพิ่มขึ้น (แสดงใน Table 3) จึงไม่ควรนำตัวแปรทั้งสองเข้าในตัวแบบ

จาก Table 3 ตัวอย่างผู้สูงอายุมีจำนวน 1,276 คน พบว่า ผลการทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุในสองจังหวัด ข้อมูลจริงของผู้สูงอายุที่ไม่ต้องการทำงานมีจำนวน 727 คน แต่เมื่อใช้สมการจะสามารถทำนายได้ถูกต้อง 590 คน นั่นคือทำนายถูกต้องร้อยละ 81.2 ในขณะที่ผู้สูงอายุที่ต้องการทำงานมีจำนวน 549 คน แต่เมื่อใช้สมการจะทำนายได้ถูกต้อง 513 คน นั่นคือทำนายถูกต้องร้อยละ 93.4 สรุปโดยภาพรวมสมการทำนายได้ถูกต้องร้อยละ 86.4

5. การสร้างตัวแบบทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุวัยก่อนเกษียณอายุ (อายุเต็ม 55-59 ปี) และผู้สูงอายุวัยหลังเกษียณอายุ (อายุเต็ม 60 ปีขึ้นไป)

ด้วยตัวแปรอายุ เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความต้องการทำงานของผู้สูงอายุ จึงพิจารณา 2 ตัวแบบจำแนกตามอายุผู้สูงอายุวัยก่อนเกษียณอายุ และผู้สูงอายุวัยหลังเกษียณอายุ ด้วยความสามารถในการทำนายถูกต้องร้อยละ 81.0 และ ร้อยละ 88.6 ตามลำดับ ดังนี้

5.1 ผลการสร้างตัวแบบทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุวัยก่อนเกษียณอายุ (อายุเต็ม 55-59 ปี) โดยใช้

การวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติก แสดงดัง Table 4 ซึ่งได้ตัวแบบดังนี้

P (ความต้องการทำงานของผู้สูงอายุวัยก่อนเกษียณอายุ) =

$$P (Y=1) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

เมื่อ  $Z1 = -1.562 + 2.980 X$

Y คือ ความต้องการทำงาน (1 = ต้องการ, 0 = ไม่ต้องการ) X คือ สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา (1 = ทำงาน, 0 = ไม่ทำงาน)

ตัวแปรที่มีนัยสำคัญใช้ในการทำนายความต้องการทำงาน (Y) มี 1 ตัวแปร คือ สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา

จาก Table 5 ตัวอย่างผู้สูงอายุวัยก่อนเกษียณอายุมีจำนวน 357 คน พบว่า ผลการทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุวัยก่อนเกษียณอายุ (อายุเต็ม 55-59 ปี) ข้อมูลจริงของผู้สูงอายุที่ไม่ต้องการทำงานมีจำนวน 117 คน แต่เมื่อใช้สมการจะสามารถทำนายได้ถูกต้อง 62 คน นั่นคือทำนายถูกต้องร้อยละ 53.0 ในขณะที่ผู้สูงอายุที่ต้องการทำงานมีจำนวน 240 คน แต่เมื่อใช้สมการจะทำนายได้ถูกต้อง 227 คน นั่นคือทำนายถูกต้องร้อยละ 94.6 สรุปโดยภาพรวมสมการทำนายได้ถูกต้องร้อยละ 81.0



**Table 4** Parameter estimate, standard error, test statistic and odds ratio (Exp( $\beta$ )) for variable in the predictive model for the work need of the pre-retirement elderly (age 55-59 years).

Variable	n(%)	$\beta$	S.E.	Wald	df	P-Value	Exp( $\beta$ )
<b>Employed status in the past 12 months</b>							
Work	282(79.0)	2.980	0.340	76.784	1	0.000*	19.684
Do not work	75(21.0)						Reference
Constant		-1.562	0.305	26.226	1	0.000*	0.210

Hosmer P-value = 1 Cox & Snell R<sup>2</sup> = 0.253 , Nagelkerke R<sup>2</sup> = 0.353

**Table 5** The prediction of the work need of the pre-retirement elderly (age 55-59 years).

Observed data of the pre-retirement elderly (age 55-59 years)	Prediction			
	Work need		Percentage of correct prediction	
	No	Yes		
Work need	No	62	55	53.0
	Yes	13	227	94.6
Overall percentage of correct prediction				81.0

5.2 ผลการสร้างตัวแบบทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุวัยหลังเกษียณอายุ (อายุเต็ม 60 ปีขึ้นไป) โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแสดงดัง Table 6 ซึ่งได้ตัวแบบดังนี้

P (ความต้องการทำงานของผู้สูงอายุวัยหลังเกษียณอายุ) =

$$P (Y=1) = \frac{1}{1 + e^{-z_2}}$$

เมื่อ  $Z_2 = -3.134 + 4.383 X$   
 Y คือ ความต้องการทำงาน (1 = ต้องการ, 0 = ไม่ต้องการ) X คือ สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา (1 = ทำงาน, 0 = ไม่ทำงาน)

ตัวแปรที่มีนัยสำคัญใช้ในการทำนายความต้องการทำงาน (Y) มี 1 ตัวแปร คือ สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา

จาก Table 7 ตัวอย่างผู้สูงอายุวัยหลังเกษียณอายุมีจำนวน 919 คน พบว่า ผลการทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุวัยหลังเกษียณอายุ (อายุเต็ม 60 ปีขึ้นไป) โดยภาพรวมสมการทำนายได้ถูกต้องร้อยละ 88.6

**Table 6** Parameter estimate, standard error, test statistic and odds ratio (Exp( $\beta$ )) for variable in the predictive model for the work need of the post-retirement elderly (age 60 years or more).

Variable	n(%)	$\beta$	S.E.	Wald	df	P-Value	Exp( $\beta$ )
<b>Employed status in the past 12 months</b>							
Work	368(40.0)	4.383	0.247	314.582	1	0.000*	80.068
Do not work	551(60.0)						Reference
Constant		-3.134	0.213	216.420	1	0.000*	0.044

Hosmer P-value = 1 Cox & Snell R<sup>2</sup> = 0.475 , Nagelkerke R<sup>2</sup> = 0.659

**Table 7** The prediction of the work need of the post-retirement elderly (age 60 years or more).

Observed data of the post-retirement elderly (age 60 years or more)	Prediction			
	Work need		Percentage of correct prediction	
	No	Yes		
Work need	No	528	82	86.6
	Yes	23	286	92.6
Overall percentage of correct prediction				88.6

**วิจารณ์และสรุปผล**

**1. ความต้องการทำงานของผู้สูงอายุ**

ผู้สูงอายุที่ต้องการทำงานจำนวน 549 คน (ร้อยละ 43.0) และไม่ต้องการทำงานจำนวน 727 คน (ร้อยละ 57.0) โดยความต้องการทำงานของผู้สูงอายุในจังหวัดสงขลา (ร้อยละ 43.2) และในจังหวัดขอนแก่น (ร้อยละ 42.9) ไม่แตกต่างกัน (Chi-squared P-value= 0.916)

ผู้สูงอายุที่มีวัยต่างกันจะมีความต้องการทำงานแตกต่างกัน (Chi-squared P<0.05; P-value=0.000) โดยผู้สูงอายุวัยก่อนเกษียณอายุ (อายุเต็ม 55-59 ปี) มีความต้องการทำงาน (ร้อยละ 67.2) มากกว่าผู้สูงอายุวัยหลังเกษียณอายุ (อายุเต็ม 60 ปีขึ้นไป) ซึ่งมีความต้องการทำงานเพียง (ร้อยละ 33.6)

**2. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อความต้องการทำงานของผู้สูงอายุในสองจังหวัด ดังนี้**

ปัจจัยด้านประชากร (เพศ อายุ ระดับการศึกษา สถานภาพสมรส จำนวนสมาชิกในครัวเรือน การเป็นเจ้าของบ้าน) ปัจจัยด้านการทำงาน (ประวัติการรับราชการหรือรัฐวิสาหกิจ รายได้ ความเพียงพอของรายได้ การอ่านออกเขียนได้ ระยะเวลาที่ต้องการทำงานต่อ) ปัจจัยด้านสุขภาพ และการเกื้อหนุน (สถานะอยู่อาศัยในครัวเรือน ภาวะสุขภาพ ร่างกาย สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา) มีความสัมพันธ์กับความต้องการทำงาน (ต้องการ/ไม่ต้องการ) ของผู้สูงอายุในสองจังหวัด (Chi-squared P<0.05)

**3. ปัจจัยที่ใช้ในการทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุจังหวัดสงขลาและจังหวัดขอนแก่น**

คือ สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา มีความสามารถในการทำนายความต้องการทำงานถูกต้องร้อยละ 86.4 และอธิบายการแปรผันของความต้องการทำงานของผู้สูงอายุได้ 0.465 (Cox&Snell R<sup>2</sup>) และ 0.625 (Nagelkerke R<sup>2</sup>) ตามลำดับ ด้วยตัวแบบการถดถอยลอจิสติก ดังนี้

$P$  (ความต้องการทำงานของผู้สูงอายุในสองจังหวัด) =

$$P (Y=1) = \frac{1}{1+e^{-z}}$$

เมื่อ  $z = -2.797 + (4.117) X$

$Y$  คือ ความต้องการทำงาน (1 = ต้องการ, 0 = ไม่ต้องการ)  $X$  คือ สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา (1 = ทำงาน, 0 = ไม่ทำงาน)

ตัวแบบดังกล่าวสามารถอธิบายความผันแปรได้สูงกว่าตัวแบบที่เคยเสนอไว้ (ชาราทิพย์ พวงเชียง, 2550) ซึ่งใช้ตัวแปรทำนายรวม 18 ตัว

สำหรับปัจจัยที่ใช้ในการทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุจำแนกตามวัย ได้แก่ ผู้สูงอายุวัยก่อนเกษียณอายุ (อายุเต็ม 55-59 ปี) และผู้สูงอายุวัยหลังเกษียณอายุ (อายุเต็ม 60 ปีขึ้นไป) คือ สถานภาพการมีงานทำในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา สอดคล้องกัน โดยทั้งสองตัวแบบมีความสามารถในการทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุถูกต้องร้อยละ 81.0 ด้วย 0.253 (Cox&Snell R<sup>2</sup>) และ 0.353 (Nagelkerke R<sup>2</sup>) และร้อยละ 88.3 ด้วย 0.475 (Cox&Snell R<sup>2</sup>) และ 0.659 (Nagelkerke R<sup>2</sup>) ตามลำดับ

**4. ข้อเสนอแนะการนำไปใช้และงานวิจัยครั้งต่อไป**

(1) ข้อเสนอแนะต่อกรมกิจการผู้สูงอายุ กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์ กรมการจัดหางาน กระทรวงแรงงาน เรื่องการส่งเสริมอาชีพหรือการทำงานในกลุ่มผู้สูงอายุ พิจารณาผู้สูงอายุกลุ่มที่ทำงานในระหว่าง 12 เดือน (650 คน) กับผู้สูงอายุกลุ่มไม่ได้ทำงานในระหว่าง 12 เดือน (626 คน) พบว่าร้อยละความต้องการทำงานคือ 78.9 และ 5.8 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผู้สูงอายุที่เคยทำงานส่วนใหญ่ยังคงมีความต้องการทำงานอยู่ในขณะที่กลุ่มเคยไม่ทำงาน ส่วนใหญ่ก็ยังคงไม่อยากทำงานเหมือนเดิม ดังนั้นการส่งเสริมให้ผู้สูงอายุทำงาน ควรศึกษาหาข้อเท็จจริงเพิ่มเติมโดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุที่ทำงานอยู่แล้วว่าผู้สูงอายุกลุ่มดังกล่าวต้องการทำงานอะไร อาทิ งานเดิมที่สามารถเลือกได้ว่าจะต่ออายุการทำงานออกไปหรือไม่ หรืองานอื่นที่

ผู้สูงอายุอยากทำ ในกรณีหลังควรมีการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม โดยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึกหรือการสนทนากลุ่ม เพื่อศึกษาประเด็นอาทิ อาชีพหรืองานที่ผู้สูงวัยต้องการทำ ได้แก่ งานเกษตรกรรม (ทำไร่ ทำสวน) งานภูมิปัญญาหรืองานที่ทำในลักษณะของการรวมกลุ่มอาชีพ การแนะแนวอาชีพ อาจใช้เครื่องมือวัดบุคลิกภาพร่วมด้วยเพื่อช่วยในการเลือกอาชีพที่เหมาะสม (ศูนย์บริหารข้อมูลตลาดแรงงานภาคเหนือ, 2564) การอบรมอาชีพที่ต้องการสำหรับผู้สูงอายุ และความช่วยเหลือจากหน่วยงานภาครัฐ อาทิ การจัดตั้งหน่วยงานจัดหางาน ด้านการกองทุน ด้านสุขภาพ รายได้ และเวลาที่มีความยืดหยุ่น ดึงนำเสนอไว้ใน วิชิต จรุงสุจริตกุล (2559) มโนลี ศรีเปารยะ เพ็ญพงษ์ (2562) และ พงษ์พันธ์ แจ่มสว่าง(2563) ทั้งนี้การส่งเสริมการทำงานในผู้สูงอายุจะช่วยรองรับปัญหาประชากรวัยแรงงานที่มีภาวะในการดูแลผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นจากปี 2564 สัดส่วนของ กำลังแรงงาน: ผู้สูงอายุ: เด็กคือ 4:1:1 คาดว่าในปี 2579 จะไปอยู่ที่ 2:1:1 และช่วยลดผลกระทบในเรื่องผู้สูงอายุที่มีภาวะขาดเงินออม ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการมีคุณภาพชีวิตที่ดี (สอวช.,2564)

(2) ข้อเสนอแนะต่อสำนักงานสถิติแห่งชาติ ในประเด็นข้อจำกัดของปัจจัยที่ใช้ศึกษาจากการใช้ข้อมูลitudinal ซึ่งมีบางปัจจัยที่ยังต้องค้นหาเพื่อใช้ในการทำนายความต้องการทำงานของผู้สูงอายุให้แม่นยำขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวแบบสำหรับผู้สูงวัยก่อนเกษียณอายุ (55-59 ปี) มีความสามารถในการทำนากกลุ่มที่ไม่ต้องการทำงานได้ต่ำ (ถูกต้องเพียงร้อยละ 53.0) ซึ่งอาจเป็นเพราะมีปัจจัยที่ยังไม่ได้นำมาพิจารณา อาทิ ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ ได้แก่ รายจ่ายภาระที่ต้องรับผิดชอบ ปัจจัยด้านการได้รับคำแนะนำจากผู้ได้แก่ การได้รับคำแนะนำให้ทำงานต่อจากหน่วยงาน การได้รับการสนับสนุนจากบุคคลในครอบครัวให้ทำงานต่อ ปัจจัยด้านสถานการณ์ในที่ทำงาน ได้แก่ ความสะดวกสบายในสถานที่ทำงาน ความสะดวกในการเดินทางมาทำงาน ความอิสระในการทำงาน การมีผู้ร่วมงานที่ดี (วีรวรรณ แก้วใส, 2563) ปัจจัยด้านสุขภาพและการเกื้อหนุน ได้แก่ ความต้องการมีเพื่อน ความภาคภูมิใจในตนเอง (ธาราทิพย์ พ่วงเชียง, 2550)

(3) ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป คือ การใช้ข้อมูลการสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทยปีปัจจุบันเพื่อศึกษาความต้องการทำงานของผู้สูงอายุครอบคลุมวัยก่อนและหลังเกษียณ ครบทุกภูมิภาคทั้งที่มีสภาพเศรษฐกิจสังคมเหมือนและต่างกัน ผลการศึกษาดังกล่าวนี้จะนำไปใช้ในระดับประเทศต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คุณสุกัญญา ห้วยหงษ์ทอง กลุ่มบริการและเผยแพร่ข้อมูล สำนักงานสถิติแห่งชาติซึ่งเป็นผู้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลจากโครงการสำรวจประชากรผู้สูงอายุในประเทศไทย พ.ศ.2560

## เอกสารอ้างอิง

- กรมกิจการผู้สูงอายุ. (2562). *มาตรการขับเคลื่อนระเบียบวาระแห่งชาติ เรื่อง สังคมผู้สูงอายุ* (พิมพ์ครั้งที่ 2). [https://www.dop.go.th/download/laws/th1643088696-841\\_0.pdf](https://www.dop.go.th/download/laws/th1643088696-841_0.pdf)
- กลุ่มงานยุทธศาสตร์และข้อมูลเพื่อการพัฒนาจังหวัด สำนักงานจังหวัดขอนแก่น. (2565). *แผนพัฒนาจังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2566-2570*. <https://www.khonkaen.go.th/khonkaen6/fileDir/vision/20230430-Plan66-70-1.pdf>
- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2554). *การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows* (พิมพ์ครั้งที่ 9). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คณะกรรมการบริหารงานจังหวัดแบบบูรณาการจังหวัดสงขลา. (2562). *แผนพัฒนาจังหวัดสงขลา พ.ศ. 2561-2565 ฉบับทบทวน พ.ศ. 2564*. [https://www.songkhla.go.th/files/com\\_news\\_develop\\_plan/202007\\_1a959e630a5165d.pdf](https://www.songkhla.go.th/files/com_news_develop_plan/202007_1a959e630a5165d.pdf)
- จตุพร สุกุลศิริ, วารุณี มลิณฑปัญญา, และ ศดวงศ์ ทิมเย็น. (2564). ความต้องการทำงานหลังเกษียณอายุของผู้ปฏิบัติงานในภาคอุตสาหกรรมค้าปลีก ในเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสารการจัดการและการพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี*, 8(1), 95-107.
- ธาราทิพย์ พ่วงเชียง. (2550). *ความต้องการทำงานของผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2550* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พงษ์พันธ์ แจ่มสว่าง. (2563). ความต้องการทำงานหลังเกษียณอายุราชการของข้าราชการทหารบก. *วารสารสถาบันวิชาการป้องกันประเทศ*, 11(3), 93-103.
- มโนลี ศรีเปารยะ เพ็ญพงษ์. (2562). ความต้องการทำงานของแรงงานในหน่วยงานภาครัฐหลังเกษียณอายุ กรณีศึกษาจังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิทยาการจัดการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ราย*, 14(2), 42-63.
- วิชิต จรุงสุจริตกุล. (2559). การศึกษาลักษณะงาน ผลตอบแทนสวัสดิการและการส่งเสริมการมีงานทำที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุในอำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช. *วารสารเทคโนโลยีภาคใต้*, 9(2), 117-122.

- วิทยาลัยประชากรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2564). รายงานฉบับสมบูรณ์ (final report) โครงการการส่งเสริมการมีงานทำที่มีคุณค่าสำหรับผู้สูงอายุเพื่อสังคมสำหรับคนทุกวัยในประเทศอาเซียนบวกสามระหว่างและภายหลังสถานการณ์แพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19). [https://www.dop.go.th/download/knowledge/th1635741067-974\\_0.pdf](https://www.dop.go.th/download/knowledge/th1635741067-974_0.pdf)
- วีรวรรณ แก้วใส. (2563). ปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการทำงานต่อในระบบราชการของข้าราชการที่ใกล้เกษียณอายุราชการ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร]. มหาวิทยาลัยศิลปากร. <http://ithesis-ir.su.ac.th/dspace/bitstream/123456789/3070/1/61602349.pdf>
- ศูนย์บริหารข้อมูลตลาดแรงงานภาคเหนือ กองบริหารข้อมูลตลาดแรงงาน กรมการจัดหางาน กระทรวงแรงงาน. (2564). รายงานการศึกษาวิเคราะห์ผลการวัดบุคลิกภาพเพื่อการศึกษาต่อและการเลือกอาชีพผ่านระบบส่งเสริมการมีงานทำ. [https://www.doe.go.th/prd/assets/upload/files/lmia\\_th/52652233b832acd8191809c0d75e3f5c.pdf](https://www.doe.go.th/prd/assets/upload/files/lmia_th/52652233b832acd8191809c0d75e3f5c.pdf)
- สอวช. (2564). ผู้สูงอายุไทยต้องปรับตัวอย่างไร? เพื่อพร้อมสู่สังคมผู้สูงอายุระดับสุดยอด (active aging). <https://www.nxpo.or.th/th/8078/>
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2564). ข้อมูลสถิติที่สำคัญ. <http://statbbi.nso.go.th/staticreport/page/sector/th/index.aspx>
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2565). การสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2564. [https://www.nso.go.th/sites/2014en/Survey/social/domographic/OlderPersons/2021/fullreport\\_64.pdf](https://www.nso.go.th/sites/2014en/Survey/social/domographic/OlderPersons/2021/fullreport_64.pdf)
- สุนทร สุวรรณละออง. (2561). ความต้องการพัฒนาศักยภาพการทำงานของผู้สูงอายุในจังหวัดชลบุรี. *วารสารวิชาการมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, 26(50), 45-67.



# การจำลองเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและการไหลด้วยการพุ่งชนของของไหลนาโนบนแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีครีบบระบายความร้อน

## Numerical simulation of heat transfer and fluid flow of nanofluid jet impingement on straight fin heat sink

คมกฤษณ์ ชัยโย<sup>1</sup>  
Khomgris Chaiyo<sup>1</sup>

Received: 8 May 2023 ; Revised: 6 July 2023 ; Accepted: 25 July 2023

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองเชิงตัวเลขมาใช้ในการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลในของไหลนาโนพุ่งชนแบบราบเรียบบนแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีครีบบระบายความร้อนด้วยแบบจำลองเดี่ยว ภายใต้ขอบเขตทางความร้อนที่ครีบบระบายความร้อนมีพื้นผิวร้อนแบบอุณหภูมิคงที่ ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่มถูกใช้เพื่อหาผลเฉลยของสมการควบคุมการถ่ายเทความร้อนและการไหลโดยใช้ของไหลนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) เป็นสารทำงานที่มีความเข้มข้นโดยปริมาตรอยู่ระหว่าง 0% ถึง 4% การคำนวณได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นโดยปริมาตรของอนุภาคนาโนและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ผลการคำนวณที่ได้พบว่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มข้นโดยปริมาตรของอนุภาคนาโนและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท Stagnation ตำแหน่งใด ๆ และค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ย นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบชนิดของของไหลนาโนระหว่างของไหลนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์กับของไหลนาโนไททาเนียมออกไซด์ ( $TiO_2$ ) นั้นพบว่าของไหลนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ให้การถ่ายเทความร้อนที่ต่ำกว่าของไหลนาโนไททาเนียมออกไซด์

**คำสำคัญ:** การพุ่งชนระบายความร้อน, ของไหลนาโน, ครีบบระบายความร้อน, อนุภาคนาโน

### Abstract

The article presents a numerical investigation of heat transfer and fluid flow of the nanofluid planar jet impingement on an isothermal straight fin heat sink surface using the single-phase model. The finite volume method was used for the solution of the resulting governing equations.  $Al_2O_3$  nanoparticles dispersed in water with the volumetric concentration of nanoparticles ranging between 0 and 4% were used as working fluid for simulating the heat transfer and fluid flow. The influences of the volumetric concentration of nanoparticles and Reynolds number were examined and discussed in detail. The results indicated that the volumetric concentration of nanoparticles and Reynolds number enhance heat transfer where considering in terms of the stagnation, the local and the average Nusselt number. Moreover, two types of nanofluid;  $Al_2O_3$ -water nanofluid and  $TiO_2$ -water nanofluid, were compared. The  $Al_2O_3$ -water nanofluid enhanced heat transfer less than the  $TiO_2$ -water nanofluid.

**Keywords:** Impinging jet, nanofluid, straight fin, nanoparticles

<sup>1</sup> อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

<sup>1</sup> Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhonpathom 73140

\* Corresponding author: E-mail: khomgris.c@ku.th

## Introduction

Impinging jets provide an effective and flexible way to transfer energy or mass in industrial applications. A directed liquid or gaseous flow released against a surface can efficiently transfer large amounts of thermal energy or mass between the surface and the fluid. Heat transfer applications include cooling of stock material during material forming processes, heat treatment (Ferrari *et al.*, 2003), cooling of electronic components, heating of optical surfaces for defogging, cooling of turbine components, and many other industrial processes (Zuckerman & Lior, 2006).

Nanofluids are a suspension of very fine solid particles or nanoparticles (length scales of 1-100 nm) which are dispersed in base fluids such as water, engine oil, and ethylene glycol (Choi & Eastman, 1995). Due to the enhancement in thermal conductivity and heat transfer provided by nanofluids compared to classical heat transfer fluids nanofluids have become drastically significant for a wide range of engineering applications which require high heat dissipation rates such as heat exchangers (Venkitaraj *et al.*, 2018) and cooling of electronic components which suffers from a high heat generation (Selvakumar & Suresh, 2012). Integrating nanofluids with an impinging jet is considered a promising technique that can overcome the challenges of heat removal (Abdelrehim *et al.*, 2019).

Several studies have investigated numerically utilizing the single-phase model under a laminar flow regime using  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -water nanofluids. A confined impinging slot jets working with pure water or  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -water nanofluids was numerically presented. The flow is laminar and a constant uniform temperature is applied on the target surface. The single-phase model approach was adopted in order to describe the nanofluid behavior and different particle volume concentrations. The results demonstrated that the stagnation point, the local and average Nusselt number values are increased where increasing particle concentrations and Reynolds numbers. The required pumping power ratio also are increased as growing particle concentration (Manca *et al.*, 2016).

The single- and two-phase models of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -water nanofluids on the hydrodynamic and heat transfer

characteristics of a confined single impinging jet were studied. A laminar flow was considered with a constant heat flux on the targeted surface. The effects of Reynolds number, jet height ratio, and nanoparticle volume fraction on the local and the average Nusselt number were determined. The results demonstrated that the two-phase model exhibits higher values of local and average Nusselt number with a maximum enhancement of 150% at  $H/W=4$  and  $f=4\%$  while single phase model shows twice the pumping power obtained by the two-phase model (Abdelrehim *et al.*, 2019).

The thermal and fluid dynamic behavior of a confined two-dimensional steady laminar nanofluid jet impinging on a horizontal plate embedded with five discrete heating elements subjected to a constant surface heat flux was studied for a range of Reynolds number from 100 to 400. The results indicated that variation of inlet Reynolds number produces a significant change of the flow and heat transfer characteristics in the domain. Increasing the nanoparticle concentration from 0% to 4% exhibits discernible change in equivalent Re and Pr caused by the modification of dynamic viscosity, effective density, thermal conductivity, and specific heat of the base fluid. Substantial influence of Re is evident on Eckert number and pumping power. Eckert number is decreased whereas pumping power is increased with the growth of Re (Mookherjee *et al.*, 2020).

In order to increase the heat dissipation efficiency of electronic devices, one of the common heat dissipation methods is to use metal heat sink, such as pin-fin or plate-fin heat sink, to expand the heat exchange area and to use air duct and forced cold flow (Jeng *et al.*, 2021).

The flow and heat transfer characteristics of the liquid water-cooling performance of the micro square pin-fin heat sink were numerically studied and its geometry was optimized. The characteristics and advantages of the micro square pin-fin heat sink were compared between the square pin-fin and the column pin-fin. The results indicate that both the pin-fin porosity and located angle are important for the cooling capacity and thermal performance of the micro square pin-fin heat sink; the optimal porosity and located angle for thermal

performance are 0.75 and 30° respectively. Furthermore, the optimized micro pin-fin presents the better thermal performance than micro column pin-fin heat sink (Zhao *et al.*, 2016).

A comparative experimental and numerical study were investigated on multiple-air jet impingement heat transfer characteristics in narrow channels with full-height pin fins and miniature pin fins on the target surfaces. The experiments were conducted within the Reynolds number range of 15,000-30,000. It is found that, compared to the case with flat surface, the full-height pin fins on the target surface can improve the heat transfer uniformity, and increase the overall heat transfer performance by about 32.3%, but increase the pressure loss by about 18.0%; the mini pin fins on the target surface can significantly increase the overall heat transfer performance of the jet impingement system by about 74.7%, but only slightly increase the pressure loss. Therefore, the surface with miniature pin fins can provide the most superior heat transfer performance in the jet impingement systems. Furthermore, in the numerical investigation, 3D computational fluid dynamics analysis was done to analyze the detailed flow structure and heat transfer characteristics in the jet impingement systems with different pin fin configurations (Rao, 2018).

The combination of air impingement jet arrays and arrays of target surface micro pin-fins was experimentally investigated. The effects of impingement jet Reynolds number, jet-to-target plate distance, micro pin-fin shape, and micro rectangle pin-fin height. Some interested results, when compared at a particular streamwise location,  $Z/D$ , and Re value, area-average Nusselt number ratios generally increase with height for the rectangle micro pin-fins. Besides, where  $Z/D = 3.0$ , Nusselt number ratios show heat transfer augmentations of 30 to 130 percent, which generally increase as impingement jet Reynolds number increases, but are approximately constant as streamwise row location changes (Lu *et al.*, 2019)

Several studies are available on to use the air impingement jet on pin-fin heat sink, but there are a few previous investigations of using the nanofluid impingement jet. The main objective of this study is carried out to

numerically evaluate the results of heat transfer and fluid flow obtained by the single-phase model in a confined planar jet impingement using nanofluid to cool the isothermal heated surface of the straight fin heat sink. Furthermore, the influence of volumetric concentration of nanoparticles, the jet inlet Reynolds number (varied from  $Re=100$  to 200, the flow is considered to be laminar (Manca *et al.*, 2016; Mookherjee *et al.*, 2020) and nanoparticle material (comparison between  $Al_2O_3$  and  $TiO_2$  nanoparticle types) are investigated.

## Materials and methods

### 1. Problem description

The schematic diagram of the two-dimensional confined impinging jet system including straight fin heat sink is shown in Figure 1(a). The jet width (B) is 6 mm, the distance between the nozzle and the tip of the fins (Y) is 36 mm, and the surface length (L) is 85B mm. The specification of straight fin heat sink in this research is displayed in Figure 1(b). The following details are as the width (W) is 6.4 mm, the inter spacing (G) is 6.95 mm, the height of fins (H) is 28 mm, and the base thickness of the heat sink (t) is 4 mm. The jet impinges over the isothermal straight fin heat sink while jet inlet temperature is taken as 293 K. The isothermal straight fin heat sink has a constant temperature of 313 K. The confinement surface is adiabatic wall. The flow is considered laminar with Re vary from 100 to 200. The working fluid is  $Al_2O_3$ -water nanofluid as baseline with the volumetric concentration of nanoparticles ( $\phi$ ) ranged from 0 to 4%. The flow of the impinging jet is assumed to be steady, two-dimensional, laminar and incompressible. The body forces are neglected and the fluid properties are assumed to be temperature independent. Brownian motion and thermophoretic diffusions of the nanoparticles do not have any significant effect on convection heat transfer for the percentage of nanoparticle concentration considered in this study.

### 2. Thermophysical properties of nanofluids

The numerical simulations are performed using  $Al_2O_3$ -water and  $TiO_2$ -water nanofluids, the nanoparticle concentrations considered in the present analysis are as 0%, 1%, 2%, 3% and 4%, respectively, and not vary

spatially in each simulation. The thermophysical properties of pure water,  $Al_2O_3$  and  $TiO_2$  are given in Table 1. When the single-phase model is adopted in the present work as nanofluids with small nanoparticle volume concentration can be considered as Newtonian fluids for small temperature jumps (Mookherjee *et al.*, 2020). The density and the specific heat of the nanofluid are evaluated using the formula developed for conventional solid-liquid mixtures as following

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi\rho_p \tag{1}$$

$$(\rho c_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho c_p)_{bf} + \phi(\rho c_p)_p \tag{2}$$

where  $\phi$ ,  $\rho_{bf}$ ,  $\rho_p$ ,  $c_{p,bf}$  and  $c_p$  are the volumetric concentration of nanoparticles, density of the base fluid, density of the nanoparticles, specific heat of the base fluid, and the specific heat of the nanoparticles, respectively. The thermal conductivity of  $TiO_2$ -water nanofluid was found by fitting measurement data (He *et al.*, 2009).

The thermal conductivity was found by fitting measurement data by following Eqs. (3)-(4) for  $Al_2O_3$ -water and  $TiO_2$ -water nanofluids respectively (Ho *et al.*, 2010, He *et al.*, 2009

$$k_{nf} = k_{bf}(19.672\phi^2 + 2.944\phi + 1.0) \tag{3}$$

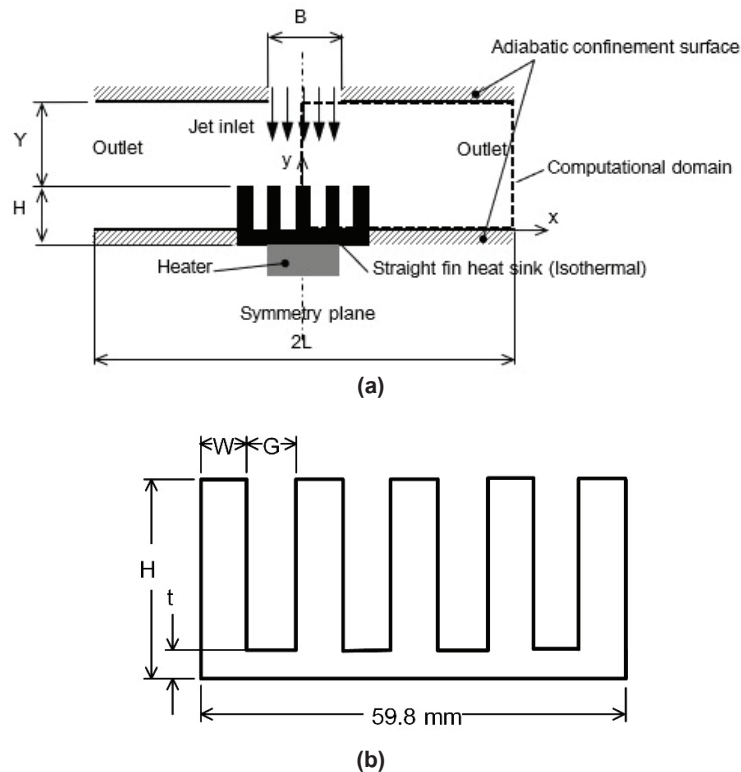
$$k_{nf} = k_{bf}(125.6\phi^2 + 4.82\phi + 1.0) \tag{4}$$

where  $k_{nf}$ ,  $k_{bf}$  is the thermal conductivity of nanofluid and base fluid, respectively. The viscosity was created to fit the experimental data by following Eqs. (5)-(6) for  $Al_2O_3$ -water and  $TiO_2$ -water nanofluids respectively (Alkasmoul *et al.*, 2018)

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} \exp\left(\frac{6.599\phi}{0.288 - \phi}\right) \tag{5}$$

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(25.17\phi^2 + 29.562\phi + 1.0) \tag{6}$$

where  $\mu_{nf}$ ,  $\mu_{bf}$  is the viscosity of nanofluid and base fluid, respectively.



**Figure 1** The confined impinging jet containing straight fin heat sink (a) two-dimensional schematic diagram (b) dimension of straight fin heat sink



**Table 1** Thermophysical properties of pure water, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> particles at T = 293 K

Material	Density	Heat capacity	Viscosity	Thermal conductivity
	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (J/kg.K)	$\mu$ (Pa.s)	$\lambda$ (W/m.K)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Oztop & Abu-Nada, 2008)	3970	765	-	40
TiO <sub>2</sub> (Sajadi & Kazemi, 2011)	4170	711	-	11.8
Water (Rohsenow <i>et al.</i> , 1998)	998.2	4182	993x10 <sup>-6</sup>	0.597

### 3. Governing equations

In the present study, flows are assumed to be steady and incompressible. The governing equations include the conservation equations of mass, momentum, and energy, and can be written in the two-dimensional Cartesian coordinate system form as follows:

Continuity:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (7)$$

Momentum:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (8)$$

Energy:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu}{Pr} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (9)$$

where  $u_i$  are velocities in the streamwise and crosswise directions,  $T$  is temperature, and  $p$  is pressure respectively.

### 4. Numerical solution procedure

The computations have been performed with the in-house developed computational code. The governing equations are solved using the finite volume method (Patankar, 1980). This scheme solves discretized versions of all equations with the non-uniform staggered grids. The principle of mass-flux continuity is improved indirectly via the solution of pressure-correction equations according to SIMPLE algorithm (Patankar, 1980). The convergence is judged by monitoring the magnitude of the absolute residual sources of mass, momentum and energy, normalized

by the respective inlet fluxes. The solution is taken as having converged when all above residuals fell below 0.0001%.

The geometry of two-dimensional confined impinging jet system consists of the jet stream, straight fin heat sink, impinging and confinement surfaces as shown in Figure 1(a). Therefore, computational boundaries involved are inlet, outlet, axis of symmetry and solid walls (straight fin heat sink, impingement and confinement surfaces).

At the inlet, the jet temperature is given at 293 K. The jet stream has an almost uniform velocity profile. The Reynolds number is calculated based on jet width and mean centerline velocity as:

$$Re = \frac{\rho v_0 B}{\mu} \quad (10)$$

Next, the outlet boundary is placed at which is sufficiently far away from the main region of interest. At this boundary streamwise gradients of all variables are set to zero. Then along the axis of symmetry, the normal velocity component and the normal gradients of other variables are set to zero.

Finally, solid walls including the straight fin heat sink, the impingement and the confinement surfaces. Also, the straight fin heat sink is considered isothermal, the surface temperature of the straight fin heat sink is given at 313 K and the impingement surface and the confinement surface are adiabatic wall, respectively. The Nusselt number, is defined as:

$$Nu = \frac{-\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_w B}{T_w - T_y} \quad (11)$$

Before proceeding to the discussion of the predicted results, it will be beneficial to focus first on the effect of the grid density on the solution. Figure 2 shows the computational grid 315x125 at distance  $x/B=67$  and  $Y/B=3$ , the grid clustering is applied near the impingement surface and the straight fin surface. The grid-independency of the solutions are examined using three different grid sizes consisting of 39375 (315x125), 103750 (415x250)

and 130500 (435x300) on the model  $Y/B=3$  at  $Re=100$  with water as working fluid. The results on the second grid 415x250 can be considered as the grid-independent results because the refinement from the grid 415x250 to grid 435x300 produces the stagnation point Nusselt number difference too small with relative error 0.59% as shown in Figure 3.

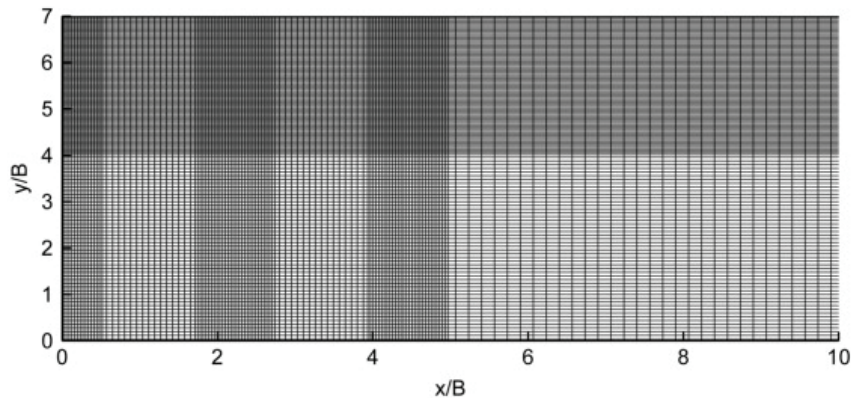


Figure 2 Sample of computational grid 315x125 (not to scale)

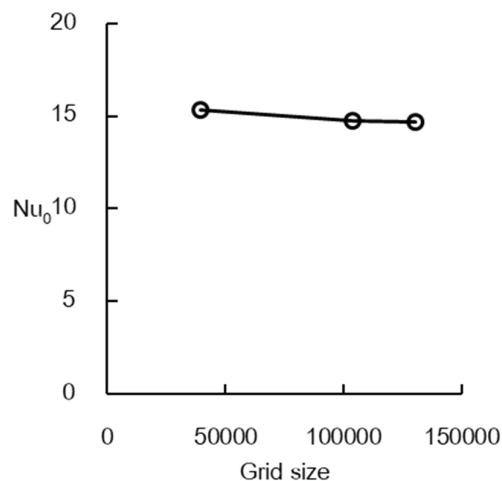


Figure 3 Grid independence test results in terms of stagnation point Nusselt number

## Results and discussion

The numerical results of a two-dimensional laminar confined jet of  $Al_2O_3$ -water nanofluid impinging on the straight fin heat sink are investigated. Including the influence of volume concentration and Reynolds number are presented.

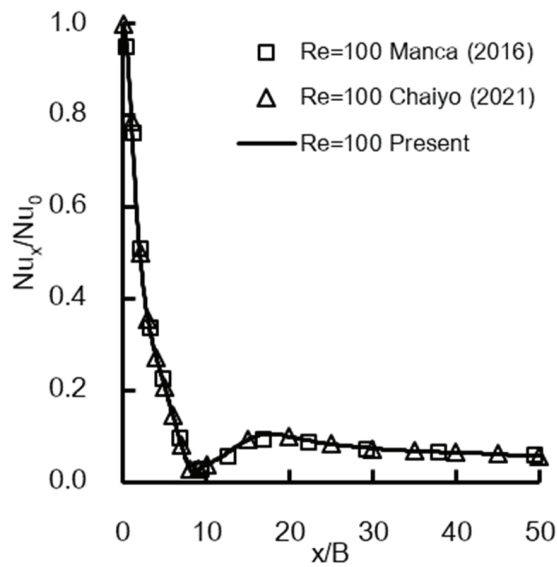
### 1. Numerical validation

In order to verify the developed computational

code, the simulation results including the stagnation point Nusselt number and the local Nusselt number along the impingement surface in the two-dimensional confined impinging jet problem for  $H/B=4$  were compared with the previous numerical data. The present numerical results are in good agreement with the results of Manca *et al.* (2016) and Chaiyo (2021) as shown in Table 2 and Figure 4, respectively.

**Table 2** Validation of the stagnation point Nusselt number for  $H/B=4$  and  $\phi=0\%$  in the two-dimensional confined impinging jet problem

Re	$Nu_0/Pr^{1/3}$		
	Manca <i>et al.</i> (2016)	Chaiyo (2021)	Present simulation
100	5.66	5.67	5.67



**Figure 4** Validation of local Nusselt number  $Nu_x$  profiles are scaled with the stagnation point Nusselt number  $Nu_0$  for  $H/B=4$  in the two-dimensional confined impinging jet problem

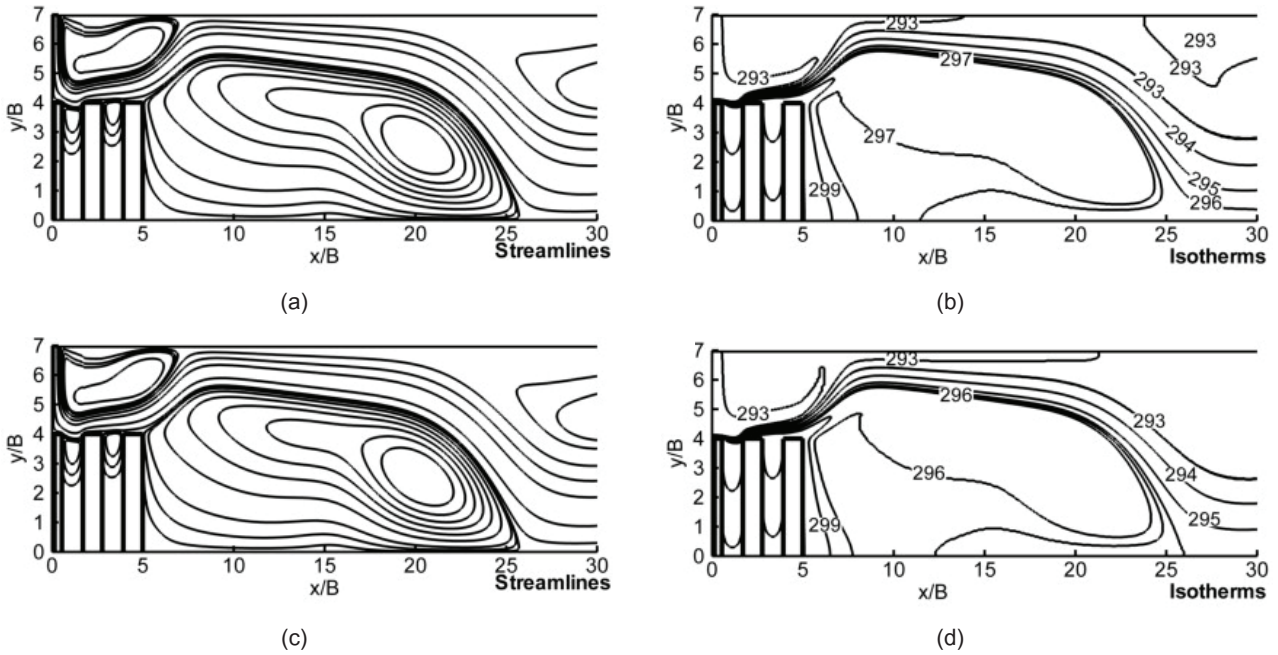
**2. Influence of volumetric concentration**

The numerical results of heat transfer and fluid flow are investigated at the different volumetric concentration of nanoparticles value as 0%, 1%, 2%, and 4% in case of  $Y/B=3$ . Figure 5 shows streamlines and isotherms in case of  $Y/B=3$  and  $Re=150$  at volume concentration as 0% and 4% respectively. The main jet stream impinges on the target isothermal straight fin

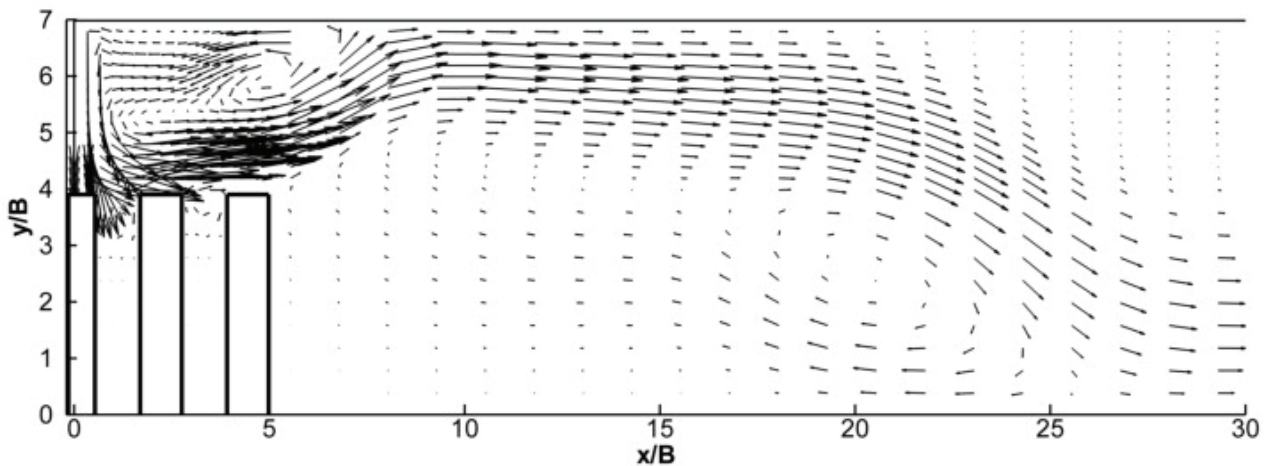
heat sink, gets deflected, and then flows downstream in a meandering path in between the recirculation and the confinement surface toward the outlet. The developed vortices are generated by the impinging jet due to jet entrainment, confining effects, and the isothermal surface of the straight fin heat sink. The vortices are considered as main three areas as (1) the immediate vicinity of the jet and the above of the straight fin heat sink, (2) inside between straight fin heat sink-weak clockwise vortex, and (3) strong counter clockwise at downstream, respectively. Similar streamlines and isotherm trends are observed for two volumetric concentration of nanoparticles. Furthermore, the velocity vectors for  $Y/B=3$ ,  $Re=150$  and are shown in Figure 6.

Figure 7 shows the stagnation point Nusselt number ( $Nu_0$ ) profiles for various volume concentrations and different Reynolds numbers. It is observed that the increased volume concentration, the  $Nu_0$  is increased due to increasing thermal conductivity.

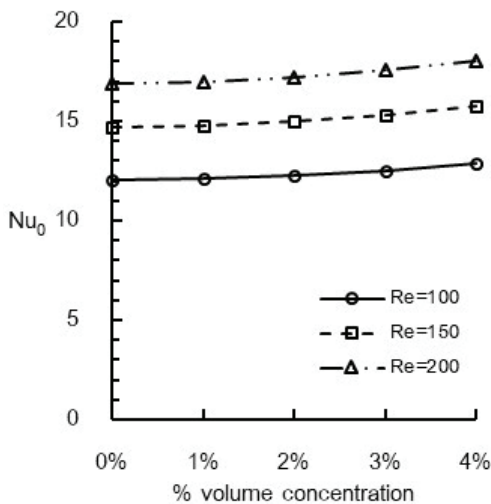
Figure 8 demonstrates average Nusselt number ( $Nu_{avg}$ ) distribution along the periphery of the straight fin heat sink for various volume concentrations and different Reynolds numbers at  $Y/B=3$ . It is observed that the increased volumetric concentration of nanoparticles, the  $Nu_{avg}$  is increased.



**Figure 5** Streamlines and isotherms for  $Y/B=3$  and  $Re=150$  (a) Streamlines  $\phi = 0\%$ , (b) Isotherms  $\phi = 0\%$ , (c) Streamlines  $\phi = 4\%$ , (d) Isotherms  $\phi = 4\%$  (not to scale)



**Figure 6** Velocity vectors for  $Y/B=3$ ,  $Re=150$  and  $\phi = 4\%$  (not to scale)



**Figure 7** Stagnation point Nusselt number profiles for different volume concentrations and Re numbers at  $Y/B=3$

Additionally, Figure 9 demonstrates local Nusselt number ( $Nu$ ) distribution along the periphery of the straight fin heat sink for various volume concentrations at  $Y/B=3$  and  $Re=150$ . It is observed that increased the volumetric concentration of nanoparticles, the  $Nu$  is increased.

### 3. Influence of Reynolds number

Considered Reynolds number is increased from  $Re=100$ ,  $150$ , and  $200$  for comparison. It is found that the size of all main vortices is increased, and the secondary and the thirdly vortices are moved to downstream as shown in Figures 5(c), 10(a), and 10(c). The reattached point in the thirdly vortex is at  $x/B=22.5$ ,  $25.9$ ,  $28.4$  respectively.



Re=100, 150, and 200 respectively. The influence of Re onto the heat transfer can be clarified in terms of isotherms as shown in Figures 5(d), 10(b), 10(d) respectively. Additionally, the influence of Re on the heat transfer can also be seen in terms of  $Nu_0$  and  $Nu_{avg}$  as displayed in Figures 7 and 8; these Nusselt number profiles are risen by increasing Re.

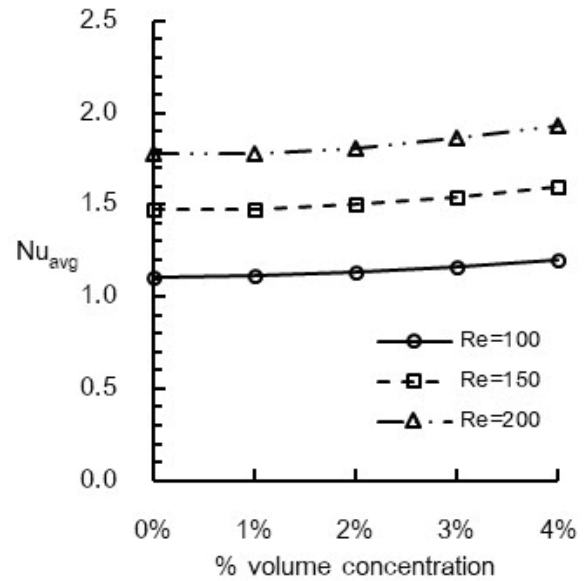


Figure 8 Average Nusselt number profiles for different volume concentrations and Re numbers at Y/B=3

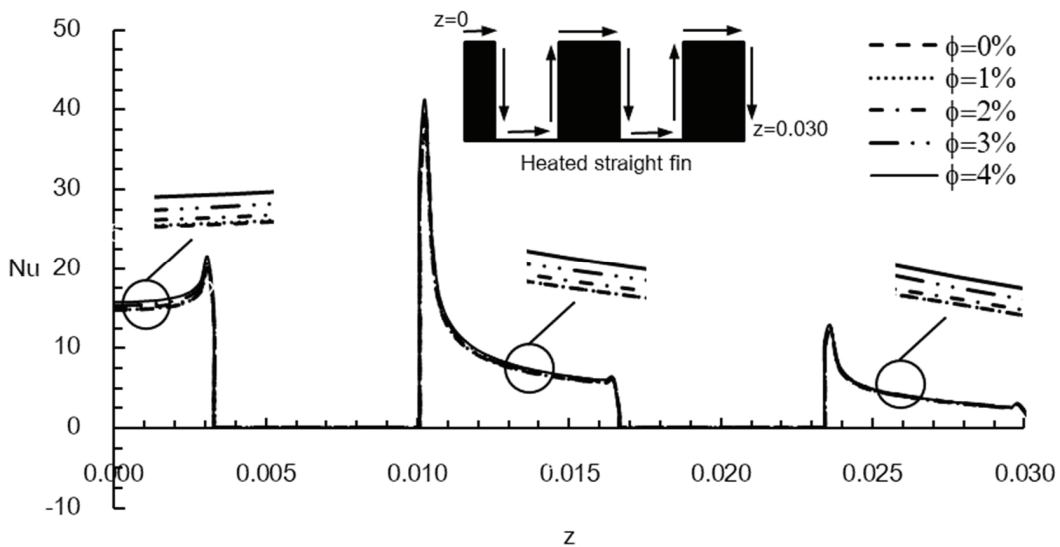
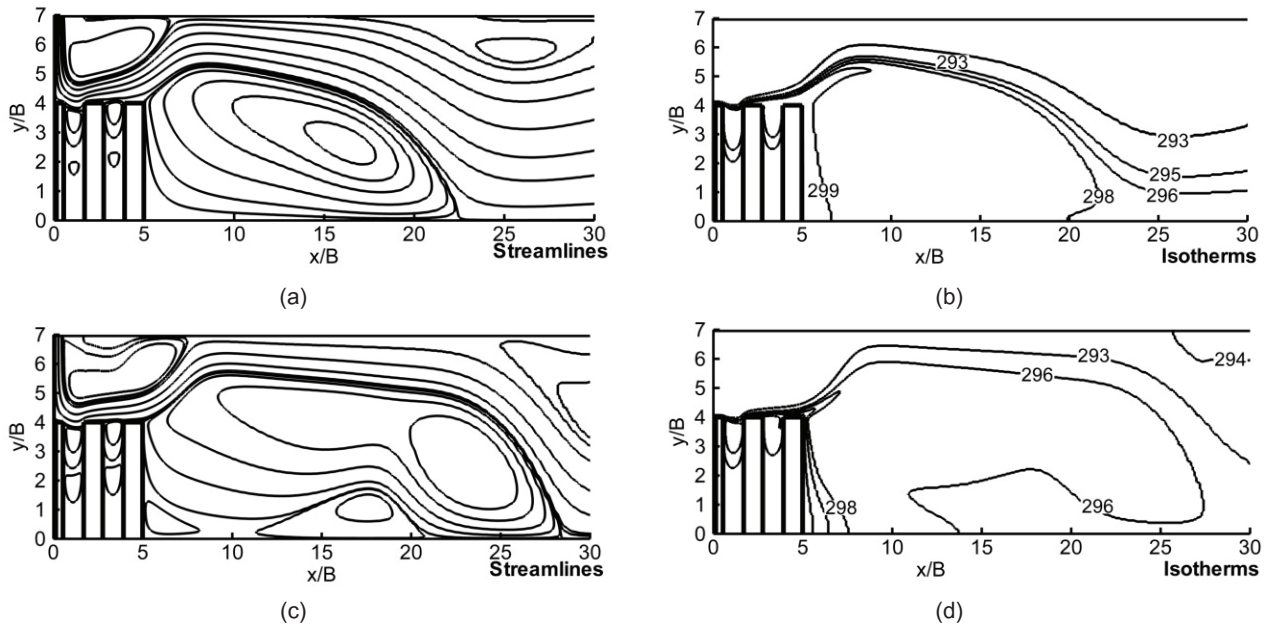


Figure 9 Local Nusselt number distribution along the periphery z of the straight fin heat sink for different volume concentrations of  $Al_2O_3$ -water nanofluid at Y/B=3 and Re=150

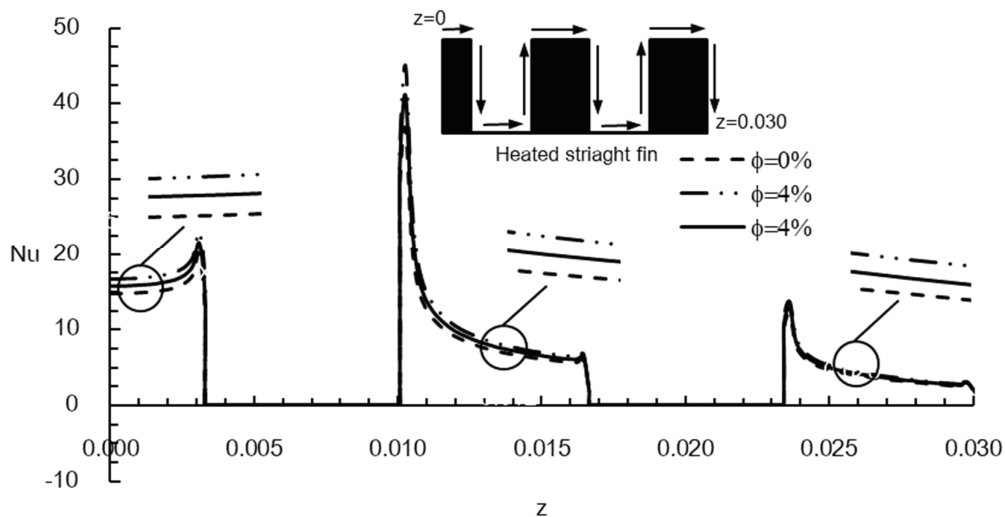
#### 4. Influence of nanoparticle material

In order to compare  $Al_2O_3$  and  $TiO_2$  nanoparticle materials, their volumetric concentration of nanoparticles value must be same as 4%. Figure 11 shows the local Nusselt number distribution along the periphery z in

each nanofluid at Y/B=3 and Re=150. It can be seen that Nu of  $TiO_2$ -water nanofluid is larger than  $Al_2O_3$ -water nanofluid and water. The difference is larger if the periphery z smaller than 0.003 m.



**Figure 10** Streamlines and isotherms at  $Y/B=3$ ,  $\phi = 4\%$ , and different  $Re$  numbers (not to scale)  
 (a) Streamlines at  $Y/B=3$   $Re=100$ , (b) Isotherms at  $Y/B=3$   $Re=100$   
 (c) Streamlines at  $Y/B=3$   $Re=200$ , (d) Isotherms at  $Y/B=3$   $Re=200$



**Figure 11** Local Nusselt number distribution along the periphery  $z$  of the straight fin heat sink for different working fluids at  $Y/B=3$  and  $Re=150$

**Conclusion**

The laminar heat transfer and fluid flow of the nanofluid jet impingement on the isothermal straight fin heat sink is numerically investigated using single-phase model. Three main objectives of this investigation are to determine the influence of volumetric concentration, Reynolds number and nanoparticle type. It is found that the volumetric concentration of  $Al_2O_3$  nanoparticles ranging from 0 to 4% increase the heat transfer considering in terms of the stagnation, the local and the average Nusselt number. Furthermore, Reynolds

number varied from 100 to 200 enhance these Nusselt numbers. The  $Al_2O_3$  and  $TiO_2$  nanoparticle materials are investigated, the local Nusselt number distribution along the periphery of the straight fin heat sink of  $TiO_2$ -water nanofluid is larger than  $Al_2O_3$ -water nanofluid.

**Acknowledgment**

This research was supported by a grant from the Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Thailand.

## References

- Abdelrehim, O., Khater, A., Mohamad, A.A. & Radwan, A. (2019). Two-phase simulation of nanofluid in a confined single impinging jet. *Case Studies in Thermal Engineering*, 14, 100423.
- Alkasmoul, F.S., Al-Asadi, M.T., Myers, T.G., Thompson, H.M. & Wilson, M.C.T. (2018). A practical evaluation of the performance of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water, TiO<sub>2</sub>-water and CuO-water nanofluids for convective cooling. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 126, 639-651.
- Chaiyo, K. (2021). Numerical simulation of heat transfer and fluid flow in a confined jet impingement using water-TiO<sub>2</sub> nanofluid. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 40(4), 373-383.
- Choi, S.U.S. & Eastman, J.A. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. *ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, 66, 99-105.
- Ferrari, J., Lior, N. & Slycke, J. (2003). An evaluation of gas quenching of steel rings by multiple-jet impingement. *Journal of Materials Processing Technology*, 136, 190-201.
- He, Y., Men, Y., Zhao, Y., Lu, H., & Ding Y. (2009). Numerical investigation into the convective heat transfer of TiO<sub>2</sub> nanofluids flowing through a straight tube under the laminar flow conditions. *Applied Thermal Engineering*, 29, 1965-1972.
- Ho, C.J., Liu, W.K., Chang, Y.S., & Lin, C.C. (2010). Natural convection heat transfer of alumina-water nanofluid in vertical square enclosures: an experimental study. *International Journal of Thermal Sciences*, 49, 1345-1353.
- Jeng, T.M., Tzeng, S.C., Tseng, C.W., & Li, Y.C. (2021). Effect of transverse synthetic jet on heat transfer characteristics of the heat sink situated in a rectangular channel with axial main flow. *Heat and Mass Transfer*, 57, 1145-1159.
- Manca, O., Ricci, D., Nardini, S., Di Lorenzo & G. (2016). Thermal and fluid dynamic behaviors of confined laminar impinging slot jets with nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 70, 15-26.
- Mookherjee, O., Pramanik, S. & Kumar Kar, U. (2020). Numerical investigation of a confined laminar jet impingement cooling of heat sources using nanofluids. *ASME Journal of Heat Transfer*, 142(8), 082301.
- Lu, X., Li, W., Li, X., Ren, J. Jiang, H., & Ligrani, P. (2019). Flow and heat transfer characteristics of micro pin-fins under jet impingement arrays. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 143, 118416.
- Oztop, H.F., & Abu-Nada, E. (2008). Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 29 1326-1336.
- Patankar, S.V. (1980). *Numerical heat transfer and fluid flow*. Hemisphere Publishing.
- Rao, Y. (2018). Jet impingement heat transfer in narrow channels with different pin fin configurations on target surfaces. *ASME Journal of Heat Transfer*, 140(2), 072201.
- Rohsenow, W.M., Hartnett, J.P. & Cho, Y.I. (1998). *Handbook of heat transfer* (3rd edition). McGraw-Hill.
- Sajadi, A.R., & Kazemi, M.H. (2011). Investigation of turbulent convective heat transfer and pressure drop of TiO<sub>2</sub>/water nanofluid in circular tube. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38, 1474-1478.
- Selvakumar, P. & Suresh, S. (2012). Convective performance of CuO/water nanofluid in an electronic heat sink. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 40, 57-63.
- Venkitaraj, K.P, Suresh, S., Alwin M., T, Bibin, B.S & Abraham, J. (2018). An experimental investigation on heat transfer enhancement in the laminar flow of water/TiO<sub>2</sub> nanofluid through a tube heat exchanger fitted with modified butterfly inserts. *Heat and Mass Transfer*, 54, 813-829.
- Zhao, J., Huang, S., Gong, L., & Huang, Z. (2016). Numerical study and optimizing on micro square pin-fin heat sink for electronic cooling. *Applied Thermal Engineering*, 93, 1347-135.
- Zuckerman, N. & Lior, N. (2006). Jet impingement heat transfer: physics, correlations, and numerical modeling. *Advances in Heat Transfer*, 39, 565-631.

# คุณลักษณะของการส่งถ่ายยาแบบไร้เข็มโดยใช้วิธีการกระแทก

## Characteristics of a needle free drug delivery by using impact driven method

ปรีชญา มุขดา<sup>1</sup>

Prachya Mukda<sup>1</sup>

Received: 13 April 2023 ; Revised: 14 July 2023 ; Accepted: 10 August 2023

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการส่งถ่ายยาด้วยอุปกรณ์ฉีดยาจะเป็นกระบวนการกดด้วยแรงจากกระบอกฉีดยาผ่านเข็มฉีดยาเข้าสู่ชั้นใต้ผิวหนัง ซึ่งยังมีข้อเสียคือประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ของยาและสิ้นเปลืองเวลาในการฉีดยา ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ฉีดยาด้วยหลักการใหม่ ที่เรียกว่า การฉีดยาด้วยลำพุ่งความเร็วสูงด้วยหลักการการกระแทก โดยจะส่งถ่ายยาด้วยลำพุ่งความเร็วสูงเจาะทะลุผ่านผิวหนังปราศจากการใช้เข็ม เงื่อนไขของงานวิจัยนี้คือ ใช้ปริมาตรของเหลวในหัวฉีด 2 ml เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะของลำพุ่งด้วยหลักการกดด้วยแรง (ระยะ 0 mm) และหลักการการกระแทก (ระยะกระแทก 5, 7, 9, 11, 13, 15 และ 17 mm) อาทิ แรงกระแทกของต้นกำลัง ความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่ง ความดันกระแทกของลำพุ่ง กำลังการกระแทก และพฤติกรรมของลำพุ่ง ซึ่งตรวจสอบด้วยกล้องกล้องวิดีโอความเร็วสูง ผลการวิจัยปรากฏว่า เมื่อระยะกระแทกเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงกระแทกของต้นกำลังเพิ่มขึ้น โดยระยะกระแทกที่ 17 mm ให้ค่าแรงกระแทกของสุด 475 N หลังจากนั้น เปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยและความดันกระแทกของลำพุ่ง ซึ่งระยะกระแทกที่ 11 mm ค่าความเร็วเฉลี่ยและความดันกระแทกของลำพุ่งสูงสุดที่ 62 m/s และ 2.28 MPa ตามลำดับ หลังจากนั้น ค่าระยะกระแทก 13, 15 และ 17 mm จะมีค่าลดลง ค่าความดันกระแทกของลำพุ่งกรณีด้วยหลักการกดด้วยแรง (ระยะ 0 mm) จะให้ค่าระดับความกระแทกของลำพุ่งต่ำกว่าระดับมาตรฐานที่จะสามารถเจาะผ่านผิวหนังได้ เมื่อเทียบกับระยะกระแทกเป็น 5,7,9,11,13, 15 และ 17 mm จะให้ค่าความดันกระแทกของลำพุ่งที่สูงพอที่จะสามารถเจาะผ่านผิวหนังได้

**คำสำคัญ:** อุปกรณ์ฉีดยา, การส่งถ่ายยา, ลำพุ่งความเร็วสูง, หลักการการกระแทก

### Abstract

At present, animal drug delivery using an injection device is a process involving a pressing force from a syringe directed through a syringe needle into the subcutaneous layer. However, there are disadvantages for drug action efficiency and time consuming injection. Therefore, this research aims to study the feasibility of application of the animal injection device using a new concept involving a high speed liquid jet with impact driven method. It delivered a high speed liquid jet penetrating through the skin without the use of a needle. The volume of liquid in the nozzle was 2 ml in experiments to compare the characteristics using the driving object method (distance 0 mm) and impact driven method (impact distances are 5, 7, 9, 11, 13, 15 and 17 mm). The characteristics such as, impact force of power source, average jet velocity, impact pressure of the jet, jet power and the behavior of jet were examined using a high-speed video camera. The results showed that, the impact distance increased, the impact force value of the power source increased, which an impact distance of 17 mm gave a maximum impact force of 475 N. The average velocity and the impact pressure of the jet are compared. An impact distance of 11 mm gave the maximum value of the average velocity and the impact pressure of jet to be 62 m/s and 2.28 MPa, respectively. Subsequently, the values of the impact distance were

<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 76000

<sup>1</sup> Assistant Professor, Division of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University 76000

<sup>\*</sup> Corresponding author: E-mail: prachya.muk@mail.pbru.ac.th

reduced to 13, 15 and 17 mm. The impact jet pressure value of the driving object method (distance 0 mm), and the level of impact jet pressure values was lower than the standard value such that it could not penetrate through the skin. Impact distances of 5, 7, 9, 11, 13, 15 and 17 mm provided a high enough impact jet pressure to penetrate the skin.

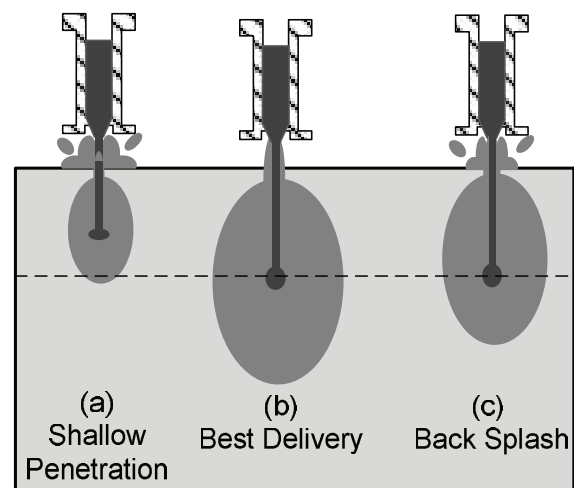
**Keywords:** Animal injection device, drug delivery, high speed liquid jet, impact driven method

## บทนำ

หลายทศวรรษที่ผ่านมา การให้ยาในทางปศุสัตว์จะเป็นการให้ยาด้วยการฉีดผ่านเข็ม ซึ่งเป็นวิธีการที่แพร่หลายและใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นวิธีที่บริหารจัดการได้ง่ายและทำให้ตัวยาออกฤทธิ์ได้ดีกว่าวิธีอื่น เช่นการพ่นยาในโรงเลี้ยงสัตว์ หรือการให้ยากินกับสัตว์ แต่การให้ยาด้วยเข็มฉีดยาก็ยังมีข้อด้อย ปัญหาและอุปสรรคต่อการบริหารจัดการอยู่หลายประการ อาทิ เกิดการติดเข็มระหว่างผู้ฉีดยากับสัตว์ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนเข็มโดยใช้เพียงครั้งเดียว ซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลืองในการฉีดยาให้กับสัตว์ อีกทั้ง หากเรานำเข็มฉีดยาไปใช้กับสัตว์ใหญ่ บางกรณีมีการต่อต้านทำให้เข็มหักและเกิดอาการบาดเจ็บของสัตว์ ซึ่งผู้ฉีดยาจะต้องมีความเชี่ยวชาญหรือได้รับการอบรมมาอย่างดี ซึ่งต้องใช้บุคลากรทางสัตวแพทย์ จึงเป็นการสิ้นเปลืองโดยใช้เหตุ และที่สำคัญคือความสิ้นเปลืองเวลาของการให้ยา โดยเฉพาะการฉีดยาให้กับสัตว์ในเชิงพาณิชย์ที่มีจำนวนมาก ดังนั้นการให้ยาสัตว์โดยวิธีฉีดยาผ่านเข็มจึงไม่เป็นคำตอบที่ดีที่สุด (วิระพันธ์ สีหามาน, 2557)

จากปัญหาดังกล่าว ปัจจุบันจึงพยายามคิดค้นวิธีการส่งถ่ายยาสู่สัตว์ด้วยวิธีใหม่ด้วยการส่งถ่ายยาโดยไม่ใช้เข็ม (needle-free drug delivery) โดยใช้หลักการด้วยวิธีสร้างลำพุ่งความเร็วสูงเจาะเข้าสู่ชั้นใต้ผิวหนัง ซึ่งปัจจุบันก็ยังมีการผลิตอุปกรณ์ส่งถ่ายยาโดยไม่ใช้เข็มในเชิงพาณิชย์ โดยหลักการทำงานของอุปกรณ์นี้จะเป็นการสร้างลำพุ่งด้วยวิธีการใช้กำลังอาทิ สปริง แก๊ส หรือไฟฟ้า ขับแท่งกดด้วยแรงอัดของเหลวในหัวฉีดผ่านรูขนาดเล็ก แล้วปลดปล่อยออกมาเป็นลำพุ่งความเร็วสูง เพื่อเจาะผ่านผิวหนัง โดยทั่วไประดับกำลังของลำพุ่งของอุปกรณ์ฉีดยาที่มีขายในท้องตลาดทั่วไปที่สามารถเจาะเข้าสู่เนื้อของสุกร (ปราศจากหนัง) ได้จะมีแรงดันกระแทกของลำพุ่งอยู่ที่ 1.88 MPa โดยจะสามารถแบ่งระยะการส่งถ่ายยาได้เป็น 3 ระยะคือ ระยะการเจาะ ระยะฉีด และระยะแพร่กระจายของยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเวลาของระยะแรก คือระยะการเจาะจะเป็นเวลาที่ความเร็วของลำพุ่งเริ่มจากศูนย์และมีอัตราเร่งจนกระทั่งถึงระยะฉีด ซึ่งระยะนี้ เริ่มต้นลำพุ่งจะไม่สามารถเจาะผ่านผิวหนังได้ เนื่องจากแรงกระแทกหรือความเร็วของลำพุ่งไม่เพียงพอ จึงทำให้เกิดการสาดกลับของตัวยาหรือมียาบางส่วนที่ไม่สามารถเจาะผ่านผิวหนังได้

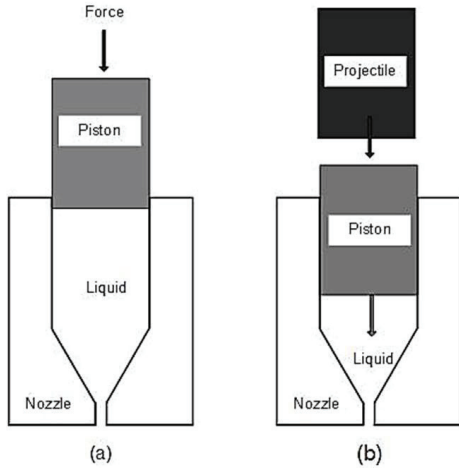
ทำให้ประสิทธิภาพในการส่งถ่ายยาลดลงมากกว่า 40% ดังแสดงใน Figure 1 จากข้อเสียดังกล่าวจะเป็นเหตุผลโดยตรงที่ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บจากการส่งถ่ายยาด้วยอุปกรณ์ฉีดที่มีขายในท้องตลาดในปัจจุบัน (Baxtera *et al.*, 2004)



**Figure 1** Drug delivery to the skin as a function of impact peak pressure (Baxtera & Mitragotria, 2004)

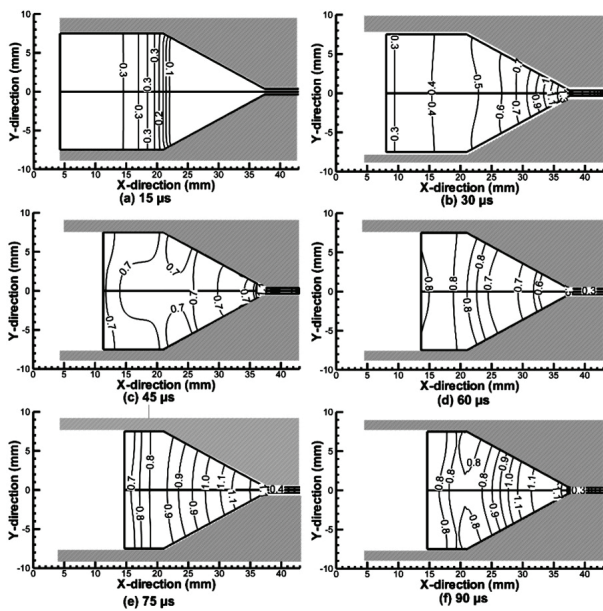
ตามที่กล่าวมาข้างต้น หลักการขับลำพุ่งที่ว่านี้ เป็นกระบวนการขับด้วยแรง (driving object method: DOM) แสดงใน Figure 2 (a) ต่อมา ได้มีนักวิจัยได้ศึกษากระบวนการผลิตลำพุ่งและประยุกต์เป็นอุปกรณ์ส่งถ่ายยาด้วยลำพุ่ง ที่ให้กำลังและความเร็วของลำพุ่งสูงกว่าแบบเดิมที่เรียกว่ากระบวนการผลิตลำพุ่งด้วยการกระแทก (impact driven method: IDM) แสดงใน Fig 2 (b) โดยใช้หลักการการส่งถ่ายโมเมนตัมด้วยการยิงตัวกระแทก (projectile) ไปกระแทกแท่งกด (piston) ไปอัดของเหลวผ่านรูเล็กเป็นลำพุ่งความเร็วสูง ซึ่งลำพุ่งที่เกิดจากกระบวนการนี้มีข้อสันนิษฐานว่าจะสามารถเจาะผิวหนังได้อย่างรวดเร็ว ประสิทธิภาพการส่งถ่ายยาสูงกว่าแบบเดิม (Shi, 1994; Shi & Takayama, 1995; Shi *et al.*, 1996)





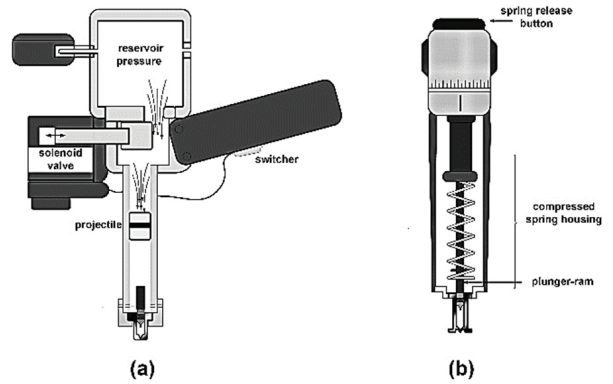
**Figure 2** Jet generation method by (a) Driving Object Method (DOM) and (b) Impact Driven Method (IDM) (Shi, 1994; Shi & Takayama, 1995; Shi *et al.*, 1996)

จากการศึกษาด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (computational fluid dynamics: CFD) เพื่อศึกษาและอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในหัวฉีดจากหลักการกระแทก พบว่ารูปแบบการไหลและค่าความดันของของเหลวในหัวฉีดทรงกรวย แสดงใน Figure 3 พบว่าในช่วงเวลาแรก (Figure 3 (a)) คลื่นชอล์ก ไหลเข้าทางออกหัวฉีด ทำให้ความดันสะสมของลำพุ่งลูกแรกมีค่าสูงที่สุด ซึ่งหลังจากนั้นความดันในหัวฉีดจะลดลงเนื่องจากการปล่อยไหลออก และเกิดความดันสะสมอีกในลูกที่สองแล้วปลดปล่อยออก ทำให้ลำพุ่งที่ปลดปล่อยออกมา มีลักษณะเป็นหัวลำพุ่งที่ติดตามกัน ซึ่งจำนวนของหัวลำพุ่งจะขึ้นกับค่าของโมเมนตัมที่สูงขึ้น (แสดงใน Figure 3 (c)) (Seehanam *et al.*, 2012)



**Figure 3** Pressure contours (GPa) inside a conical nozzle caused by IDM (Seehanam *et al.*, 2012)

นักวิจัยได้นำหลักการการกระแทก (IDM) มาสร้างอุปกรณ์ฉีดลำพุ่งที่เรียกว่า (IDM jet injector) ด้วยการใช้อากาศแรงดันสูงขับแท่งกระแทก ไปชนหรือส่งถ่ายโมเมนตัมให้กับแท่งกวดอัดของไหลผ่านหัวฉีด ซึ่งได้มีการเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ฉีดแบบ (DOM: Cool.click) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ฉีดที่มีขายตามท้องตลาด โดยใช้สปริงเป็นกำลังในการขับ ตาม Figure 4 (Mukda *et al.*, 2017)



**Figure 4** Details of jet injectors: (a) IDM Jet Injector and (b) DOM Cool.Click (Mukda *et al.*, 2017)

ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบผลของการเจาะ แสดงให้เห็นว่า IDM Jet Injector สามารถเจาะผ่านเนื้อเยื่อจำลองได้อย่างรวดเร็วและฉีดเข้าสู่เนื้อเยื่อจนหมด แตกต่างจาก DOM Cool.Click ซึ่งไม่สามารถเจาะผ่านเนื้อเยื่อจำลองในระยะแรก มีการสาดตัวยากกลับมากกว่า 2 เท่า (Akihito *et al.*, 2019) แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการ IDM จำเป็นจะต้องมีการถูกพัฒนา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ต้นกำลังในการขับ ซึ่ง IDM Jet Injector ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น มีข้อด้อยในเรื่องของลมซึ่งเป็นต้นกำลังนั้น ควบคุมการปลดปล่อยได้ยาก ทำให้การฉีดไม่มีความสม่ำเสมอ และต่อเนื่อง มากกว่านั้นการควบคุมกำลังให้เหมาะสมกับผิวหนังค่อนข้างลำบาก

ตามที่กล่าวมา การสร้างความเร็วของลำพุ่งที่สูงและความสามารถในการควบคุมกำลังของลำพุ่งจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลกับประสิทธิภาพของการส่งถ่ายยาที่สูงขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเป็นการนำหลักการการกระแทกมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ฉีดยาสัตว์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ฉีดยาที่มีขายตามท้องตลาด (animal injection device) แบบใช้เข็ม หัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 mm แท่งกวดภายในกระบอกมีขนาด 100 mm และลูกสูบขนาด 20 mm ในการนำมาทดลองจะไม่ใช้เข็มแล้วนำมาประกอบเข้ากับตัวโซลินอยด์ (solenoid) ขนาด 220 V เป็นต้นกำลัง ดังแสดงใน Figure 5 เพื่อตรวจสอบความเร็วเฉลี่ย ความดันกระแทก กำลัง รวมทั้งพฤติกรรมของลำพุ่งที่เกิดขึ้นจากการกดและหลักการการกระแทก รวมทั้งนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำหลักการดังกล่าวมาใช้ในการส่งถ่ายยาให้กับสัตว์ในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

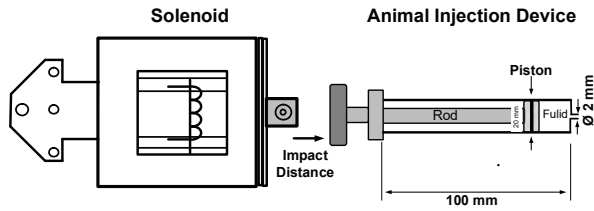


Figure 5 Experimental Diagram

**การทดลอง**

**1. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง**

(1) อุปกรณ์ฉีด (animal injection device) ที่นำมาทดสอบในงานวิจัยนี้ เป็นกระบอกฉีดยาสูตรที่ขายในท้องตลาด ด้วยกระบอกเข็มขนาด 30 ml หัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 mm แห่งกอดภายในกระบอกมีขนาดความยาว 100 mm และลูกสูบความยาว 20 mm

(2) ต้นกำเนิด (solenoid) โดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นต้นกำเนิดในการขับ ซึ่งเป็นคือโซลินอยด์ที่นำมาดัดแปลงเป็นต้นกำเนิดใช้ไฟฟ้า AC ขนาดแรงดัน 220 V กำลังไฟฟ้าขนาด 1,950 W และมีระยะชักของก้านอยู่ที่ 35 mm

(3) เครื่องมือวัดแรงกระแทก (digital force gauge) ใช้เกจวัดแรงแบบดิจิตอลความละเอียด 0.01 N สามารถวัดโหลดสูงสุดได้ 500 N เพื่อใช้ในการวัดแรงกระแทกของลำพุง โดยเครื่องมือนี้สามารถวัดค่าได้ทั้งแรงกระแทกของต้นกำเนิดโซลินอยด์และแรงกระแทกจากลำพุง

(4) เครื่องมือวัดความเร็วและปรากฏการณ์ของลำพุง (high speed VDO camera) ปรับความเร็วในการจับภาพของลำพุงที่ 1,000 f/s (หรือ 1 ภาพจะเท่ากับเวลา 1ms) ปรับความถี่ของไฟสปอร์ตไลท์ที่ 920 Hz และความละเอียดของภาพที่ใช้คือ 2,048 x 1,080 Pixel

**2. การวัดค่าและการเก็บผลการทดลอง**

การทดสอบจะมีทั้งหมด 3 ขั้นตอนคือ (1) การทดสอบแรงกระแทกของต้นกำเนิด (impact force) (2) การทดสอบความดันกระแทกของลำพุง (impact jet pressure) (3) การวัดความเร็วเฉลี่ยของลำพุง (average jet velocity) และการตรวจสอบพฤติกรรมของลำพุง โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) การทดสอบแรงกระแทกของต้นกำเนิด โดยใช้โซลินอยด์ไปกระแทกเครื่องมือวัดแรงกระแทกเพื่อเปรียบเทียบแรงกระแทกกับระยะที่แตกต่างกันคือ 5, 7, 9, 11, 13, 15 และ 17 mm โดยแรงกระแทกจะแสดงที่หน้าจอดิจิตอลของตัววัดแรงกระแทกที่แสดงในหน่วยนิวตัน (N) ดังแสดงใน Figure 6

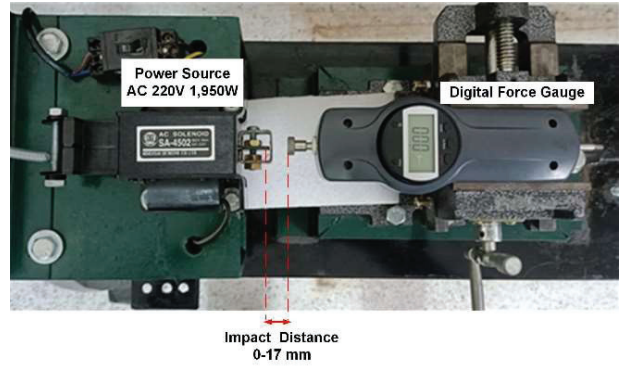


Figure 6 Detail of Impact force testing

(2) การทดสอบความดันกระแทกของลำพุง จะเป็นการปริมาตรของน้ำในกระบอกฉีด 2 ml อุณหภูมิที่ 25 C<sup>0</sup> ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีด 2 mm เพื่อเปรียบแรงกระแทกของลำพุง ที่ระยะกระแทกของตัวของต้นกำเนิดกับแห่งกอดที่ระยะ 0, 5, 7, 9, 11, 15 และ 17 mm โดยเว้นระยะห่างระหว่างปลายหัวฉีดกับตัววัดแรงกระแทกที่ 1 mm (เนื่องจากเป็นระยะที่ใกล้ที่สุด ที่จะไม่ได้มีผลจากการกระแทกของปลายหัวฉีดกับเครื่องมือวัดแรงกระแทก) ดังแสดงใน Figure 7 ซึ่งสามารถคำนวณความดันกระแทกของลำพุง (P) หน่วยเป็น MPa ได้จากสมการที่ 1

$$P = \frac{4F}{\pi D_o^2} \tag{1}$$

เมื่อ F คือแรงกระแทกของลำพุง (N) และ D<sub>o</sub> คือเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายหัวฉีด มีค่า 2 mm

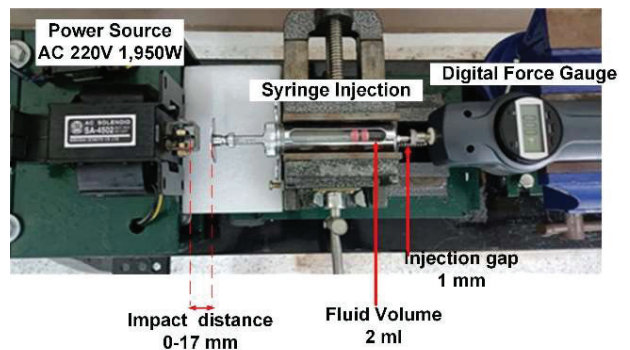


Figure 7 Detail of impact pressure of jet testing

(3) การวัดความเร็วเฉลี่ยของลำพุง และการตรวจสอบพฤติกรรมของลำพุง ด้วยการกำหนดระยะทางของการเคลื่อนที่ของลำพุง 50 cm กับการกำหนดเวลาจากภาพถ่ายด้วยความเร็วของกล้อง 1,000 f/s ซึ่งจะเป็นการตรวจสอบพฤติกรรมของลำพุงไปพร้อมกัน ผ่านโปรแกรม pco camware ดังแสดงใน Figure 8 หลังจากนั้นนำมาคำนวณเป็นความเร็วเฉลี่ยของลำพุง ตามสมการที่ (2)

$$v_j = \frac{\Delta x}{\Delta t} \tag{2}$$

เมื่อ  $V_j$  คือความเร็วเฉลี่ยของลำพุง  $\Delta x$  คือระยะทางระหว่างปลายของหัวฉีดถึงตำแหน่งสุดท้าย และ  $\Delta t$  คือเวลาลำพุงถูกแรกเดินทาง (โดยจะวัดเวลาของลำพุงถูกแรกในเวลาเดียวกันคือที่ 7 ms) หลังจากนั้นนำความเร็วเฉลี่ยที่ได้นำมาคำนวณเป็นกำลังของลำพุงได้จากสมการที่ (3)

$$P_o = \frac{1}{8} \pi \rho D_o^2 v_j^3 \tag{3}$$

เมื่อ  $P_o$  คือกำลังของลำพุง (W),  $D_o$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายหัวฉีด  $V_j$  คือความเร็วเฉลี่ยของลำพุง (m/s) ซึ่งได้จากสมการ (1) และ  $\rho$  คือความหนาแน่นของลำพุงโดยใช้น้ำเป็นของเหลว (998 kg/m<sup>3</sup>)



Figure 8 The testing of velocity and phenomena of jet

**ผลและการอภิปรายผล**

การทดสอบเบื้องต้นเป็นการเปรียบเทียบแรงกระทกของต้นกำลัง จาก Figure 9 แสดงผลการเปรียบเทียบของแรงกระทก (impact force) ที่เกิดจากแท่งกระทกจากโซลินอยด์กระทกทำกับเครื่องวัดแรงกระทก จากผลแสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะกระทกเพิ่มขึ้น (impact distance) จะทำให้แรงกระทกนั้นเพิ่มขึ้นตามหรือแปรผันตรงกัน ซึ่งจากภาพระยะกระทกสูงสุดที่ 17 mm จะให้ค่าแรงกระทกสูงสุดเช่นเดียวกันที่ 475 N เนื่องจากแท่งกระทกถูกขับเริ่มต้นจากความเร็วเป็นศูนย์และเพิ่มความเร็วขึ้นตามอัตราเร่ง จึงทำให้แรงกระทกหรือโมเมนตัมที่ชนกับตัวรับของตัววัดแรงกระทกมีค่าสูงตามไปด้วย

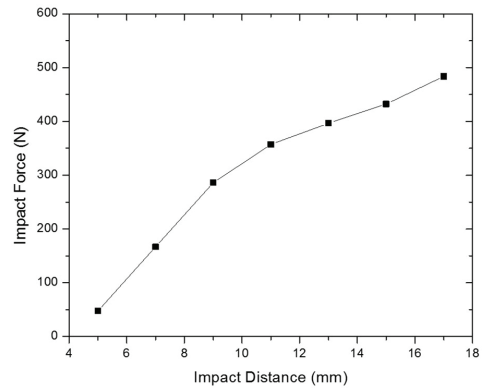


Figure 9 The impact force of power source versus impact distance

ต่อมาเป็นการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของลำพุง (average jet velocity) และแรงดันกระทกของลำพุง (impact jet pressure) โดยเริ่มต้นระยะที่ 0 mm ซึ่งถือว่าไม่มีระยะกระทก ดังนั้นระยะนี้จึงเป็นการขับด้วยแรงหรือแบบกด (DOM) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระยะกระทกที่เพิ่มขึ้น โดยระยะที่ 0 จะให้ค่าความเร็วเฉลี่ยของลำพุงที่ 30 m/s และจะเพิ่มขึ้นที่ระยะ 5, 7, 9, จนกระทั่งถึงระยะกระทกที่ 11 mm จะให้ค่าความเร็วเฉลี่ยของลำพุงสูงสุดที่ 62 m/s หลังจากนั้นจะลดลงที่ระยะ 13, 15 และ 17 mm ตามลำดับ (ค่าจะแสดงใน Figure 10 แกนตั้งด้านซ้าย) ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าแรงดันกระทกของลำพุง (ค่าจะแสดงใน Figure 10 แกนตั้งด้านขวา) โดยค่าแรงดันกระทกจะเพิ่มขึ้นตามระยะที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งระยะกระทกที่ 11 mm จะให้ค่าแรงดันกระทกของลำพุงสูงสุดที่ 2.28 MPa หลังจากนั้น ระยะกระทกที่ 13, 15 และ 17 mm จะลดลงตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไป ระดับแรงดันกระทกของลำพุงที่มีขายในท้องตลาดทั่วไปที่สามารถเจาะเข้าสู่เนื้อสุกร (ไม่มีหนัง) ได้จะอยู่ที่ 1.88 MPa (เป็นค่าแรงดันกระทกที่สามารถเจาะเนื้อสุกร ตามเส้นประ) ดังแสดงใน Figure 10

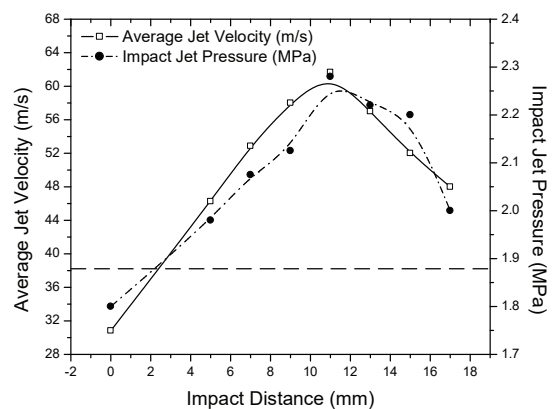


Figure 10 Average jet velocity and impact jet pressure versus impact distance



หลังจากนั้นนำความเร็วของลำพุ่งเฉลี่ยมาคำนวณเป็นกำลังของลำพุ่ง (jet power) ด้วยสมการ (3) เพื่อตรวจสอบค่ามาตรฐานในความสามารถเจาะผิวหนังของลำพุ่ง โดยจาก Figure 11 แสดงให้เห็นว่ากำลังของลำพุ่งจะแปรผันตรงกับค่าความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่ง ซึ่งจะมีค่าสูงสุดที่ 370 W ที่ระยะกระแทก 11 mm เช่นเดียวกัน ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของความเร็วของลำพุ่งและระดับกำลังของลำพุ่งที่สามารถเจาะผ่านผิวหนังได้จะอยู่ที่ระดับ 100 W (ของเนื้อสุกรไม่มีหนัง ตามเส้นประ) ซึ่งจากภาพจะแสดงให้เห็นว่า การใช้แรงกด (ระยะ 0 mm) จะไม่สามารถเจาะผ่านผิวหนังได้ แต่ถ้ามีระยะกระแทก (ระยะกระแทก 5, 7, 9, 11, 13, 15 และ 17 mm) จะสามารถเจาะผ่านผิวหนังได้ทุกค่า

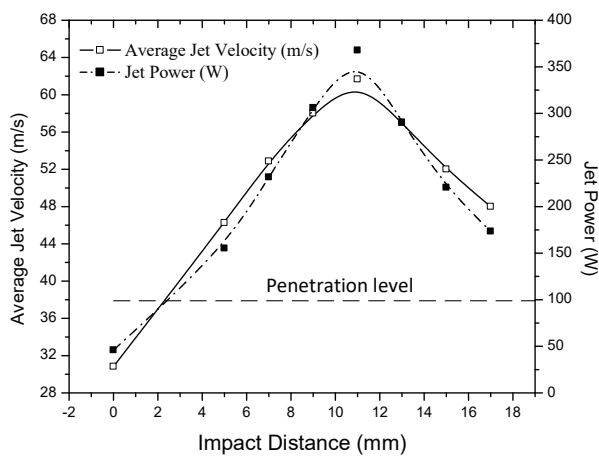


Figure 11 Average jet velocity and jet power versus impact distance

จากความเร็วเฉลี่ยและแรงดันกระแทกของลำพุ่งดังกล่าว เมื่อเรานำภาพมาวิเคราะห์ ที่ได้จากการแยกภาพจากวิดีโอด้วยกล้องที่มีความเร็ว 1,000 f/s ดังนั้น 1 ภาพที่ได้จากแยกไฟล์วิดีโอจะมีค่าเวลาเท่ากับ 0.001 วินาที หรือ 1 ms โดยใช้ตำแหน่งเริ่มต้นเพื่ออ้างอิงระยะทางของการเคลื่อนที่ของลำพุ่งคือตำแหน่งของปลายของหัวฉีดและห่างออกไปในแนวนอน ดังแสดงใน Figure 12 ค่าที่ได้จากวิเคราะห์เป็นความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่ง ได้จากการวัดจำนวนภาพของหัวของลำพุ่งลูกแรก เนื่องจากเป็นหัวลำพุ่งที่ใช้ในกระบวนการเจาะ ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญของหลักการกระแทก (IDM) จาก Figure 12 (a) (b) (c) และ (d) เป็นการเปรียบเทียบพฤติกรรมของลำพุ่งแบบเวลาต่อเวลา (Real time) ที่ระยะระหว่างการใช้แรงกด (0 mm) และระยะกระแทกที่ 5, 11 และ 15 mm ตามลำดับการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบจะใช้ช่วงเวลาที่ 7 ms (สังเกตช่วงเวลาในวงกลมเส้นประ) เทียบกับระยะในแนวนอนจนสุดเฟรมคือ 50 cm

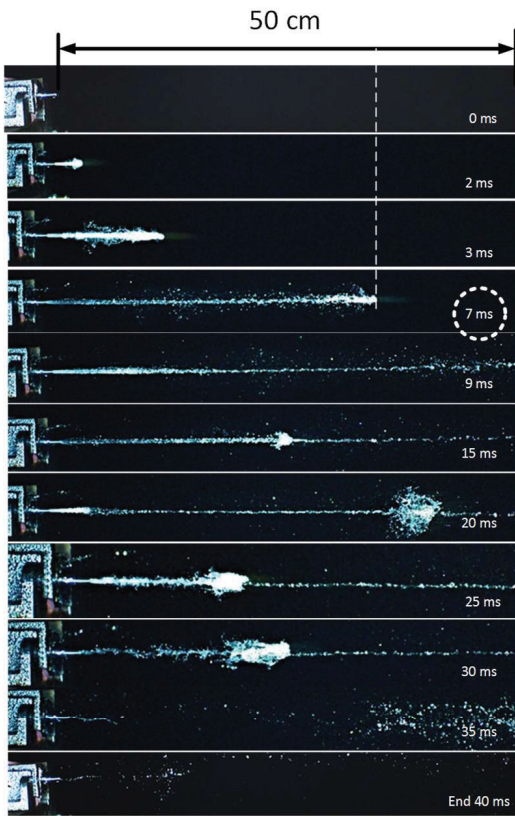
จาก Figure 12 เป็นการเปรียบเทียบระยะทางในการเคลื่อนที่ของลำพุ่งในช่วงเวลาเดียวกันที่ 7 ms จะเห็นได้

ว่า การใช้ระยะกระแทกที่ 0 mm (Figure 12 (a)) จะมีระยะของตำแหน่งหัวลำพุ่งลูกแรกสั้นที่สุด จึงทำให้ค่าความเร็วของลำพุ่งที่ได้จากการคำนวณนั้นมีค่าน้อยที่สุดที่ ต่อมาเป็นระยะกระแทกที่ 5 mm (Figure 12 (b)) จะมีค่าระยะของตำแหน่งหัวลำพุ่งและความเร็วของลำพุ่งที่สูงขึ้น และระยะกระแทก 11 mm (Figure 11 (c)) จะมีระยะตำแหน่งของหัวลำพุ่งที่มากที่สุด (เส้นประที่ระยะ 40 cm) หลังจากนั้น ที่ระยะกระแทก 15 mm (Figure 12 (d)) ระยะตำแหน่งของหัวลำพุ่งจะลดลงและจะลดลงมากที่สุดที่ระยะ 17 mm ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวจะมีความสอดคล้องกับผลของความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่งที่แสดงใน Figure 10 และ Figure 11 แต่จะมีความขัดแย้งกับผลการทดสอบแรงกระแทกของต้นกำลังที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะกระแทกที่เพิ่มขึ้นในภาพ Figure 9 อย่างมีนัยสำคัญ และมากกว่านั้นจะสังเกตเห็นหัวของลำพุ่งที่ออกมาจากปลายหัวฉีดมากกว่าหนึ่งหัวทุกระยะกระแทก

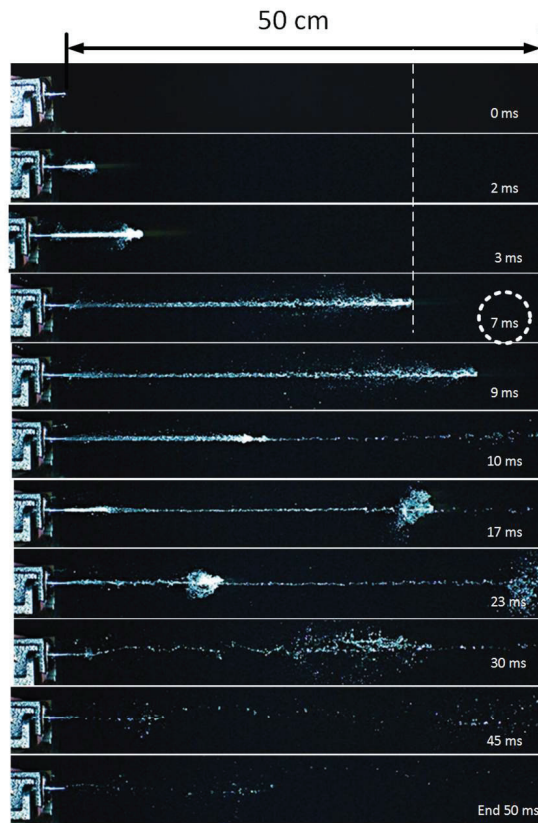
ซึ่งพฤติกรรมของลำพุ่งดังกล่าว มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมของเหลวที่เกิดขึ้นในหัวฉีดที่เกิดขึ้นจากการกระแทกด้วยการใช้วิธีจำลองของไหลพลศาสตร์เชิงคำนวณ (CFD) ที่แสดงใน Figure 3 โดยพฤติกรรมของไหลที่เกิดจากการกระแทกในหัวฉีดจะทำให้เกิดคลื่นช็อก หรือแรงดันย้อนกลับ เนื่องจากของไหลที่ถูกโมเมนตัมจากการกระแทกจะเกิดแรงดันสูงอย่างฉับพลันในหัวฉีด ไม่สามารถปลดปล่อยความดันได้ทัน จึงทำให้เกิดความดันย้อนกลับแล้วถูกแทงกดดันกลับไป - มา จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เกิดหัวของลำพุ่งเกิดขึ้นมากกว่าหนึ่งขึ้นอยู่กับแรงกระแทก ซึ่งหากมีแรงกระแทกหรือระยะกระแทกที่สูง ก็จะทำให้เกิดปรากฏการณ์คลื่นช็อกในหัวฉีดที่มาก หัวของลำพุ่งที่ปลดปล่อยออกมาก็จะมากตาม

ดังนั้น จากผลของความเร็วของลำพุ่งที่เกิดขึ้น ของระยะกระแทกที่มากกว่า 11 mm จะมีค่าที่ลดลงเนื่องจากแรงกระแทกมีค่าสูงจะแปรผันโดยตรงกับความดันที่เกิดขึ้นในหัวฉีด แต่จะแปรผันกับความเร็วมวลของลำพุ่ง เนื่องจากของเหลวที่อยู่ในหัวฉีดเกิดขึ้นช็อกดันกลับไป-มาอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่งแล้วจึงค่อยปลดปล่อยออกมาช้ากว่า และยังเพิ่มระยะกระแทกเป็น 17 mm ความเร็วของลำพุ่งที่ปลดปล่อยออกมาก็จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามเหตุผลที่กล่าวมา

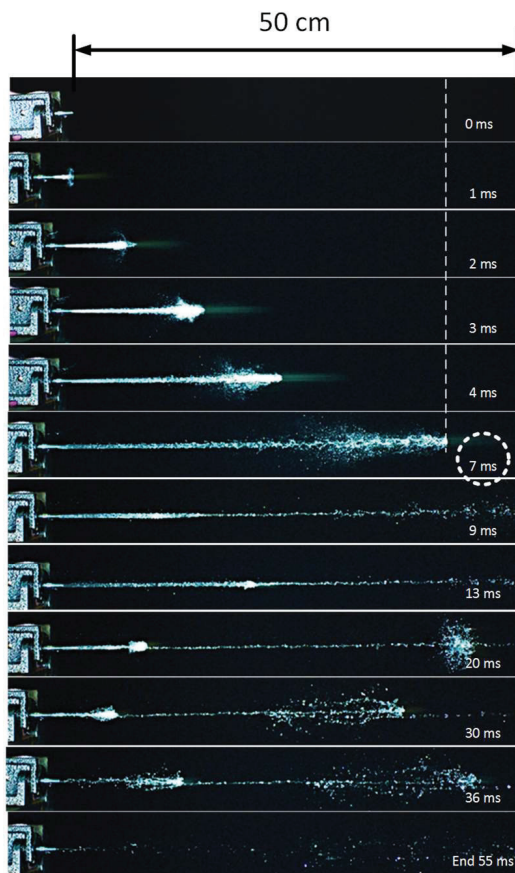
อย่างไรก็ตามสิ่งที่น่าสังเกตอีกอย่างหนึ่งก็คือระยะเวลาในการฉีดตั้งแต่เริ่มต้น ตั้งแต่หัวของลำพุ่งออกจากปลายหัวฉีดจนกระทั่งฉีดหมด โดยระยะกระแทกที่ 0 mm จะมีระยะเวลาที่สั้นที่สุดที่ 40 ms และจะมีระยะเวลาฉีดเพิ่มขึ้นตามระยะกระแทกที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากระยะกระแทกจะแปรผันตรงกับจำนวนคลื่นช็อกในหัวฉีดและจำนวนหัวของลำพุ่ง ทำให้เวลาในการปลดปล่อยลำพุ่งจนกระทั่งฉีดของเหลวจนหมดเพิ่มขึ้นตามระยะกระแทก



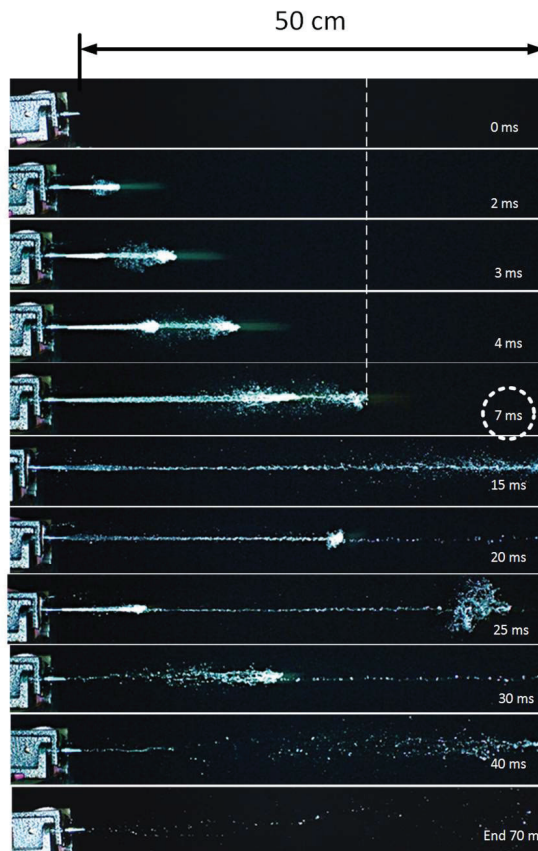
(a) Impact Distance 0 mm



(b) Impact Distance 5 mm



(c) Impact Distance 11 mm



(d) Impact Distance 15 mm

**Figure 12** Visualization of the IDM jet by a high speed camera versus impact distances:

(a) 0 mm (b) 5 mm and (c) 11 mm and 15 mm



## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ เป็นการนำอุปกรณ์ฉีดยาตัว มาประยุกต์เป็นอุปกรณ์ส่งถ่ายยาด้วยลำพุ่งความเร็วสูง โดยหลักการสร้างลำพุ่งด้วยหลักการกระแทก (IDM) ซึ่งจะให้ค่าความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่งสูงกว่าการใช้หลักการกดแบบเดิม (DOM) ทำให้ความดันกระแทกของลำพุ่งสูงขึ้นตาม ซึ่งสันนิษฐานว่า IDM จะส่งผลที่ดีต่อการเจาะรวมทั้งการฉีดเข้าสู่ผิวหนัง ดังนั้นอุปกรณ์ฉีดยาตัว จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการส่งถ่ายยาด้วยลำพุ่งด้วย IDM ได้ในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้ต้นกำลังจากแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโซลีนอยด์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถสร้างแรงกระแทกเพื่อผลิตลำพุ่งและควบคุมกำลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม การส่งถ่ายยาด้วยลำพุ่งจะเป็นการส่งถ่ายยาในปริมาณที่ไม่มาก อาทิ การฉีดอินซูลินในผู้ป่วยเบาหวาน การฉีดโครโมโซม หรือดีเอ็นเอ เข้าสู่ร่างกาย หรือการวัดขึ้นในปริมาณไม่เกิน 0.5 ml ดังนั้นควรลดขนาดของหัวฉีดจึงจะมีความเหมาะสมกับการใช้หลักการส่งถ่ายยาด้วยลำพุ่งมากที่สุด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีดไม่ควรเกิน 0.5 mm (ซึ่งเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ฉีดที่ขายตามท้องตลาดแบบ DOM ทั่วไป) จะทำให้ค่าความเร็วเฉลี่ยและความดันกระแทกของลำพุ่งมีค่าสูงขึ้น (เจาะได้ง่ายขึ้น) มากกว่านั้นสิ่งที่ควรปรับปรุงคือการทำงานทางด้านเทคนิคของอุปกรณ์ฉีดให้มีการทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถกำหนดปริมาตรของยาที่จะฉีดได้อย่างแม่นยำ

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) ที่สนับสนุนงบประมาณด้านวิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2565 รวมทั้งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ส่งเสริม ผลักดันทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงอย่างมีประสิทธิภาพ

## เอกสารอ้างอิง

- วิระพันธ์ สีหนาม. (2557). การฉีดยาแบบไร้เข็มด้วยลำพุ่งความเร็วสูง: อุปกรณ์และพฤติกรรมการฉีด. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., 7(2)*, 113-124.
- Akihito, K., Nanami, E., Sennosuke, K., Chihiro, K., Kumido, O., Akane, T., & Yoshiyuki, T. (2019). Visualization of penetration of a high-speed focused microjet into gel and animal skin. *J Vis*, 22, 449-457.
- Baxtera, J. S., Katrencikb, J., & Mitragotria, S. (2004). Jet injection into polyacrylamide gels: investigation of jet injection mechanics. *Journal of Biomechanics*, 37, 1181-1188.
- Baxtera, J. S., & Mitragotria, S. (2004). Needle-free jet injection: dependence of jet penetration and dispersion in the skin on jet power. *Journal of Controlled Release*, 97, 527-535.
- Mukda, P., Seehanam, W., & Pianthong, K. (2017). A new concept of needle-free jet injector by the impact driven method. *ASME Journal of Medical Devices*, 11(1), 1-10.
- Shi, H. H. (1994). *Study of hypersonic liquid jet*, doctor of thesis Sendai. Tohoku University.
- Shi, H. H., & Takayama, K. (1995). Generation of high speed liquid jets by high speed impact of a projectile. *JSME International Journal*, 3(8), 181-190.
- Shi, H. H., Takayama, K., & Itoh, M. (1996). Further study of the generation technique of high speed liquid jets and related shock wave phenomena using a helium gas gun. *Japanese Journal of Applied Physics*, 35, 4147-4156.
- Seehanam, W., Kianthong, K. and Sittiwong, W., Milton, B.E. & Takayama, K. (2012). Investigation on the generation process of impact-driven high-speed liquid jets using a CFD technique. *Shock Waves*, 22, 465-475.

# ประสิทธิภาพของเครื่องตรวจเอกสารสำหรับกระดาษที่ผ่านการกด

## The efficiency of document examination for indented writing of papers

ณรงค์ กุลนิตะ<sup>1</sup>, นนทพัทธ์ ยิ่งประยูร<sup>2</sup> และ อธิป ลอศิริกุล<sup>3</sup>

Narong Kulnides<sup>1</sup>, Nontaphat Yangprayut<sup>2</sup> and Athip Lorsirigool<sup>3</sup>

Received: 11 April 2023 ; Revised: 2 June 2023 ; Accepted: 5 July 2023

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของแสงเฉียงของเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสารในด้านการตรวจหารอยกดบนแผ่นกระดาษรองเขียนที่ต่างชนิดกัน และศึกษาคุณสมบัติของการเขียนผ่านรอยกดที่ตรวจพบ ผู้วิจัยใช้วิธีเชิงปริมาณในการศึกษา จากการทดลองกำหนดแหล่งกำเนิดแสงเฉียงที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพนั้นมาจากทางด้านซ้ายและขวา สูงห่างจากแผ่นกระดาษ 10 มิลลิเมตร และแหล่งกำเนิดแสงเฉียงทำมุม 10 องศา กับแนวระดับ ในการศึกษาใช้กระดาษที่ต่างกันดังนี้ กระดาษถ่ายเอกสารขนาด 70 และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม นอกจากนี้ยังศึกษาอิทธิพลของชนิดของปากกาที่ใช้ในการเขียน ผ่านปากกามึกเจล และปากกาลูกลื่น ซึ่งจากการศึกษาพบว่าแสงเฉียงภายใต้เครื่องตรวจพิสูจน์เอกสารมีประสิทธิภาพตรวจพบรอยกดบนแผ่นกระดาษรองได้สูงสุดที่จำนวน 3 แผ่น กระดาษและปากกาที่ต่างชนิดกันมีค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นรองเขียนที่ตรวจพบรอยกดแตกต่างกัน โดยที่ปากกาลูกลื่นที่เขียนในกระดาษถ่ายเอกสารขนาด 70 แกรม และ 80 แกรม และกระดาษรายงานมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5, 1.2 และ 1.2 แผ่นตามลำดับ ในส่วนปากกามึกเจลที่เขียนในกระดาษถ่ายเอกสารขนาด 70 แกรม 80 แกรม และกระดาษรายงานมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.0, 1.0, และ 0.8 แผ่น ตามลำดับ ถึงแม้ค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นกระดาษรองที่ตรวจพบรอยกดจะแตกต่างกันแต่จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางตัวประกอบที่ค่านี้สำคัญทางสถิติที่  $p < 0.05$  พบว่ากระดาษและปากกาที่ต่างชนิดกันไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการหารอยกดด้วยเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสาร งานวิจัยนี้จึงเป็นประโยชน์ในการตรวจพิสูจน์หลักฐานทางเอกสารสำหรับงานทางนิติวิทยาศาสตร์

**คำสำคัญ:** แสงเฉียง, เครื่องตรวจพิสูจน์เอกสาร, รอยกดบนแผ่นกระดาษรอง

### Abstract

This study aimed to know the effectiveness of oblique light for document examination in detecting indented writing on different types of papers and to study the properties of writing through the detected indented writing. Quantitative research was used, to determine that the oblique light source used to establish its effectiveness came from the left and right sides, ten millimeters above the sheet of paper, and the oblique light source at an angle of 10° to the level line. The study used different papers. - 70 and 80 gsm copy paper and 70 gsm report paper. It also studied the influence of pen types used in writing using gel ink pens and ballpoint pens, which, according to studies, showed that oblique light inside the proof of document examination a maximum of 3 sheets of indented writing on parchment sheets. Ballpoint pens writing on 70 gsm, 80 gsm, and report papers averaged 1.5, 1.2, and 1.2, respectively. Gel pens writing in 70 gsm, 80 gsm paper and report paper in the ink pen averaged 1.0, 1.0, and 0.8, respectively. Although the average number of sheets of paper detected for indented writing was different, according to the analysis of two variances factored at a statistical significance of  $p < 0.05$ , different types of paper and pens did not affect the effectiveness of

<sup>1</sup> รองศาสตราจารย์ สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร 10300

<sup>2</sup> วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร 10300

<sup>3</sup> สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร 10300

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Forensic Science, Graduated School, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok, 10300

<sup>2</sup> Master's Degree, Department of Forensic Science, Graduated School, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok, 10300

<sup>3</sup> Department of Forensic Science, Graduated School, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok, 10300

\* Corresponding author: E-mail: narong.ku@ssru.ac.th

detecting pressure marks with a poof of document examination. The research will be useful in examining documentary evidence in forensic science.

**Keywords:** Oblique light, document examination, indented writing

## บทนำ

นิติวิทยาศาสตร์ เป็นศาสตร์ที่นำวิทยาศาสตร์แขนงต่างๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาอาชญากรรม โดยเฉพาะในยุคปัจจุบันที่กระบวนการยุติธรรมนั้นลดความน่าเชื่อถือของพยานบุคคลแต่ให้ความสำคัญกับพยานเงียบ หรือพยานทางนิติวิทยาศาสตร์มากขึ้น กล่าวได้ว่าผลชี้ขาดของกระบวนการยุติธรรมว่ามีความผิดหรือไม่มีความผิดนั้นขึ้นอยู่กับหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ (Neumann *et al*, 2011)

งานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์มีด้วยกันหลายแขนง อาทิเช่น งานด้านตรวจสถานที่เกิดเหตุ (crime scene investigate) ซึ่งเป็นงานที่เป็นหัวใจสำคัญของงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ มีหน้าที่หลัก คือ เสาะหาและเก็บวัตถุพยานที่พบเห็น หรือหลบซ่อนอยู่ในบริเวณสถานที่เกิดเหตุ งานด้านลายนิ้วมือแฝง (latent fingerprint) ทำหน้าที่ตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจพบในสถานที่เกิดเหตุกับลายนิ้วมือของบุคคลที่ต้องสงสัย นอกจากนี้นิติวิทยาศาสตร์ยังมีงานที่เกี่ยวข้องกับการตรวจการปลอมแปลงลายมือชื่อ หรือการปลอมแปลงเอกสาร งานดังกล่าวในประเทศไทยเรียกว่า งานตรวจเอกสาร (question document) การตรวจพิสูจน์เอกสารนั้นในต่างประเทศถือว่าเป็นเรื่องที่มีมานาน และมีหน่วยงานเฉพาะที่มีหน้าที่ดูแลงานที่เกี่ยวข้องกับงานด้านตรวจพิสูจน์เอกสาร หรือหน่วยงานสนับสนุนด้านดังกล่าว อาทิเช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีหน่วยงานที่ชื่อว่า The United States Secret Service Digital Ink Library โดยหน่วยงานดังกล่าวมีหน้าที่เก็บข้อมูลทางโครมาโทกราฟี (chromatography) ของหมึกปากกาทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ (Neumann *et al*, 2011) ในส่วนของประเทศไทย งานด้านการตรวจพิสูจน์เอกสาร มีหน่วยงานที่กำกับดูแลด้วยกัน 2 หน่วยงาน คือ สำนักงานด้านการตรวจพิสูจน์หลักฐานตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ และอีกหนึ่งหน่วยงาน คือ สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ สังกัดกระทรวงยุติธรรม (พิชศาลพันธุ์วัฒนา, 2560)

ขอขยายหน้าที่ที่กลุ่มงานตรวจเอกสาร สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ ได้รับมอบหมาย อาทิเช่น การตรวจเปรียบเทียบคุณสมบัติของลายมือของแต่ละบุคคล การตรวจหาร่องรอยการขูดลบแก้ไขในเอกสารและการตรวจเปรียบเทียบชนิดหมึกชนิดปากกา เป็นต้น นอกจากนี้งานตรวจพิสูจน์เอกสารยังมีหน้าที่ตรวจหาข้อความที่เกิดจากรอยกดบนแผ่นกระดาษรองเขียน ซึ่งการตรวจหาข้อความจากรอยกดบนแผ่นกระดาษดังกล่าว ทางนิติวิทยาศาสตร์อาศัย

หลักการทางไฟฟ้าสถิตผ่านเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่เรียกว่า Electrostatic detection apparatus หรือ ESDA ซึ่งถึงแม้เครื่องมือนี้จะมีประสิทธิภาพสูงและเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลในงานด้านตรวจหารอยกด แต่อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องตรวจหารอยกดนั้น มีขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อนและยุ่งยาก นอกจากนี้เครื่องตรวจหารอยกดมีปัจจัยที่ต้องควบคุมหลายประการ อาทิเช่น การควบคุมความชื้นของกระดาษ สัดส่วนปริมาณของเม็ดบีทกับผงฝุ่น หรือขนาดของเม็ดบีทเอง ซึ่งปัจจัยทั้งหมดล้วนส่งผลต่อประสิทธิภาพของการตรวจหารอยกดทั้งสิ้น (อมรเทพ พลศึก, 2559)

นอกจากเครื่องตรวจหารอยกด กลุ่มงานตรวจเอกสารมีเครื่องมือที่สำคัญอีกหนึ่งเครื่อง คือ เครื่องตรวจพิสูจน์เอกสาร (document examination) ซึ่งเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสารนี้เป็นเครื่องมือที่สำคัญที่สุดในงานด้านตรวจเอกสาร ศูนย์พิสูจน์หลักฐานบางแห่งมีเครื่องตรวจนี้มากกว่าหนึ่งเครื่องไว้ใช้งาน เนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวสามารถปฏิบัติงานได้หลายรูปแบบ ทั้งการตรวจชนิดหมึกปากกา การตรวจหาร่องรอยการแก้ไข หรือการตรวจเปรียบเทียบธนบัตรรัฐบาลที่แท้จริง นอกจากนี้คุณสมบัติที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้วนั้น เครื่องตรวจพิสูจน์เอกสารยังสามารถตรวจหารอยกดบนแผ่นกระดาษรองเขียนได้เช่นเดียวกับเครื่องตรวจหารอยกด โดยอาศัยแสงเฉียดซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงชนิดหนึ่งที่อยู่ภายในตัวเครื่อง (Mial *et al*, 2021) จากความขาดแคลนเครื่องตรวจหารอยกดของกลุ่มงานตรวจพิสูจน์เอกสารบางแห่ง ผวนกับเป็นเครื่องมือที่ไม่ได้รับความสนใจ ยากต่อการจัดซื้อ แตกต่างกับกับเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสารที่มีเครื่องจำนวนมาก และถูกจัดอันดับความสำคัญเป็นอันดับหนึ่งของกลุ่มงาน ทำให้งานต่อการจัดซื้อ แต่อย่างไรก็ตามจากค้นคว้าข้อมูลของผู้เขียนพบว่าไม่มีงานวิจัยระบุถึงประสิทธิภาพของแสงเฉียดภายในเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสารในด้านการตรวจหารอยกดบนแผ่นกระดาษรองเขียน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาถึงประสิทธิภาพในการตรวจหารอยกดบนกระดาษแผ่นรองด้วยเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสารในแต่ละชนิดของกระดาษและชนิดของปากกาที่แตกต่างกัน

## วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการตรวจหารอยกดบนกระดาษแผ่นรองเขียนด้วยเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสารในกระดาษแต่ละชนิด

2. เพื่อศึกษารอยกดบนกระดาษแผ่นรองเขียนด้วยเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสารจากการใช้ปากกาที่ต่างชนิดกัน

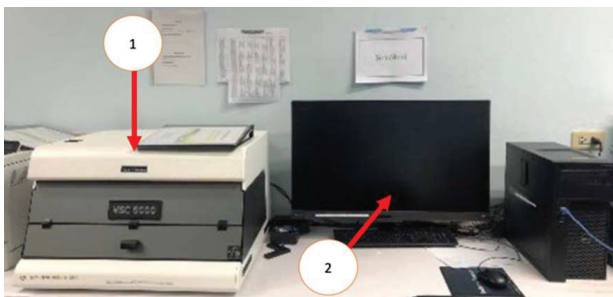
**วิธีการดำเนินงานวิจัย**

**1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

งานวิจัยนี้ทำการเก็บตัวอย่างลายมือเขียนข้อความของผู้เข้าร่วมการทดลอง 5 ท่าน โดยผู้เข้าร่วมการทดลองทุกท่านเป็นบุคคลที่อยู่ในวัยทำงาน และเป็นบุคคลที่ไม่มีโรคหรืออาการเจ็บป่วยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งาน ในการเลือกผู้เข้าร่วมการทดลอง ผู้วิจัยเลือกบุคคลที่มีการศึกษาอยู่ในระดับอย่างน้อยปริญญาตรี เนื่องจากบุคคลเหล่านี้มีคุณภาพลายมือที่ค่อนข้างสูง และควบคุมไม่ให้เกิดความต่างในด้านความสามารถและประสบการณ์ในการเขียน โครงการวิจัยได้ผ่านการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมวิจัยมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา (COE.1-033/2023)

**2. เครื่องมือและอุปกรณ์**

ในงานวิจัยนี้ใช้การตรวจหารอยกดบนแผ่นกระดาษรองเขียนด้วยเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสาร โดยเครื่องมือดังกล่าวประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วน คือ ส่วนกล้องที่ทำหน้าที่ถ่ายภาพ ที่มีแหล่งกำเนิดแสงเฉียงภายในอุปกรณ์ รุ่น VSC 8000 ความยาวคลื่นที่ใช้อยู่ในช่วง 400-1,000 นาโนเมตร และอีกส่วนคือส่วนจอแสดงภาพ มีหน้าที่แสดงภาพเป็นส่วนใหญ่ที่ผู้ใช้งานสามารถปรับแสง ระยะโฟกัสได้ตามต้องการของผู้ใช้ (Figure 1)



**Figure 1** Document examination machine. The internal camera module that uses an oblique light source to take photographs (1) and the display part where the user can change the exposure and focus distance (2).

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กระดาษเอกสาร ขนาด 70 และ 80 แกรม กระดาษรายงานขนาด 70 แกรม ปากกาลูกลื่น ขนาด 0.5 มิลลิเมตร ปากกาหมึกเจล ขนาด 0.5 มิลลิเมตร อุปกรณ์เขียนกระดาษ และเครื่องพิมพ์

**3. การออกแบบการทดลอง**

**3.1 เตรียมกระดาษรองเพื่อหารอยกด**

การเตรียมกระดาษรอง ผู้วิจัยเตรียมกระดาษทั้งสิ้น 30 ชุด แบ่งเป็นกระดาษเอกสารขนาด 70 แกรม 10 ชุด กระดาษเอกสารขนาด 80 แกรม 10 ชุด และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม 10 ชุด นำกระดาษเอกสารขนาด 70 และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม แต่ละขนาดเลือกมา 6 แผ่นและเย็บรวมกันด้วยเครื่องเย็บกระดาษที่มุมขวาของกระดาษ โดยก่อนจะทำการเย็บ ผู้วิจัยจะนำกระดาษแผ่นบนสุดที่ทำหน้าที่เป็นกระดาษสำหรับเขียนนั้นไปพิมพ์ข้อความและแนวเส้นบรรทัดเพื่อให้ผู้เข้าร่วมทดลองได้เขียนในจุดที่กำหนดในลักษณะเดียวกัน (Figure 2) ซึ่งผู้ร่วมการทดลองจะเขียนชื่อตนเองที่กระดาษแผ่นแรกของแต่ละชุด ชุดละ 5 ครั้ง ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดการเขียนผู้เข้าร่วมการทดลองจะได้เขียนชื่อตนเองทั้งสิ้น 30 ครั้ง แบ่งเป็นการเขียนด้วยปากกาลูกลื่น 15 ครั้ง และการเขียนด้วยปากกาหมึกเจล 15 ครั้ง



**Figure 2** Sample images of the first sheet of each set.

**3.2 มุมของแสงเฉียงและระยะความสูงจากกระดาษ**

เงื่อนไขของการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมพิจารณาจากรอยกดภาพที่ให้ความชัดเจนครบถ้วน เหมือนกับภาพต้นฉบับมากที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณาพบว่าแสงเฉียงที่มาจากทางด้านซ้ายและขวา ที่มุม 10 องศา กับแนวระดับของแหล่งกำเนิดแสง สูงห่างจากกระดาษ 10 มิลลิเมตร ให้ภาพรอยกดที่ชัดเจนที่สุด (Figure 3) เมื่อได้เงื่อนไขของแสงที่เหมาะสมแล้วจึงนำไปทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสารในการตรวจหารอยกดบนกระดาษรองเขียนในกระดาษและปากกาที่ต่างชนิดกันในขั้นตอนต่อไป





**Figure 3** Image of the 1st paper backing using oblique light shining to the left, height 10 mm.

#### 4. การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยนำข้อมูลจากการทดลองมาบันทึกผลใส่ตาราง โดยภายในตารางจะเป็นข้อมูลการตรวจหารอยกดของผู้เข้าร่วมการทดลองแต่ละท่านและแต่ละชนิดของปากกา หลังจากบันทึกผลของแต่ละท่านแล้วผู้วิจัยจะนำค่าเฉลี่ยที่ได้มารวมกันเหลือเพียงหนึ่งตารางเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ เปรียบเทียบ และสรุปผลการวิจัย โดยสถิติที่ใช้ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนา ซึ่งจะเป็นการหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของข้อมูล และสถิติเชิงอนุมาน ที่ใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นกระดาษที่ตรวจพบรอยกดบนกระดาษด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistic 29 มีค่านัยสำคัญทางสถิติอยู่ที่  $p < 0.05$  โดยมีสมมติฐานดังนี้

##### ชนิดของกระดาษ

$H_0$  = ชนิดของกระดาษไม่มีผลต่อจำนวนรอยกดที่พบ

$H_1$  = ชนิดของกระดาษมีผลต่อรอยกดที่พบ

##### ชนิดของปากกา

$H_0$  = ชนิดของปากกาไม่มีผลต่อจำนวนรอยกดที่ตรวจพบ

$H_1$  = ชนิดปากกามีผลต่อจำนวนรอยกดที่ตรวจพบ

#### ผลการทดลอง

##### 1. ผลการทดลองรอยกดต่อชนิดกระดาษรองด้วยปากกาลูกลื่น

ผลการทดลองของผู้เข้าร่วมทดลองลำดับที่ 1 พบค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นรองที่พบรอยกดของกระดาษเอกสารขนาด 70 และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม มีค่าเฉลี่ย 0.8, 1.0, และ 0.8 แผ่น ตามลำดับ

ผลการทดลองของผู้เข้าร่วมทดลองลำดับที่ 2 พบค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นรองที่พบรอยกดของกระดาษเอกสารขนาด 70 และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม มีค่าเฉลี่ย 2.6, 2.0, และ 2.0 แผ่นตามลำดับ

ผลการทดลองของผู้เข้าร่วมทดลองลำดับที่ 3 พบค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นรองที่พบรอยกดของกระดาษเอกสารขนาด 70 และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม มีค่าเฉลี่ย 1.6, 1.2, และ 1.0 แผ่นตามลำดับ

ผลการทดลองของผู้เข้าร่วมทดลองลำดับที่ 4 พบค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นรองที่พบรอยกดของกระดาษเอกสารขนาด 70 และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม มีค่าเฉลี่ย 1.4, 1.6, และ 1.0 แผ่นตามลำดับ

ผลการทดลองของผู้เข้าร่วมทดลองลำดับที่ 5 พบค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นรองที่พบรอยกดของกระดาษเอกสารขนาด 70 และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม มีค่าเฉลี่ย 1.0, 0.2, และ 1.0 แผ่นตามลำดับ

##### 2. ผลการทดลองรอยกดต่อชนิดกระดาษรองด้วยปากกาหมึกเจล

ผลการทดลองของผู้เข้าร่วมทดลองลำดับที่ 1 พบค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นรองที่พบรอยกดของกระดาษเอกสารขนาด 70 และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม มีค่าเฉลี่ย 0.4, 0.6, และ 0.2 แผ่น ตามลำดับ

ผลการทดลองของผู้เข้าร่วมทดลองลำดับที่ 2 พบค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นรองที่พบรอยกดของกระดาษเอกสารขนาด 70 และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม มีค่าเฉลี่ย 2.0, 2.0, และ 2.0 แผ่น ตามลำดับ

ผลการทดลองของผู้เข้าร่วมทดลองลำดับที่ 3 พบค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นรองที่พบรอยกดของกระดาษเอกสารขนาด 70 และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม มีค่าเฉลี่ย 1.4, 1.0, และ 1.0 แผ่น ตามลำดับ

ผลการทดลองของผู้เข้าร่วมทดลองลำดับที่ 4 พบค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นรองที่พบรอยกดของกระดาษเอกสารขนาด 70 และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม มีค่าเฉลี่ย 1.0, 1.0, และ 1.0 แผ่น ตามลำดับ

ผลการทดลองของผู้เข้าร่วมทดลองลำดับที่ 5 พบค่าเฉลี่ยจำนวนแผ่นรองที่พบรอยกดของกระดาษเอกสารขนาด 70 และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม มีค่าเฉลี่ย 0.4, 0.2, และ 0.0 แผ่น ตามลำดับ

**Table 1** Shows the mean and standard deviation (S.D.) of the number of papers examined and the type of pen used for writing.

Experimenter	70 gsm paper		80 gsm paper		Ruled paper 70 gsm	
	Ballpoint	Gel	Ballpoint	Gel	Ballpoint	Gel
1	0.8	0.4	1.0	0.6	0.8	0.2
2	2.6	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0
4	1.4	1.0	1.6	1.0	1.0	1.0
5	1.0	0.4	0.2	0.2	1.0	0.0
Mean	1.5	1.0	1.2	1.0	1.2	0.8
S.D.	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.7

จากตารางจะพบว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนแผ่นกระดาษรองเขียนที่ตรวจพบรอยกุดอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 1.5 แผ่น โดย การเขียนด้วยปากกาลูกลื่นบนกระดาษเอกสารขนาด 70 แกรม และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดที่ 0.8 แผ่น โดยการเขียนด้วยปากกาหมึก เจลบนกระดาษรายงานค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าระหว่าง 0.4 ถึง 0.7 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดที่ 0.7 โดยการเขียนด้วย ปากกาหมึกเจลบนกระดาษรายงาน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ต่ำสุดที่ 0.4 โดยการเขียนด้วยปากกาลูกลื่นบนกระดาษ รายงาน (Table 1)

**Table 2** Represents the numerical values from two-way ANOVA.

Source of variation	Sum of Squares	df	Mean Squares	F	P-value	F crit
Types of pen	0.202	1	0.202	17.286	0.053	18.513
Types of paper	0.063	2	0.032	2.714	0.269	19

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง พบว่าค่า F ของชนิดปากกามีค่าอยู่ที่ 17.286 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า F จากตารางค่าวิกฤติที่แอลฟา 0.05 (18.513) แสดงว่าไม่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยอมรับสมมติฐาน  $H_0$

เมื่อวิเคราะห์ค่า F ของชนิดกระดาษมีค่าอยู่ที่ 2.714 ซึ่งน้อยกว่าค่า F ที่ได้จากตารางค่าวิกฤติที่แอลฟา 0.05 (19.000) แสดงว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยอมรับ สมมติฐาน  $H_0$

### อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องตรวจพิสูจน์ เอกสารในด้านการตรวจหารอยกุดบนกระดาษแผ่นรองเขียน โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเฉียกภายในเครื่องตรวจ ขั้นตอนการ หาแหล่งกำเนิดแสงเฉียกที่เหมาะสมของเครื่องตรวจพิสูจน์

### 3. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางเพื่อทดสอบ สมมติฐาน

จากสมมติฐานได้กำหนดให้จำนวนแผ่นกระดาษรอง เขียนที่ตรวจพบรอยกุดเป็นตัวแปรตาม ชนิดของกระดาษและ ชนิดของปากกาเป็นตัวแปรอิสระ นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาทำการ คำนวณค่าความแปรปรวนสองทางโดยให้มีความสำคัญทาง สถิติที่  $p < 0.05$  ผลที่ได้แสดงใน Table 2

เอกสารเพื่อใช้ในการทดลองการทดลองหาประสิทธิภาพใน ขั้นตอนถัดไปนั้น เนื่องจากเครื่องตรวจเองมีทิศทางของแหล่ง กำเนิดแสงเพียงสองทิศทางเท่านั้น คือ ในแนวราบกับแนวทำ มุมก้ม 10 องศา โดยจากการทดสอบพบว่ามุม 10 องศาให้ ภาพรอยกุดที่ใกล้เคียงกับภาพจริงที่สุด ในขณะที่มีรายงาน การศึกษาของต่างประเทศใช้ที่มุม 45 องศาจะให้ภาพที่ชัดเจน (Mial *et al*, 2021)

จากการทดลองหาประสิทธิภาพการหารอยกุดพบว่า แสงเฉียกภายในเครื่องตรวจเอกสารนั้นมีความสามารถตรวจ พบรอยกุดบนแผ่นกระดาษรองเขียนได้สูงสุดที่จำนวน 3 แผ่น นอกจากนี้การเปรียบเทียบชนิดกระดาษและปากกาที่ต่างกัน จะส่งผลต่อประสิทธิภาพภายในเครื่องตรวจนั้น จากผลการ วิจัยที่ได้กำหนดสมมติฐาน  $H_0$  ไว้ด้วยกันสองประการ คือ ชนิด กระดาษทั้งสามชนิดที่ใช้ในงานวิจัย (กระดาษเอกสารขนาด 70

และ 80 แกรม และกระดาษรายงานขนาด 70 แกรม) ไม่ส่งผลต่อจำนวนแผ่นที่ตรวจพบรอยกด และอีกหนึ่งสมมติฐาน คือ ปากกาหมึกเจลและปากกาลูกลื่นไม่ส่งผลต่อจำนวนแผ่นในการตรวจหารอยกดเช่นเดียวกัน โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $p < 0.05$  ซึ่งจากการทดลองพบว่าถึงแม้เงื่อนไขในการเขียนด้วยปากกาและกระดาษจะแตกต่างกัน และได้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ไม่เท่ากันในแต่ละเงื่อนไข แต่เมื่อคำนวณด้วยสถิติความแปรปรวนสองตัวประกอบกับพบว่าค่าที่ได้ยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  ทั้งสองสมมติฐาน กล่าวคือ ที่ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $p < 0.05$  ชนิดของกระดาษและชนิดของปากกาที่ต่างกันที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อวิเคราะห์ส่วนของกระดาษอาจเพราะกระดาษทั้ง 3 ชนิดมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบไปในทิศทางเดียวกัน คือ สามารถใช้เขียนด้วยหมึกปากกาได้ดี ถึงแม้จะมีน้ำหนักต่อพื้นที่แตกต่างกัน (แกรม) หรือองค์ประกอบบางอย่าง หรือสัดส่วนผสมแตกต่างกัน (Cantavalle, 2019) แต่อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยกลับพบว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้นไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสาร

เมื่อพิจารณาการใช้ปากกาเขียนที่ต่างกันของปากกาหมึกเจลและปากกาลูกลื่นนั้น ให้ผลการทดลองไปในเชิงเดียวกันกับชนิดกระดาษ คือ ปากกาทั้งสองชนิดนี้ไม่ส่งผลต่อความแตกต่างในด้านประสิทธิภาพของเครื่องตรวจในการตรวจหารอยกดที่เกิดขึ้น คือเมื่อนำมาเขียนบนแผ่นกระดาษหลักก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการตรวจหารอยกดบนแผ่นกระดาษรองนั้นถึงแม้ปากกาทั้งสองชนิดจะมีลักษณะน้ำหนักที่แตกต่างกัน แต่ในกระบวนการถ่ายทอดหมึกจากปากกาสู่กระดาษ รวมไปถึงวัสดุที่ใช้ทำลูกบอลตรงปลายปากกาเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน (Kelly & Lindblom, 2005; Singla & Jasuja, 1987) ความแตกต่างของรอยกดบนแผ่นกระดาษรองที่เกิดจากปากกาทั้งสองชนิดจึงไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสาร

### สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยพบว่าแสงเฉียงภายในเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสารมีประสิทธิภาพในการตรวจหารอยกดบนแผ่นกระดาษรองเขียน โดยพบว่าสามารถตรวจพบแผ่นรองเขียนที่มีรอยกดได้มากที่สุดถึงสามแผ่น โดยปากกาที่ต่างชนิดกันไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างในด้านประสิทธิภาพของเครื่องตรวจในการตรวจหารอยกดที่เกิดขึ้น ผลการวิจัยนี้การตรวจสอบรอยกดมาจากลายมือเขียนเท่านั้น ซึ่งผู้วิจัยยังไม่ได้ทำการทดสอบในกรณีที่ลายมือมาจากการพิมพ์ ข้อเสนอแนะในงานวิจัยครั้งต่อไปคือ ในการสร้างแรงกดบนแผ่นกระดาษหลักอาจใช้ระบบอัตโนมัติเป็นตัวสร้างรอยกดแทนมนุษย์เพื่อให้สามารถควบคุม

แรงกดในแต่ละครั้งและทิศทางที่เท่ากัน และกลุ่มประชากรที่ทำการศึกษานี้มีเพียงกลุ่มที่จบปริญญาตรีจึงควรมีการศึกษาในกลุ่มประชากรระดับอื่นๆ เพิ่มเติม นอกจากนี้อาจทดลองในชนิดของกระดาษและปากกาที่มากขึ้นเพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลในทางนิติวิทยาศาสตร์

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ พ.ต.อ.หญิง ศิริพร จันทพันธ์ นวท. (สบ ๔) กลุ่มงานผู้เชี่ยวชาญ กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ ที่ให้ความกรุณาชี้แนะ และแนะนำผลการทดลองที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ กลุ่มงานตรวจเอกสาร กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ และเครื่องตรวจพิสูจน์เอกสารเพื่อใช้ในการวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- พิชศาล พันธุ์วัฒนา. (2560). การตรวจสอบลายมือเขียนที่ปรากฏในเอกสาร. *วารสารวิชาการ อาชญวิทยาและนิติวิทยาศาสตร์*, 3(2), 28-36.
- อมรเทพ พลศึก, สฤณี สืบพงษ์ศิริ และชัยชาญ ไชยรังสินนท์. (2559). การประยุกต์ใช้เครื่อง ESDA ในการตรวจพิสูจน์ลายมือชื่อลายมือเขียนและพยานหลักฐานทางเอกสารในงานทางนิติวิทยาศาสตร์. *วารสารวิชาการอาชญวิทยาและนิติวิทยาศาสตร์*, 2(1), 45-69.
- Cantavalle, S. (2019). *The history of paper: From its origins to the present day*. <https://www.pixartprinting.co.uk/blog/history-paper/>.
- Kelly, J. S., & Lindblom, B. S. (2006). *Scientific examination of questioned documents* (2<sup>nd</sup> ed.). Taylor & Francis group.
- Mial, R., Sharma, A., & Panchal, V. (2021). Indented writing on paper developed by side light method. *International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology*, 8(6), 1-4.
- Neumann, C., Ramotowski, R., & Genessay, T. (2011). Forensic examination of ink by high-performance thin layer chromatography—the united state secret service digital ink library. *Journal of Chromatography A*, 1218(19), 2793-2811.
- Singla, A., & Jasuja, O. (1987). A simple method for determining the sequence of intersecting ball pen lines. *Journal of the Forensic Science Society*, 27(4), 227-230.





## 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 รวมถึงไม่อยู่ระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลงแก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล และนำไปอ้างอิงได้

### การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ 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** ซึ่งบทคัดย่อควรประกอบด้วย เนื้อหา 5 ส่วน คือ 1) ที่มาของปัญหาการวิจัย 2) วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3) วิธีการศึกษาโดยย่อแต่ครอบคลุมรายละเอียด 4) ผลการวิจัย 5) สรุปและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์

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 วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

**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 สันฐานพานนท์. (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). เติลนิวีส์ว่าไรดี: 'สื่อพิพิธภัณฑน์' เชื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย 'มิติใหม่' อินเทอร์เน็ต. *เติลนิวีส์*, 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/1HiTwiRh1Er73hVYIMh1cYWzQiaNI\\_Vc/view](http://drive.google.com/file/d/1HiTwiRh1Er73hVYIMh1cYWzQiaNI_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**, The abstract should consist of 5 parts: 1) the origin of the research problem, 2) the objectives of the research, 3) a brief but detailed study method, 4) the research results, 5) a conclusion and guidelines for use.

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**

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

**Advisors**

President of Mahasarakham University  
Professor Dr.Visut Baimai  
Professor Dr.Vichai Boonsaeng  
Professor Dr.Peerasak Srinives

**Editor-in-Chief**

Professor Dr.Preecha Prathepha

**Assistant Editors**

Professor Dr.Pairot Pramual  
Mahasarakham University  
Professor Dr.Sirithon Siriamornpun  
Mahasarakham University  
Professor Dr.Anongrit Kangrang  
Mahasarakham University  
Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich  
Mahasarakham University  
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum  
Mahasarakham University  
Associate Professor Dr.Orawich Goompol  
Mahasarakham University  
Assistant Professor Dr.Somnuk Puangpronpitag  
Mahasarakham University

**Editorial Board**

Professor Dr.Thaweesakdi Boonkerd  
Chulalongkorn University  
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang  
Khon Kaen University  
Professor Dr.Pranee Anprung  
Chulalongkorn University Professor  
Professor Dr.Niwat Sonoamuang  
Khon Kaen University  
Professor Dr.Wongsa Laohasiriwong  
Khon Kaen University  
Professor Dr.Kwanjai Kanokmedhakul  
Khon Kaen University

Professor Dr.Sirikasem Sirilak  
Naresuan University  
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun  
Mahasarakham 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.Chawalit Boonpok  
Mahasarakham University  
Associate Professor Terdsak Khammeng  
Nakhon Phanom University  
Associate Professor Yuen Poovarawan  
Kasetsart University  
Associate Professor Dr.Natapol Pumipuntu  
Mahasarakham 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  
Mahasarakham University  
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom  
Mahasarakham University  
Dr.Rakjinda Wattanalai  
Siam University  
Dr.Adrian Roderick Plant  
Mahasarakham 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



วารสาร

# วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่ 43 ฉบับที่ 2 มีนาคม - เมษายน 2567

ISSN (Print) : 2985-2617  
ISSN (Online) : 2985-2625

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
MAHASARAKHAM UNIVERSITY  
INDEXED IN

