



# วารสารวิชาการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ปีที่ 22 (2567) CRMA JOURNAL VOL.22 (2024)





วารสารวิชาการ  
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า



#### จัดทำโดย

สภาคณาจารย์ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

#### ที่ปรึกษากิตติมศักดิ์

พลเอกหญิง ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี  
ที่ปรึกษา

|                                      |                   |
|--------------------------------------|-------------------|
| พลโท อุดม                            | แก้วมหา           |
| พลตรี เทพพิทักษ์                     | นิมิตร            |
| พลตรี เอกอนันต์                      | เหมะบุตร          |
| พลตรี ทองคำ                          | ชุมพล             |
| พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอโณทัย | สุขแสงพนมรุ่ง     |
| พันเอกหญิง ศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล     | เสนีวงศ์ ณ อยุธยา |

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณค่าของบุคลากรภายในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า กองทัพบก กองทัพไทย และบุคคลทั่วไป
2. เพื่อสร้างความตระหนัก และตื่นตัวในด้านการวิจัยและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการทหาร

#### ขอบเขต

1. การวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. การวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับการทหาร การรักษาความปลอดภัย และความมั่นคงของชาติ

#### กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 1 ฉบับ ในเดือนธันวาคม

#### บรรณาธิการ

พันเอก รองศาสตราจารย์ ดร.ผดิม หนังสือ

#### กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.จรงค์ ผลประเสริฐ

พลอากาศโท ศาสตราจารย์ ดร.นพพล หาญกล้า

พลตรีหญิง ศาสตราจารย์ กุศยา สุวรรณวิหค

พลตรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวน จันทวาลย์

รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมเกียรติ นนทแก้ว

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ

ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช

นาวาอากาศเอก ศาสตราจารย์ ดร.ประสาทร วงษ์คำซ่าง

ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง

ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

รองศาสตราจารย์ ดร.เวทิน ปิยรัตน์

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธพงศ์ เพียรโรจน์

รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพันธ์ เวศพันธุ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ เวชกิจ

พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอโณทัย สุขแสงพนมรุ่ง

พันเอก รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา อภิวันท์ตระกูล

พันเอก ศาสตราจารย์ ดร.นราเทพ พฤกษ์ศิริฤ

ข้าราชการบำนาญ

(มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต)

ข้าราชการบำนาญ

(โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช)

ข้าราชการบำนาญ

(โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช)

ข้าราชการบำนาญ

(โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า)

ข้าราชการบำนาญ

(มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยมหิดล

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

### คณะกรรมการประจำกองบรรณาธิการ

พันเอกหญิง ศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล เสนีวงศ์ ณ อยุธยา  
พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐนัส มานวงศ์  
พันเอกหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธรรมนูญ สมราชสันติ  
พันโทหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อำภา ช่างเกวียน  
ร้อยเอกหญิง กังสดาล อินทกุล  
ร้อยโทหญิง ชาญลักษณ์ เอื้อสกุล  
ร้อยโท ธนภูมิ มะวิญธร

พันเอกหญิง พัดชา เพิ่มพิพัฒน์  
พันเอกหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตยาภรณ์ เจริญผล  
พันโทหญิง ดร.ปวีณา วัฑบัว  
พันตรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา เกียรติภัชชัย  
ร้อยเอกหญิง ชญานันท์ จิตต์จำนงค์  
ร้อยโท ทวีชัย เสริมสว่าง

### ผู้กลั่นกรองและประเมินบทความ (ภายนอก)

พลอากาศโท ศาสตราจารย์ ดร.นพพล หาญกล้า

ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง  
นาวาอากาศเอก ศาสตราจารย์ ดร.ประสาทพร วงษ์คำข้าง  
รองศาสตราจารย์ ดร.เวทิน ปิยรัตน์  
รองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญวานิชกุล  
รองศาสตราจารย์ ดร.นิศัตถ์สิน พันธุ์อภัย  
รองศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ ศรีมรินทร์  
รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงษ์ เวศพันธุ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.รัฐชา ชัยชนะ  
รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์พรรณ ปรี่องาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธพงศ์ เพียรโรจน์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายสุนีย์ จำรัส  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ โมณภูมิตร  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิศาร สมสุข  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ แก่งอินทร์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำพล วรดิษฐ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐดนัย พรรณเจริญวงษ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ กลิ่นบุญ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณรัตน์ คำแห่งพล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศา โชติจันทร์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุจารี คำศรี  
ดร.โสภิตา สังข์สุนทร

ข้าราชการบำนาญ  
(โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช)  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยมหิดล  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์พัทยา  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

### ผู้กลั่นกรองและประเมินบทความ (ภายใน)

พันเอก รองศาสตราจารย์ ดร.ผดิม หนึ่งสือ  
พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิชญ พวงสุนทร  
พันเอกหญิง ศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล เสนีวงศ์ ณ อยุธยา  
พันโทหญิง ดร.ปวีณา วัฑบัว

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เลขที่ 99 หมู่ 18 ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

โทร: 0-2564-3104-6 ต่อ 2201-2204 โทรสาร: 0-2564-3119 E-mail: print.tu@gmail.com



## บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณค่าของบุคลากรภายในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า กองทัพบก กองทัพไทย และบุคคลทั่วไป โดยมีขอบเขตการตีพิมพ์ในด้านการวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และการวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับการทหาร การรักษาความปลอดภัย และความมั่นคง วารสารฯ มีกำหนดออกในเดือนธันวาคมของแต่ละปี โดยในฉบับปัจจุบัน (ปี 2567) เป็นปีที่ 22

วารสารวิชาการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่ฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre-TCI) ในการประเมินคุณภาพรอบที่ 4 โดยได้รับการจัดอันดับให้อยู่ในกลุ่มที่ 2 และได้รับการรับรองคุณภาพจนถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2567

สำหรับ “วารสารวิชาการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ปีที่ 22 พ.ศ. 2567” ฉบับนี้มีบทความทางวิชาการรวม 10 บทความ เนื้อหาการวิจัยของบทความในปีนี้แสดงถึงความก้าวหน้าในการสร้างองค์ความรู้ใหม่ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น การศึกษาธรณีสัณฐานและแร่วิทยาบริเวณเขาชะงอก โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เพื่อเป็นเส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า และแนวทางการนำ AI มาประยุกต์ใช้ในงานข่าวกรองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับหน่วยข่าวกรองกองทัพบก เป็นต้น

ผู้สนใจวารสารวิชาการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า สามารถอ่านบทความทั้งในอดีตและปัจจุบันได้จาก <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/crma-journal> สำหรับผู้ที่สนใจส่งบทความทางวิชาการเพื่อขอให้วารสารฯ ทำการเผยแพร่ สามารถใช้ URL นี้ได้เช่นเดียวกัน

พันเอก 

(รองศาสตราจารย์ ดร.ผดิม นังสี)

บรรณาธิการ

บทความหรือข้อคิดเห็นใดๆ ที่ปรากฏในวารสารเป็นวาระกรรมของผู้เขียน  
บรรณาธิการหรือโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

The ideas and opinions expressed in the journal are those of the authors and not necessarily those of the editor or  
Chulachomklao Royal Military Academy.

ติดต่อ บรรณาธิการ วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

99 ถ.สุวรรณศร ต.พรหมณี อ.เมือง จ.นครนายก 26001

โทร. 0-3739-3010-4 ต่อ 62749 โทรสาร 037-393-0240





# สารบัญ

|                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ☆ การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่สำหรับประเมินความเสี่ยงโรคไตเรื้อรัง<br>ในเขตพื้นที่โครงการระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก                                                                                                                      | 1  |
| บอย ไชยวงศ์<br>รองศาสตราจารย์ ดร.สุเพชร จิระจกุล<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐดนัย พรรณเจริญวงศ์<br>ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช<br>อาจารย์ วชิรธร จันทร์ชมภู<br>ดร.ดำรงศุภฤทธิ นิยมหมวด<br>รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ กัมมมาล กุมาร ปาวา |    |
| ☆ การศึกษากรณีพื้นฐานและแร่วิทยาบริเวณเขาชะงัก โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า<br>เพื่อสร้างเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา                                                                                                                 | 13 |
| พันเอกหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตยาภรณ์ เจริญผล<br>ดร.ประหยัด นันทศีล<br>ธานี คามเขต                                                                                                                                                     |    |
| ☆ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไป<br>ของนักเรียนนายร้อย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า                                                                                                      | 31 |
| พันโทหญิง ดร.ปวีณา วัตบัว<br>ร้อยโทหญิง วิลาสินี ปานนิล                                                                                                                                                                                     |    |
| ☆ การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงาน<br>เป็นฐานในเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและความเป็น<br>นวัตกรสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน                                     | 47 |
| สาธิต ศรีวรรณะ                                                                                                                                                                                                                              |    |
| ☆ Electrode and Ground Arrangement on Sample Plate Under Electrostatic<br>Powder Coating Process                                                                                                                                            | 58 |
| Colonel Professor Dr. Suwimon Saneewong Na Ayuttaya                                                                                                                                                                                         |    |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ☆ | การประยุกต์ใช้ข้อมูลระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิเพื่อการเตือนภัยหน่วยงานของ<br>กองทัพเรือซึ่งตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน<br>พิเชษฐ ปัวเฮงทรัพย์                                                                                                                                                                                                        | 76  |
| ☆ | แนวทางการนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในงานข่าวกรองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ<br>ให้กับหน่วยข่าวกรองกองทัพบก<br>ปาลิตา ไผศาลรุ่งพนา<br>นาวาอากาศโท วุฒิรงค์ คงวุฒิ<br>พัฒนศรีธัญย์ เลหาไพบุลย์<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรณิชา คงวุฒิ                                                                                                                                       | 87  |
| ☆ | การพัฒนาการบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์<br>กรณีศึกษา โรงพยาบาลโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า<br>ร้อยโท วิษณุชล พลดีธนะกุล                                                                                                                                                                                                                                                | 97  |
| ☆ | การใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงไฟฟ้า<br>ในเขตพื้นที่ป่าโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า และพื้นที่ใกล้เคียง จังหวัดนครนายก<br>ร้อยเอกหญิง ปาริฉัตร สุขศรี<br>รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล<br>พันเอกหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตยาภรณ์ เจริญผล<br>รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์<br>ดร.กัมปนาท ดีอุดมจันทร์ | 111 |
| ☆ | การศึกษาความเป็นไปได้เชิงพื้นที่ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์<br>กรณีศึกษา พื้นที่ อำเภอมะแมะ จังหวัดลำปาง<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชร วงศ์ปัญญา<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศธร คำใจหนัก<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราคม วงศ์ชัย<br>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชฎาภรณ์ ทองแป้น<br>ดร.ธัญญพัทธ์ ทิพย์ศุภวงศ์                                           | 131 |

การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่สำหรับประเมินความเสี่ยงโรคไตเรื้อรัง  
ในเขตพื้นที่โครงการระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก  
Data Analysis Techniques for Chronic Kidney Disease Risk Assessment  
in the Eastern Economic Corridor in Thailand

บอย ไชยวงศ์<sup>1</sup>

Mr. Boy Xayavong<sup>1</sup>

รองศาสตราจารย์ ดร.สุเพชร จิรขจรกุล<sup>1\*</sup>

Associate Professor Dr. Supet Jirakajohnkool<sup>1\*</sup>

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐดนัย พรรณเจริญวงศ์<sup>2</sup>

Assistant Professor Dr. Nattadon Pannucharoenwong<sup>2</sup>

ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช<sup>2</sup>

Professor Dr. Phadungsak Ratanadecho<sup>2</sup>

อาจารย์ วชิรธร จันทรชมภู<sup>3</sup>

Ajarn Wachirathorn Janchompu<sup>3</sup>

ดร.ดำรงศฤทธิ นิยมหมวด<sup>4</sup>

Dr. Damrongrit Niammuad<sup>4</sup>

รองศาสตราจารย์ นพ.กัมมัล กุมาร ปาวา<sup>5</sup>

Associate Professor Kammal Kumar Pawa<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ชลบุรี 20150 ประเทศไทย

<sup>1\*</sup>Department of Rural Technology, Faculty of Science and Technology,  
Thammasat University, Chonburi 20150, Thailand

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ชลบุรี 20150 ประเทศไทย

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat School  
of Engineering, Thammasat University, Chonburi 20150, Thailand

<sup>3</sup>สาขาวิชาธุรกิจเกษตรดิจิทัล คณะเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก  
วิทยาเขตจันทบุรี จันทบุรี 22210 ประเทศไทย

<sup>3</sup>Department of Digital Agricultural Business, Faculty of Social Technology,  
Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi Campus,  
Chanthaburi 22210, Thailand

<sup>4</sup>สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

12 อาคารศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม พ.ศ. 2550 10210 ประเทศไทย

<sup>4</sup>12 The Government Complex Commemorating His Majesty The King's

80 TH Birthday Anniversary, 5TH December, BE2007 Ratthaprasasanabhakti Building 6TH and 7TH Floor, Chaeng Wattana Road, Lak Si, Bangkok 10210, Thailand

<sup>5</sup>วิทยาลัยแพทยศาสตร์นานาชาติจุฬาภรณ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120 ประเทศไทย

<sup>5</sup>Chulabhorn International College of Medicine, Thammasat University, Pathumthani 12120, Thailand

\*Corresponding Author. E-mail : supetgis2me@gmail.com

(Received: January 29, 2024, Revised: March 22, 2024, Accepted: March 27, 2024)

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังในเขตพื้นที่โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ของประเทศไทย มีวัตถุประสงค์หลักในการวิเคราะห์และระบุปัจจัยเสี่ยงของโรคไตเรื้อรังในพื้นที่นี้ โดยอาศัยข้อมูลที่เชื่อถือได้จากหลายแหล่ง เช่น สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดชลบุรี ศูนย์อนามัยที่ 11 ระบบสารสนเทศเพื่อเฝ้าระวังพฤติกรรมที่พึงประสงค์ กลุ่มวัยทำงาน สำนักงานสถิติแห่งชาติ และฐานข้อมูลสุขภาพแห่งชาติ เพื่อนำข้อมูลพฤติกรรม การดื่มและการกิน พฤติกรรมการนอน พฤติกรรมการออกกำลังกาย พฤติกรรมการสูบบุหรี่ และค่าดัชนีมวลกาย มาเป็นชุดข้อมูลที่อธิบายและวิเคราะห์ปัญหาพฤติกรรมเสี่ยง เพื่อระบุตัวแปรเสี่ยงที่สำคัญของโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) ที่อาจนำไปสู่โรคไตเรื้อรังได้ในอนาคต โดยผลลัพธ์ที่ได้คือชุดข้อมูลสารสนเทศที่แสดงให้เห็นถึงภาพรวมของพฤติกรรมเสี่ยงที่อาจนำไปสู่โรคไตเรื้อรังได้ และพฤติกรรมเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรคไตเรื้อรังมากที่สุดก็คือการกินอาหารรสจัด โดยจากผลสรุปข้อมูลสารสนเทศที่ได้คือประชากรในจังหวัดชลบุรีมีพฤติกรรมการกินอาหารรสจัดถึง 71.55% ซึ่งถือว่าเป็นตัวเลขที่สูงมาก และสุดท้ายนี้ข้อมูลสารสนเทศนี้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนและปรับปรุงนโยบายสาธารณสุขเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการป้องกันและจัดการกับปัญหาสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตเพื่อเสริมสร้างสุขภาพที่ดีอย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ:** โรคไม่ติดต่อเรื้อรัง พื้นที่โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก โรคไตเรื้อรัง



**Abstract:** This research analyzes data of chronic kidney disease patients in the Eastern Economic Corridor (EEC) of Thailand. Its main objectives are to analyze and identify the risk factors of chronic kidney disease in this area. Reliable data from various sources such as the Chonburi Provincial Health Office, Health Center 11, Information System for Monitoring Desirable, Behaviors Working, Age Group National Statistical Office and National Health Database are utilized. The data includes behaviors related to drinking and eating habits, sleeping patterns, physical activity, smoking habits, and body mass index. These datasets are described and analyzed to identify significant risk factors for non-communicable diseases (NCDs) that may lead to chronic kidney disease in the future. The results obtained are a dataset showing an overview of risky behaviors potentially leading to chronic kidney disease. Notably, the behavior most significantly associated with chronic kidney disease is consuming highly seasoned foods. From the data summary, it is observed that 71.55% of the population in Chonburi Province exhibits this risky eating behavior. Ultimately, this information can be utilized to plan and improve public health policies preparing for prevention and management of potential future health issues to promote sustainable health.

**Keyword:** Non-communicable diseases, Eastern economic corridor, Chronic kidney disease

## 1. บทนำ

ในปัจจุบัน โรคไตเรื้อรังได้กลายเป็นปัญหาสุขภาพที่น่ากังวลในหลายพื้นที่ทั่วโลก โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างรวดเร็ว เช่น พื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก ที่เป็นเขตพิเศษที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ครอบคลุมทั้ง 3 จังหวัด ได้แก่ ระยอง ชลบุรี และ ฉะเชิงเทรา และมีพื้นที่โดยรวมกว่า 13,266 ตารางกิโลเมตร โดยโครงการ EEC มีเป้าหมายในการสร้างพื้นที่ที่เป็นศูนย์กลางของภูมิภาคเอเชียตะวันออก โดยมุ่งเน้นการพัฒนาพื้นที่เชื่อมโยงระหว่างประเทศ โครงสร้างพื้นที่อุตสาหกรรมและการส่งเสริมธุรกิจใหม่ ๆ ผ่านนโยบายและโครงการที่ส่งผลต่อเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรมในพื้นที่นั้น [1] จากการศึกษาพบว่าพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (EEC) มีความเสี่ยงสูงต่อโรคไม่ติดต่อ (NCDs) เช่น โรคเบาหวาน ความดันโลหิต โรคหลอดเลือดสมอง มีอัตราการสูญเสียชีวิตด้วยโรค NCDs เพิ่มขึ้นจาก 3,375 คนในปี 2559 เป็น 18,032 คนในปี 2564 [2]

## 2. วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์และจัดทำข้อมูลสารสนเทศเพื่อชี้ให้เห็นถึงปัจจัยเสี่ยงที่เป็นตัวแปรสำคัญของโรคไตเรื้อรังในพื้นที่ EEC เพื่อให้รู้ปัญหาที่แท้จริงของโรคและสามารถพัฒนาแนวทางป้องกันและการจัดการโรคไตเรื้อรังในพื้นที่ที่กำลังพัฒนาอย่าง EEC ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

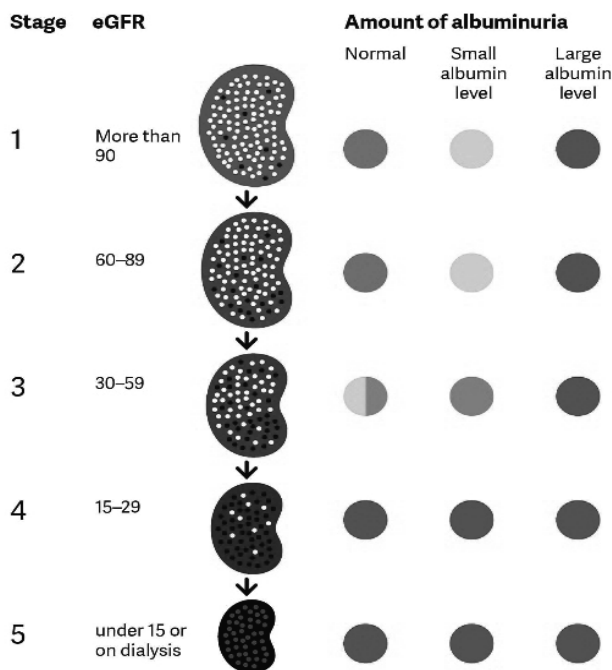
## 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 โรคไตเรื้อรัง

โรคไตเรื้อรังเป็นสภาวะทางการแพทย์ที่ไตไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ โดยมีสาเหตุหลักมาจากโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง และปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ อาจรวมถึงประวัติครอบครัวและพฤติกรรมการดำรงชีวิต การวินิจฉัยโรคไตเรื้อรังมักพิจารณาจาก

การทดสอบการทำงานของไตและระดับของตัวกรองในไต การรักษาโรคไตเรื้อรังมุ่งเน้นที่การควบคุมสาเหตุและการลดผลกระทบ เช่น การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและความดันโลหิต การแก้ไขปัญหาน้ำหนักตัวและอาหาร การใช้ยาที่เหมาะสม และในกรณีที่รุนแรงอาจต้องใช้การฟอกเลือดหรือการปลูกถ่ายไต [3]

โรคไตเรื้อรังมีระดับที่แตกต่างกันตามความรุนแรงและการลดลงของการทำงานของไต โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 5 ระดับดังภาพที่ 1 โดยเริ่มจากระดับ 1 ที่มีการทำงานของไตปกติหรือเกือบปกติ ไปจนถึงระดับ 5 ที่เป็นสถานะของโรคไตเรื้อรังขั้นสุดท้าย การวินิจฉัยระดับของโรคมักขึ้นอยู่กับอัตราการกรองของไต (GFR) ซึ่งวัดจากระดับของการทำงานของไตในการกรองของไต การรักษาต่าง ๆ ของโรคไตเรื้อรังมุ่งเน้นที่การควบคุมสาเหตุและการลดผลกระทบ เช่น การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและความดันโลหิต การเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิต และการใช้ยาเฉพาะโรค ระดับของโรคไตทั้ง 5 ระดับ ตามอัตราการกรองของไต (GFR) [4] : ระดับ 1: ไตทำงานปกติ ( $GFR \geq 90 \text{ L/min/173 m}^2$ ) แต่มีหลักฐานของความเสียหายไตอื่น ๆ ระดับ 2: มีความเสียหายไตพร้อมกับการทำงานของไตลดลงเล็กน้อย ( $GFR 60-89 \text{ mL/min/173 m}^2$ ) ระดับ 3: ไตทำงานปานกลาง ( $GFR 30-59 \text{ mL/min/173 m}^2$ ) อาจมีอาการ เช่น ความเหนื่อยล้าและชาบวม ระดับ 4: ไตทำงานอย่างรุนแรง ( $GFR 15-29 \text{ mL/min/173 m}^2$ ) อาการอาจรวมถึงอาหารไม่อร่อย อาการขาดน้ำ ปัญหาในการนอน ระดับ 5: ขั้นสุดท้ายหรือโรคไตวาย ( $GFR < 15 \text{ mL/min/173 m}^2$ ) อาการรุนแรงและอาจต้องการการฟอกเลือดหรือการปลูกถ่ายไต การรักษาและการจัดการโรคไตเรื้อรังแต่ละระดับจะขึ้นอยู่กับความรุนแรงและสาเหตุของโรค รวมถึงการตอบสนองของผู้ป่วยต่อการรักษา



ภาพที่ 1 ระดับของโรคไต

(ที่มา: <https://kidneyorgau/your-kidneys/what-is-kidney-disease/stages-of-kidney-disease>)

### 3.2 ปัจจัยเสี่ยงโรคไตเรื้อรัง

ปัจจัยเสี่ยงของโรคไตเรื้อรังมีหลายประการ ซึ่งสำคัญที่สุดคือโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง ทั้งสองโรคนี้อาจส่งผลต่อการทำงานของไตโดยตรงและมักพบในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรัง การจัดการระดับน้ำตาลในเลือดและความดันโลหิตอย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญในการป้องกันและชะลอการพัฒนาของโรคไตเรื้อรัง นอกจากโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูงแล้ว ปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ ได้แก่ โรคอ้วน โรคหัวใจ ประวัติครอบครัวที่มีโรคไตเรื้อรัง และอายุที่มากขึ้น การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและการดำรงชีวิต เช่น การรักษาน้ำหนักตัวให้เหมาะสมและการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ สามารถช่วยจัดการกับปัจจัยเสี่ยงเหล่านี้ได้ [5], [6] การเข้าใจปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรคไตเรื้อรังจะช่วยให้งานวิจัยของคุณสามารถวางแผนการป้องกันและการจัดการที่

มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ EEC ที่มีความหลากหลายทางสังคมและเศรษฐกิจ

### 3.3 แนวโน้มและสถิติโรคไตเรื้อรังในประเทศไทยและพื้นที่ EEC

ในประเทศไทย และโดยเฉพาะในภาคตะวันออก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการ EEC มีการศึกษาที่รายงานว่าโรคไตเรื้อรังมีความชุกสูง การศึกษาหนึ่งรายงานว่าในปี 2009 มีผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังอยู่ที่ 22% และ 17.5% ในภาพรวมของประเทศ โดยเฉพาะในชุมชนชนบทพบว่าโรคไตเรื้อรังมีอัตราการพบประมาณ 26.8% ซึ่งรวมถึง ระดับ 1 (73%); ระดับ 2 (90%); ระดับ 3a (60%); ระดับ 3b (28%); ระดับ 4 (14%); และระดับ 5 (0.3%) การศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นว่าโรคไตเรื้อรังมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอายุ เพศชาย การว่างงาน การสูบบุหรี่ โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง น้ำหนักตัวน้อย โรคโลหิตจาง โรคเกาต์ และโรคเม็ดเลือดขาวสูง [7] นอกจากนี้ การศึกษายังพบว่าผู้ที่มีโรคไตเรื้อรังมักมีความดันโลหิตสูงและมีอัตราการเกิดโรคเบาหวานสูงกว่าผู้ที่ไม่ได้มีโรคไตเรื้อรัง รวมถึงมีระดับคอเลสเตอรอลและดัชนีมวลกายที่สูงขึ้น การศึกษายังชี้ให้เห็นว่าอายุเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญ โดยอัตราส่วนของโอกาสในการเกิดโรคไตเรื้อรังเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า เมื่อมีการเพิ่มขึ้นทุก 10 ปีของอายุ นอกจากนี้ โรคไตเรื้อรังยังมีความสัมพันธ์อย่างมากกับโรคเบาหวาน (อัตราส่วนของโอกาส 1.9) และความดันโลหิตสูง (อัตราส่วนของโอกาส 1.6) และผู้ที่อาศัยอยู่ในภาคตะวันออกมีความเสี่ยงสูงกว่าผู้ที่อาศัยอยู่ในภาคกลางเป็นอย่างมาก การศึกษาเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าโรคไตเรื้อรังมีความชุกสูงในประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออก และมีความสัมพันธ์กับปัจจัยเสี่ยงหลายประการ ซึ่งรวมถึงอายุที่เพิ่มขึ้น เพศชาย การว่างงาน การสูบบุหรี่ โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง น้ำหนักตัวน้อย โรคโลหิตจาง โรคเกาต์ และโรคเม็ดเลือดขาวสูง (10.8%)

### 3.4 การจัดการและการป้องกันโรคไตเรื้อรัง

หลักการที่สำคัญของการรักษาโรคไตเรื้อรัง คือ การปฏิบัติตัวเพื่อลดความเสี่ยงร่วมกับการรักษาเพื่อชะลอความเสื่อมของไตไม่ทำให้ไตเสื่อมลงเร็วกว่าปกติ และยืดระยะเวลาที่จะเข้าสู่ภาวะโรคไตเรื้อรังระยะสุดท้ายให้นานที่สุด ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังทุกระยะล้วนได้ประโยชน์จากการรักษาเพื่อชะลอความเสื่อมไต ไม่ว่าจะเป็นระยะแรกซึ่งเนื้อเยื่อไตยังไม่ได้รับความเสียหายมากนักและการทำงานของไตโดยรวมยังผิดปกติไม่มาก จนถึงระยะ 3-4 ขึ้นไป ซึ่งการทำงานของไตเสื่อมไปมากแล้วก็ตามการรักษาเพื่อชะลอการเสื่อมของไต มีดังนี้ [8]

#### 3.4.1 การควบคุมโรคร่วมต่าง ๆ

ต้องอยู่ในภาวะปกติ และควรได้รับประทานยาตามที่แพทย์แนะนำอย่างเคร่งครัด เช่น ความดันโลหิตสูง ต้องควบคุมความดันโลหิตไม่เกิน 130/80 mmHg (หรืออาจให้ความดันตัวบนน้อยกว่า 120 mmHg ถ้าไม่มีอาการผิดปกติ) หรือ โรคเบาหวาน คุมระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในช่วง 70-110 mg/dL หรือน้ำตาลเฉลี่ยสะสม (HBA1c) น้อยกว่า 65-70 ถ้าเป็นโรคเกาต์ พยายามอย่าให้โรคกำเริบ รักษาระดับกรดยูริกในเลือดให้ปกติ เป็นต้น

#### 3.4.2 การควบคุมอาหาร

ซึ่งการรับประทานอาหารของผู้ป่วยโรคไตจะไม่เหมือนกับคนทั่วไป จะต้องมีการควบคุมปริมาณโปรตีนให้เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย และป้องกันสภาวะขาดสารอาหาร แต่ก็ไม่มากเกินไปจนทำให้ไตทำงานหนักจากการขับของเสียจากการเผาผลาญโปรตีนที่มากเกินไป ส่วนใหญ่ก็ต้องเริ่มมีการจำกัดโปรตีนเมื่อไตเสื่อมเรื้อรังระยะที่ 4 ขึ้นไป นอกจากนี้ยังต้องควบคุมให้ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมอยู่ในระดับปกติ เพื่อควบคุมอาการบวม ความดันโลหิตสูง ป้องกันอาการแทรกซ้อนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น หลีกเลี่ยงอาหารไขมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวสูง เช่น ไขมันจากสัตว์ ไขมันจากกะทิ เนย น้ำมันมะพร้าว ผลิตภัณฑ์นมเนยมาการีน และไข่แดง เป็นต้น รวมทั้ง

อาหารที่มีฟอสฟอรัสสูง ได้แก่ ถั่วเมล็ดแห้ง ธัญพืชต่าง ๆ บัวผั ปลาซาติน ปลาไส้ตัน น้ำอัดลม โยเกิร์ต ช็อกโกแลต ชา กาแฟ เครื่องในสัตว์ ไข่แดง เนยแข็ง และนม นอกจากนี้ควรดื่มน้ำในปริมาณที่เหมาะสม

#### 3.4.3 การใช้ยาและสมุนไพรบางชนิด

ยาบางชนิดหากใช้ในปริมาณที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดผลเสียต่อไตได้ โดยเฉพาะผู้ที่ไตทำงานเสื่อมมากแล้ว และควรใช้ยาอย่างระมัดระวัง เช่น ยาน้ำแก้ไอ ยาน้ำแก้ปวดท้อง ส่วนใหญ่มักมีส่วนผสมของสมุนไพร หากรับประทานต่อเนื่องเป็นเวลานานอาจเกิดการสะสมของโพแทสเซียม ซึ่งจะมีปัญหาได้ในผู้ป่วยโรคไตที่มีโอกาสเกิดการคั่งของเกลือแร่โพแทสเซียมง่าย ยาแก้ปวดลดอักเสบ โดยเฉพาะกลุ่มยาต้านการอักเสบที่ไม่ใช่สเตียรอยด์ หรือที่เรียกกันว่า NSAIDs มีผลทำให้ไตเสื่อมทั้งระยะสั้นและระยะยาว ทำให้เกิดภาวะบวม น้ำ ความดันโลหิตสูง และเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจได้ ยาระบายหรือยาลดกรดที่มีอะลูมิเนียมและแมกนีเซียม อาจทำให้เกิดการสะสมของเกลือแร่เหล่านี้จนเป็นพิษต่อร่างกาย ยาที่มีส่วนประกอบของโซเดียม ยาที่ต้องละลายน้ำ หรือวิตามินอื่น ๆ เช่น ยาแอสไพริน ชนิดเม็ดฟู วิตามินที่แพทย์ไม่ได้สั่งให้รับประทาน อาจทำให้อาหารมีภาวะโซเดียม น้ำ และเกลือแร่เกินในร่างกาย อาหารเสริมต่าง ๆ ยาจีน ยาแผนโบราณ และสมุนไพรต่าง ๆ อาจมีส่วนประกอบของเกลือแร่บางชนิด หรือสารเคมี ซึ่งทำให้เกิดการสะสมในร่างกายได้จนเกิดอันตรายต่อไต ทั้งนี้ ญาติ ผู้ดูแล และผู้ป่วยควรแจ้งแพทย์และเภสัชกรทุกครั้งถึงรายการยา รวมทั้งวิตามิน อาหารเสริม สมุนไพร ที่ผู้ป่วยได้รับในปัจจุบัน

#### 3.4.4 การงดสูบบุหรี่

เนื่องจากจะทำให้ความดันโลหิตสูงมากขึ้น ส่งผลต่อระบบหลอดเลือดทั้งร่างกายรวมทั้งที่ไต ผู้ป่วยโรคไตจึงควรงดการสูบบุหรี่

#### 3.4.5 การออกกำลังกาย

ผู้เป็นโรคไตสามารถออกกำลังกายได้ ตาม

ความเหมาะสมแต่ต้องไม่รุนแรง และไม่เหนื่อยจนเกินไป เช่น การออกกำลังกายในร่ม การเดิน ว่ายน้ำ หรือปั่นจักรยาน ซึ่งควรออกกำลังกายอย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์ โดยค่อย ๆ เพิ่มเวลาจนสามารถออกกำลังกายได้ประมาณ 30-60 นาที ต่อวัน รวมอย่างน้อย 150 นาที ต่อสัปดาห์ และปรับความเข้มข้นของการออกกำลังกายเป็นแบบหนักปานกลาง (moderate intensity exercise) ขึ้นไป เช่น วิ่งเร็ว พอปะมาณ รู้สึกเหนื่อย แต่ยังพอฟุดเป็นประโยคสั้น ๆ ได้

#### 4. วิธีดำเนินการศึกษา

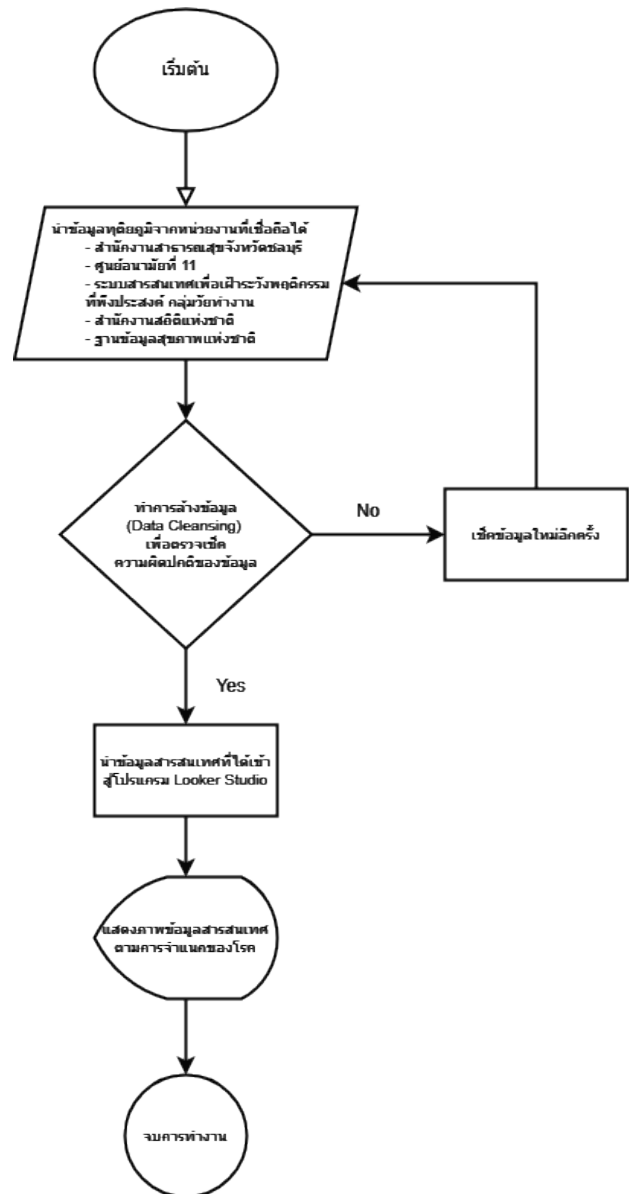
งานวิจัยฉบับนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ ซึ่งใช้วิธีการวิจัยโดยการไปรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากทางภาครัฐ เช่น สำนักงานสาธารณสุข จังหวัดชลบุรี ศูนย์อนามัยที่ 11 ระบบสารสนเทศเพื่อเฝ้าระวังพฤติกรรมที่พึงประสงค์ กลุ่มวัยทำงาน สำนักงานสถิติแห่งชาติ และฐานข้อมูลสุขภาพแห่งชาติ เพื่อนำข้อมูลต่าง ๆ อาทิ จำนวนผู้ป่วย อัตราผู้เสียชีวิต อาการของโรค พฤติกรรมของประชากรในจังหวัดชลบุรี และการดูแลรักษาผู้ป่วย มาทำการวิเคราะห์และหาปัจจัยเสี่ยงและสำคัญโดย [9] แสดงดังภาพที่ 2

##### 4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data analysis) โดยเน้นการใช้ข้อมูลที่มีอยู่เกี่ยวกับอัตราการตายด้วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) และข้อมูลเกี่ยวกับโรคไตเรื้อรังในพื้นที่โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษ (EEC) ของประเทศไทย

##### 4.1.1 การกำหนดแหล่งข้อมูล

เลือกใช้ข้อมูลจากกระทรวงสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุข จังหวัดชลบุรี ศูนย์อนามัยที่ 11 ระบบสารสนเทศเพื่อเฝ้าระวังพฤติกรรมที่พึงประสงค์ กลุ่มวัยทำงาน สำนักงานสถิติแห่งชาติ และฐานข้อมูลสุขภาพแห่งชาติ เป็นแหล่งข้อมูลหลัก เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้มีความน่าเชื่อถือและครอบคลุมข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิจัยนี้



ภาพที่ 2 แผนผังกรอบแนวคิด

##### 4.1.2 การระบุตัวชี้วัดและข้อมูล

ตัวชี้วัดหลักที่ใช้ในการศึกษานี้ รวมถึงอัตราการตายด้วยโรค NCDs และข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดโรคไตเรื้อรัง โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกวิเคราะห์ตามประชากรตามอายุ เพศ พฤติกรรมการใช้ชีวิต และปัจจัยทางสังคม-เศรษฐกิจ



#### 4.1.3 การขออนุญาตและการเข้าถึงข้อมูล

ขั้นตอนในการขออนุญาตและการเข้าถึงข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ดำเนินการตามขั้นตอนที่เหมาะสม โดยปฏิบัติตามกฎหมายและนโยบายด้านความเป็นส่วนตัวและการป้องกันข้อมูล

#### 4.1.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ความสำคัญในการให้ข้อมูลเชิงลึกและฐานข้อมูลที่เป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์และการสร้างกรอบแนวทางในการจัดการและป้องกันโรคไตเรื้อรังในพื้นที่ EEC ต่อไป

### 4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การค้นหาและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเสี่ยงและการเกิดโรคไตเรื้อรังในพื้นที่ EEC ของประเทศไทย

#### 4.2.1 การเตรียมข้อมูล

การทำความสะอาดข้อมูล (data cleaning) และการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (data validation) เพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นมีคุณภาพและเชื่อถือได้ ข้อมูลที่ไม่ครบถ้วนหรือข้อมูลที่มีข้อผิดพลาดได้ถูกจัดการอย่างเหมาะสม

#### 4.2.2 การวิเคราะห์เชิงสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์เชิงพรรณนา (descriptive analysis) เพื่ออธิบายลักษณะของข้อมูลที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการวิเคราะห์ความถี่ การแจกแจงตามประชากร และเทรนด์ของอัตราการตาย

#### 4.2.3 การสร้างข้อมูลในรูปแบบแผนที่

เราได้ใช้เครื่องมือที่ชื่อว่า Looker Studio ในการสร้าง แผนที่ โดยเราได้นำเข้าข้อมูลที่เราได้ทำการ Data Cleaning เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จากนั้นก็นำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการสร้างข้อมูลเป็นแผนที่

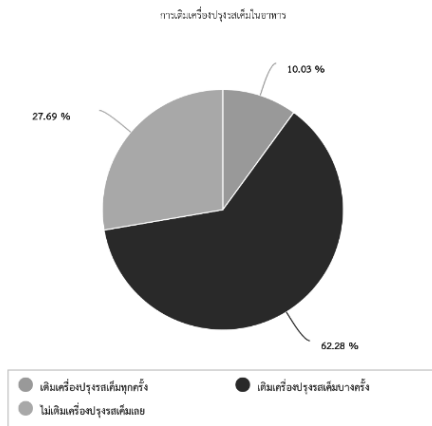
## 5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการศึกษาของผู้ป่วยโรคเบาหวานโดยใช้ข้อมูลจำนวนและอัตราการเสียชีวิตของโรคเบาหวาน ปี 2560-2564

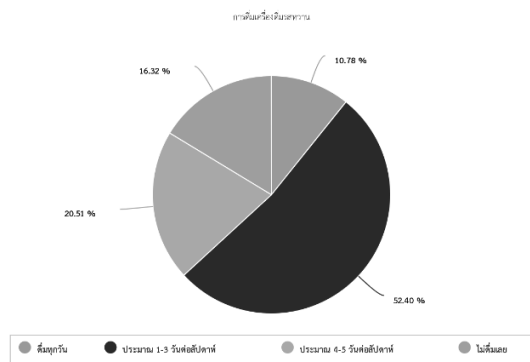


ภาพที่ 3 แผนที่ผลลัพธ์จำนวนการเสียชีวิตของโรคเบาหวาน ปี 2560-2564

จากรูปจะเห็นได้ว่า ในโซนภาคตะวันออกจังหวัดที่มีการเสียชีวิตด้วยโรคเบาหวานที่เยอะที่สุดใน 3 อันดับแรก คือ จังหวัดสมุทรปราการ ชลบุรี และ ฉะเชิงเทรา ตามลำดับ ผู้ป่วยโรคเบาหวานนั้นมักจะเกิดขึ้นได้ง่าย ๆ จากพฤติกรรมมนุษย์ ดังนี้ 1) ชอบกินอาหารรสจัด: การที่กินอาหารรสจัด ไม่ว่าจะเป็นหวานจัด มันจัด หรือเค็มจัด ต่างก็ไม่ก่อให้เกิดผลดีต่อร่างกายทั้งนั้น ทำให้เกิดการสะสมปริมาณสารอาหารที่ไม่จำเป็นไว้จนกลายเป็นการสะสมของระดับน้ำตาลในเลือดตามมาได้เช่นกัน, 2) การขาดการออกกำลังกาย: ไม่ออกกำลังกายส่งผลให้ร่างกายใช้น้ำตาลได้น้อยลง, 3) น้ำหนักเกินหรืออ้วน: น้ำหนักที่เกินมาตรฐานเพิ่มความเสี่ยงของโรคเบาหวาน, 4) ประวัติครอบครัว: มีประวัติโรคเบาหวานในครอบครัวและ 5) วัยที่เพิ่มขึ้น: ความเสี่ยงของโรคเบาหวานเพิ่มขึ้นตามอายุ โดยข้อมูลทุติยภูมิ ที่เป็นข้อมูลสุขภาพของ ศูนย์อนามัยที่ 11 ระบบสารสนเทศเพื่อเฝ้าระวังพฤติกรรมที่พึงประสงค์กลุ่มวัยทำงาน ในจังหวัดสมุทรปราการ พบว่าพฤติกรรมการบริโภคของประชากรอายุ 15-59 ปี ของจังหวัดสมุทรปราการ มีการเติมเครื่องปรุงรสเค็มในอาหารเป็นบางครั้งสูงถึง 62.28% ดังภาพที่ 4 และการดื่มเครื่องดื่มรสหวาน 1-3 วันต่อสัปดาห์สูงถึง 52.40% ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 แผนภูมิวงกลมการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในอาหารของจังหวัดสมุทรปราการ

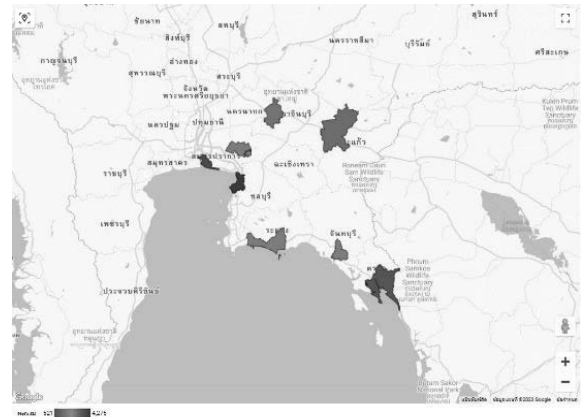


ภาพที่ 5 แผนภูมิวงกลมการดื่มเครื่องดื่มรสหวานของจังหวัดสมุทรปราการ

5.2 ผลลัพธ์ของโรค NCDs โดยใช้ข้อมูลจำนวนและอัตราการเสียชีวิตของโรค NCDs ตั้งแต่ปี 2560-2564



ภาพที่ 6 แผนที่แสดงผลลัพธ์จำนวนการเสียชีวิตของโรคความดันโลหิตสูง ปี 2560-2564



ภาพที่ 7 แผนที่แสดงผลลัพธ์จำนวนการเสียชีวิตของโรคหลอดเลือดในสมอง ปี 2560-2564

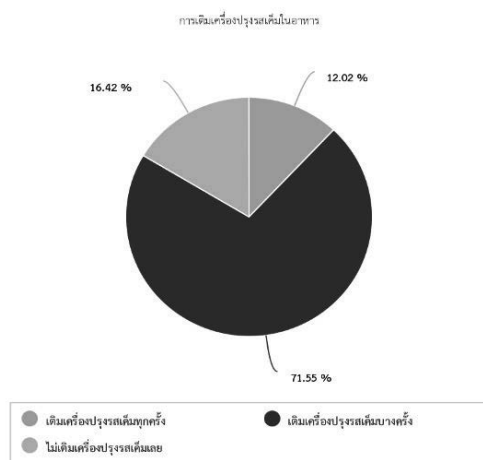


ภาพที่ 8 แผนที่แสดงผลลัพธ์จำนวนการเสียชีวิตของโรคหัวใจขาดเลือด ปี 2560-2564

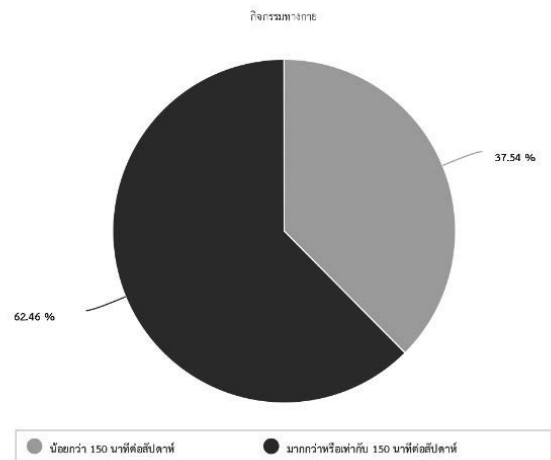


ภาพที่ 9 แผนที่แสดงผลลัพธ์จำนวนการเสียชีวิตของ NCDs ทั้ง 4 โรค ปี 2560-2564

จะเห็นได้ว่า ในโซนภาคตะวันออกจังหวัดที่มีการเสียชีวิตด้วยโรค NCDs ไม่ว่าจะเป็นโรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจขาดเลือด และโรคหลอดเลือดในสมอง คือ จังหวัดชลบุรี โดยสาเหตุที่จังหวัดชลบุรีมีผู้เสียชีวิตด้วยโรค NCDs มากที่สุดเนื่องจากพฤติกรรมในการใช้ชีวิตที่มักจะทำให้เกิดโรค NCDs สูง ได้แก่ 1) การที่กินอาหารรสจัด ไม่ว่าจะเป็นหวานจัด มันจัด หรือเค็มจัด ต่างก็ไม่ก่อให้เกิดผลดีต่อร่างกายทั้งนั้น ทำให้เกิดการสะสมปริมาณสารอาหารที่ไม่จำเป็นไว้จนกลายเป็นการสะสมของระดับน้ำตาลในเลือดตามมาได้เช่นกัน, 2) ขาดการออกกำลังกาย: การไม่ออกกำลังกายสม่ำเสมอเพิ่มความเสี่ยงของความดันโลหิตสูง, 3) น้ำหนักตัวเกินหรือโรคอ้วน: น้ำหนักที่เกินมาตรฐานเป็นปัจจัยเสี่ยงหลัก, 4) การสูบบุหรี่และการดื่มแอลกอฮอล์: ทั้งสองสามารถเพิ่มความดันโลหิตและ 5) ความเครียด: ความเครียดสูงอาจส่งผลต่อความดันโลหิต โดยข้อมูลชุดปฐมภูมิ ที่เป็นข้อมูลสุขภาพของศูนย์อนามัยที่ 11 ระบบสารสนเทศเพื่อเฝ้าระวังพฤติกรรมที่พึงประสงค์กลุ่มวัยทำงานในจังหวัดชลบุรี พบว่าพฤติกรรมการบริโภคของประชากรอายุ 15-59 ปี ของจังหวัดชลบุรี มีการเติมเครื่องปรุงรสเค็มในอาหารบางครั้งสูงถึง 71.55% ดังภาพที่ 10 มีการออกกำลังกายน้อยกว่า 150 นาทีต่อสัปดาห์อยู่ที่ 37.54% ดังภาพที่ 11



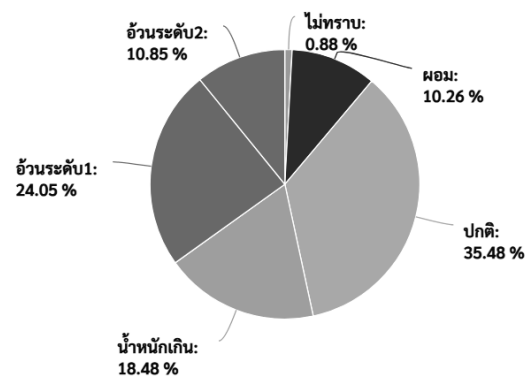
ภาพที่ 10 แผนภูมิวงกลม การเติมเครื่องปรุงรสเค็มในอาหาร



ภาพที่ 11 แผนภูมิวงกลมกิจกรรมทางกายของจังหวัดชลบุรี

นอกจากนี้ยังพบว่าในจังหวัดชลบุรีมีประชากรที่น้ำหนักเกินถึง 18.48% และโรคอ้วนระดับ 1 อีก 24.05% ดังภาพที่ 12

ร้อยละของค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ประชากรวัยทำงานอายุ 15-59 ปี



ภาพที่ 12 แผนภูมิวงกลมร้อยละค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ของจังหวัดชลบุรี

ผลการศึกษายังพบว่า ข้อมูลจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดชลบุรี ที่ได้วิเคราะห์ข้อมูลมีความหนาแน่นของผู้สูบบุหรี่ประชากรไทย อายุ 15 ปีขึ้นไป จังหวัดชลบุรี ดังแสดงรายละเอียดตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ความชุกของผู้สูบบุหรี่ของประชากรไทย  
อายุ 15 ปีขึ้นไป ในจังหวัดชลบุรี

| เขตพื้นที่<br>อำเภอ | จำนวน<br>ประชากร<br>(คน) | จำนวนผู้สูบ<br>บุหรี่ (คน) | ร้อยละของ<br>จำนวนผู้สูบ<br>บุหรี่ในพื้นที่ |
|---------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|
| บางละมุง            | 207,266                  | 1,485                      | 0.72                                        |
| สัตหีบ              | 82,461                   | 333                        | 0.40                                        |
| ศรีราชา             | 183,941                  | 264                        | 0.14                                        |
| พนัสนิคม            | 71,435                   | 224                        | 0.31                                        |
| บ่อทอง              | 33,327                   | 172                        | 0.52                                        |
| หนองใหญ่            | 13,426                   | 171                        | 1.27                                        |
| บ้านบึง             | 64,798                   | 139                        | 0.21                                        |
| เมืองชลบุรี         | 169,909                  | 118                        | 0.07                                        |
| เกาะสีชัง           | 2,150                    | 60                         | 2.79                                        |
| พานทอง              | 46,948                   | 30                         | 0.06                                        |
| เกาะจันทร์          | 21,466                   | 25                         | 0.12                                        |
| <b>รวม</b>          | <b>897,127</b>           | <b>3,021</b>               | <b>0.34</b>                                 |

## 6. สรุปผลและอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยเรื่อง การศึกษาข้อมูลและพฤติกรรมเสี่ยงโรคไตเรื้อรังในเขตพื้นที่โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษ ภาคตะวันออก (EEC) ของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์คือ การใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในการวิเคราะห์และระบุตัวแปรเสี่ยงของโรคไตเรื้อรัง โดยการนำข้อมูลทุติยภูมิที่เชื่อถือได้จากองค์กรต่าง ๆ เช่น สำนักงานสาธารณสุข จังหวัดชลบุรี ศูนย์อนามัยที่ 11 ระบบสารสนเทศเพื่อเฝ้าระวังพฤติกรรมที่พึงประสงค์ กลุ่มวัยทำงาน สำนักงานสถิติแห่งชาติ และฐานข้อมูลสุขภาพแห่งชาติ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการระบุถึงปัจจัยและพฤติกรรมเสี่ยงของโรคไตเรื้อรังที่มาจากโรค NCDs โดยผลลัพธ์ที่ได้คือชุดข้อมูลที่อธิบายถึงพฤติกรรมเสี่ยงของประชากรในจังหวัดชลบุรี สามารถใช้ในการระบุตัวแปรเสี่ยงที่เกิด

ขึ้นของโรค NCDs ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงปัญหาที่แท้จริง ทำให้สามารถเตรียมการรับมือและแก้ปัญหาได้ถูกจุดซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงของโรค NCDs ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต อีกทั้งยังช่วยลดโอกาสที่ประชากรในจังหวัดชลบุรีจะเป็นโรคไตเรื้อรังอีกด้วย สุดท้ายนี้หวังไว้ว่างานวิจัยจะเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์และสามารถป้องกันประชาชนจากโรคภัยอันตรายเหล่านี้ได้ เพื่อให้ประชากรในจังหวัดชลบุรีมีสุขภาพที่ดีอย่างยั่งยืน

## 7. ข้อจำกัดงานวิจัย

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากหลากหลายแหล่ง อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ และข้อมูลที่ใช้จะเป็นข้อมูลตั้งแต่ปี 2560-2564 ซึ่งอาจเป็นมาตรฐานการจัดเก็บข้อมูลที่มีเป็นกลุ่มข้อมูลเดียวกัน แต่มีวิธีการจัดเก็บเขตของข้อมูลแตกต่างกัน ดังนั้นในอนาคตควรมีการรวบรวมข้อมูลที่มีความสำคัญนี้ ควรมีมาตรฐาน Data Standard ในการจัดเก็บที่เหมือนกันให้สอดคล้องกับ Big Data ซึ่งจะทำให้มีความแม่นยำ ในการวิเคราะห์เชิงเทคนิคมากขึ้น อันจะทำให้ไปสู่ฐานข้อมูลในการวิจัยและวางแผนการป้องกันโรค NCDs และโรคไตเรื้อรังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), สาขาวิชาธุรกิจเกษตรดิจิทัล คณะเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี และวิทยาลัยแพทยศาสตร์นานาชาติจุฬาภรณ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

## 9. บรรณานุกรม

- (1) Eastern Economic Corridor, Retrieved from <https://www.ee.co.or.th/th> (2023).
- (2) สาธารณสุขจังหวัดชลบุรี, Retrieved from <http://www.cbo.moph.go.th/> (2023).
- (3) ระบบสารสนเทศสนับสนุนงานส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม, Retrieved from <https://dashboard.anamai.moph.go.th/> (2023).
- (4) M.F Moen M Zhan V.D Hsu L.D Walker et al. "Frequency of hypoglycemia and its significance in chronic kidney disease" Clin J Am Soc Nephrol Vol. 46, pp. 1121-1127, (2009).
- (5) L.S Chawla P.W Eggers R.A Star P.L Kimmel "Acute kidney injury and chronic kidney disease as interconnected syndromes" N Engl J Med, Vol. 371(1), pp. 58-66, (2014).
- (6) J.S Ginsberg M. Zhan et al. "Patient-reported and actionable safety events in CKD" J Am Soc Nephrol, Vol. 25(7), pp. 1564-1573, (2014).
- (7) L.He Q.Wei et al. "AKI on CKD: heightened injury suppressed repair and the underlying mechanisms" Kidney Int., Vol. 92(5) pp. 1071-1083, (2017).
- (8) ระบบสารสนเทศเพื่อเฝ้าระวังพฤติกรรมที่พึงประสงค์ กลุ่มวัยทำงาน, Retrieved from <https://dental.anamai.moph.go.th/>, (2023).
- (9) สาโรช แสงเมือง, พิษณุ รัชฎาวงศ์, กฤตยาภรณ์ เจริญผล, "การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินด้วยข้อมูลดาวเทียม, วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ปีที่ 21, หน้า 12-27, (2556).



# การศึกษารณีสถิตฐานและแร่วิทยาบริเวณเขาชะงอก โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เพื่อสร้างเส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา

## Geomorphological and Mineralogical Studies at Khao Cha-Ngok in Chulachomklao Royal Military Academy for Geotourism Trail

พันเอกหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตยาภรณ์ เจริญผล<sup>1\*</sup>  
Colonel Assistant Professor Dr. Krittayaporn Charoenpol<sup>1\*</sup>  
ดร.ประยัต นันทสิน<sup>2</sup>  
Dr. Prayath Nantasin<sup>2</sup>  
ธานี คามเขต<sup>3</sup>  
Tanee Kamkhet<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
นครนายก 26001 ประเทศไทย

<sup>1\*</sup> *Department of Environmental Science, Academic Division,*

*Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok 26001, Thailand*

<sup>2</sup> ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นพิภพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900 ประเทศไทย

<sup>2</sup> *Department of Earth Sciences, Faculty of Science,*

*Kasetsart University, Bangkok 10900 Thailand*

<sup>3</sup> สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ กรุงเทพมหานคร 10210 ประเทศไทย

<sup>3</sup> *Geo-Informatics and Space Technology Development Agency, Bangkok 10210, Thailand*

*\*Corresponding Author. E-mail : krittaya\_porn@hotmail.com*

*(Received: March 11, 2024, Revised: April 1, 2024, Accepted: April 2, 2024)*

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะธรณีสถิตฐาน ศึกษาแร่ดีบุกและแร่ที่สำคัญ และเพื่อจัดทำแผนที่เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่เขาชะงอก วิธีการศึกษาโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาช่วยในการสร้างแบบจำลองภูมิประเทศ การวิเคราะห์ข้อมูล และสร้างแผนที่ ร่วมกับการศึกษารณีสถิตวิทยาในภาคสนาม และเก็บตัวอย่างหินจำนวน 24 จุด (57 ตัวอย่าง) ตามเส้นทางท่องเที่ยวในกิจกรรมเดินป่าเชิงอนุรักษ์ของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เพื่อไปตรวจสอบชนิดแร่ เนื้อหิน และการเปลี่ยนแปลงของแร่ในตัวอย่างหินด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ร่วมกับการตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

ผลการศึกษารณีสถิตฐาน พบว่า พื้นที่ศึกษาบริเวณเขาชะงอก มีความสูงอยู่ในช่วง 2-285 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง มีระดับความลาดชันอยู่ในช่วง 2-218% จำแนกภูมิสมฐานได้ 8 ประเภท พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเนินเขา รองลงมาได้แก่ ลูกคลื่นลอนชัน ลูกคลื่นลอนลาด ภูเขาสูงชัน ภูเขาสูงชันมาก ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย พื้นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ และภูเขาสูงชันมากที่สุด ตามลำดับ เขาชะงอกเป็นหินภูเขาไฟสีอ่อนจำพวกหินตะกอนภูเขาไฟและหินไรโอไลต์ แทรกสลับกันไปมา ลักษณะเนื้อหินมีขนาดละเอียดและหยาบปะปนกัน และจากองค์ประกอบของตะกอนภูเขาไฟ

บ่งชี้ว่าเขาชะงอกเกิดจากการระเบิดที่รุนแรงของภูเขาไฟในยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิกหลายครั้ง นอกจากนี้พบสายแร่ ดิกโคต์ปรากฏให้เห็นเป็นบางจุดและพบหินตะกอนภูเขาไฟเดิมถูกแทนที่จนมีเนื้อเนียนเหมือนแร่ดิกโคต์ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

1. น้ำแร่ร้อนที่มีความดันสูงแทรกขึ้นมาตามรอยแตกและเปลี่ยนหินตะกอนภูเขาไฟเดิมตามแนวรอยแตกนั้นซึ่งมีกลุ่มแร่ เฟลด์สปาร์จำนวนมากให้เป็นแร่ดิกโคต์ และ
2. น้ำแร่ร้อนที่อุดมไปด้วยสารละลายซิลิกาได้ซึมเข้าไปในหินตะกอนภูเขาไฟและ ตกผลึกปะปนกับแร่เดิม ทำให้หินตะกอนภูเขาไฟที่อยู่ในแนวรอยแตกมีเนื้อเนียนเหมือนดิกโคต์แต่มีความแข็งมากกว่า

กระบวนการนี้เรียกว่า Silicification ส่วนหินที่ถูกแทนที่เรียกว่า หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำแร่ซิลิกา หลาย ร้อยล้านปีต่อมาหินตะกอนภูเขาไฟบริเวณเขาชะงอกที่เคยมีระดับความสูงมากกว่าปัจจุบันก็ค่อย ๆ ลดระดับลงจากการ ผุพังและถูกพัดพาออกไป ส่วนบริเวณยอดเขาชะงอกเป็นจุดที่มีน้ำแร่ร้อนซึมผ่านจำนวนมากนั้น มีความทนทานต่อการผุพัง มากกว่าพื้นที่โดยรอบทำให้คงเหลือเป็นผาสูงชันที่เรียกว่า “เขาชะงอก” กลุ่มหินที่พบในเส้นทางสำรวจมี 3 กลุ่ม ประกอบด้วย

1. กลุ่มหินตะกอนภูเขาไฟที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ หินตะกอนภูเขาไฟ หินถ้ำภูเขาไฟ หินตะกอนภูเขาไฟที่มีเศษหินเป็นองค์ประกอบหลัก หินตะกอนภูเขาไฟที่แสดงเนื้อหินของการไหล และหินตะกอนภูเขาไฟเนื้อผลึก
2. กลุ่ม หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่หรือถูกเปลี่ยนสภาพภายหลัง ได้แก่ แร่ดิกโคต์ หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำแร่ ซิลิกา และหินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกเปลี่ยนด้วยน้ำร้อน
3. กลุ่มหินอัคนีพุ ได้แก่ หินไรโอไลต์และหินแอสเบอร์ นอกจากนี้ แร่อื่น ๆ ที่พบ ได้แก่ แร่ควอตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ แร่เซอร์ไซต์ แร่เซอร์คอน แร่ดิน แร่ฮีมาไทต์ แร่ไพไรต์ แร่อะดูลาเรีย และ แร่เอพิโดต

จากผลการศึกษาสามารถสร้างเส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาได้ 1 เส้นทาง ประกอบด้วย จุดศึกษาทาง ธรณีวิทยา 24 จุด มีระยะทาง 10.13 กิโลเมตร โดยจุดศึกษาที่พบแร่ดิกโคต์และมีความโดดเด่นทางธรณีวิทยา มีจำนวน 7 จุด ได้แก่

1. บริเวณเหมืองแร่เก่าที่เป็นถ้ำพระพุทธรูป
2. บริเวณป่า CRMA ที่ยอดเขา
3. บริเวณเหมืองแร่เก่าช่องเขาขาด
4. น้ำตกวัดเขาชะงอก
5. บริเวณทางขึ้นเขาก่อนถึงศาลาพิชิตาไฟ
6. บริเวณตรงข้ามบันไดพญานาค และ
7. บริเวณถึง เกือบน้ำประปาที่ความสูง 62.5 m.MSL

**คำสำคัญ:** ธรณีสัณฐาน ทรัพยากรแร่ ดิกโคต์ การท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

**Abstract:** This research is aimed to study geomorphology: dickite and significant minerals to generate a geotourism map in Khao Cha-Ngok area. Geo-informatic technology is employed to help generate a digital terrain model, informational analysis, creating a map and a geology study in the field. Fifty seven rock samples were collected in 24 locations along the geotourism trail of Chulachomklao Royal Military Academy to investigate types of minerals, rocks and mineral transformation using advanced equipment such as a polarized microscope and an x-ray diffractometer (XRD).

The geomorphology study has revealed that Khao Cha-Ngok area is made up of 2 to 285 meter elevation range above mean sea level (MSL), it's in the 2 to 218% slope range. There are 8 types of landforms: the majority of the area is hilly, rolling, undulating, steep, very steep, gently undulating, level to nearly level and extremely steep. Khao Cha-Ngok was formed by felsic pyroclastic rocks and intercalated with rhyolite. The rock textures show a variety of sizes ranging from fine to coarse grained rocks. According to the features of these rock samples suggest numerous explosive eruptions during the Permian-Triassic period. In addition, dickite veins have been spotted in some areas and original pyroclastic rocks have become a part of dickite rocks which can be explained as follows: 1. High pressure hydrothermal fluid infiltrated along fractures and transformed the pyroclastic rocks abundant of feldspar to dickite. 2. Hydrothermal fluid enriched with silica solution infiltrated to pyroclastic rocks and crystallized among pre-existing minerals. As a result, pyroclastic rocks along fractures have an aphanitic texture like dickite but harder texture. It is called silicification process. These new replacement rocks called silicified pyroclastic rocks. Million years later in this area that were much higher than current elevation, gradually weathered and eroded. While the top of Khao Cha-Ngok infiltrated by hydrothermal fluid has resisted erosion and weathering more than the surrounding areas and remains a steep peak called Khao Cha-Ngok. Three groups of rocks found on the survey are: 1. Unaltered pyroclastic rocks: pyroclastic rocks, ash tuff, lithic tuff, welded tuff and crystal tuff. 2. Altered or replacement volcanic rocks: dickite, silicified pyroclastic rocks and altered pyroclastic rocks. 3. Extrusive rocks: rhyolite and jasper. Quartz, feldspar, sericite, zircon, clay minerals, hematite, pyrite, adularia and epidote were also found. As a result of the study, a route of 24 areas is 10.13 kilometer long. Seven significant geotourism areas that dickite were found: 1. Old Buddha cave previously a mine, 2. CRMA sign on top of the peak, 3. Chong Kaokad previously a mine, 4. Wat Khao Cha-Ngok Waterfall, 5. Entrance in front of Rue-si Tafai Shrine, 6. Area across from King of Nagas stairs, and 7. 62.5 m.MSL Water tank.

**Keywords:** Geomorphology, Mineral resources, Dickite, Geotourism, Geo-informatics technology

## 1. บทนำ

เขาชะโงก จังหวัดนครนายก เคยเป็นเหมืองแร่ ดิกไคต์ (Dickite) มาก่อน โดยจัดว่าเป็นเหมืองแร่ขนาดใหญ่แห่งหนึ่งของโลก ซึ่งแร่ดิกไคต์เดิมมีชื่อเรียกในทางการค้าว่า หินสบู่ [1] โดยในปี พ.ศ. 2514 เหมืองแร่ดิกไคต์เปิดทำการที่เขาชะโงก จำนวน 2 เหมือง ได้แก่ บริษัท ไทยค้า จำกัด และเหมืองแร่ขุนเจริญ และหยุดดำเนินการปี พ.ศ. 2532 เนื่องจากหมดสัมปทาน และพื้นที่เขาชะโงกอยู่ในเขตของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (ร.ร.จปร.) [2] แร่ดิกไคต์ที่สำคัญของประเทศไทยมีอยู่ 2 แหล่ง แหล่งที่ 1 คือพื้นที่เขาชะโงกและเขาแหลม ตำบลพรหมณี อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก และแหล่งที่ 2 คือ พื้นที่เขาไม้พลอง เขาพุพัง เขาสะท้อนสูง และเขาตะแบก ตำบลชะอม อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี [3] แร่ดิกไคต์มีสูตรทางเคมีคือ  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  จัดอยู่ในกลุ่มแร่ดิน (Clay mineral group) ในกลุ่มเคโอลิไนต์ (Kaolinite) แร่ดิกไคต์ มีหลายสี มีลักษณะเป็นก้อนเนื้อแน่น ละเอียด แทะสลักง่ายมีลวดลายสวยงาม [4]-[6] การใช้ประโยชน์ขึ้นอยู่กับคุณภาพของแร่ดิกไคต์ โดยการแบ่งคุณภาพพิจารณาจากปริมาณของอะลูมินา ดังนี้ เกรด A มีอะลูมินา ( $Al_2O_3$ ) ร้อยละ 32-28 ส่วนมากใช้ทำเครื่องประดับหรืองานแกะสลัก เกรด B ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก มีอะลูมินา ( $Al_2O_3$ ) ร้อยละ 28-11 ซึ่งพบเป็นบริเวณกว้างกว่าเกรด A และเกรด C องค์ประกอบยังไม่เปลี่ยนแปลงไปจากหินเดิมมากนัก ใช้ผสมเพื่อทำปูนซีเมนต์ขาว [1]

ปัจจุบันเขาชะโงกอยู่ในเขตโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณเขาชะโงกได้เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ป่าไม้ วัด อาคารและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ พื้นที่สวนป่า และพื้นที่อื่น ๆ ตามวัตถุประสงค์ของ ร.ร.จปร. ด้วยลักษณะภูมิประเทศของ ร.ร.จปร. ที่มีภูเขาล้อมรอบ มีสภาพแวดล้อมสวยงามและมีจุดเด่นคือมีเขาชะโงกที่มีรูปทรงแปลกตาและเป็นเอกลักษณ์ จึงเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญแห่งหนึ่งของจังหวัดนครนายก ดังนั้น การมีระบบ

การบริหารจัดการแหล่งอันควรรักษาทางธรณีวิทยาที่ดี จะทำให้สามารถเพิ่มคุณค่าให้กับแหล่งอันควรรักษาทางธรณีวิทยา ทั้งทางด้านการพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยว หรือการรักษาแหล่งอันควรรักษาทางธรณีวิทยาเหล่านี้ไว้ให้เป็นแหล่งเรียนรู้ต่อสังคมทั้งในปัจจุบันและอนาคต [1] การท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา จึงเป็นแนวคิดใหม่ที่เน้นการส่งเสริมลักษณะทางธรณีวิทยาและธรณีสัณฐานวิทยาในภูมิทัศน์ให้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวหลัก โดยเป็นการท่องเที่ยวที่อยู่ภายใต้การอนุรักษ์มรดกทางธรณีวิทยาและการจัดการอย่างยั่งยืน การท่องเที่ยวลักษณะนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้เข้าชมหรือนักท่องเที่ยวเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับมรดกทางธรณีวิทยาและเกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับธรณีวิทยา ธรณีสัณฐานวิทยา ความหลากหลายทางธรณีวิทยา และทรัพยากรธรณีในพื้นที่ กลยุทธ์หลักในการสร้างการท่องเที่ยว ได้แก่ เส้นทางศึกษาธรณีวิทยา (Geotrail) กิจกรรมทางธรณีวิทยา จุดชมวิว มัคคุเทศก์ที่มีความรู้ และศูนย์บริการนักท่องเที่ยว เป็นต้น [7], [8] การศึกษาธรณีสัณฐานและธรณีวิทยาบริเวณเขาชะโงกจะช่วยให้เข้าใจถึงประวัติความเป็นมาในด้านธรณีวิทยาของพื้นที่ ภูมิสังฐานกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น รวมถึงทำให้ทราบว่ายังคงมีทรัพยากรแร่ที่สำคัญอะไรบ้างในปัจจุบัน และจากการที่เขาชะโงกเป็นแหล่งท่องเที่ยวและมีเส้นทางเดินป่าเพื่อสำรวจธรรมชาติอยู่แล้วผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาธรณีสัณฐานวิทยาและสำรวจแหล่งแร่ดิกไคต์และทรัพยากรแร่อื่น ๆ บริเวณพื้นที่เขาชะโงก เพื่อพัฒนาให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงธรณีเพื่อการศึกษารเรียนรู้ทางธรณีวิทยา ซึ่งจะเป็นการช่วยอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งอันควรรักษาทางธรณีวิทยาของเขาชะโงกต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาลักษณะธรณีสัณฐานบริเวณเขาชะโงก

2.2 เพื่อศึกษาแร่ดิกไคต์และแร่ที่สำคัญบริเวณพื้นที่เขาชะโงก

2.3 เพื่อจัดทำแผนที่เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา บริเวณพื้นที่เขาชะงอกโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ เพื่อใช้ในการศึกษาเรียนรู้และการท่องเที่ยวทางธรณีวิทยาในพื้นที่โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

### 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 ความหมายของธรณีสัณฐานวิทยา

ธรณีสัณฐานวิทยา หมายถึง การศึกษาสัณฐานของเปลือกโลก ตลอดจนกระบวนการที่ก่อให้เกิดลักษณะสัณฐานนั้น ๆ โดยการศึกษาทางธรณีสัณฐานวิทยา ประกอบด้วย 1. สัณฐานวิทยา คือ รูปร่าง ขนาด ลักษณะภูมิประเทศ พื้นผิว ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และความสูงของหน่วยสัณฐาน 2. วัสดุประกอบสัณฐาน คือ ส่วนที่ผุพังกลายเป็นดินและส่วนของหินแข็ง 3. กระบวนการที่กระทำต่อสัณฐาน คือ กระบวนการที่ทำให้เกิดสัณฐานนั้น ๆ จากตัวการต่าง ๆ ได้แก่ น้ำ ลม และธารน้ำแข็ง เป็นต้น 4. โครงสร้างของตะกอนหรือชั้นหินที่เป็นส่วนประกอบของธรณีสัณฐาน และ 5. ระยะเวลาในการพัฒนาสัณฐานซึ่งก็คืออายุจริงของพื้นที่ [9], [10]

#### 3.2 แร่ดิกโคไตต์ (Dickite)

แร่ดิกโคไตต์มีสูตรทางเคมีคือ  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  เป็นแร่ในหมู่ฟิโลซิลิเกต หรือชีตซิลิเกต (Phyllosilicates or Sheet silicates) อยู่ในกลุ่มเคโอลิไนต์เซอร์เพนทีน (Kaolinite-serpentine group) และอยู่ในกลุ่มย่อยของเคโอลิไนต์ (Kaolinite subgroup) ดิกโคไตต์เป็นแร่ที่มีพหุสัณฐาน (Polytype) คือมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกันแต่มีโครงสร้างผลึกต่างกันกับแร่เคโอลิไนต์ ดิกโคไตต์ประกอบด้วยธาตุหลัก ได้แก่ Al, Si, O และ H ดิกโคไตต์เป็นหินแข็ง เนื้อเนียนละเอียด มีหลายสี บางทีอาจมีธาตุอื่นเจือปน เช่น เหล็ก ไทเทเนียม แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม เป็นต้น ทำให้แร่ดิกโคไตต์มีสีต่างกันไปตามธาตุที่มาเจือปน ดิกโคไตต์บริสุทธิ์จะมีสีขาว นอกจากนี้ยังพบได้หลายสี เช่น สีเทา สีเทาแกมเขียวมะกอก เทาอ่อนแกมน้ำเงิน ขาว เขียวอ่อน

เหลือง, น้ำเงินเข้ม ในบางพื้นที่พบสีแดงอมชมพู และสีเหลืองนวล มีความวาวคล้ายไขและโปร่งแสง [1], [4], [6] คุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดิกโคไตต์ได้แบ่งความแข็งตามสเกลของโมห์ (Moh's scale of hardness) เท่ากับ 1.5-2 ซึ่งเล็บสามารถขีดเข้าไปในเนื้อได้ และมีความถ่วงจำเพาะ เฉลี่ยเท่ากับ 2.60 ผลึกของดิกโคไตต์มีลักษณะเป็นแท่งหรือเป็นแผ่นซ้อนกันหรือเป็นมวลแน่น มีความแข็งต่ำ

แร่ดิกโคไตต์เกิดจากสารละลายน้ำร้อน (Hydrothermal solution) ที่มีธาตุอะลูมินาสูง จากการแปรเปลี่ยนของแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspars) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 100-120 องศาเซลเซียส [11], [12] แร่ดิกโคไตต์เกิดจากการที่น้ำแร่ร้อนและแก๊สซึมผ่านรอยแตกของหินเดิมที่เป็นหินไรโอไลต์และหินทัฟฟ์ (หินเถ้าภูเขาไฟ) แล้วเปลี่ยนสภาพแร่ประกอบหินเดิมให้เป็นแร่ดิกโคไตต์ หรือเกิดจากการที่น้ำแร่ไหลเข้าไปบรรจุนรอยแตกที่มีอยู่ในหิน (Fracture filling) หรือเกิดแบบน้ำแร่ร้อนที่เป็นสายแร่ (Veins) ซึ่งเปลี่ยนสภาพ (Alteration) มาจากแร่อะลูมิโนซิลิเกต การแพร่กระจายของแร่จึงสัมพันธ์กับแนวโครงสร้างทางธรณีวิทยา สายแร่ดิกโคไตต์ที่พบมีรูปร่างไม่แน่นอน บางส่วนแทนที่หมดและบางส่วนแทนที่ไม่หมด นอกจากนี้ยังมีแร่ไฟโรต์ผสมอยู่ประปราย และพบหินกรวดเหลี่ยมของควอตซ์ที่มีผลึกซ้อนรูปอยู่ในเขตรอยแตก [4]

สุกิจ อติพันธ์ [13] กล่าวว่า แร่ดิกโคไตต์ในประเทศไทยเกิดจากการที่น้ำแร่ร้อนและแก๊สซึมผ่านรอยแตกของหินเถ้าที่เป็นหินไรโอไลต์ (Rhyolite) และหินเถ้าภูเขาไฟไรโอไลต์ทัฟฟ์ (Rhyolitic tuff) แล้วเปลี่ยนสภาพแร่ประกอบหินเดิมให้เป็นแร่ดิกโคไตต์และเคโอลิไนต์ในกระบวนการแทนที่ (Replacement) หรือเกิดจากการที่น้ำแร่ไหลเข้าไปบรรจุนรอยแตกของหิน (Fracture filling) การแพร่กระจายของแร่จึงสัมพันธ์กับชนิดหินและแนวโครงสร้างธรณีวิทยาของบริเวณนั้น ๆ

สุนทรี ปัทมสุต และคณะ [14] และธงชัย พึ่งรัตน์ [4] กล่าวว่า แร่ดิกโคไตต์ในประเทศไทย พบได้ 2 แบบตามลักษณะของการเกิด คือ 1. การเกิดแบบบรรจุน



ตามรอยแตกในหินภูเขาไฟ (Fracture-filled type) ซึ่งน้ำแร่ร้อนจะแทรกอยู่ในช่องว่างหรือตามรอยแยกของหินภูเขาไฟ แร่ที่ได้จะเป็นแร่บรสิทุธิ์ และ 2. การเกิดแบบแทนที่ในหินภูเขาไฟหมดหรือเพียงบางส่วน (Replacement type) ซึ่งน้ำแร่ร้อนจะเข้าไปในช่องว่างแล้วทำปฏิกิริยากับหินภูเขาไฟที่มีอยู่เดิม ซึ่งได้แก่แร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ โดยจากการวิเคราะห์ตัวอย่างแร่ดิคโคต์บริเวณเขาชะงอกที่เก็บตัวอย่างในปี พ.ศ. 2519 พบว่า เป็นแร่ดิคโคต์ที่เกิดแบบบรรจตามรอยแตกและเกิดแบบแทนที่ในหินภูเขาไฟและหินตะกอนภูเขาไฟ [4], [13]

### 3.3 เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-Informatics Technology)

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ หมายถึง ศาสตร์และศิลป์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีตำแหน่งอ้างอิงบนพื้นผิวโลก ประกอบด้วยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องคือ การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing, RS) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) และระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System, GPS) เพื่อสนับสนุนการรวบรวมข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล การจัดการข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการแสดงผลข้อมูล เพื่อให้ได้ข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่ (Geospatial Information) ที่นำไปวางแผนและบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ [15]

การรับรู้จากระยะไกล หมายถึง วิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้น ที่ หรือปรากฏการณ์ จากเครื่องมือบันทึกข้อมูลโดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย ทั้งนี้อาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น รูปทรงสัญญาณของวัตถุบนพื้นผิวโลก และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา [15], [16]

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หมายถึง เครื่องมือหรือวิธีการที่ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการจัดเก็บ

ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ของโลกด้วยการอ้างอิงจุดพิกัดทางภูมิศาสตร์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ โดยข้อมูลที่อ้างอิงภายในจุดพิกัดเดียวกัน เป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ข้อมูลเชิงบรรยาย มีความเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ [16]

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก หมายถึง ระบบนำวิถีที่ใช้ในการหาค่าพิกัดตำแหน่งจากการรับสัญญาณคลื่นวิทยุจากดาวเทียม หลักการรังวัดด้วยวิธีนี้จะหาตำแหน่งโดยการวัดระยะทางไปยังดาวเทียม โดยมีสถานีภาคพื้นดินคอยติดตามการโคจรของดาวเทียมอยู่ตลอดเวลา ทำให้ทราบตำแหน่งดาวเทียมที่เวลาต่าง ๆ ข้อมูลการรังวัดจะถูกพยากรณ์ล่วงหน้า โดยสถานีติดตามดาวเทียมแล้วส่งข้อมูลไปบันทึกไว้ในดาวเทียมเพื่อส่งกระจายลงมาพร้อมกับคลื่นวิทยุ ซึ่งการหาค่าพิกัดตำแหน่งของจุดใด ๆ กระทำได้โดยการนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปวาง ณ จุด ๆ นั้น ใช้หลักการคำนวณโดยสูตร ระยะทาง (S) เท่ากับ ค่าความเร็ว (v) x เวลา (t) ดังนั้น ถ้าเราทราบว่าสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมถึงเราใช้เวลาเท่าไร ก็จะทราบระยะทางระหว่างเรากับดาวเทียม [15], [16]

### 3.4 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาโครงสร้างผลึกและวิเคราะห์สารประกอบแร่ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง โดยอาศัยการยิงรังสีเอกซ์ไปตกกระทบตัวอย่างทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่มุมต่าง ๆ กัน แล้วเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ตรวจวัดโดยองค์กร JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิดมีโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน ทำให้มีแบบรูปการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แตกต่างกันด้วย การวิเคราะห์ตัวอย่างแร่ทำได้โดยการบดตัวอย่างให้เป็นผงด้วยครกบดมือ บรรจุตัวอย่างผงในภาชนะ จัดเป็นการเรียงตัวแบบสุ่ม (Random powder) แล้วนำไปตรวจวัดแบบ Unoriented sample ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโทมิเตอร์ (X-ray diffractometer) โดย

ใช้รังสีเอกซ์จากธาตุทองแดงเป็นแหล่งกำเนิดรังสี ( $\text{CuK}_\alpha$  radiation; 40k V, 30 mA) ใช้เวลาในการตรวจวัด 0.02 องศา ( $2\theta$ ) ต่อวินาที [17]

ข้อมูลค่าการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ที่สำคัญของแร่ดิทไคต์ในส่วนของพีคหลัก (Peak) ประกอบด้วย พีคหลักที่ 2-Theta ( $2\theta$ ), Intensity, D-spacing และดัชนีมิลเลอร์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูล XRD ที่สำคัญของแร่ดิทไคต์

| $2\theta$<br>( $^\circ$ ) | Intensity<br>(%) | D-spacing<br>( $\text{\AA}$ ) | HKL<br>(ดัชนีมิลเลอร์) |
|---------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------|
| 12.36                     | 100              | 7.1620                        | 002                    |
| 21.55                     | 53.70            | 4.1235                        | -112                   |
| 23.46                     | 38.61            | 3.7320                        | 002                    |
| 24.86                     | 64.83            | 3.5810                        | 004                    |
| 38.74                     | 43.94            | 2.3243                        | 132                    |

ที่มา: Bailey [17]

#### 4. วิธีดำเนินการศึกษา

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) ร่วมกับการบรรยายเชิงพรรณนา มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

4.1 กำหนดพื้นที่ศึกษาให้ครอบคลุมพื้นที่เขาชะโงก จากนั้นทำการวางแผนการสำรวจทางธรณีสัณฐานและทรัพยากรแร่ (ภาพที่ 1)

4.2 ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตให้กับข้อมูลภาพจากดาวเทียม Worldview-2 ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.5 โดยใช้แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุด L7018 ของกรมแผนที่ทหารเป็นข้อมูลอ้างอิง

4.3 การสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ (DTM) จากข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (DEM) ของกรมแผนที่ทหารโดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.5

4.4 วิเคราะห์ความสูงและระดับความลาดชันจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (DEM) โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.5 จำแนกภูมิสัณฐานตามระดับความลาดชันตามหลักเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน โดยแบ่งเป็น 8 ชั้น ได้แก่ 0-2%, 2-5%, 5-12%, 12-20%, 20-35%, 35-50%, 50-75% และ >75% [18] จากนั้นจัดทำแผนที่ความสูงและแผนที่ภูมิสัณฐานที่แสดงความลาดชัน

4.5 สำรวจลักษณะธรณีสัณฐานในภาคสนาม ถ่ายภาพ และจดบันทึก

4.6 วิเคราะห์ข้อมูลธรณีสัณฐานจากค่าความลาดชัน ค่าความสูงภูมิประเทศ แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ (DTM) และข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม ร่วมกับข้อมูลหัตถ์ภูมิจากเอกสารและงานวิจัยทางธรณีวิทยาที่เกี่ยวข้อง

4.7 ศึกษาและเก็บตัวอย่างหินและแร่บริเวณเขาชะโงกตามเส้นทางเดินป่าเพื่อสำรวจธรรมชาติและบริเวณใกล้เคียงที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวและสถานที่สำคัญ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562-2567 รวมทั้งสิ้น 24 จุดศึกษา มีจำนวนตัวอย่างหิน 57 ตัวอย่าง โดยในการเลือกจุดเก็บตัวอย่าง ใช้การพิจารณาชุดหินและหน่วยของหินทางธรณีวิทยาจากแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณีร่วมกับการพิจารณาแนวการเปลี่ยนแปลงของชนิดหินในแต่ละบริเวณ และลักษณะภูมิสัณฐาน ใช้เครื่อง GPS ในการระบุพิกัดตำแหน่งของหินและแร่ ถ่ายภาพ และจดบันทึก ตรวจสอบหินและแร่ทางกายภาพในภาคสนามด้วยตาเปล่าและแว่นขยาย โดยตรวจสอบความแข็ง สี ขนาดเม็ดแร่ ความวาว แนวแตกเรียบ ความเป็นแม่เหล็ก และค่าความเป็นเบส ทั้งนี้เพื่อให้ได้ชื่อหินหรือแร่ในเบื้องต้น

4.8 นำตัวอย่างหินที่เก็บจากจุดศึกษาในภาคสนามไปทำการวิเคราะห์แผ่นหินบาง (Thin section) และส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ (Polarized Microscope) เพื่อตรวจสอบชนิดแร่ประกอบหิน รูปแบบของเนื้อหิน และการเปลี่ยนแปลงด้วยอิทธิพลของน้ำแร่ร้อน

4.9 นำตัวอย่างหินที่พบแร่ดิทไคต์จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์ ไปทำการวิเคราะห์การ

4.10 จัดทำแผนที่เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาที่แสดงตำแหน่งทรัพยากรแร่โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.5



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาบริเวณเขาชะงอก

## 5.1 ธรรมเนียมฐานของเขาชะโงก

เขาชะง็อกเป็นหินภูเขาไฟสีอ่อนจำพวกหินตะกอนภูเขาไฟและหินไรโอไลต์แทรกสลับกันไปมา ตามธรรมชาติของภูเขาไฟที่มีมักจะเกิดการปะทุขึ้นครั้งไม่ถ้วนตลอดช่วงอายุขัยของภูเขาไฟ เขาชะง็อกอยู่ในแนวภูเขาไฟเลย-เพชรบูรณ์ ซึ่งจากรายงานวิจัยต่าง ๆ ระบุว่าเป็นแนวภูเขาไฟที่มีการปะทุมาตั้งแต่ 205-290 ล้านปีก่อน เกิดจากการชนกันของแผ่นทวีปในช่วงรอยต่อระหว่างยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสสิก โดยแผ่นธรณีมหาสมุทรที่อยู่ตรงกลางเคลื่อนตัวมุดลงไปได้ แผ่นธรณีฉานไทยและแผ่นอินโดจีน ทำให้แผ่นธรณีทั้งสองเคลื่อนที่เข้าหากัน เกิดภูเขาไฟปะทุรุนแรงตลอดแนวการมุดตัวเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน และเกิดการปะทุของหินภูเขาไฟนับครั้งไม่ถ้วน และหินอัคนีบางส่วนที่แทรกขึ้นมาแต่ไม่สามารถไหล่พ้นผิวดิน จนกลายเป็นหินอัคนีบาดาลนั้นก็มียาจำนวนมาก ซึ่งเชื่อว่าเขาชะง็อกก็น่าจะเกิดในช่วงเวลาดังกล่าวเช่นกัน อย่างไรก็ตาม

จากการสำรวจในภาคสนาม พบว่า มีสายแร่ดิกโคईต์ ปรากฏให้เห็นบางจุดและมีบางจุดที่หินตะกอนภูเขาไฟ เดิมถูกแทนที่ด้วยแร่ควอตซ์ขนาดละเอียดมาก ๆ (Cryptocrystalline quartz) จนมีเนื้อเนียน เหมือนดิกโคईต์แต่มีความแข็งสูงกว่ามากซึ่งเรียกร ะบวนการถูกแทนที่ด้วยแร่ควอตซ์ขนาดเล็กนี้ว่า Silicification ส่วนหินที่ถูกแทนที่นี้ เรียกว่า หินตะกอน ภูเขาไฟที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำแร่ซิลิกา (Silicified pyroclastic rock) และการปรากฏของสายแร่ดิกโคईต์และโซนที่เกิด Silicification นี้บ่งบอกว่ามีน้ำแร่ร้อน (Hydrothermal fluid) แทรกตดเข้าไปในรอยแตกของหินตะกอนภูเขาไฟ ที่เกิดอยู่ก่อน โดยปกติแล้วน้ำแร่ร้อนเหล่านี้ มีทั้งส่วน ที่มาพร้อมกับหินอัคนีบาดาลและบางส่วนเป็นน้ำใต้ดินที่ เคยซึมผ่านรอยแตกลงไปเจอหินอัคนีบาดาลซึ่งมีอุณหภูมิ สูงจนทำให้กลายเป็นน้ำร้อนที่มีแรงดันในตัวสูง อีกทั้งมี ความสามารถในการละลายธาตุต่าง ๆ จากข้างล่างแล้ว แทรกตัวขึ้นมาตามรอยแตก ระหว่างที่แทรกขึ้นมาตาม รอยแตกเหล่านั้น น้ำแร่ร้อนก็สามารถซึมผ่านเข้าไปยัง หินข้างเคียงแล้วเปลี่ยนจากหินแก้วภูเขาไฟเดิมที่มีกลุ่ม แร่เฟลด์สปาร์ (Feldspar) เป็นจำนวนมากให้เป็นแร่ ดิกโคईต์ซึ่งเป็นสมาชิกของกลุ่มแร่ดินที่มีหลายแร่ ส่วนน้ำแร่ ร้อนที่มาจากร่ควอตซ์ขนาดละเอียดมาก ๆ ที่อุดมไปด้วย สารละลายซิลิกา (SiO<sub>2</sub>) นั้น จะซึมเข้าไปในหินตะกอน ภูเขาไฟ และซิลิกาเหล่านั้นตกผลึกปะปนกับแร่เดิมทำให้ หินตะกอนภูเขาไฟที่เคยมีอยู่นั้นมีความแกร่งมากกว่าเดิม

เมื่อผ่านระยะเวลายาวนานหลายร้อยล้านปี หินตะกอนภูเขาไฟบริเวณเขาชะงอกที่เคยมีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่าปัจจุบันก็ค่อย ๆ เกิดการผุ เนื่องจากสัมผัสกับอากาศและน้ำ การผุของหินทำให้เกิดการพังทลายได้ง่ายและถูกพัดพาออกไป ส่วนยอดเขาชะงอกเป็นจุดที่มีน้ำแร่ร้อนซึมผ่านขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ทำให้แข็งแกร่งกว่าพื้นที่โดยรอบจึงทนทานต่อการผุพังและการกัดกร่อนมากกว่าส่วนที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากน้ำแร่ร้อน จึงทำให้คงเหลือไว้เป็นภูเขาสูงชันยอดดั่งที่เรียกว่า “เขาชะงอก” ในปัจจุบัน

จากการวิเคราะห์ความสูงภูมิประเทศ (Elevation) และความลาดชัน (Slope) จากแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข (DTM) โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.5 พบว่า พื้นที่ศึกษามีพื้นที่ทั้งหมด 5,350 ไร่ คิดเป็น 8.56 ตารางกิโลเมตร จากการวิเคราะห์ความสูงภูมิประเทศพบว่า พื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง น้อยกว่า 100 เมตร มีพื้นที่ 4,162 ไร่ (6.65 ตร.กม.) รองลงมา มีความสูง 100-200 เมตร มีพื้นที่ 1,046.75 ไร่ (1.69 ตร.กม.) และพื้นที่ภูเขาสูง 200-300 เมตร มีพื้นที่ 141.25 ไร่ (0.22 ตร.กม.) ตามลำดับ (ภาพที่ 2) โดยยอดเขาชะงอกมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 285 เมตร

จากการวิเคราะห์ระดับความลาดชัน สามารถจำแนกลักษณะภูมิสัณฐาน (Land form) ได้ 8 ประเภท (ภาพที่ 3) ได้แก่

1. ภูเขาสูงชันมากที่สุด มีความลาดชัน มากกว่า 75% มีพื้นที่ 127.50 ไร่ (0.20 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 2.34
2. ภูเขาสูงชันมาก มีความลาดชัน 50-75% มีพื้นที่ 623.18 ไร่ (0.99 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 11.56
3. ภูเขาสูงชัน มีความลาดชัน 35-50% มีพื้นที่ 788.62 ไร่ (1.26 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 14.71
4. เนินเขา มีความลาดชัน 20-35% มีพื้นที่ 1,285.09 ไร่ (2.08 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 24.32
5. ลูกคลื่นลอนชัน มีความลาดชัน 12-20% มีพื้นที่

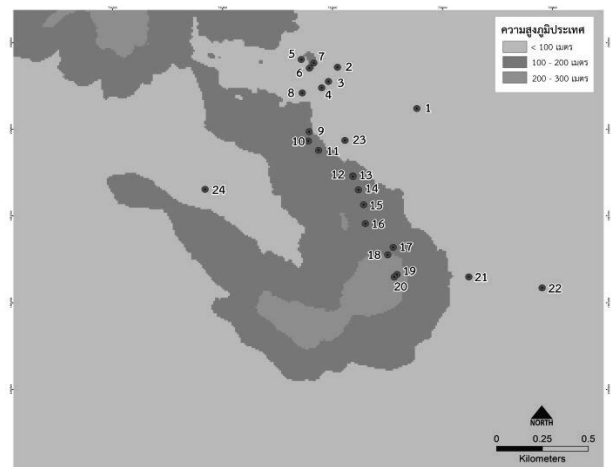
904 ไร่ (1.44 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 16.82

6. ลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดชัน 5-12% มีพื้นที่ 878.36 ไร่ (1.40 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 16.35

7. ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดชัน 2-5% มีพื้นที่ 412.50 ไร่ (0.66 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 7.71

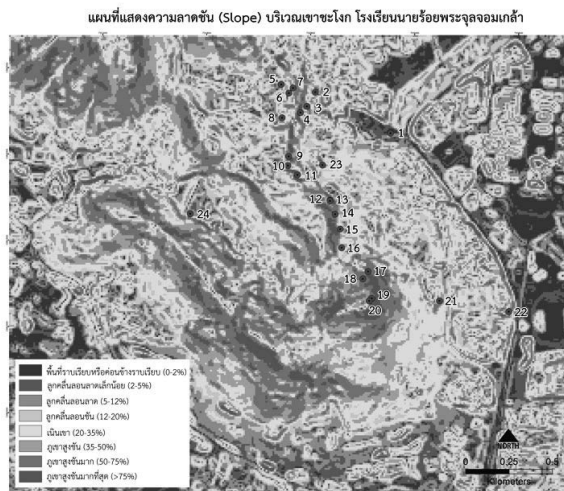
8. พื้นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชัน 0-2% มีพื้นที่ 330.75 ไร่ (0.53 ตร.กม.) คิดเป็นร้อยละ 6.19

พื้นที่เขาชะงอกมีระดับความลาดชันอยู่ในช่วง 2-218% โดยพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีลักษณะภูมิสัณฐานเป็นเนินเขา รองลงมา ได้แก่ ลูกคลื่นลอนชัน ลูกคลื่นลอนลาด ภูเขาสูงชัน ภูเขาสูงชันมาก ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย พื้นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ และภูเขาสูงชันมากที่สุดตามลำดับ



ภาพที่ 2 แผนที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล





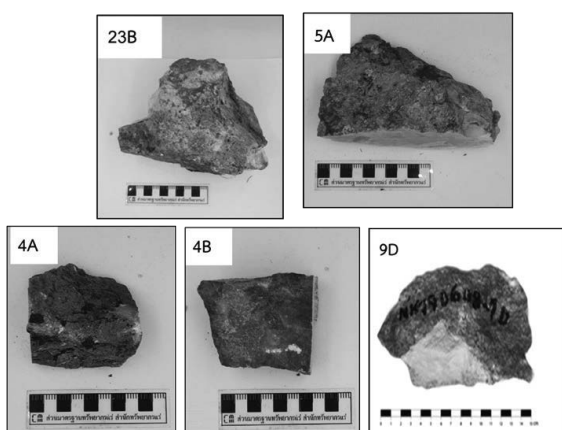
ภาพที่ 3 แผนที่ภูมิสังฐานและความลาดชัน

## 5.2 แร่ดึกโคตและทรัพยากรแร่ที่พบบริเวณเขาชะงอก

จากผลการวิเคราะห์หินและแร่บริเวณพื้นที่เขาชะงอก จำนวน 24 จุด 57 ตัวอย่าง สามารถแบ่งกลุ่มของหินได้ 3 กลุ่ม มีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 กลุ่มหินตะกอนภูเขาไฟที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (Unaltered pyroclastic rock)

(1) หินตะกอนภูเขาไฟ (Pyroclastic rock) พบจำนวน 1 จุดศึกษา (1 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณถังเก็บน้ำประปา 2 ถึง (62.5 m.MSL) โดยลักษณะเนื้อหินประกอบด้วยตะกอนหลายขนาดที่พุ่งออกมาจากการระเบิดของภูเขาไฟ โดยส่วนใหญ่ตะกอนจะมีชิ้นส่วนขนาดใหญ่และมีเศษหินขนาดเล็กปะปนกัน (ตัวอย่าง 23B ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 หินตะกอนภูเขาไฟที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

(2) หินเถ้าภูเขาไฟ (Ash tuff) พบจำนวน 7 จุดศึกษา (9 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณทางขึ้นพระพุทธรบาทก่อนถึงศาลกฤษีตาไฟ บริเวณฝาย บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก (4), (5) และ (7) ศาลเจ้าพ่อขุนด่าน และอ่างเก็บน้ำวัดเขาคอก โดยเป็นหินที่ประกอบด้วยตะกอนขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่ (ขนาดเล็กกว่า 2 มม.) มีเศษหินขนาดใหญ่กว่าปะปนอยู่เล็กน้อย (ตัวอย่าง 5A ภาพที่ 4)

(3) หินตะกอนภูเขาไฟที่มีเศษหินเป็นองค์ประกอบหลัก (Lithic tuff) พบจำนวน 4 จุดศึกษา (5 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณน้ำตกวัดเขาชะงอก บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก (4) และ (6) และภูเขาหลังเรือนรับรอง โดยเป็นหินตะกอนภูเขาไฟที่ประกอบด้วยชิ้นของเศษหินเป็นหลัก พบแร่เซอร์ไซต์ (แร่ดินและไมก้าขนาดเล็ก) และผลึกแร่ปะปนอยู่ด้วย (ตัวอย่าง 4A ภาพที่ 4)

(4) หินตะกอนภูเขาไฟที่แสดงเนื้อหินของการไหล (Welded tuff) พบจำนวน 2 จุดศึกษา (3 ตัวอย่าง) บริเวณน้ำตกวัดเขาชะงอกและอ่างเก็บน้ำวัดเขาคอก โดยเป็นหินตะกอนภูเขาไฟที่แสดงแถบของแก้วภูเขาไฟและริ้วผลึกแก้วภูเขาไฟ (Volcanic Glass) (ตัวอย่าง 4B ภาพที่ 4)

(5) หินตะกอนภูเขาไฟเนื้อผลึก (Crystal tuff) พบ 1 จุดศึกษา (1 ตัวอย่าง) บริเวณภูเขาตรงข้ามบันไดพญานาค โดยเป็นหินตะกอนภูเขาไฟที่จำแนกออกเป็นหินคริสตัลทัพฟ์ (Crystal tuff) มีลักษณะเนื้อหยาบประกอบด้วยผลึกแร่และเศษหินหลากหลายขนาดปะปนอยู่กับตะกอนขนาดเล็ก (ตัวอย่าง 9D ภาพที่ 4)

5.2.2 กลุ่มหินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่หรือถูกเปลี่ยนด้วยน้ำแร่ร้อน (Altered pyroclastic rock)

(1) หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำแร่ซิลิกา (Silicified pyroclastic rock) พบจำนวน 4 จุดศึกษา (6 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณสวนผลไม้ภาคใต้ตามพระราชดำริ บริเวณทางขึ้นวัดเขาชะงอก (หลังโรงครัว) บริเวณภูเขาตรงข้ามบันไดพญานาค และบริเวณป้าย CRMA

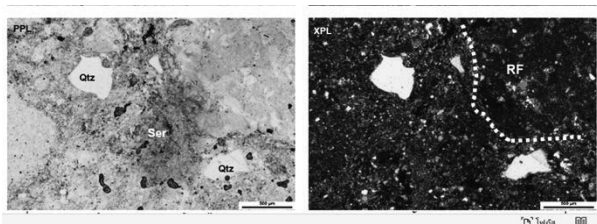
เช่น ตัวอย่างหิน 9A ที่จุดศึกษาที่ 9 เดิมเป็นหินตะกอนภูเขาไฟ (Pyroclastic rock) ลักษณะของ



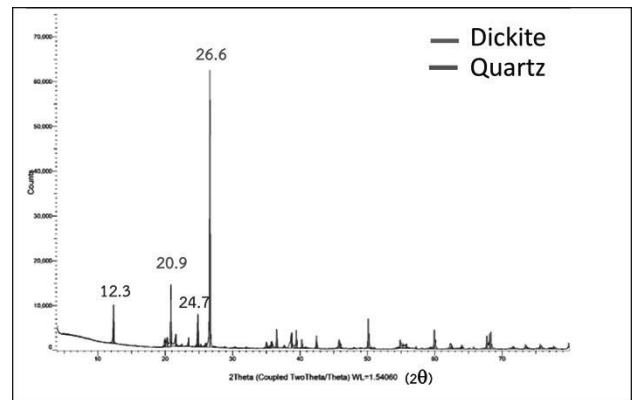
ความมีเหลี่ยมมุมมากของเศษหินและชิ้นแร่ บ่งบอกว่าเศษตะกอนเหล่านี้ทับถมอยู่กับที่และยังไม่เคยถูกพัดพาไปสะสมที่อื่นโดยน้ำหรือถูกพัดพาไปไม่ห่างจากจุดเดิม อย่างไรก็ตามก็พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของตัวอย่างนี้ถูกแทนที่ด้วยแร่ควอตซ์ขนาดเล็ก (Cryptocrystalline quartz) ซึ่งเป็นแร่ที่แทรกมาทีหลังในรูปของน้ำแร่ร้อน ทำให้หินมีเนื้อเนียนเหมือนดิคไคต์แต่มีความแข็งสูงกว่ามาก เรียกกระบวนการนี้ว่า Silicification พบแร่ไฟโรต์เกิดร่วมอยู่ประปรายด้วย ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่า XRD พบพีกของแร่ดิคไคต์เป็นส่วนน้อยที่  $2\theta$  เท่ากับ  $12.36^\circ$  และ  $24.74^\circ$  และพบพีกแร่ควอตซ์เป็นส่วนใหญ่ที่  $2\theta$  เท่ากับ  $20.9^\circ$  และ  $26.6^\circ$  [13], [17] บ่งชี้ให้เห็นว่า หินตะกอนภูเขาไฟดั้งเดิมถูกแทนที่ด้วยสารละลายน้ำแร่ร้อนที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก (ภาพที่ 5-7)



ภาพที่ 5 ตัวอย่าง 9A



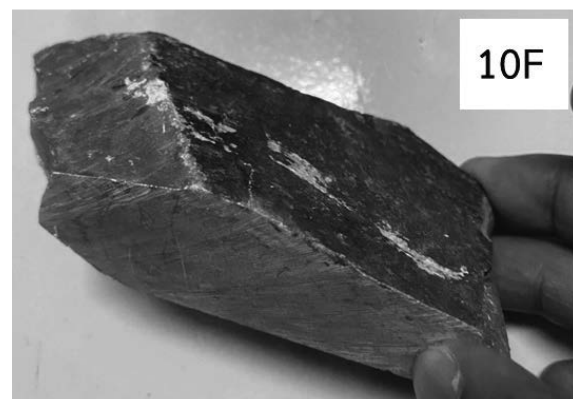
ภาพที่ 6 ตัวอย่าง 9A จากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซ์



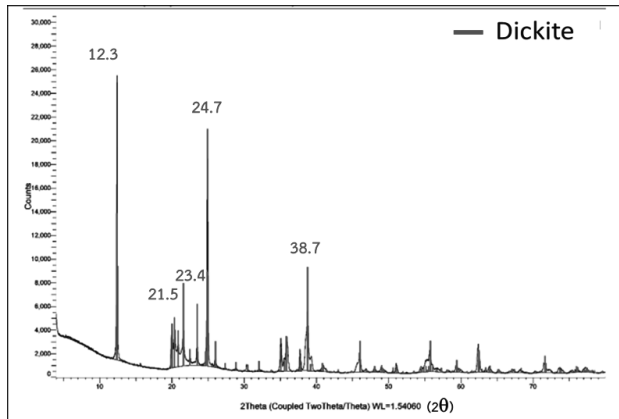
ภาพที่ 7 ค่า XRD ตัวอย่าง 9A

(2) แร่ดิคไคต์ พบจำนวน 7 จุดศึกษา (16 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณน้ำตกวัดเขาชะงัก บริเวณทางขึ้นพระพุทธรูปท่าก่อนถึงศาลฤๅษีตาไฟ บริเวณภูเขาตรงข้ามบันไดพญานาค บริเวณเหมืองแร่ดิคไคต์เก่าหน้าถ้ำพระพุทธรูป บริเวณเหมืองแร่ดิคไคต์เก่า (ช่องเขาขาด) บริเวณถ้ำเก็บน้ำประปา 2 ถึง (62.5 m.MSL) และบริเวณป่า CRMA

ตัวอย่างหินกลุ่มนี้ เช่น แร่ดิคไคต์ตัวอย่าง 10F จุดศึกษาที่ 10 บริเวณเหมืองแร่ดิคไคต์เก่าหน้าถ้ำพระพุทธรูป โดยจากผลการวิเคราะห์ค่า XRD แสดงพีกการสะท้อนรังสีเอกซ์ของแร่ดิคไคต์เป็นหลักที่  $2\theta$  เท่ากับ  $12.36^\circ$ ,  $21.55^\circ$ ,  $23.46^\circ$ ,  $24.74^\circ$  และ  $38.74^\circ$  [17] จัดเป็นแร่ดิคไคต์เกรดสูงที่หินเดิมถูกเปลี่ยนแปลงจนสมบูรณ์โดยน้ำแร่ร้อน (ภาพที่ 8 และ 9)

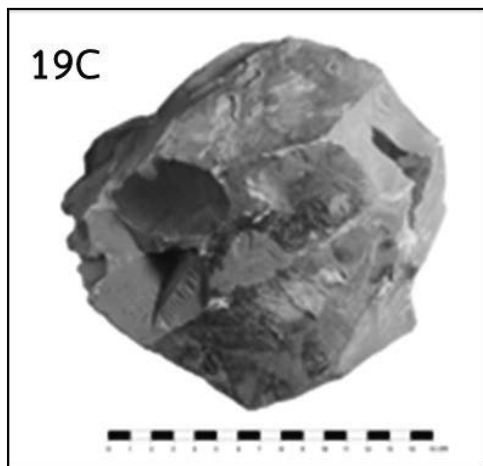


ภาพที่ 8 ตัวอย่าง 10F แร่ดิคไคต์

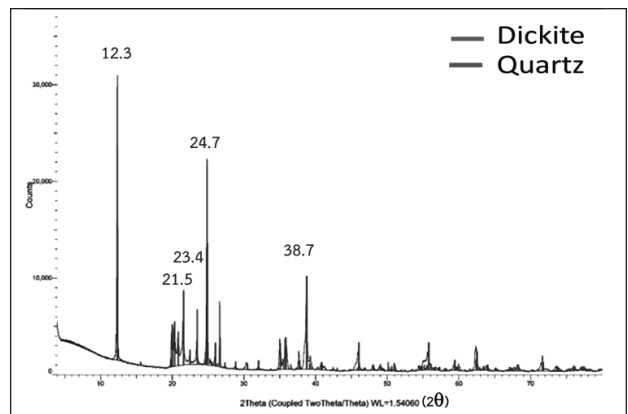


ภาพที่ 9 ค่า XRD ของตัวอย่าง 10F

ตัวอย่างแร่ดิคไคต์ 19C จุดศึกษาที่ 19 บริเวณป่าย CRMA ตัวอย่างนี้เป็นแร่ดิคไคต์เกรดสูงที่หินเดิมถูกเปลี่ยนแปลงโดยน้ำแร่ร้อน โดยจากผลการวิเคราะห์ค่า XRD แสดงพีคของแร่ดิคไคต์เป็นส่วนใหญ่ที่  $2\theta$  เท่ากับ  $12.36^\circ$ ,  $21.55^\circ$ ,  $23.46^\circ$ ,  $24.74^\circ$  และ  $38.74^\circ$  [17] และมีปริมาณควอตซ์ปนด้วยเล็กน้อย (ภาพที่ 10 และ 11)



ภาพที่ 10 ตัวอย่าง 19C แร่ดิคไคต์

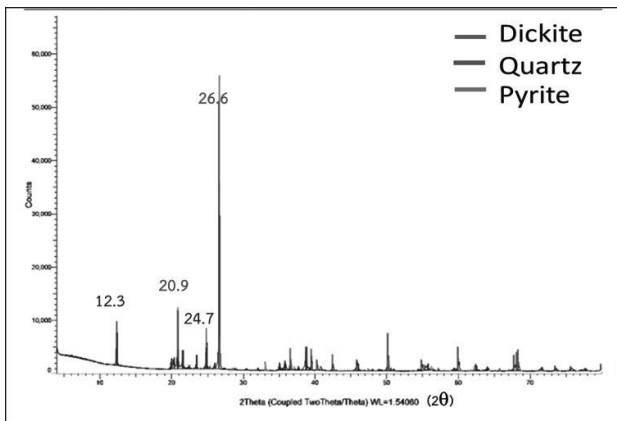


ภาพที่ 11 ค่า XRD ของตัวอย่าง 19C

(3) หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกเปลี่ยนด้วยน้ำแร่ร้อน (Altered pyroclastic rock) พบจำนวน 8 จุดศึกษา (12 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณทางเข้าศาลกฤษีตาไฟ บริเวณศาลกฤษีตาไฟ บริเวณเหมืองแร่ดิคไคต์เก่าหน้าถ้ำพระพุทธรูป บริเวณเหมืองแร่ดิคไคต์เก่า (ช่องเขาขาด) บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก (1) และ (3), ยอดเขาชะงอก และศาลเจ้าพ่อขุนด่าน ตัวอย่างหินกลุ่มนี้ เดิมเป็นหินตะกอนภูเขาไฟแต่ถูกเปลี่ยนด้วยน้ำแร่ร้อน (ภาพที่ 12) โดยผลการวิเคราะห์ค่า XRD ของตัวอย่าง 11A แสดงพีคการสะท้อนรังสีเอกซ์ของแร่ดิคไคต์บางส่วนที่  $2\theta$  เท่ากับ  $12.36^\circ$  และ  $24.74^\circ$  และพบพีคแร่ควอตซ์ที่  $2\theta$  เท่ากับ  $20.9^\circ$  และ  $26.6^\circ$  [13], [17] และพบแร่ไฟโรต์รวมด้วยเล็กน้อย (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 12 ตัวอย่าง 11A

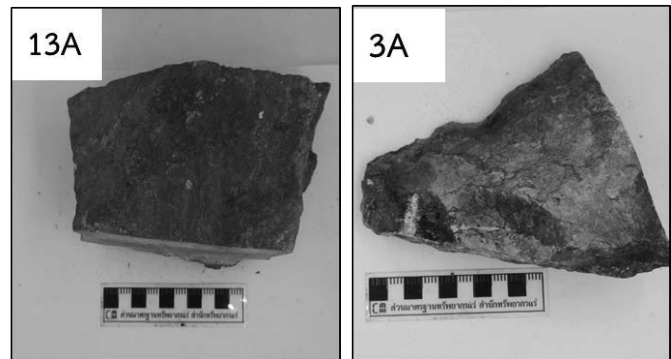


ภาพที่ 13 ค่า XRD ของตัวอย่าง 11A

### 5.2.3 กลุ่มหินอัคนีพุ (Extrusive rock)

(1) หินไรโอไลต์ พบจำนวน 3 จุดศึกษา (3 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณหินหลังภาพเขียนพระพุทธราย วัดเขาชะงอก ศาลเจ้าพ่อขุนด่าน และอ่างเก็บน้ำวัดเขาคอก โดยหินไรโอไลต์ที่พบมีลักษณะเนื้อหินละเอียด มีสีจาง เกิดจากลาวาที่มีความหนืดมากขึ้นมาสู่ผิวโลกและเย็นตัวบนผิวโลกอย่างรวดเร็ว พบผลึกแร่เฟลด์สปาร์และควอตซ์จำนวนมาก มีผลึกที่สมบูรณ์ (ตัวอย่าง 3A ภาพที่ 14)

(2) หินแอสเบอร์ (Jasper) พบจำนวน 1 จุดศึกษา (1 ตัวอย่าง) ได้แก่ บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก (2) โดยหินแอสเบอร์ที่พบเป็นกลุ่มของหินเถ้าภูเขาไฟขนาดเล็ก (Volcanic ash) ที่ถูกทำให้แกร่งด้วยสารละลายน้ำร้อนที่อุดมไปด้วยซิลิกาและธาตุเหล็ก ทำให้หินตัวนี้แกร่งแตกคม และมีสีแดง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะสังเกตเห็นจุดสีดำของแร่ฮีมาไทต์ขนาดเล็กกระจายทั่วทั้งตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 13A ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 หินอัคนีพุ

## 5.3 เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาบริเวณเขาชะงอก

ผลจากการใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการสร้างแบบจำลองภูมิประเทศและการบันทึกพิกัดตำแหน่งเราสามารถแสดงแผนที่ท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาในรูปแบบ 3 มิติ ประกอบด้วยจุดศึกษา จำนวน 24 จุด มีระยะทาง 10.13 กิโลเมตร แสดงในภาพที่ 15 โดยชื่อหินและแร่และจำนวนที่พบในแต่ละจุดศึกษาแสดงในตารางที่ 2 ในส่วนของลำดับจุดศึกษา ชื่อจุดศึกษา พิกัด และจำนวนหินและแร่ที่พบ มีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 จุดศึกษาที่ 1 สวนผลไม้ภาคใต้ตามพระราชดำริของ พล.อ.หญิง สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี พิกัด UTM 732860, 1582119 พบ 3 ตัวอย่าง

5.3.2 จุดศึกษาที่ 2 บริเวณทางขึ้นวัดเขาชะงอก (หลังโรงครัว) พิกัด UTM 732427, 1582357 พบ 2 ตัวอย่าง

5.3.3 จุดศึกษาที่ 3 บริเวณหินหลังภาพเขียนพระพุทธราย วัดเขาชะงอก พิกัด UTM 732378, 1582275 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.4 จุดศึกษาที่ 4 บริเวณน้ำตกวัดเขาชะงอก  
พิกัด UTM 732341, 1582239 พบ 3 ตัวอย่าง

5.3.5 จุดศึกษาที่ 5 บริเวณทางขึ้นพระพุทธรูป  
ก่อนถึงศาลาฤๅษีตาไฟ พิกัด UTM 732230, 1582402 พบ  
2 ตัวอย่าง

5.3.6 จุดศึกษาที่ 6 บริเวณทางเข้าศาลาฤๅษี  
ตาไฟ พิกัด UTM 732274, 1582352 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.7 จุดศึกษาที่ 7 บริเวณศาลาฤๅษีตาไฟ  
พิกัด UTM 732298, 1582382 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.8 จุดศึกษาที่ 8 บริเวณฝายพิกัด UTM  
732235, 1582209 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.9 จุดศึกษาที่ 9 บริเวณภูเขาตรงข้ามบันได  
พญานาค พิกัด UTM 732270, 1581979 พบ 4 ตัวอย่าง

5.3.10 จุดศึกษาที่ 10 บริเวณเหมืองแร่ดิกโคค  
เก่าหน้าถ้ำพระพุทธรูป พิกัด UTM 732268, 1581932  
พบ 7 ตัวอย่าง

5.3.11 จุดศึกษาที่ 11 บริเวณเหมืองแร่ดิกโคค  
เก่า (ช่องเขาขาด) พิกัด UTM 732324, 1581878 พบ  
3 ตัวอย่าง

5.3.12 จุดศึกษาที่ 12 บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก  
(1) พิกัด UTM 732511, 1581730 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.13 จุดศึกษาที่ 13 บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก  
(2) พิกัด UTM 732511, 1581727 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.14 จุดศึกษาที่ 14 บริเวณทางขึ้นเขา  
ชะงอก (3) พิกัด UTM 732541, 1581650 พบ 2 ตัวอย่าง

5.3.15 จุดศึกษาที่ 15 บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก  
(4) พิกัด UTM 732570 1581564 พบ 3 ตัวอย่าง

5.3.16 จุดศึกษาที่ 16 บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก  
(5) พิกัด UTM 732579, 1581455 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.17 จุดศึกษาที่ 17 บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก  
(6) พิกัด UTM 732701, 1581275 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.18 จุดศึกษาที่ 18 บริเวณทางขึ้นเขาชะงอก  
(7) พิกัด UTM 732731, 1581318 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.19 จุดศึกษาที่ 19 บริเวณป่า CRMA ที่  
ยอดเขา พิกัด UTM 732752, 1581162 พบ 4 ตัวอย่าง

5.3.20 จุดศึกษาที่ 20 ยอดเขาชะงอก พิกัด  
UTM 732737, 1581147 พบ 3 ตัวอย่าง

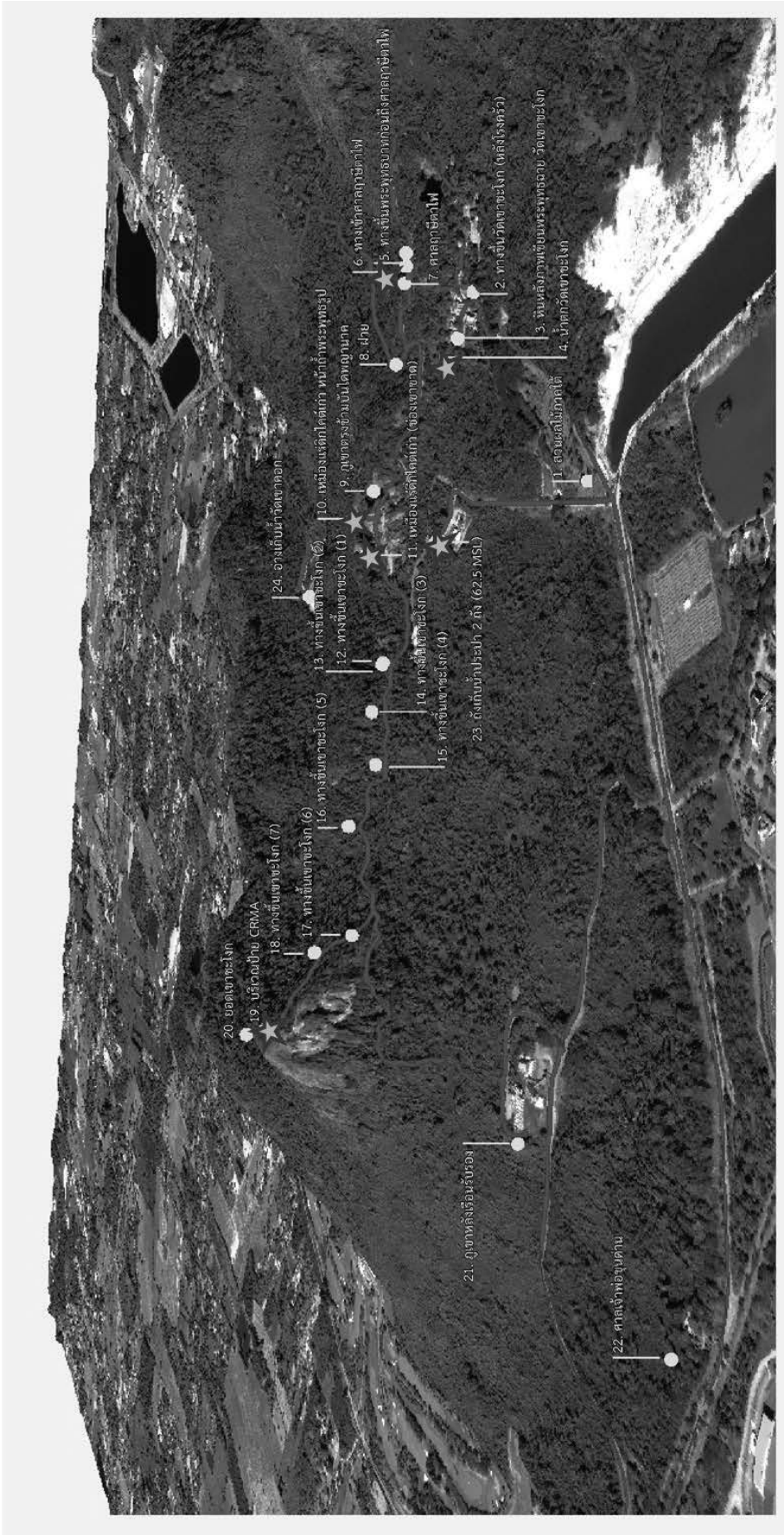
5.3.21 จุดศึกษาที่ 21 ภูเขาหลังเรือนรับรอง  
พิกัด UTM 733143, 1581148 พบ 1 ตัวอย่าง

5.3.22 จุดศึกษาที่ 22 ศาลเจ้าพ่อขุนด่าน พิกัด  
UTM 733543, 1581085 พบ 3 ตัวอย่าง

5.3.23 จุดศึกษาที่ 23 ถังเก็บน้ำประปา 2 ถัง  
(62.5 m.MSL.) พิกัด UTM 732468, 1581935 พบ  
2 ตัวอย่าง

5.3.24 จุดศึกษาที่ 24 อ่างเก็บน้ำวัดเขาคอก  
พิกัด UTM 731705, 1581653 พบ 6 ตัวอย่าง





สัญลักษณ์: ★ จุดที่พบแรดิกโคต ○ จุดศึกษาที่พบแร่อื่นๆ — เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา

ภาพที่ 15 เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาวัดเขาสอน



ตารางที่ 2 หินและแร่ที่พบในเส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาบริเวณเขาชะงอก

| จุดศึกษา<br>ที่ | จำนวนหินและแร่ที่พบบริเวณเขาชะงอก          |          |             |             |              |                                                   |                                 |                              |          |        |
|-----------------|--------------------------------------------|----------|-------------|-------------|--------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------|--------|
|                 | 1. หินตะกอนภูเขาไฟที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง |          |             |             |              | 2. หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่หรือเปลี่ยนแปลงสภาพ |                                 |                              |          |        |
|                 | Pyroclastic<br>rocks                       | Ash tuff | Lithic tuff | Welded tuff | Crystal tuff | Dickite                                           | Silicified<br>pyroclastic rocks | Altered<br>pyroclastic rocks | Rhyolite | Jasper |
| 1               | -                                          | -        | -           | -           | -            | -                                                 | 2                               | -                            | -        | -      |
| 2               | -                                          | -        | -           | -           | -            | -                                                 | 2                               | -                            | -        | -      |
| 3               | -                                          | -        | -           | -           | -            | -                                                 | -                               | -                            | 1        | -      |
| 4               | -                                          | -        | 1           | 1           | -            | 1                                                 | -                               | -                            | -        | -      |
| 5               | -                                          | 1        | -           | -           | -            | 1                                                 | -                               | -                            | -        | -      |
| 6               | -                                          | -        | -           | -           | -            | -                                                 | -                               | 1                            | -        | -      |
| 7               | -                                          | -        | -           | -           | -            | -                                                 | -                               | 1                            | -        | -      |
| 8               | -                                          | 1        | -           | -           | -            | -                                                 | -                               | -                            | -        | -      |
| 9               | -                                          | -        | -           | -           | 1            | 2                                                 | 1                               | -                            | -        | -      |
| 10              | -                                          | -        | -           | -           | -            | 6                                                 | -                               | 1                            | -        | -      |
| 11              | -                                          | -        | -           | -           | -            | 1                                                 | -                               | 2                            | -        | -      |
| 12              | -                                          | -        | -           | -           | -            | -                                                 | -                               | 1                            | -        | -      |
| 13              | -                                          | -        | -           | -           | -            | -                                                 | -                               | -                            | -        | 1      |
| 14              | -                                          | -        | -           | -           | -            | -                                                 | -                               | 2                            | -        | -      |
| 15              | -                                          | 1        | 2           | -           | -            | -                                                 | -                               | -                            | -        | -      |
| 16              | -                                          | 1        | -           | -           | -            | -                                                 | -                               | -                            | -        | -      |
| 17              | -                                          | -        | 1           | -           | -            | -                                                 | -                               | -                            | -        | -      |
| 18              | -                                          | 1        | -           | -           | -            | -                                                 | -                               | -                            | -        | -      |
| 19              | -                                          | -        | -           | -           | -            | 4                                                 | 1                               | -                            | -        | -      |
| 20              | -                                          | -        | -           | -           | -            | -                                                 | -                               | 3                            | -        | -      |
| 21              | -                                          | -        | 1           | -           | -            | -                                                 | -                               | -                            | -        | -      |
| 22              | -                                          | 1        | -           | -           | -            | -                                                 | -                               | 1                            | 1        | -      |
| 23              | 1                                          | -        | -           | -           | -            | 1                                                 | -                               | -                            | -        | -      |
| 24              | -                                          | 3        | -           | 2           | -            | -                                                 | -                               | -                            | 1        | -      |

## 6. สรุปและอภิปรายผล

6.1 ธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษาบริเวณเขาชะงอก มีดังนี้ เขาชะงอกมีความสูงอยู่ในช่วง 2-285 เมตร มีระดับความลาดชันอยู่ในช่วง 2-218% จำแนกภูมิสัณฐานได้ 8 ประเภท พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเนินเขา ร่องลงมา ได้แก่ ลูกคลื่นลอนชัน ลูกคลื่นลอนลาดภูเขาสูงชัน ภูเขาสูงชันมาก ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย พื้นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ และภูเขาสูงชันมากที่สุด ตามลำดับ เขาชะงอกเป็นหินภูเขาไฟสีอ่อนจำพวกหินตะกอนภูเขาไฟและหินไรโอไลต์แทรกสลับกันไปมา ลักษณะเนื้อหินมีขนาดละเอียดและหยาบปะปนกัน พบสายแร่ดิกโคต์ปรากฏให้เห็นเป็นบางจุดและพบหินตะกอนภูเขาไฟเดิมถูกแทนที่จนมีเนื้อเนียนเหมือนแร่ดิกโคต์ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ 1) น้ำแร่ร้อนที่มีความดันสูงแทรกขึ้นมาตามรอยแตกและเปลี่ยนหินตะกอนภูเขาไฟเดิมตามแนวรอยแตกนั้นซึ่งมีกลุ่มแร่เฟลด์สปาร์จำนวนมากให้เป็นแร่ดิกโคต์ และ 2) น้ำแร่ร้อนที่มีสารละลายซิลิกาได้ซึมเข้าไปในหินตะกอนภูเขาไฟและตกผลึกปะปนกับแร่เดิม ทำให้หินตะกอนภูเขาไฟที่อยู่ในแนวรอยแตกมีเนื้อเนียนเหมือนดิกโคต์แต่มีความแข็งมากกว่า กระบวนการนี้เรียกว่า Silicification ส่วนหินที่ถูกแทนที่นี้เรียกว่า หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำแร่ซิลิกา เมื่อเวลาผ่านไปหลายร้อยล้านปี หินตะกอนภูเขาไฟบริเวณเขาชะงอกก็เกิดการผุพังและถูกพัดพาออกไป ความสูงจึงค่อย ๆ ลดระดับลง ส่วนบริเวณยอดเขาชะงอกในจุดที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำแร่ร้อนซึมผ่านนั้น มีความทนทานต่อการผุพังมากกว่าพื้นที่โดยรอบที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากน้ำแร่ร้อน ทำให้คงเหลือเป็นภูเขาที่มีลักษณะสูงตั้งแปลกตา ที่เรียกว่า “เขาชะงอก”

6.2 แร่ที่พบบริเวณเขาชะงอก มีจำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่ 1. กลุ่มหินตะกอนภูเขาไฟที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ หินตะกอนภูเขาไฟ หินเถ้าภูเขาไฟ หินตะกอนภูเขาไฟที่มีเศษหินเป็นองค์ประกอบหลัก หินตะกอนภูเขาไฟที่แสดงเนื้อหินของการไหล และหินตะกอนภูเขาไฟเนื้อลึกลับ 2. กลุ่มหินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่หรือถูกเปลี่ยนสภาพ

ภายหลัง ได้แก่ แร่ดิกโคต์ หินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำแร่ซิลิกา และหินตะกอนภูเขาไฟที่ถูกเปลี่ยนด้วยน้ำร้อน และ 3. กลุ่มหินอัคนีพุ ได้แก่ หินไรโอไลต์และหินแจสเปอร์

ในส่วน ของ แร่ดิกโคต์ที่บริเวณเขาชะงอก พบบริเวณ 7 จุดศึกษา จำนวน 16 ตัวอย่าง ได้แก่ 1. บริเวณเหมืองแร่เก่าหน้าถ้ำพระพุทธรูป 2. บริเวณป้าย CRMA ที่ยอดเขา 3. บริเวณตรงข้ามบันไดพญานาค 4. น้ำตกวัดเขาชะงอก 5. บริเวณเหมืองแร่เก่าช่องเขาขาด 6. บริเวณทางขึ้นเขาก่อนถึงศาลาฤๅษีตาไฟ และ 7. บริเวณถ้ำเก็บน้ำประปาที่ความสูง 62.5 m.MSL โดยพื้นที่ที่พบแร่ดิกโคต์เกรดสูงคือ บริเวณเหมืองแร่เก่าหน้าถ้ำพระพุทธรูป และบริเวณป้าย CRMA ที่ยอดเขา

ตัวอย่างแร่ดิกโคต์ที่พบบริเวณเขาชะงอก เป็นแร่ดิกโคต์ที่มีการเกิดแบบแทนที่ในหินตะกอนภูเขาไฟและหินเถ้าภูเขาไฟ ซึ่งสอดคล้องกับธงชัย พึ่งรัมย์ [4] สุกิจ อดิพันธ์ [13] และสุนทรี ปัทมสุต และคณะ [14] ซึ่งโดยทั้งนี้จากผลการศึกษายังไม่พบแร่ดิกโคต์บริสุทธิ์ที่เกิดแบบบรรจตามรอยแตกในหินภูเขาไฟ ซึ่งอาจเป็นเพราะในการทำเหมืองในช่วงปี พ.ศ. 2514-2532 ได้มีการตัดหน้าหินที่มีสายแร่ดิกโคต์บริสุทธิ์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าออกไปใช้ประโยชน์จำนวนมาก เนื่องจากมีราคาสูง แต่ทั้งนี้คณะผู้วิจัยคาดว่าจะยังมีแร่ดิกโคต์บริสุทธิ์เหลืออยู่ในบริเวณยอดเขาบริเวณป้าย CRMA และบริเวณเหมืองแร่เก่าที่เป็นถ้ำพระพุทธรูป ในการศึกษาต่อไปควรมีการวิเคราะห์แร่ดิกโคต์ด้วยเครื่องมือเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence: XRF) ซึ่งสามารถบ่งชี้ชนิดและปริมาณของธาตุ จากองค์ประกอบทางเคมีได้ ทำให้ทราบถึงความบริสุทธิ์ของแร่ดิกโคต์ในแต่ละตัวอย่างจากปริมาณของอะลูมินา ( $Al_2O_3$ ) และซิลิกา ( $SiO_2$ ) ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้สามารถนำไปใช้ในการแบ่งเกรดของแร่ดิกโคต์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

นอกจากนี้ แร่อื่น ๆ ที่พบ ได้แก่ แร่ควอตซ์ แร่เฟลด์สปาร์ แร่เชไรไซต์ แร่เซอร์คอน แร่ดิน แร่ฮีมาไทต์

แร่ไฟไรต์ แร่อะตุลาเรีย และแร่เอพิโดต

6.3 เส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาบริเวณเขาชะง็อก มีจำนวน 1 เส้นทาง 24 จุดศึกษา มีระยะทาง 10.13 กิโลเมตร ซึ่งเส้นทางนี้เป็นเส้นทางท่องเที่ยวที่อยู่ในกิจกรรมการเดินป่าเชิงอนุรักษ์ของ รร.จปร. อยู่แล้ว สำหรับข้อเสนอแนะสำหรับ รร.จปร. เพื่อการท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาได้แก่ 1. บรรจุกิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาในโปรแกรมการท่องเที่ยวของ รร.จปร. 2. ติดป้ายความรู้ทางธรณีวิทยาและแร่ที่สำคัญบริเวณจุดศึกษา 24 จุด โดยมี QR code ให้สแกนรายละเอียดเพิ่มเติม 3. ประชาสัมพันธ์กิจกรรมการท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยาให้นักท่องเที่ยวทราบผ่าน website ของสำนักงานการท่องเที่ยว รร.จปร. หรือแผ่นพับ และ 4. จัดวิทยากรบรรยายความรู้ทางธรณีวิทยาในกรณีที่นักท่องเที่ยวมาเป็นคณะใหญ่

## 7. บรรณานุกรม

- (1) กรมทรัพยากรธรณี, การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดนครนายก. กรุงเทพฯ: สำนักธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, (2557).
- (2) ธงชัย พิงค์รศมี, "ธรณีวิทยาแหล่งแร่ดีบุกโคตและเคอิลินต์ในหินภูเขาไฟไรโอไลติกที่จังหวัดสระบุรีและจังหวัดนครนายก", ใน รายงานวิชาการ เล่มที่ 1/2555 ชุดแร่วิทยา (Mineralogy series), สงขลา: ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, (2555).
- (3) อุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. "จำแนกแร่ดีบุกโคตและแร่ไฟโรไฟไลต์ตามหลักวิชาการป้องกันความสับสนในการทำเหมือง." กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. <https://www.dpim.go.th/>. (สืบค้นเมื่อ 30 ธ.ค. 2558).
- (4) จุมพล คีนดัก, "ทรัพยากรมีค่า: แหล่งทรัพยากรแร่และหินอุตสาหกรรม." ใน ทรัพยากรในดินสระบุรี, กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี, หน้า 23-29, (2531).
- (5) C.O. Choo, and Soo J.K., "Dickite and other kaolin polymorphs from an Al-rich clay deposit formed in volcanic tuff, southeastern Korea." Clays and Clay Minerals, vol. 52, no.6, pp. 749-59, (2004).

- (6) S. Saminpanya, D. Dhamakrongart, and N. Susawee, "Dickite: a gem material for carving from Thailand." The Journal of Gemmology, vol. 31, no. 5-8, pp. 211-225, (2009).
- (7) R. Dowling and D. Newsome, Handbook of Geotourism. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, (2018).
- (8) R. Ólafsdóttir, "Geotourism." Geosciences, vol. 9, no. 1, pp. 48-58, (2019).
- (9) อภิสิทธิ์ เอี่ยมหนอง, ธรณีฐานวิทยา, กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช, (2530).
- (10) M. Panizza, Environmental Geomorphology, Amsterdam: Elsevier, (1996).
- (11) O.M. McLaughlin, R.S. Haszeldine, A.E. Fallick, and G. Rogers, "The case of the missing clay, alluminium loss and secondary porosity, South Brae oil-field, North Sea." Clay Minerals, vol. 29, pp. 651-663, (1994).
- (12) R.J. Schroeder. and J.B. Hayes, "Dickite and kaolinite in Pennsylvanian limestone of south-eastern Kansas." Clays and Clay Minerals, vol. 16, pp. 41-49, (1968).
- (13) สุกิจ อติพันธ์, "การตรวจแร่ดีบุกโคต จ.สระบุรีและนครนายกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)." ใน รายงานวิชาการ เล่มที่ 1/2555 ชุดแร่วิทยา (Mineralogy series), สงขลา: ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, (2555).
- (14) สุนทรี ปัทมสุต, ธงชัย พิงค์รศมี, เจษ จิระเชษฐา และจุมพล คีนดัก. "หินสบูที่เขาชะง็อกจังหวัดนครนายก." ข่าวสารการธรณี, ปีที่ 34, ฉบับที่ 7, หน้า 21-29, (2532).
- (15) สุเพชร จิระจกุล, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการใช้โปรแกรม ARCGIS DESKTOP เวอร์ชัน 9.1, กรุงเทพฯ: เอส อาร์ พรินติ้งแมสโปรดักส์, (2549).
- (16) สุระ พัฒนเกียรติ, ระบบภูมิสารสนเทศในทางนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ยูนิเท็ดโปรดักชั่น, (2546).
- (17) S.W. Bailey, "Polymorphism of the kaolin minerals", American Mineralogist, vol. 48, 1196-209, (1963).
- (18) กรมพัฒนาที่ดิน, คู่มือการเขียนหน่วยแผนที่ดิน, กรุงเทพฯ: สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน, (2547).

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไป  
ของนักเรียนนายร้อย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
Factors Influencing Satisfaction and Academic Achievement  
in General Chemistry Laboratory Course for Cadets,  
Chulachomklao Royal Military Academy

พันโทหญิง ดร.ปวีณา วัตบัว\*

Lieutenant Colonel Dr. Paweena Wadbua\*

ร้อยโทหญิง วิลาสินี ปานนิล

Lieutenant Wilasinee Pannil

กองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า นครนายก 26001 ประเทศไทย  
Department of Chemistry, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy,  
Nakhon Nayok 26001, Thailand

\*Corresponding Author. E-mail: mwadbua@gmail.com

(Received: April 18, 2024, Revised: May 10, 2024, Accepted: May 15, 2024)

**บทคัดย่อ:** สถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ผลักดันให้สถานศึกษาหลายแห่งรวมถึงกองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ต้องปรับรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางการศึกษาเพื่อตอบสนองต่อวิกฤตการณ์ดังกล่าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนนายร้อยต่อกระบวนการจัดการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปที่ปรับปรุงขึ้น และศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากประชากรคือ นักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 285 นาย และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนนายร้อยมีความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปโดยรวมอยู่ในระดับมาก ( $\mu = 4.32$ ) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยกับปัจจัยทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านผู้เรียน ด้านผู้สอน ด้านสภาพแวดล้อม และด้านการจัดการเรียนรู้ พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูง ( $p = 0.777$   $0.799$   $0.851$  และ  $0.899$  ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยปัจจัยทั้ง 4 ด้าน สามารถร่วมทำนายความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยได้ร้อยละ 91.8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยกับปัจจัยทั้ง 4 ด้าน พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลาง ( $p = 0.517$   $0.569$   $0.602$  และ  $0.600$  ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และปัจจัยทั้ง 4 ด้าน สามารถร่วมทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยได้ร้อยละ 41.2 อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบว่า ความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับต่ำกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย ( $p = 0.329$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

**คำสำคัญ:** ความพึงพอใจ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไป นักเรียนนายร้อย

**Abstract:** The COVID-19 pandemic has forced many institutions, including the Department of Chemistry, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy, to adopt innovative and technology-enabled educational approaches in response to the unprecedented situation. This research investigates the satisfaction levels of cadets with the improved teaching and learning process implemented in the general chemistry laboratory course. Additionally, it seeks to identify and analyze the factors that influence satisfaction and academic achievement in a general chemistry laboratory course for cadets. A questionnaire was used to collect data from a population of 285 first-year cadets in the 2022 academic year. Statistical analysis of the data was performed using frequency analysis, percentages, mean, standard deviation, Pearson's correlation coefficient, and multiple regression analysis.

The research findings revealed that the cadets exhibited a high level of satisfaction with the redesigned general chemistry laboratory teaching and learning process ( $\mu = 4.32$ ). The interrelationship between the cadet's satisfaction in a general chemistry laboratory course and the four factors including learner, instructor, environment, and learning management was investigated. The results were found high positive correlations ( $p = 0.777, 0.799, 0.851, \text{ and } 0.899$ ),  $p < 0.01$ . The four factors collectively accounted for 91.8% of the variance in the cadets' satisfaction with the general chemistry laboratory course,  $p < 0.05$ . Moreover, the relationship between the academic achievement of cadets in a general chemistry laboratory course and the four factors was also analyzed. The cadets' academic achievement in the general chemistry laboratory course exhibited moderately positively correlated with the four factors ( $p = 0.517, 0.569, 0.602, \text{ and } 0.600$ ),  $p < 0.01$ . The four factors collectively accounted for 41.2% of the variance in the cadets' academic achievement in the general chemistry laboratory course,  $p < 0.05$ . Additionally, cadet satisfaction with the general chemistry laboratory course exhibited a low positive correlation with the cadet's academic achievement in the general chemistry laboratory course ( $p = 0.329$ ),  $p < 0.01$ .

**Keywords:** Satisfaction, Academic achievement, General chemistry laboratory course, Cadet



## 1. บทนำ

เคมีเป็นวิทยาศาสตร์ธรรมชาติสาขาหนึ่งซึ่งเกี่ยวข้องกับวัตถุและสารต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ และยัง เป็นวิชาพื้นฐานที่สำคัญในการต่อยอดความรู้ไปสู่วิชาชีพต่าง ๆ เช่น ทหาร แพทย์ เกษตรกร และวิศวกร เป็นต้น [1], [2] ดังนั้นวิชาเคมีจึงถูกบรรจุเป็นรายวิชาในหลักสูตรระดับปริญญาตรีของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ รวมถึงหลักสูตรของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า การจัดการเรียนการสอนในวิชาเคมีประกอบด้วยสองส่วนคือ ทฤษฎีและปฏิบัติการ กิจกรรมการเรียนรู้ในส่วนของปฏิบัติการเคมีสามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีในส่วนของทฤษฎีได้ เนื่องจากผู้เรียนได้เรียนรู้เนื้อหาผ่านกิจกรรมการทดลองด้วยตัวเองในบทปฏิบัติการเคมีต่าง ๆ ทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้รวดเร็วและเข้าใจเนื้อหาทางทฤษฎีได้อย่างชัดเจนและถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้การเรียนปฏิบัติการเคมียังเสริมสร้างและพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของผู้เรียน ฝึกนิสัยการทำงานด้วยความรอบคอบ รู้จักคิด ตัดสินปัญหา และแก้ปัญหาในสถานการณ์จริง ทักษะเหล่านี้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง [3], [4] นอกจากนี้ การส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านบทปฏิบัติการเคมียังสามารถส่งเสริมเจตคติที่ดีของผู้เรียนต่อการเรียนวิชาเคมีในภาพรวมอีกด้วย [5]

สถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) ส่งผลให้สถานศึกษาทั่วประเทศต้องหยุดการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในชั้นเรียนปกติเพื่อป้องกันและลดช่องทางการแพร่ระบาดของโรค แต่การหยุดเรียนเป็นระยะเวลานานส่งผลกระทบเชิงลบต่อผู้เรียนเนื่องจากการเสียโอกาสในการเรียนรู้และอาจผลักดันให้ผู้เรียนหลุดจากระบบการศึกษาได้ เพื่อลดผลกระทบดังกล่าวสถานศึกษาจึงดำเนินการจัดการเรียนการสอนแบบผสมผสานผ่านระบบออนไลน์หรือจัดการเรียนการสอนแบบสลับชั้นมาเรียนแทนการสอนในชั้นเรียนปกติ [6] นอกจากนี้ผลกระทบจากวิกฤตการณ์การระบาด

ของโรคโควิด-19 ยังผลักดันให้สถานศึกษาปรับรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีด้านการศึกษาเข้ามาช่วยส่งเสริมทักษะที่จำเป็นสำหรับผู้เรียน เช่น ทักษะการปรับตัว ทักษะการแก้ไขปัญหาในสถานการณ์เฉพาะ ทักษะด้านการสร้างสรรค์นวัตกรรม ทักษะความเข้าใจในความแตกต่างทางวัฒนธรรม ทักษะการจัดการตนเอง ทักษะการเรียนรู้ ทักษะด้านความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ ทักษะด้านการสื่อสาร และทักษะด้านดิจิทัล เป็นต้น ซึ่งทักษะเหล่านี้นอกจากจะช่วยพัฒนาผู้เรียนแล้วยังเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อความสำเร็จในการพัฒนาประเทศอีกด้วย [7], [8]

ดังนั้นเพื่อตอบสนองต่อวิกฤตการณ์การระบาดของโรคโควิด-19 กองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ซึ่งเป็นกองวิชาที่รับผิดชอบการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปให้แก่แก่นักเรียนนายร้อยได้ทำการปรับกระบวนการจัดการเรียนรู้ในวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปให้สอดคล้องกับสถานการณ์การแพร่ระบาดและเหมาะสมต่อชีวิตวิถีใหม่ (New normal) โดยดำเนินการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดวิเคราะห์ตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า ทักษะด้านความร่วมมือและการทำงานเป็นทีม ทักษะด้านการสื่อสาร และทักษะด้านดิจิทัล รวมถึงจัดทำนวัตกรรมทางการศึกษาที่สามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจและมองเห็นภาพได้ชัดเจนขึ้น เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจเนื้อหาทางทฤษฎีในวิชาเคมีได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง นอกจากนี้ยังจัดให้มีกระบวนการเรียนรู้ผ่านระบบ E-learning เพื่อสนับสนุนการเรียนนอกชั้นเรียนและเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนนายร้อยเกิดการเรียนรู้และสามารถแสวงหาความรู้ได้ตลอดเวลาจากแหล่งการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์

จากประเด็นและความสำคัญของการปรับกระบวนการจัดการเรียนรู้ในวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนนายร้อยต่อกระบวนการจัดการเรียนรู้วิชาปฏิบัติการเคมี

ทั่วไปที่ปรับปรุงขึ้น นอกจากนี้ยังศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการจัดการเรียนรู้และกลยุทธ์การสอนในวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

2.3 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

## 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการเรียนรู้ เป็นกระบวนการที่ผู้สอนนำมาใช้ในการดำเนินงานเพื่อช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ เกิดทักษะ เกิดการพัฒนาตนเองอย่างเต็มศักยภาพ และสามารถนำความรู้ ทักษะ และประสบการณ์ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน [9], [10] กระบวนการจัดการเรียนรู้ของผู้สอนเริ่มตั้งแต่ การวางแผนอย่างเป็นระบบ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ผ่านการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนและผู้สอน และสิ้นสุดที่การประเมินผลการเรียนรู้ [10] การเปลี่ยนแปลงและความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้ผู้สอนและสถานศึกษาต้องพัฒนาและปรับปรุงแบบในการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความสามารถและทักษะที่จำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตท่ามกลางกระแสการเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์โลกที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา จึงถือได้ว่ากลวิธีในการจัดการเรียนรู้เป็นหัวใจสำคัญในการเตรียมความพร้อมและพัฒนาศักยภาพของผู้เรียน [9], [11]

ภายหลังวิกฤตการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 การจัดการเรียนรู้ได้มุ่งเน้นไปที่การส่งเสริมให้ผู้เรียนเป็นผู้ที่มีความสามารถในการใช้นวัตกรรม เป็นนวัตกรรมที่สามารถสร้างความรู้ได้ด้วยตนเอง และสามารถนำความรู้ นั้นไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงได้ ดังนั้นผู้สอนจึงต้องปรับกระบวนการจัดการเรียนรู้เพื่อช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะต่าง ๆ เช่น ทักษะในการคัดกรองข้อมูล ทักษะในการแสวงหาความรู้ ทักษะการสร้างองค์ความรู้ ทักษะการปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและการทำงานเป็นทีมร่วมกับผู้อื่น ทักษะในการวางแผน ทักษะในการปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ และทักษะในการแก้ไขปัญหา เป็นต้น โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ นวัตกรรม และเทคโนโลยีทางการศึกษาที่มีความหลากหลายเพื่อตอบสนองต่อความต้องการด้านการเรียนรู้ที่หลากหลายของผู้เรียน [8], [12]

สุกัลยา ปริญญกุล [13] ทำการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์ องค์ประกอบการประเมินประสิทธิภาพการเรียนการสอนในระดับอุดมศึกษา ผลการวิจัยพบว่า องค์ประกอบของการประเมินประสิทธิภาพการเรียนการสอนระดับอุดมศึกษา ประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 10 ด้าน คือ บรรยายภาคในชั้นเรียน คุณธรรมจริยธรรม การประเมินผลการเรียนการสอน คุณลักษณะด้านบุคลิกภาพที่เหมาะสม การใช้สื่อในการเรียนการสอน ความสามารถด้านวิชาการ กลวิธีในการสอน ความสัมพันธ์กับผู้เรียน การเตรียมการสอน และความมั่นคงทางอารมณ์

Cho และ Baek [14] ทำการวิจัยเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการสอนในการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน ได้แก่ วิชาฟิสิกส์ เคมี วิทยาศาสตร์ชีวภาพ และคณิตศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า การสื่อสารระหว่างผู้สอนและผู้เรียนซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการเรียนการสอนในห้องปฏิบัติการเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพการศึกษาของผู้เรียนอย่างมีนัยสำคัญ ตรงข้ามกับการถ่ายทอดความรู้เพียงด้านเดียวด้วยการบรรยายโดยผู้สอนในการเรียนภาคทฤษฎี

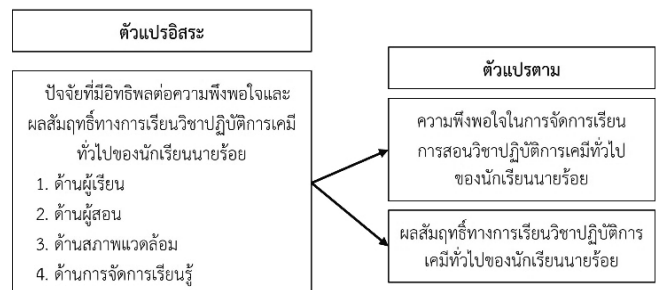
เกษม หมั่นธรรม และคณะ [15] ทำการวิจัยเรื่อง ปัจจัยที่กระทบต่อผลสัมฤทธิ์ในการเรียนวิชาฟิสิกส์ ของนักศึกษาคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขต จันทบุรี โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการรวบรวม ข้อมูล ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยด้านผู้เรียน ด้านผู้สอน และ ด้านสิ่งสนับสนุนการเรียนรู้มีความสำคัญต่อผลสัมฤทธิ์ในการเรียนวิชาฟิสิกส์ 1 และฟิสิกส์ 2 ของนักศึกษา ในระดับ มาก โดยปัจจัยที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ในการเรียนวิชาฟิสิกส์ มากที่สุดคือ ด้านผู้สอน รองลงมาคือ ด้านสิ่งสนับสนุนการเรียนรู้ และด้านผู้เรียน ตามลำดับ

ณวรา สีที และคณะ [16] ทำการวิจัยเรื่อง เจตคติต่อการเรียนปฏิบัติการเคมีของนักเรียนในระดับ ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้แบบสอบถามแบบ มาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ในหัวข้อเจตคติต่อการ เรียนปฏิบัติการเคมี ประกอบด้วยข้อคำถามจำนวน 4 ด้าน คือ ความสำคัญ ความยุ่งยาก ความน่าสนใจ และ ประโยชน์ของปฏิบัติการเคมี ผลการวิจัยพบว่า นักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนปฏิบัติการเคมี ทั้งรายปัจจัยและภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยนักเรียน เพศชายและเพศหญิงมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนปฏิบัติการ เคมีไม่แตกต่างกัน และเจตคติต่อการเรียนปฏิบัติการเคมี ไม่มีความสัมพันธ์กับเกรดเฉลี่ยของนักเรียน

ปาณิสรา อย่างสวย [17] ทำการวิจัยเรื่อง ความ พึงพอใจของนักเรียนเตรียมทหารชั้นปีที่ 2 ต่อวิธี การสอนแบบทีมในกิจกรรมการทดลองวิชาเคมีพื้นฐาน ว 33121 ภาคเรียนที่ 2 โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือ วิจัยในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียน เตรียมทหารชั้นปีที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 112 นาย ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนเตรียมทหารมีความพึงพอใจต่อ วิธีการสอนแบบทีม โดยมีข้อคิดเห็นคือ ในระหว่างการ ทดลองควรมีอาจารย์ผู้ควบคุมดูแลมากกว่า 2 คน เพื่อ ที่จะสามารถดูแล ตักเตือน ตอบข้อซักถาม และช่วยแก้

ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างทำกิจกรรมการทดลองให้กับ นักเรียนเตรียมทหารได้อย่างทั่วถึง

จากผลการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ประยุกต์และพัฒนารอบแนวคิดให้เหมาะสมกับ การวิจัยในครั้งนี้ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

## 4. วิธีดำเนินการศึกษา

### 4.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

วิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปที่กองวิชาเคมีทำการสอน ให้กับนักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 ประกอบด้วยเนื้อหา การทดลอง 12 บท ได้แก่ เทคนิคพื้นฐานการใช้เครื่องมือ ในห้องปฏิบัติการเคมี ปฏิบัติการเคมี การหาค่าคงที่ ของแก๊ส การหาน้ำหนักโมเลกุลของสารโดยอาศัยการ ลดต่ำลงของจุดเยือกแข็ง สมดุลเคมีและปฏิกิริยาที่ ผันกลับได้ ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา อินดิเคเตอร์และค่า pH ของสารละลาย โครงสร้างผลึก ปฏิบัติการไฮโดรลิซิสและสารละลายบัฟเฟอร์ การไทเทรต ระหว่างกรดกับเบส การวิเคราะห์แอนไอออน และการ วิเคราะห์แคตไอออน ซึ่งมีความสอดคล้องกับเนื้อหาวิชาเคมี ทั่วไป มีการจัดการเรียนรู้โดยใช้สื่อการสอนและเทคโนโลยี การศึกษาเข้าช่วยในการจัดการเรียนการสอน เช่น สื่อ Power Point, สื่อออนไลน์, วิดีโอ และโมเดลผลึกของแข็ง เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำการเผยแพร่สื่อการสอนที่ผลิต ขึ้นและแนะนำเนื้อหาประกอบการทดลองที่น่าสนใจใน

สื่อออนไลน์ผ่านระบบ E-learning ซึ่งช่วยให้นักเรียนนายร้อยสามารถศึกษาและทบทวนบทเรียนได้ด้วยตนเองโดยไม่จำกัดเวลาและสถานที่อีกด้วย

#### 4.2 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ นักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2565 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไป จำนวน 285 นาย

#### 4.3 ตัวแปรที่ศึกษา

4.3.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยประกอบด้วย ปัจจัยด้านผู้เรียน ด้านผู้สอน ด้านสภาพแวดล้อม และด้านการจัดการเรียนรู้

4.3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย โดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง คะแนนในวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยที่ได้รับโดยการประเมินจากอาจารย์ผู้สอน

#### 4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลคือแบบสอบถามปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นแบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ ตอนเรียนของนักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2565 โดยมีลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ

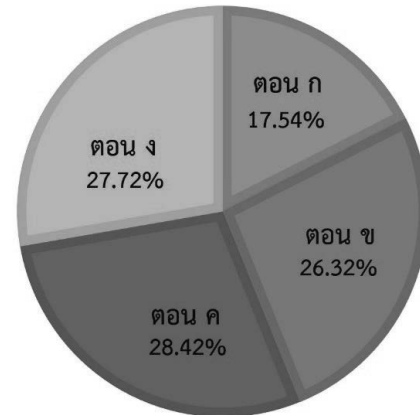
ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามข้อคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย ประกอบด้วย ด้านผู้เรียน 3 ข้อ ด้านผู้สอน 3 ข้อ ด้านสภาพแวดล้อม 4 ข้อ และด้านการจัดการเรียนรู้ 6 ข้อ ลักษณะของคำถามที่ใช้เป็นแบบมาตราประมาณค่า (Rating scale) โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบลิเคิร์ต (Likert scale) ซึ่งกำหนดค่าคะแนนของช่วงน้ำหนักเป็น 5 ระดับ [18]

ส่วนที่ 3 เป็นแบบสอบถามข้อคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย จำนวน 8 ข้อ ลักษณะของคำถามที่ใช้เป็นแบบมาตราประมาณค่าโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบลิเคิร์ต ซึ่งกำหนดค่าคะแนนของช่วงน้ำหนักเป็น 5 ระดับ

ผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามด้านความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยจำนวน 3 ท่าน คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับเนื้อหา (Index of item objective congruence: IOC) ได้ค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 จากนั้นดำเนินการปรับปรุงแบบสอบถามตามข้อเสนอแนะ นำแบบสอบถามไปทดลองใช้ (Try out) กับนักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 (ภาคภาษาอังกฤษ) ปีการศึกษา 2565 จำนวน 35 นาย ซึ่งไม่ใช่ประชากรที่ใช้ในการศึกษา เพื่อทดสอบค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามทั้งฉบับเท่ากับ 0.96 (ตารางที่ 1) ซึ่งมากกว่าค่าความเชื่อมั่นที่เป็นที่ยอมรับกันคือ 0.70 [19] แสดงว่าข้อคำถามในแบบสอบถามมีความน่าเชื่อถือและไม่ขัดแย้งกันในแต่ละข้อ

ตารางที่ 1 ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม

| ตัวแปร                                                                                             | Cronbach' Alpha |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย |                 |
| - ด้านผู้เรียน                                                                                     | 0.95            |
| - ด้านผู้สอน                                                                                       | 0.97            |
| - ด้านสภาพแวดล้อม                                                                                  | 0.95            |
| - ด้านการจัดการเรียนรู้                                                                            | 0.95            |
| ค่าเฉลี่ย                                                                                          | 0.96            |
| ความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย                        | 0.96            |
| ค่าเฉลี่ยรวมแบบสอบถามทั้งฉบับ                                                                      | 0.96            |



ภาพที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของประชากรที่ใช้ในการศึกษา

#### 4.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

นำแบบสอบถามที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากประชากร ผ่านระบบ Google form จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาตรวจสอบความสมบูรณ์ ลงรหัส และบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

#### 4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ( $\mu$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson product moment correlation coefficient) และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis)

### 5. ผลการศึกษา

#### 5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของประชากร

ข้อมูลทั่วไปของประชากรที่ใช้ในการศึกษาคือ ตอนเรียนของนักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 285 นาย แสดงดังภาพที่ 2

ผลการวิเคราะห์พบว่า นักเรียนนายร้อยที่ลงทะเบียนเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปแบ่งเป็น 4 ตอนเรียน คือ ตอน ก จำนวน 50 นาย คิดเป็นร้อยละ 17.54 ตอน ข จำนวน 75 นาย คิดเป็นร้อยละ 26.32 ตอน ค จำนวน 81 นาย คิดเป็นร้อยละ 28.42 และ ตอน ง จำนวน 79 นาย คิดเป็นร้อยละ 27.72 ตามลำดับ

5.2 ผลการวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

ข้อมูลระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย (ตารางที่ 2) แสดงด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำค่าที่ได้มาแปลความหมายตามค่าเฉลี่ยโดยใช้เกณฑ์ดังนี้ [16]

ค่าเฉลี่ย 4.51-5.00 คือ มากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.51-4.50 คือ มาก

ค่าเฉลี่ย 2.51-3.50 คือ ปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.51-2.50 คือ น้อย

ค่าเฉลี่ย 1.50-1.00 คือ น้อยที่สุด



ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

| ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย | ค่าเฉลี่ย ( $\mu$ ) | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) | ระดับของปัจจัย |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|----------------|
| 1. ปัจจัยด้านผู้เรียน                                                                              | 4.23                | 0.76                              | มาก            |
| 2. ปัจจัยด้านผู้สอน                                                                                | 4.40                | 0.71                              | มาก            |
| 3. ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม                                                                           | 4.34                | 0.66                              | มาก            |
| 4. ปัจจัยด้านการจัดการเรียนรู้                                                                     | 4.31                | 0.67                              | มาก            |
| ค่าเฉลี่ยรวม                                                                                       | 4.32                | 0.70                              | มาก            |

จากตารางที่ 2 พบว่า ระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยโดยรวมอยู่ในระดับมาก ( $\mu=4.32$ ) เมื่อพิจารณาเป็นรายปัจจัยพบว่า ปัจจัยที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ ปัจจัยด้านผู้สอน ( $\mu=4.40$ ) รองลงมาคือ ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ( $\mu=4.34$ ) ด้านการจัดการเรียนรู้ ( $\mu=4.31$ ) และด้านผู้เรียน ( $\mu=4.23$ ) ตามลำดับ

5.3 ผลการวิเคราะห์ระดับความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

ข้อมูลระดับความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย จำนวน 8 ข้อ (ตารางที่ 3) แสดงด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำค่าที่ได้มาหารระดับความพึงพอใจโดยใช้เกณฑ์ดังนี้ [16]

- ค่าเฉลี่ย 4.51-5.00 คือ ความพึงพอใจมากที่สุด
- ค่าเฉลี่ย 3.51-4.50 คือ ความพึงพอใจมาก
- ค่าเฉลี่ย 2.51-3.50 คือ ความพึงพอใจปานกลาง
- ค่าเฉลี่ย 1.51-2.50 คือ ความพึงพอใจน้อย
- ค่าเฉลี่ย 1.00-1.50 คือ ความพึงพอใจน้อยที่สุด

จากตารางที่ 3 พบว่า ความพึงพอใจต่อวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยโดยรวมอยู่ในระดับมาก ( $\mu=4.32$ ) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า

ตารางที่ 3 ระดับความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

| ความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย | ค่าเฉลี่ย ( $\mu$ ) | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) | ระดับความพึงพอใจ |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------|
| 1. นวัตกรรมทางการศึกษาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับเนื้อหา           | 4.32                | 0.75                              | มาก              |
| 2. แหล่งความรู้มีความหลากหลาย                                               | 4.28                | 0.75                              | มาก              |
| 3. เนื้อหามีความถูกต้อง                                                     | 4.38                | 0.69                              | มาก              |
| 4. เนื้อหามีความครบถ้วนตามหลักวิชา                                          | 4.33                | 0.72                              | มาก              |
| 5. เนื้อหามีความชัดเจนและเข้าใจง่าย                                         | 4.31                | 0.74                              | มาก              |
| 6. เนื้อหาการจัดการลำดับอย่างเหมาะสม                                        | 4.32                | 0.73                              | มาก              |
| 7. การจัดการเรียนรู้การใช้เครื่องมือ/นวัตกรรมทางการศึกษาที่กระตุ้นความสนใจ  | 4.30                | 0.75                              | มาก              |
| 8. รูปแบบของการจัดการเรียนรู้และเนื้อหามีความทันสมัย                        | 4.33                | 0.76                              | มาก              |
| ค่าเฉลี่ยรวม                                                                | 4.32                | 0.74                              | มาก              |

ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ได้แก่ เนื้อหาที่มีความถูกต้อง ( $\mu=4.38$ ) รองลงมาคือ เนื้อหาความครบถ้วนตามหลักวิชา ( $\mu=4.33$ ) รูปแบบการจัดการเรียนรู้และเนื้อหาความทันสมัย ( $\mu=4.33$ ) นวัตกรรมทางการศึกษาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับเนื้อหาวิชา ( $\mu=4.32$ ) เนื้อหาการจัดการลำดับอย่างเหมาะสม ( $\mu=4.32$ ) เนื้อหาความชัดเจนและเข้าใจง่าย ( $\mu=4.31$ ) การจัดการเรียนรู้การใช้เครื่องมือ/นวัตกรรมทางการศึกษาที่กระตุ้นความสนใจ ( $\mu=4.30$ ) และแหล่งความรู้มีความหลากหลาย ( $\mu=4.28$ ) ตามลำดับ

5.4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

5.4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านผู้เรียน ( $X_1$ )

ด้านผู้สอน ( $X_2$ ) ด้านสภาพแวดล้อม ( $X_3$ ) และด้านการจัดการเรียนรู้ ( $X_4$ ) กับความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย (Y) โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน แสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งมีเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ [20] คือ

0.91-1.00 คือ มีค่าความสัมพันธ์ระดับสูงมาก

0.71-0.90 คือ ค่าความสัมพันธ์ระดับสูง

0.51-0.70 คือ ค่าความสัมพันธ์ระดับปานกลาง

0.31-0.50 คือ ค่าความสัมพันธ์ระดับต่ำ

0.00-0.30 คือ ค่าความสัมพันธ์ระดับต่ำมาก

**ตารางที่ 4** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

| ตัวแปร         | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | Y    |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| X <sub>1</sub> | 1.00           |                |                |                |      |
| X <sub>2</sub> | 0.684**        | 1.00           |                |                |      |
| X <sub>3</sub> | 0.703**        | 0.783**        | 1.00           |                |      |
| X <sub>4</sub> | 0.708**        | 0.774**        | 0.880**        | 1.00           |      |
| Y              | 0.777**        | 0.799**        | 0.851**        | 0.899**        | 1.00 |

\*\* p < .01

จากตารางที่ 4 พบว่า ความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย (Y) มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูง กับปัจจัยทั้ง 4 ด้าน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์มากที่สุด ได้แก่ ด้านการจัดการเรียนรู้ ( $p=0.899$ ) รองลงมาคือ ด้านสภาพแวดล้อม ( $p=0.851$ ) ด้านผู้สอน ( $p=0.799$ ) และด้านผู้เรียน ( $p=0.777$ ) ตามลำดับ

5.4.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณโดยวิธีนำตัวแปรเข้าทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยทั้ง 4 ด้าน คือ ปัจจัยด้านผู้เรียน ( $X_1$ ) ด้านผู้สอน ( $X_2$ ) ด้านสภาพแวดล้อม ( $X_3$ ) และด้านการจัดการเรียนรู้ ( $X_4$ ) มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย (Y) เมื่อเข้าสมการถดถอยแล้วได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) ร้อยละ 95.8 และค่าสัมประสิทธิ์การทำนายหรืออำนาจพยากรณ์ ( $R^2$ ) ร้อยละ 91.8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

**ตารางที่ 5** ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณในการพยากรณ์ความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

| ตัวแปรพยากรณ์               | b    | Std.error | $\beta$ | t      | Sig    |
|-----------------------------|------|-----------|---------|--------|--------|
| ค่าคงที่                    | .089 | .080      |         | 1.103  | .027*  |
| ผู้เรียน ( $X_1$ )          | .100 | .023      | .114    | 4.297  | .000** |
| ผู้สอน ( $X_2$ )            | .056 | .028      | .061    | 1.992  | .047*  |
| สภาพแวดล้อม ( $X_3$ )       | .207 | .039      | .210    | 5.264  | .000** |
| การจัดการเรียนรู้ ( $X_4$ ) | .616 | .039      | .632    | 16.004 | .000** |

R = 0.958,  $R^2$  = 0.918, Adjusted  $R^2$  = 0.917, F = 737.480

\*\*p < .01, \*p < .05

โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยมากที่สุด ได้แก่ ด้านการจัดการเรียนรู้ ( $\beta = 0.632$ ) รองลงมา คือ ด้านสภาพแวดล้อม ( $\beta = 0.210$ ) ด้านผู้เรียน ( $\beta = 0.114$ ) และด้านผู้สอน ( $\beta = 0.061$ ) ตามลำดับ สามารถเขียนสมการพยากรณ์ในรูปแบบคะแนนดิบและคะแนนมาตรฐานได้ดังนี้

$$\hat{Y} = 0.089 + 0.100X_1 + 0.056X_2 + 0.207X_3 + 0.616X_4$$

$$\hat{Z} = 0.114X_1 + 0.061X_2 + 0.210X_3 + 0.632X_4$$

5.5 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

5.5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย (Y) กับปัจจัยทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านผู้เรียน ( $X_1$ ) ด้านผู้สอน ( $X_2$ ) ด้านสภาพแวดล้อม ( $X_3$ ) และด้านการจัดการเรียนรู้ ( $X_4$ ) โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

| ตัวแปร         | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>4</sub> | Y    |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| X <sub>1</sub> | 1.00           |                |                |                |      |
| X <sub>2</sub> | 0.684**        | 1.00           |                |                |      |
| X <sub>3</sub> | 0.703**        | 0.783**        | 1.00           |                |      |
| X <sub>4</sub> | 0.708**        | 0.774**        | 0.880**        | 1.00           |      |
| Y              | 0.517**        | 0.569**        | 0.602**        | 0.600**        | 1.00 |

\*\* p < .01

ผลการวิเคราะห์พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย (Y) มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับปัจจัยทั้ง 4 ด้าน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์มากที่สุด ได้แก่ ด้านสภาพแวดล้อม ( $p=0.602$ ) รองลงมาคือ ด้านการจัดการเรียนรู้ ( $p=0.600$ ) ด้านผู้สอน ( $p=0.569$ ) และด้านผู้เรียน ( $p=0.517$ ) ตามลำดับ

5.5.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณโดยวิธีนำตัวแปรเข้าทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยทั้ง 4 ด้าน คือ ปัจจัยด้านผู้เรียน ( $X_1$ ) ด้านผู้สอน ( $X_2$ ) ด้านสภาพแวดล้อม ( $X_3$ ) และด้านการจัดการเรียนรู้ ( $X_4$ ) มีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย (Y) เมื่อเข้าสมการถดถอยแล้วได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ร้อยละ 64.2 และค่าสัมประสิทธิ์

**ตารางที่ 7** ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณในการพยากรณ์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

| ตัวแปรพยากรณ์                                                | b      | Std.error | $\beta$ | t      | Sig    |
|--------------------------------------------------------------|--------|-----------|---------|--------|--------|
| ค่าคงที่                                                     | 63.911 | 1.782     |         | 37.950 | .000** |
| ผู้เรียน ( $X_1$ )                                           | .923   | .447      | .136    | 2.064  | .040*  |
| ผู้สอน ( $X_2$ )                                             | 1.245  | .571      | .170    | 2.179  | .030*  |
| สภาพแวดล้อม ( $X_3$ )                                        | 1.508  | .801      | .193    | 1.882  | .011*  |
| การจัดการเรียนรู้ ( $X_4$ )                                  | 1.651  | .755      | .214    | 2.186  | .030*  |
| R = 0.642, $R^2$ = 0.412, Adjusted $R^2$ = 0.403, F = 47.911 |        |           |         |        |        |

\*\*p < .01, \*p < .05

การทำนายหรืออำนาจพยากรณ์ ( $R^2$ ) ร้อยละ 41.2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยมากที่สุด คือ ด้านการจัดการเรียนรู้ ( $\beta$  = 0.214) รองลงมา คือ ด้านสภาพแวดล้อม ( $\beta$  = 0.193) ด้านผู้สอน ( $\beta$  = 0.170) และด้านผู้เรียน ( $\beta$  = 0.136) ตามลำดับ และสามารถเขียนสมการพยากรณ์ในรูปแบบคะแนนดิบและคะแนนมาตรฐานได้ดังนี้

$$\hat{Y} = 63.911 + 0.923X_1 + 1.245X_2 + 1.508X_3 + 1.651X_4$$

$$\hat{Z} = 0.136X_1 + 0.170X_2 + 0.193X_3 + 0.214X_4$$

5.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน แสดงดังตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ พบว่า ความพึงพอใจต่อวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับต่ำกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $p$ ) = 0.329

**ตารางที่ 8** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

|                          | ความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไป |      |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------|------|
|                          | p                                                         | p    |
| ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน    | 0.329**                                                   | .000 |
| วิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไป |                                                           |      |

\*\*p < .01

## 6. สรุปผลและอภิปรายผล

### 6.1 ระดับความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

จากผลการวิจัยพบว่า นักเรียนนายร้อยมีความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปทั้งในภาพรวมและรายข้อในระดับมาก ผลตอบรับเชิงบวกนี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการจัดการเรียนรู้ปรับปรุงขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับความคาดหวังของนักเรียนนายร้อยเมื่อพิจารณาปัจจัยเป็นรายข้อพบว่า นักเรียนนายร้อยมีความพึงพอใจต่อความถูกต้องของเนื้อหามากที่สุด แสดงให้เห็นว่าเนื้อหาที่ใช้ในการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปเป็นข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำ สิ่งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่ผู้สอนใช้แหล่งความรู้ที่มีความน่าเชื่อถือและนำเสนอเนื้อหาในลักษณะที่ชัดเจนและตรงไปตรงมา จึงช่วยให้นักเรียนนายร้อยเข้าใจเนื้อหาวิชาได้ง่าย นอกจากนี้ นักเรียนนายร้อยยังมีความพึงพอใจต่อความครบถ้วนและความทันสมัยของเนื้อหาและกระบวนการจัดการเรียนรู้ บ่งชี้ว่าเนื้อหาที่ใช้ในการเรียนครอบคลุมหัวข้อที่จำเป็นและเป็นข้อมูลที่ทันสมัย สิ่งนี้อาจเป็นผลมาจากการปรับปรุงเนื้อหาและกลยุทธ์การจัดการเรียนรู้ อย่างสม่ำเสมอของผู้สอนเพื่อให้แน่ใจว่านักเรียนนายร้อยจะได้รับข้อมูลจากเนื้อหาที่เป็นปัจจุบัน อย่างไรก็ตามปัจจัยด้านแหล่งความรู้มีความหลากหลายซึ่งมีระดับความพึงพอใจของนักเรียนนายร้อยที่น้อยที่สุด ชี้ให้เห็นว่าแหล่งความรู้ที่ใช้มีน้อยเกินไปหรือแหล่งความรู้ที่ใช้ไม่ตรงกับ ความสนใจของนักเรียนนายร้อย ดังนั้นนักเรียนนายร้อยจึงมีความต้องการเข้าถึงนวัตกรรมและสื่อการเรียนรู้ที่มีความหลากหลายขึ้น เช่น การจำลองการทำการทดลองออนไลน์ วิดีโอ หรือแบบฝึกหัดเชิงโต้ตอบ เป็นต้น จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นช่วยให้การจัดชั้นเรียนของผู้สอนมีประสิทธิภาพและเป็นที่ชื่นชอบของนักเรียนนายร้อยเพิ่มขึ้น ผลการวิจัยนี้สามารถใช้เพื่อปรับปรุงการจัดการเรียนรู้วิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปในอนาคต โดยมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มความ

หลากหลายของแหล่งความรู้ด้านนวัตกรรมการศึกษาแบบผสมผสานเพื่อตอบสนองความต้องการทางการเรียนรู้ที่หลากหลายของนักเรียนนายร้อย ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ญวรา สีสี่ และคณะ [16] และ Seetee [21] ซึ่งพบว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายมีเจตคติต่อการเรียนปฏิบัติการเคมีในระดับมาก ข้อค้นพบนี้แสดงให้เห็นว่าการทำการทดลองทางเคมีซึ่งนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติทำให้นักเรียนมองเห็นภาพ เกิดความตื่นตัว และมีความสนุกในการทำการทดลอง ส่งผลให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนปฏิบัติการเคมีมากกว่าการเรียนเคมีทางทฤษฎีเพียงอย่างเดียว

### 6.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

ผลการวิจัยพบว่า ความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงกับปัจจัยทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ปัจจัยด้านผู้เรียน ( $p=0.777$ ) ด้านผู้สอน ( $p=0.799$ ) ด้านสภาพแวดล้อม ( $p=0.851$ ) และด้านการจัดการเรียนรู้ ( $p=0.899$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์มากที่สุดคือ ด้านการจัดการเรียนรู้ บ่งชี้ว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ ที่ปรับปรุงขึ้นมีโครงสร้างที่ชัดเจนและมีกิจกรรมที่หลากหลายจึงสามารถตอบสนองความต้องการของนักเรียนนายร้อยและสร้างสภาพแวดล้อมที่กระตุ้นให้เกิดการมีส่วนร่วมได้เป็นอย่างดี ปัจจัยที่สำคัญรองลงมาคือ ด้านสภาพแวดล้อม บ่งชี้ว่าสภาพแวดล้อมทางกายภาพและทางสังคมของห้องปฏิบัติการมีผลต่อความพึงพอใจของนักเรียนนายร้อย ซึ่งการเรียนในห้องปฏิบัติการที่มีการจัดการที่ดีมีอุปกรณ์เพียงพอ และมีสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยสามารถส่งเสริมการเรียนรู้และสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่น่าพึงพอใจได้ นอกจากนี้บทบาทของผู้สอนที่มีส่วนสำคัญในการสร้างบรรยากาศในการเรียนรู้ รวมทั้งความสามารถ พฤติกรรมทางการเรียน และทัศนคติที่ดีต่อการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียน



นายร้อยล้วนมีผลกระทบกับความพึงพอใจต่อวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ ยุภาพร อำนาจ และคณะ [22] ซึ่งพบว่า การจัดการเรียนรู้ และการจัดสรรทรัพยากรที่เหมาะสมเป็นกระบวนการสำคัญในการสร้างความพึงพอใจให้แก่ผู้เรียน และงานวิจัยของเกษม หมั่นธรรม และคณะ [15] พบว่าปัจจัยด้านสิ่งสนับสนุนการเรียนรู้มีความสอดคล้องกับความพึงพอใจของ นักศึกษามากกว่าปัจจัยด้านผู้สอนและผู้เรียน แสดงให้เห็นว่าความพร้อมในการจัดเตรียมทรัพยากรการเรียนรู้ส่งผลต่อความพึงพอใจของนักศึกษา

เมื่อวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณพบว่า ปัจจัยทั้ง 4 ด้าน สามารถร่วมกันพยากรณ์ความพึงพอใจต่อวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยได้ร้อยละ 91.8 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงให้เห็นว่า กระบวนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น สภาพแวดล้อมทางกายภาพและทางสังคมของห้องปฏิบัติการ ความเชี่ยวชาญและความสามารถในการจัดการของผู้สอน รวมทั้งพฤติกรรมทางการเรียนของนักเรียนนายร้อยล้วนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของอรรถพล ลิ่วญ และคณะ [23] ซึ่งพบว่าการมีรูปแบบการจัดการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการศึกษาที่หลากหลาย รวมถึงการสนับสนุนของครู ผู้สอนจะช่วยให้เกิดการพัฒนาทางการเรียนวิชาเคมีของ ผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง จนนำไปสู่การสร้างองค์ความรู้ทางเคมีได้ด้วยตนเอง และงานวิจัยของยุภาพร อำนาจ และคณะ [22] พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการทั้ง ภาควิชาและภาคปฏิบัติที่มีความหลากหลาย ทันสมัย และ สอดคล้องกับความสนใจของผู้เรียนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจของนักศึกษา

6.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยมีความสัมพันธ์เชิงบวก

ในระดับปานกลางกับปัจจัยทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ปัจจัยด้านผู้เรียน ( $p=0.517$ ) ด้านผู้สอน ( $p=0.569$ ) ด้านสภาพแวดล้อม ( $p=0.602$ ) และด้านการจัดการเรียนรู้ ( $p=0.600$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์มากที่สุดคือ ด้านสภาพแวดล้อม บ่งชี้ว่าสภาพแวดล้อมทางกายภาพและทางสังคมของห้องปฏิบัติการมีผลต่อการส่งเสริมการเรียนรู้และสามารถสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ในวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปที่มีประสิทธิภาพให้แก่แก่นักเรียนนายร้อยได้ ปัจจัยที่มีอิทธิพลรองลงมาคือ ด้านการจัดการเรียนรู้ ด้านผู้สอน และด้านผู้เรียน ตามลำดับ บ่งชี้ว่าการออกแบบการเรียนรู้ที่มีโครงสร้างที่ชัดเจนมีกิจกรรมที่หลากหลาย และตอบสนองต่อความต้องการของนักเรียนนายร้อย สามารถสร้างสภาพแวดล้อมทางการเรียนรู้ที่นำไปสู่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้นได้ นอกจากนี้ผู้สอนที่มีความรู้ความสามารถ มีทักษะการสื่อสารที่ดี และมีความกระตือรือร้นในการสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ รวมถึงความสามารถ พฤติกรรมทางการเรียน และทัศนคติที่ดีต่อการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยล้วนส่งผลให้เกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของนัฐวุฒิ รอดโถม และกรมแพทย์ทหารเรือ [24] ซึ่งพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับตัวแปรของปัจจัยด้านผู้เรียน ได้แก่ ความเอาใจใส่ในการเรียนและการตั้งใจเรียนในห้องเรียน ( $p=0.24$ ) และตัวแปรของปัจจัยด้านผู้สอน ได้แก่ การมีรูปแบบการสอนที่น่าสนใจ ( $p=0.30$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณพบว่า ปัจจัยทั้ง 4 ด้าน สามารถร่วมกันพยากรณ์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยได้ร้อยละ 41.2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงให้เห็นว่านอกจากกลยุทธ์ในกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น สภาพแวดล้อมทางกายภาพและทางสังคมของห้องปฏิบัติการ คุณลักษณะของอาจารย์ผู้สอนที่มีความเชี่ยวชาญและความสามารถในการจัดการวิชาที่สอน และพฤติกรรมทางการเรียนของนักเรียนนายร้อย จะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ

ความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยแล้ว ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยอีกด้วย ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของกชพร ใจอดทน และอรณิชา ทศตา [25] ซึ่งพบว่าปัจจัยด้านผู้เรียน ผู้สอน และด้านอุปกรณ์สื่อ/เทคโนโลยีมีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาวิทยาลัยนครราชสีมา โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การทำนายหรืออำนาจพยากรณ์ ( $R^2$ ) ร้อยละ 4.6 งานวิจัยของ ศรีผกา เจริญยศ และคณะ [26] พบว่า การจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active learning) ในวิชาเคมีจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดแรงจูงใจในการเรียน ซึ่งส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ที่สูงขึ้นได้ งานวิจัยของอรรถพล ลิ่วญ และคณะ [23] พบว่า บทบาทและความสามารถด้านการจัดการเรียนรู้ของครูผู้สอนมีผลต่อบรรยากาศในการเรียนรู้ของผู้เรียน ซึ่งจะส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนในที่สุด และงานวิจัยของวราภรณ์ ลวงสวาท และคณะ [27] พบว่าปัจจัยด้านครูและด้านผู้เรียนมีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาระยอง เขต 1

6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยพบว่า ความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง ( $p=0.329$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แสดงว่านักเรียนนายร้อยที่มีความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปมีแนวโน้มที่จะมีแรงจูงใจและความกระตือรือร้นในการเรียนรู้อย่างมากขึ้น นำไปสู่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปที่ดีกว่านักเรียนนายร้อยที่ไม่มีความพึงพอใจ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของอิพงษ์

ภูเก้าแก้ว [28] ซึ่งพบว่าเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเคมีของนักเรียน ( $p=0.311$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และงานวิจัยของ Sata และ Tzougraki [29] ซึ่งพบว่าเจตคติต่อวิชาเคมีและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีของผู้เรียนมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางถึงต่ำ

โดยสรุปแล้วผลการวิจัยในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อยได้รับอิทธิพลจากคุณภาพของปัจจัยทั้ง 4 ด้าน ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ด้านผู้เรียน ด้านผู้สอน ด้านสภาพแวดล้อม และด้านการจัดการเรียนรู้ การมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงและส่งเสริมปัจจัยเหล่านี้สามารถช่วยการเพิ่มความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปของนักเรียนนายร้อย และนำไปสู่การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นข้อมูลจากการวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนากลยุทธ์ในการจัดกระบวนการจัดการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไปให้เป็นไปตามแนวทางที่เหมาะสมและเกิดผลสัมฤทธิ์ที่ดีต่อการเรียน และการทำงานในอนาคตของนักเรียนนายร้อยมากที่สุด

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนพัฒนา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ประจำปี 2566 ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณนักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2565 ที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยเป็นอย่างดี

## 8. บรรณานุกรม

- (1) A. O. Ogunleye, "A Survey of Students Performance in Science Lagos State of Save Science Education Appeal Fund," Journal of Science Teacher Association of Nigeria Lagos State Branch, pp. 15-20, (2002).
- (2) พรนภา อาจสว่าง, "การพัฒนาห้องปฏิบัติการเคมีเสมือน เรื่องสมบัติของธาตุและสารประกอบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4," วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. (สหเวชศาสตร์เพื่อการศึกษา), มหาวิทยาลัย

- ศิลปากร, กรุงเทพฯ, (2558).
- (3) D. Laurillard, *Teaching as a Design Science: Building Pedagogical Patterns for Learning and Technology*, New York: Routledge, (2012).
  - (4) กสมวรรณ ดิอยู่เจริญพร, "ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐาน เรื่องสารชีวโมเลกุล ที่มีต่อทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นปีที่ 2 โรงเรียนเตรียมทหาร จังหวัดนครนายก," *วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า*, ปีที่ 17, หน้า 140-152, (2562).
  - (5) P. A. Okebukola, "An Investigation of Some Factors Affecting Student's Attitudes Toward Laboratory Chemistry," *Journal of Chemical Education*, vol. 63, no. 6, pp. 531-532, (1986).
  - (6) เบญจวรรณ เรื่องศรี และคณะ, "การจัดการเรียนการสอนในยุค New Normal Covid-19 โดยใช้รูปแบบการเรียนการสอนแบบ On Site," *วารสารวิชาการสังคมมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 2, กรกฎาคม-ธันวาคม, หน้า 32-39, (2564).
  - (7) ปฐมสิทธิ์ แสงวงศ์ และ สุวิน ทองปั้น, "ปรัชญาการศึกษากับการจัดการเรียนรู้ในความปกติใหม่ (New Normal)," *วารสาร มจร อุบลราชธานี*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, พฤษภาคม-สิงหาคม, หน้า 861-874, (2564).
  - (8) อุดม คชินทร, "การผลิตรายงานฉบับใหม่หลังยุคโรคระบาดโควิด-19," *การประชุมงานครบรอบวันสถาปนาวิทยาลัยบูรณาการศาสตร์* ปีที่ 2, กรุงเทพฯ, 27 สิงหาคม 2564.
  - (9) กุลิสรา จิตระยนาถ, *การจัดการเรียนรู้*, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2562).
  - (10) กัลญู เพชรภรณ์. 2566. "ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา," (ออนไลน์). [https://eledu.ssru.ac.th/kalanyoo\\_pe/pluginfile.php/66/mod\\_resource/content](https://eledu.ssru.ac.th/kalanyoo_pe/pluginfile.php/66/mod_resource/content). (เข้าถึงเมื่อ: 1 เมษายน 2551).
  - (11) อาภรณ์ ใจเที่ยง, *หลักการสอน*, พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พรินติ้ง เฮาส์, (2553).
  - (12) นิธดา เวชญาลักษณ์, *หลักการจัดการเรียนรู้*, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2561).
  - (13) สุกัลยา ปริญญกุล, *รายงานการวิจัยเรื่องการวิเคราะห์องค์ประกอบ การประเมินประสิทธิภาพการเรียนการสอนระดับอุดมศึกษา, จันทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ภาคตะวันออก*, (2551).
  - (14) J. Cho and W. Baek, "Identifying Factors Affecting the Quality of Teaching in Basic Science Education: Physics, Biological Science, Mathematics, and Chemistry," *Sustainability*, vol. 11, no. 14, pp. 3958, (2019).
  - (15) เกษม วัฒนธรรม และคณะ, "ปัจจัยที่กระทบต่อผลสัมฤทธิ์ในการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี," *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, ปีที่ 18, ฉบับที่ 1, หน้า 75-84, มกราคม-เมษายน, (2567).
  - (16) ณวรา สิริ และคณะ, "เจตคติต่อการเรียนปฏิบัติการเคมีของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย," *วารสารบริหารการศึกษา บัณฑิต*, ปีที่ 16, หน้า 13-23, (2559).
  - (17) ปาณิสรา อย่างสวย, *รายงานการวิจัยเรื่องความพึงพอใจของนักเรียนเตรียมทหารต่อวิธีการสอน แบบทีม (Team Teaching Method) ในส่วนการทดลองวิชาเคมีพื้นฐาน ว 33121 ชั้นปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 2, นครนายก: โรงเรียนเตรียมทหาร*, (2562).
  - (18) R. Likert, *New Patterns of Management*, New York: McGraw-Hill Book Company, (1961).
  - (19) พัชรวิริ อรรถศรีวรโชติ และคณะ, "ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รายวิชาภาษาจีนของโรงเรียนมัธยมศึกษาในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครพนม," *วารสารพัฒนาการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยรังสิต*, ปีที่ 16, ฉบับที่ 2, กรกฎาคม-ธันวาคม, หน้า 116-132, (2565).
  - (20) D.E. Hinkle, *Applied Statistics for the Behavior Sciences*. 4th ed. New York: Houghton Mifflin, (1998).
  - (21) S. Seetee, "Thai High School Student's Perspective on Chemistry and Laboratory Learning," *Proceedings of the International Science Education Symposium, ISES 2012, The Faculty of Education, Khon Kaen University, Khon Kaen, May 25-27*, pp. 29, (2012).
  - (22) ยุภาพร อำนาจ และคณะ, "ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดการเรียนการสอนในหลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี," *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, ปีที่ 16, ฉบับที่ 2, เมษายน-มิถุนายน, หน้า 150-15, (2565).
  - (23) อรรถพล ลิ่วญ และคณะ, "ปัจจัยเชิงสาเหตุที่มีอิทธิพลต่อความเป็นนักเคมีของนักศึกษาสาขาเคมีในประเทศไทย," *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 3, กันยายน-ธันวาคม, หน้า 195-211, (2566).
  - (24) นัฐภูมิ รอดเฒ และ กรมแพทย์ทหารเรือ, "ปัจจัยทำนุผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนจากทหารเรือ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาปฏิบัติการฉุกเฉินทางการแพทย์ โรงเรียนนาวิกเวชกิจ ศูนย์วิทยาการ กรมแพทย์ทหารเรือ," *วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านสังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ และศึกษาศาสตร์*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, มกราคม-ธันวาคม, หน้า 135-148, (2563).
  - (25) กษพร ใจอดทน และ อรนิชชา ทศดา, "ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาวิทยาลัยนครราชสีมา," *วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย (สสอช.)*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 2, กรกฎาคม-ธันวาคม, หน้า 29-40, (2564).

- (26) ศรีมกา เจริญยศ และคณะ, "การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนว Active learning เพื่อเสริมสร้างมโนทัศน์การเรียนรู้เคมีและทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย," วารสารสุทธิปริทัศน์, ปีที่ 34, ฉบับที่ 109, มกราคม-มีนาคม, หน้า 46-57, (2563).
- (27) วราภรณ์ ลวงสวาท และคณะ, "ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาระยอง เขต 1," วารสารศึกษาศาสตร์ มจร, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, มกราคม-มิถุนายน, หน้า 236-254, (2561).
- (28) อธิพงษ์ ภูเก้าแก้ว, "ความสัมพันธ์ระหว่างเจตคติต่อวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเคมีโดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความแตกต่างระหว่างบุคคล," วิทยานิพนธ์ ด.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา), มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม, (2559).
- (29) K. Sata and C. Tzougraki, "Attitudes Toward Chemistry Among 11th Grade Student in High School in Greece," Science Education, vol 88, pp. 535-547, (2004).

การพัฒนาแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐาน  
ในเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและความเป็นนวัตกรรม  
สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน

Development of a Project-Based Computational Science Teaching Model  
in Develop IoT Technology to Enhance Computational Performance and  
Innovation for High School Students with Different Skill Levels

สาธิต ศรีวรรณะ  
Sathit Sriwanna

โรงเรียนชัยบาดาลพิทยาคม ตำบลม่วงค่อม อำเภอย้ายบาดาล จังหวัดลพบุรี 15230 ประเทศไทย  
Chaibadanpittayakom School, Muangkhom, Chaibadan, Lopburi 15230, Thailand

Corresponding Author. E-mail : mmai853@gmail.com

(Received: March 29, 2024, Revised: May 21, 2024, Accepted: May 23, 2024)

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบรูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐานในการพัฒนาเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและความเป็นนวัตกรรมสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน ศึกษาผลของการใช้โครงงานเป็นฐานฯ และนำเสนอการใช้โครงงานเป็นฐานฯ มีประชากรแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนชัยบาดาลพิทยาคม สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาลพบุรี จำนวน 110 คน กลุ่มที่ 2 ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับรูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณ จำนวน 5 คน วิเคราะห์ผ่านค่าทางสถิติที่ใช้การวิจัยคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว การวิเคราะห์แบบประชากรหลายกลุ่ม หาค่าความเที่ยงของร่างรูปแบบ (IOC) ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐานฯ ประกอบด้วย ขั้นที่ 1 การระบุปัญหา ขอบข่าย ประเด็น (Issues) ขั้นที่ 2 การวางแผน กำหนดตัวแปรให้สมบูรณ์ (Plan) ขั้นที่ 3 การลงมือทำ (Do) ขั้นที่ 4 ขั้นสรุปสิ่งที่เรียนรู้ (Aggregate) ขั้นที่ 5 ชื่นนำเสนอผลงาน (Present) และขั้นที่ 6 ประเมินผล (Evaluate) รูปแบบที่นำเสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิมีคุณภาพผ่านเกณฑ์ที่กำหนด (ค่า IOC = 0.91) และเมื่อพิจารณารายการประเมินทุกหัวข้อพบว่า มีค่าความเที่ยง (IOC) อยู่ในระดับยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่ารูปแบบด้านความเหมาะสมของเนื้อหาและแผนการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้ ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความเป็นนวัตกรรม พบว่า กลุ่มระดับของผู้เรียนที่ต่างกัน ก่อนเรียนและหลังเรียนไม่มีความแตกต่างกันทั้งระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่ม กล่าวคือ ผู้เรียน กลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลาง และกลุ่มอ่อน มีพฤติกรรมการสร้างความเป็นนวัตกรรมกันหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**คำสำคัญ:** การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน วิทยาการคำนวณ สมรรถนะเชิงคำนวณ ความเป็นนวัตกรรม IoT



**Abstract:** This research aims to design a project-based computational science teaching model for enhancing IoT technology development and improving computational competencies and innovation among high school students with varying ability levels. The study analyzes the outcomes of implementing this project-based approach. The population is divided into two groups: Group 1 consists of 110 grade 10 students from Chaibadan Pittayakhom School under the Lopburi Secondary Educational Service Area Office, while Group 2 comprises five experts in computational science teaching methods. Statistical analysis, including one-way analysis of variance and multi-population analysis, was conducted to assess the reliability of the model (IOC). The research findings indicate that the format for teaching computational science using projects as a base involves six steps: Issue identification, Planning, Action, Aggregate learning, Presentation, and Evaluation. The format presented to the experts met the specified quality criteria (IOC value = 0.91). Moreover, the evaluation of each topic showed that the reliability (IOC) is at an acceptable level, indicating the suitability of the content appropriateness model and teaching activity plan. The analysis of innovator assessment results revealed no differences between student groups at different levels before and after class, both between and within groups. Specifically, students in the proficient, average, and weak groups demonstrated increased behaviors associated with innovation after studying, with statistical significance at the .05 level.

**Keyword:** Project-based Learning, Computing science, Computational competencies, Innovator, internet of things.

## 1. บทนำ

กระทรวงศึกษาธิการดำเนินการภารกิจหลักตามยุทธศาสตร์ชาติ ร่างแผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ (พ.ศ. 2566-2580) ฉบับปรับปรุง ประเด็น 11 การพัฒนาศักยภาพคนตลอดช่วงชีวิต ในแผนย่อยที่ 3.3 การพัฒนาช่วงวัยเรียน/วัยรุ่น ประเด็น 12 การพัฒนาการเรียนรู้และประเด็นอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566-2570) โดยเฉพาะหมวดหมู่ที่ 12 ไทยมีกำลังคนสมรรถนะสูงมุ่งเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง ตอบโจทย์การพัฒนาแห่งอนาคต แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals : SDGs) โดยเน้นการเรียนรู้ปฏิบัติจริง ในรูปแบบ Active Learning, STEM Education, Coding ฯลฯ และกระบวนการส่งต่อในระดับที่สูงขึ้น ส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้และกิจกรรมพัฒนาผู้เรียนเพื่อพัฒนาทักษะและสมรรถนะด้าน Soft Power ให้กับผู้เรียน [1]

Active Learning คือกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้เรียนได้ลงมือกระทำและได้ใช้กระบวนการคิดเกี่ยวกับสิ่งที่เขาได้กระทำลงไป [2] เป็นการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ภายใต้สมมติฐานพื้นฐาน 2 ประการ คือ การเรียนรู้เป็นความพยายามโดยธรรมชาติของมนุษย์และแต่ละบุคคลมีแนวทางในการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน [3] โดยผู้เรียนจะถูกเปลี่ยนบทบาทจากผู้รับความรู้ (Receive) ไปสู่การมีส่วนร่วมในการสร้างความรู้ (Co-creators) [4] การเรียนรู้โดยใช้โครงงาน (PBL) เป็นรูปแบบการเรียนรู้ที่มีหลายมุมมอง มีความหลากหลายที่เปิดกว้างสำหรับกระบวนการจัดการเรียนการสอนให้แตกต่างกันได้ [5]

ทักษะแนวคิดเชิงคำนวณกลายเป็นความสามารถพื้นฐานสำหรับผู้เรียนในทุกระดับตั้งแต่ประถมจนถึงระดับอุดมศึกษา การยกระดับทางการศึกษาในปัจจุบันมีเป้าหมายสำคัญ คือการพัฒนาศักยภาพของผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพ รวมถึงจัดการเรียนการสอนที่พัฒนาความรู้ทักษะ และคุณลักษณะต่าง ๆ ที่จำเป็นให้ผู้เรียนพร้อมที่จะเป็นผู้นำในศตวรรษที่ 21 ในประเทศไทยเองมีการ

มุ่งเน้นการจัดการเรียนการสอนโดยพัฒนาให้ผู้เรียนสามารถมีการคิดเชิงคำนวณ (Computational thinking) มีความรู้พื้นฐานด้านเทคโนโลยีดิจิทัล (Digital technology) และมีพื้นฐานการรู้เท่าทันสื่อและสารสนเทศ (Media and information literacy) ซึ่งไม่ได้จำกัดอยู่เพียงแค่การคิดเหมือนคอมพิวเตอร์เท่านั้น [6]

ดังนั้น การเรียนรู้โดยใช้โครงงานจึงเป็นการเรียนรู้รูปแบบหนึ่งที่เหมาะสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่เน้นการปฏิบัติตามความสนใจของนักเรียน ซึ่งเริ่มจากการเตรียมความพร้อมของครู นักเรียน วัสดุอุปกรณ์ และโครงสร้างพื้นฐานของโรงเรียน จากนั้นนักเรียนเลือกปัญหาที่จะศึกษา โดยมีครูเป็นผู้จัดประกายให้คำปรึกษาและให้ข้อเสนอแนะ นักเรียนและครูอาจร่วมกันวางแผนการทำโครงงานในรูปแบบของแผนปฏิบัติการหรือโครงร่างของโครงงานซึ่งในแต่ละขั้นตอนนักเรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะของความสนใจของนักเรียนและกลุ่มการทำงาน ซึ่งจะช่วยพัฒนาสมรรถนะและทักษะของนักเรียนในศตวรรษที่ 21 ได้

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อออกแบบรูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐานในการพัฒนาเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและความเป็นนวัตกรรมสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน

2.2 เพื่อศึกษาผลของการใช้โครงงานเป็นฐานในการพัฒนาเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและความเป็นนวัตกรรมสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน

## 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานมีนักวิชาการหลายท่านให้หลักการและความหมายไว้สามารถสรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบใช้โครงงานเป็นฐาน

เป็นการจัดการเรียนการสอนโดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่เริ่มจากการกระตุ้นความสนใจหรือค้นหาปัญหาและหาวิธีการแก้ปัญหาด้วยตนเอง โดยร่วมกันวางแผนงานอย่างเป็นระบบ ลงมือปฏิบัติตามแผนงานจนได้ผลการศึกษาและข้อสรุปในเรื่องนั้น ๆ [7] จากตารางที่ 1 การสังเคราะห์รูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้โครงงานเป็นฐานของนักการศึกษาหลายท่าน สามารถสรุปขั้นตอนการสอนในรูปแบบโครงงานเป็นฐาน ได้ดังนี้

- ขั้นที่ 1 การระบุปัญหา ขอบข่าย ประเด็น (Issues) เป็นการสร้างความเข้าใจระหว่างสมาชิกของทีมงานร่วมกับครู
- ขั้นที่ 2 การวางแผน กำหนดตัวแปรให้สมบูรณ์

(Plan) โดยครูทำหน้าที่เป็นผู้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมทั้งเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ อำนวยความสะดวกในการทำโครงงานของผู้เรียน

ขั้นที่ 3 การลงมือทำ (Do) ผู้เรียนจะได้เรียนรู้ทักษะในการแก้ปัญหา การประสานงานและการทำงานร่วมกันเป็นทีม

ขั้นที่ 4 ขั้นสรุปสิ่งที่เรียนรู้ (Aggregate) ครูให้ผู้เรียนสรุปสิ่งที่เรียนรู้จากการทำกิจกรรม

ขั้นที่ 5 ขั้นนำเสนอผลงาน (Present) ครูให้ผู้เรียนนำเสนอผลการเรียนรู้

ขั้นที่ 6 ประเมินผล (Evaluate) ขั้นการวัดและประเมินผลตามสภาพจริง

ตารางที่ 1 การสังเคราะห์รูปแบบการเรียนการสอนโดยใช้โครงงานเป็นฐาน

| โครงงานเป็นฐาน                  | ดุซงึ่ โยเทลา และคณะ. [8] | วิจารณ์ พานิช. [9] | อัญชลี ทองแถม. [10] | พิมพ์ลักษณ์ โมรา. [11] | วัชรภรณ์ ประภาสโนบล และคณะ. [12] | สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. [13] | Ribe & Vidal. [14] | Fried Booth & Diana L. [15] |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| การกำหนดเป้าหมาย                |                           |                    |                     |                        | ✓                                |                                    |                    |                             |
| ขั้นให้ความรู้พื้นฐาน           | ✓                         |                    |                     |                        | ✓                                |                                    |                    |                             |
| การระบุปัญหา ขอบข่าย ประเด็น    |                           | ✓                  | ✓                   | ✓                      | ✓                                |                                    |                    |                             |
| ขั้นกระตุ้นความสนใจ             | ✓                         |                    |                     |                        |                                  |                                    | ✓                  | ✓                           |
| ขั้นจัดกลุ่มร่วมมือ             | ✓                         |                    |                     |                        |                                  |                                    |                    | ✓                           |
| ขั้นแสวงหาความรู้               | ✓                         |                    |                     |                        |                                  |                                    |                    | ✓                           |
| การวางแผน กำหนดตัวแปรให้สมบูรณ์ |                           | ✓                  | ✓                   | ✓                      | ✓                                | ✓                                  | ✓                  |                             |
| การลงมือทำ                      |                           | ✓                  |                     | ✓                      | ✓                                | ✓                                  |                    |                             |
| ขั้นสรุปสิ่งที่เรียนรู้         | ✓                         | ✓                  |                     | ✓                      | ✓                                |                                    |                    |                             |
| ครูที่ปรึกษาให้ผลสะท้อนกลับ     |                           |                    | ✓                   |                        |                                  |                                    |                    |                             |
| ขั้นนำเสนอผลงาน                 | ✓                         | ✓                  | ✓                   | ✓                      | ✓                                |                                    | ✓                  | ✓                           |
| ประเมินผล                       |                           |                    | ✓                   |                        | ✓                                | ✓                                  | ✓                  |                             |
| ขั้นสร้างบรรยากาศในชั้นเรียน    |                           |                    |                     |                        |                                  |                                    | ✓                  | ✓                           |
| ขั้นเลือกหัวข้อ                 |                           |                    |                     |                        |                                  |                                    | ✓                  |                             |
| ฝึกทักษะภาษา                    |                           |                    |                     |                        |                                  |                                    |                    | ✓                           |
| ออกแบบสื่อที่จะเขียน            |                           |                    |                     |                        |                                  |                                    |                    | ✓                           |
| เรียบเรียงข้อมูล                |                           |                    |                     |                        |                                  |                                    |                    | ✓                           |

Internet of Things หรือ IoT เป็นกรอบแนวคิดของระบบโครงข่ายที่รองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หลากหลายชนิด ตั้งแต่ คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ อุปกรณ์โครงข่าย อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซนเซอร์ และวัตถุต่าง ๆ เข้าด้วยกันอันเป็นผลให้ระบบต่าง ๆ แบ่งออกตามการใช้งานเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) Industrial IoT คือ Local network ที่มีเทคโนโลยีที่แตกต่างกันในโครงข่าย Sensor nodes โดยอุปกรณ์ IoT Device ในกลุ่มนี้จะเชื่อมต่อแบบ IP network เพื่อเข้าสู่อินเทอร์เน็ต

2) Commercial IoT คือ Local communication ที่เป็น Bluetooth หรือ Ethernet (Wired or wireless) โดยอุปกรณ์ IoT Device ในกลุ่มนี้จะสื่อสารภายในกลุ่ม Sensor nodes เดียวกันเท่านั้นหรือเป็นแบบ local devices เพียงอย่างเดียวอาจไม่ได้เชื่อมสู่อินเทอร์เน็ต [16]

รูปแบบการประเมินผล และการพัฒนาแนวคิดเชิงคำนวณที่สามารถนำไปพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐานการพัฒนาเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณ และความเป็นนวัตกรรมสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกันแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวทางการพัฒนา และประเมินแนวคิดเชิงคำนวณ

| บุญพนธ์ พูลสวัสดิ์<br>[17]                | Charoula and Nicos<br>[18]                                                      | สุวิวัชร ศุภลักษณ์<br>[19]                   | Renske and Sjaak<br>[20]                                              | Shuchi, Nicholas and<br>Patrik [21]                             |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| วิเคราะห์ผู้เรียน                         | ใช้ความแปรปรวนร่วม<br>2x2<br>(ANCOVA)                                           | ประเมินระหว่าง<br>กระบวนการเรียนรู้          | เก็บข้อมูลด้านความเข้าใจ<br>สรุป อธิบาย ยกตัวอย่าง<br>จัดประเภท       | ประเมินก่อน-หลังเรียน<br>สัมภาษณ์ ผู้เรียนวัดคะแนน<br>ในรายวิชา |
| ออกแบบบทเรียน และ<br>พัฒนาสื่อการเรียนรู้ | พัฒนาเครื่องมือในรูปแบบ<br>รูบริก                                               |                                              | นำไปใช้ สามารถปฏิบัติ<br>โปรแกรม หรือ อัลกอริทึม<br>ได้อย่างต่อเนื่อง | สัมภาษณ์ครู                                                     |
| สร้างเงื่อนไขปัญหา                        | ประเมิน 2 ครั้งเพื่อ<br>ตรวจสอบผลกระทบ<br>ของเทคนิค                             | ใช้แบบทดสอบการคิด<br>คำนวณ                   | โครงสร้างเดียว และ<br>โครงสร้างที่หลากหลาย                            | โครงงานอิสระเสรี                                                |
| ประเมินผล                                 | ใช้รูบริกประเมินทักษะ<br>เก็บข้อมูลข้อผิดพลาด<br>การย่อยปัญหา กลยุทธ์<br>การคิด | การประเมินตนเองก่อน<br>และหลังการใช้แบบจำลอง | เข้าใจแนวคิดที่ซับซ้อน<br>อธิบายแง่มุมต่าง ๆ                          | ทำการสำรวจหลังกิจกรรม                                           |

“นวัตกรรม” คือ การเป็นนวัตกรรมจะต้องมีคุณสมบัติหรือคุณลักษณะที่แตกต่างจากบุคคลทั่วไป ผู้เขียนจึงได้รวบรวมข้อมูลจาก หนังสือ บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับนวัตกรรม ที่มีผู้เชี่ยวชาญและนักการศึกษา ได้กล่าวถึงคุณสมบัติหรือคุณลักษณะที่จะชี้บ่งว่า นวัตกรรม ควรมีสิ่งใดบ้าง เพื่อจะนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการระบุคุณลักษณะของนวัตกรรมรุ่นเยาว์ได้ ตัวชี้วัดคุณลักษณะของนวัตกรรม ประกอบด้วย 9 ตัวชี้วัดดังนี้

1. การแสวงหาความรู้ ตั้งคำถาม หาคำตอบ และการทดลอง
  2. การมองเห็นปัญหาและโอกาส มีความช่างสังเกต มีการตระหนักถึงความสำคัญ มีความกระหายในการคิดค้นสิ่งใหม่ ๆ อยากรู้ อยากเห็น การมีข้อสงสัย
  3. การมีแนวคิดที่แตกต่างและเห็นต่าง
  4. การคิดริเริ่มสร้างสรรค์
  5. การสร้างเครือข่าย การทำงานร่วมกับผู้อื่น มีปฏิสัมพันธ์ มีการเปิดใจและยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น การเชื่อมั่นในผู้ร่วมงานและตนเอง การให้เกียรติตนเองและผู้อื่น
  6. การเชื่อมโยงความคิด
  7. มีความมุ่งมั่นและปฏิบัติงานต่อเนื่อง อดทน ไม่ย่อท้อ
  8. ขอบความท้าทาย มีแรงบันดาลใจ การมีความภาคภูมิใจและซาบซึ้งในคุณค่า การมีความหลงใหลในสิ่งที่ทำ
  9. การยอมรับความเปลี่ยนแปลง มีความยืดหยุ่น
- วัชรารณณ์ ประภาสะโนบล [22] เสนอทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเองโดยการสร้างสรรค์ชิ้นงานเป็นการเรียนรู้ที่ผู้เรียนได้สร้างสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่มีความหมายและเกิดจากความสนใจของผู้เรียนขึ้นมาจึงทำให้ผู้เรียนต้องใช้ความคิดอย่างบูรณาการ สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง และสร้างสรรค์ชิ้นงานได้ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่
- 1) การให้ความรู้พื้นฐาน 2) การเลือกหรือตั้งประเด็นคำถาม 3) การค้นคว้าหาความรู้หรือคำตอบ 4) การลงมือทำกิจกรรม

5) การสร้างองค์ความรู้ 6) การนำเสนอผลงานหรือความรู้ และ 7) การปรับปรุงและเผยแพร่ต่อสาธารณะ

นพดล รุ่งเรืองธนาผล [23] ศึกษาวิจัย เรื่อง รูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้กระบวนการคิดเชิงออกแบบในสภาพแวดล้อมเสมือน เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและการสร้างคุณค่าร่วมกันสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่พัฒนาขึ้นมีองค์ประกอบสำคัญ 5 ด้าน คือ 1) ด้านแนวคิดเชิงคำนวณ 2) ด้านกระบวนการคิดเชิงออกแบบ 3) ด้านสภาพแวดล้อมเสมือน 4) ด้านวิทยาการคำนวณ และ 5) ด้านการสร้างคุณค่าร่วมกัน ผลการทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนการสอน พบว่า นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายมีพัฒนาการด้านสมรรถนะเชิงคำนวณ และการสร้างคุณค่าร่วมกันหลังการทดลองสูงกว่าก่อนทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

#### 4. วิธีดำเนินการศึกษา

การพัฒนา รูปแบบการจัดการเรียนการสอน วิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐานการพัฒนาเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและความเป็นนวัตกรรมสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเป็น 2 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 ออกแบบรูปแบบการจัดการเรียนการสอน วิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐานการพัฒนาเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและความเป็นนวัตกรรมสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน

กลุ่มตัวอย่าง ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับรูปแบบการจัดการเรียนการสอน วิทยาการคำนวณ จำนวน 5 คน ประกอบด้วย ด้านการจัดการเรียนการสอน จำนวน 2 คน ด้านนวัตกรรมการศึกษาและเทคโนโลยี จำนวน 2 คน และ



ด้านการวัดผลประเมินผลการวิจัย จำนวน 1 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แผนการจัดการเรียนรู้ รายวิชาวิทยาการคำนวณ โดยใช้โครงงานเป็นฐานและ แบบประเมินความเที่ยงของร่างรูปแบบ (IOC)

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ในเกณฑ์ 0.5-1.0

ระยะที่ 2 ศึกษาผลของการใช้โครงงานเป็นฐานในการพัฒนาเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและความเป็นนวัตกรรมสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน

กลุ่มตัวอย่าง นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนชัยบาดาลพิทยาคม สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่ การศึกษามัธยมศึกษาลพบุรี จำนวน 110 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบบประเมินความเป็น นวัตกรรมของผู้เรียน 9 ตัวชี้วัด

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ทางเดียว การวิเคราะห์แบบประชากรหลายกลุ่ม

**การวิจัยระยะที่ 1** โดยในขั้นตอนก่อนการออกแบบ ในระยะที่ 1 ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทั้งในเชิงปริมาณและ เชิงคุณภาพ เพื่อให้ได้มาซึ่งเครื่องมือที่สามารถพัฒนา สมรรถนะในผู้เรียนได้ตรงตามตัวแปรที่ผู้วิจัยได้กำหนด และได้มาซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่สามารถอ้างอิงได้ถึงประชากร โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

การศึกษาเชิงปริมาณ ผู้วิจัยได้จัดทำแบบสำรวจ ลักษณะการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณที่ ผู้เรียนสนใจและลงทะเบียนเรียนรายวิชาวิทยาการคำนวณ จำนวน 260 คน ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 โรงเรียน ชัยบาดาลพิทยาคม สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา มัธยมศึกษาลพบุรี

การศึกษาเชิงคุณภาพ ผู้วิจัยทำการสัมภาษณ์แบบ มีโครงสร้างร่วมกับผู้เชี่ยวชาญสำหรับการจัดการเรียน การสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐาน ผู้เชี่ยวชาญ การจัดการเรียนการสอนฐานสมรรถนะ และผู้เชี่ยวชาญ ประเมินคำถามตัวชี้วัดคุณลักษณะความเป็นนวัตกรรม



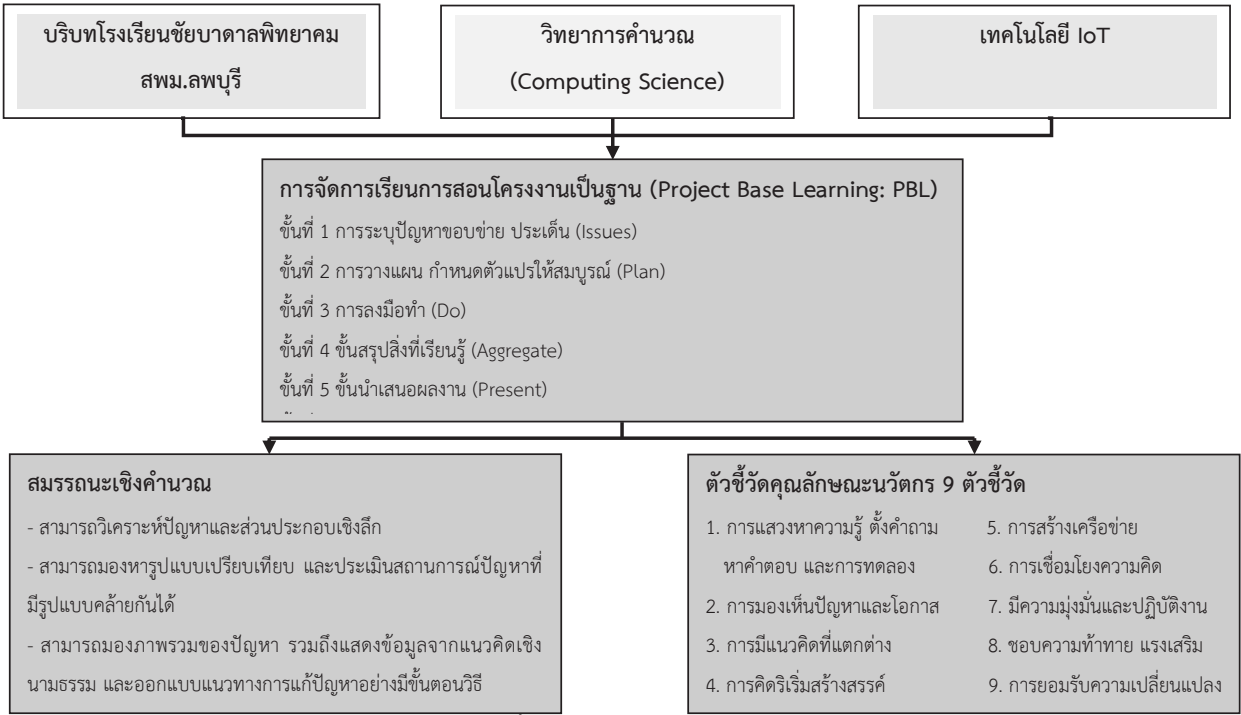
**ภาพที่ 1** การวิจัยระยะที่ 1 ได้ร่างต้นแบบของรูปแบบ การจัดการเรียนการสอน

**การวิจัยระยะที่ 2** ผลของการใช้โครงงานเป็นฐาน ในการพัฒนาเทคโนโลยี IoT โดยนำร่างต้นแบบของ รูปแบบการจัดการเรียนรู้ใช้กับกลุ่มตัวอย่างในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 ผู้วิจัยใช้เวลาในการดำเนินการศึกษา 5 สัปดาห์ แบ่งออกเป็น 10 ชั่วโมง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐาน

| หน่วยการเรียนรู้ที่ใช้<br>โครงงานเป็นฐาน                  | จำนวน<br>(ชั่วโมง) | การประเมิน                                                                                                        |                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                           |                    | สมรรถนะเชิงคำนวณ                                                                                                  | ความเป็นนวัตกรรม                                                                                               |
| หน่วยการเรียนรู้ที่ 1<br>สำรวจท้องถิ่นของตน               | 2                  | สามารถวิเคราะห์ปัญหาและส่วนประกอบ<br>เชิงลึกได้                                                                   | 1. การแสวงหาความรู้ ตั้งคำถาม หาคำตอบ<br>และการทดลอง<br>2. การมองเห็นปัญหาและโอกาส                             |
| หน่วยการเรียนรู้ที่ 2<br>เทคโนโลยีการ<br>จัดการข้อมูล     | 2                  | สามารถมองหารูปแบบเปรียบเทียบ และ<br>ประเมินสถานการณ์ปัญหาที่มีรูปแบบ<br>คล้ายกันได้                               | 3. การมีแนวคิดที่แตกต่างและเห็นต่าง<br>7. มีความมุ่งมั่นและปฏิบัติงานต่อเนื่อง                                 |
| หน่วยการเรียนรู้ที่ 3<br>เทคโนโลยี IoT กับ<br>การแก้ปัญหา | 3                  | สามารถมองภาพรวมของปัญหา รวมถึง<br>แสดงข้อมูลจากแนวคิดเชิงนามธรรม และ<br>ออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาอย่างมี<br>ขั้นตอน | 4. การคิดริเริ่มสร้างสรรค์<br>5. การสร้างเครือข่าย<br>6. การเชื่อมโยงความคิด<br>8. ขอบความท้าทาย มีแรงบันดาลใจ |
| หน่วยการเรียนรู้ที่ 4<br>ผลการใช้เทคโนโลยี IoT            | 1                  | สามารถแก้ไขปัญหอย่างมีประสิทธิภาพ                                                                                 | 9. การยอมรับความเปลี่ยนแปลง มีความ<br>ยืดหยุ่น                                                                 |
| หน่วยการเรียนรู้ที่ 5<br>การนำเทคโนโลยีสู่ชุมชน           | 1                  |                                                                                                                   |                                                                                                                |

5. กรอบแนวคิดงานวิจัย



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย

## 6. ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยตามรูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐานการพัฒนาเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและความเป็นนวัตกรรมสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน พบว่าร่างรูปแบบมีค่าดัชนีความสอดคล้อง  $IOC = 0.91$  ถือว่ามีคุณภาพผ่านเกณฑ์ และเมื่อพิจารณารายการประเมินทุกหัวข้อพบว่า มีค่า IOC อยู่ในเกณฑ์ 0.5-1.0 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐานการพัฒนาเทคโนโลยี IoT มีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้

ผลการทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐานการพัฒนาเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและความเป็นนวัตกรรมสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกันพบว่าระดับของผู้เรียนที่ต่างกันก่อนเรียน และหลังเรียนไม่มีความแตกต่างกันทั้งระหว่างกลุ่ม และภายในกลุ่ม กล่าวคือ ผู้เรียนทุกกลุ่มทั้งกลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลาง และกลุ่มอ่อน มีพฤติกรรมการสร้างความเป็นนวัตกรรมกันหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

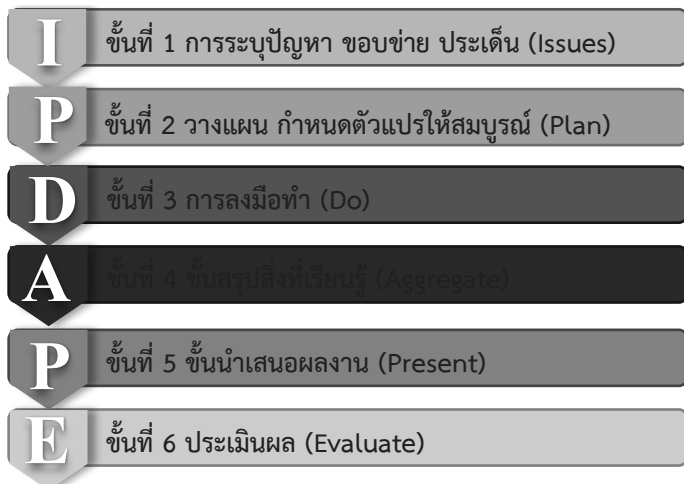
## 7. สรุปและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยตามรูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐานการพัฒนาเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและความเป็นนวัตกรรมสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน ร่างรูปแบบมีคุณภาพผ่านเกณฑ์ที่กำหนด (ค่า  $IOC = 0.91$ ) สามารถนำไปใช้ได้โดยสามารถสรุปขั้นตอนการสอนแบบโครงงานเป็นฐาน ดังภาพที่ 3

รูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐานการพัฒนาเทคโนโลยี IoT มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ วัชรภรณ์ ประภาสะโนบล [22] ทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเองโดยการสร้างสรรค์ชิ้นงานเป็นการเรียนรู้ที่ผู้เรียนได้สร้างสิ่งที่มีความหมายซึ่งเกิดจากความสนใจของผู้เรียนจึงทำให้สามารถใช้ความคิดอย่างบูรณาการเพื่อให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองและสร้างสรรค์ชิ้นงานได้ ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การให้ความรู้พื้นฐาน 2) การเลือกหรือตั้งประเด็นคำถาม 3) การค้นคว้าหาความรู้หรือคำตอบ 4) การลงมือทำกิจกรรม 5) การสร้างองค์ความรู้ 6) การนำเสนอผลงานหรือความรู้ และ 7) การปรับปรุงและเผยแพร่ต่อสาธารณะ

การเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณที่ใช้กระบวนการเรียนการสอนโครงงานเป็นฐาน สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ นพดล รุ่งเรืองธนาผล [23] ผลการทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้กระบวนการคิดเชิงออกแบบในสภาพแวดล้อมเสมือนเพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและการสร้างคุณค่าร่วมกันสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน พบว่า นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายมีพัฒนาการด้านสมรรถนะเชิงคำนวณ และการสร้างคุณค่าร่วมกันหลังการทดลองสูงกว่าก่อนทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

การประเมินความเป็นนวัตกรรมของผู้เรียนที่ใช้กระบวนการเรียนการสอนโครงงานเป็นฐาน สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ สุกัญญา แซ่มซ้อย [24] พบว่าองค์ประกอบของนวัตกรรมและผู้ประกอบการในอนาคตของนักเรียน ประกอบด้วย 9 องค์ประกอบ คือ การตั้งคำถาม การสังเกต การเป็นนักบันทึก การมองเห็นความเชื่อมโยง การแสวงหาทางเลือกที่หลากหลาย เครือข่ายความคิด การทดลอง ความเป็นผู้นำผู้ประกอบการเชิงนวัตกรรม และความรับผิดชอบต่อความยั่งยืน ทางสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 3 รูปแบบการจัดการเรียนการสอน IP DAPE Model

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวที่มอบกำลังใจ ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน มอบคำแนะนำ คำปรึกษาการทำวิจัย ผู้อำนวยการสถานศึกษา เพื่อนครู คณาจารย์ ให้กำลังใจการทำวิจัย ขอขอบคุณนักเรียนทุกคนสมัครใจลงทะเบียนเรียนวิชานี้

## 9. บรรณานุกรม

- (1) กระทรวงศึกษาธิการ. ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ เรื่อง นโยบายและจุดเน้นของกระทรวงศึกษาธิการ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566. กรุงเทพฯ (2566).
- (2) Bonwell, Charles C., and James A. Eison Active learning: Creating excitement in the classroom. ERIC Digest. (Online) Available (1991).
- (3) Meyers, C. & Jones, T. B. Promoting Active Learning: Strategies for the College Classroom. San Francisco: Jossey-Bass. (1993).
- (4) Felder, R. M. and Brent, R., Active Learning: An Introduction. (online) Available: [http://www.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/ALpape\(ASQ\).pdf](http://www.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/ALpape(ASQ).pdf). Retrieved 2 May 2023 (2009).

- (5) Dyer, J., Gregersen, H. B., & Christensen, C. M. The innovator's DNA: Mastering The five skills of disruptive innovators. Harvard Business. (2011).
- (6) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, คู่มือรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี (วิทยาการคำนวณ) ตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2561).
- (7) ทิศนา ขัมมณี, ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2562).
- (8) ดุษฎี โยเหลา และคณะ, การศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบ PBL ที่ได้จากโครงการสร้างชุดความรู้เพื่อส่งเสริมทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ของเด็กและเยาวชน: จากประสบการณ์ความสำเร็จของโรงเรียนไทย. กรุงเทพฯ: หจก.ทิพย์วิสุทธ์, (2557).
- (9) วิจารย์ พานิช, วิธีสร้างการเรียนรู้เพื่อศิษย์ในศตวรรษที่ 21. กรุงเทพฯ: มูลนิธิสดศรีสฤษดิ์วงศ์. สืบค้นจาก <http://www.noppawan.sskru.ac.th>, (2555).
- (10) อัญชลี ทองแถม. การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเพื่อพัฒนาผู้เรียนในศตวรรษที่ 21. วารสารวไลยอลงกรณ์ปริทัศน์. ปีที่ 8(3): หน้า 185-199. (2561).
- (11) พิมพ์ลักษณ์ โมรา, การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน: ทางเลือกในการจัดการศึกษาสำหรับผู้เรียนในศตวรรษที่ 21. วารสารวิจัยและพัฒนาหลักสูตร. ปีที่ 8(1): หน้า 42-52, (2561).
- (12) วัชรภรณ์ ประภาสะโนบล และ มาเรียม นิลพันธุ์. การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานตามแนวทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเองโดยการสร้างสรรค์ชิ้นงาน. วารสารวิจัยและพัฒนาหลักสูตร. ปีที่ 11(2): หน้า 8-23, (2564).
- (13) สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. รายงานการวิจัยแนวทางการพัฒนาการศึกษาไทยกับการเตรียมความพร้อมศตวรรษที่ 21. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, (2557).
- (14) Ribe, Ramon and Vidal, Nuria. Project Work : Handbooks for the English Classroom: Oxford Heinemann International, (1993).
- (15) Fried-Booth, Diana L. Project work. Great Britain: Oxford University Press, (1987).
- (16) ประภาพร กุลลัมรัตน์ชัย, Internet of Things :แนวโน้มเทคโนโลยีปัจจุบันกับการใช้งานในอนาคต. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 10(1): หน้า 29-36, (2566).

- (17) บัญญพนต์ พูลสวัสดิ์, เกมบนโปรแกรมเชิงจินตภาพ และแนวคิดเชิงคำนวณอย่างเป็นระบบ. JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY. ปีที่ 6(2): หน้า 9-16, (2559).
- (18) Charoula and Nicos, Developing young children's computational thinking with educational robotics: An interaction effect between gender and scaffolding strategy, Computer in Human Behavior. University of Cyprus, March 2019, (2019).
- (19) สุธิวัชร ศุภลักษณ์, การออกแบบระบบการเรียนรู้บนคลาวด์ตามแนวคิดวิศวกรรมผันกลับร่วมด้วยเทคนิคการเรียนรู้แบบเพื่อนช่วยเพื่อนเพื่อส่งเสริมความคิดเชิงประจักษ์สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี. Veridian E-Journal, Silpakorn University, ISSN 1906-3431, Volume 11 No.5, July-December, (2018), (2562).
- (20) Renske and Sjaak. Problem Solving and Algorithmic Development with Flowcharts. Association for Computing Machinery. Nijmegen, Netherlands. WiPSCE'17, November 8-10, (2017).
- (21) Shuchi, Nicholas and Patrik. Concepts before coding: non-programming interactives to advance learning of introductory programming concepts in middle school. Computer Science Education. ISSN: 0899-3408. 06 Feb, (2019).
- (22) วัชรภรณ์ ประภาสะโนบล, และ มาเรียม นิลพันธุ์, การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานตามแนวทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเองโดยการสร้างสรรค์ชิ้นงาน. วารสารวิจัยและพัฒนาหลักสูตร. ปีที่ 11(2): หน้า 8-23, (2564).
- (23) นพดล รุ่งเรืองธนาผล, รูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้กระบวนการคิดเชิงออกแบบในสภาพแวดล้อมเสมือนเพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและการสร้างคุณค่าร่วมกันสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน. (วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย), (2563).
- (24) สุกัญญา แซ่มซ้าย, การพัฒนาเครื่องมือประเมินสมรรถนะผู้บริหารโรงเรียนรุ่นใหม่ผู้สร้างนวัตกรรมและผู้ประกอบการในอนาคต. Journal of Education Naresuan University. ปีที่ 24(1): หน้า 269-282, (2564).



## Electrode and Ground Arrangement on Sample Plate Under Electrostatic Powder Coating Process

Colonel Professor Dr. Suwimon Saneewong Na Ayuttaya

*Department of Mechanical Engineering, Academic Division,*

*Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok 26001, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail : joysuwimon1@hotmail.com*

*(Received: April 4, 2024, Revised: May 19, 2024, Accepted: May 23, 2024)*

**Abstract :** In this research study, the electrode and ground arrangement on sample plate is studied in order to increase the electrostatic powder coating process. The electrode and ground arrangement are varied in order to improve the electric force and the thickness of coating. The first result shows the electric force is appearing under the electrostatic process, and the electrical voltage distribution is different with various the electrode and ground arrangement. For the second part, the thickness of the powder coating of the sample plate is increased with the number of the coating, and the electrostatic process can more increase the thickness of coating than without the electrostatic process. In addition, the electrode and ground arrangement are affected with the thickness of the powder coating on the sample plate. In the last part, a similar trend of the graph has appeared in the experimental and the numerical results, so the experimental results have good agreement with the experimental results.

**Keywords :** Electrostatic Process, Powder Coating, Sample Plate, Electrode and Ground Arrangement

## 1. Introduction

Coating process is the one process for transferring a liquid onto a material. The coating process consists of applying a coating material to a moving web of the flexible substrate. The coating material may be paper, acrylic, or aluminum foil and the resulting material's additional properties will vary depending on the required application [1-3]. The benefit of coating is that it delivers to the substrate enhanced aesthetic and physical properties derived from the coating material. Industrial coatings play vital roles in protecting military vehicles and military aerospace coating material. The military coating applications help protect against the damage caused by wear-prone applications. In addition, they have been designed to be wearing resistant, reduce friction, reduce corrosion and abrasion or heat [4-5]. The combination of the coating process and different techniques is systematically studied in order to improve the coating process efficiency.

The physical vapor deposition process, chemical vapor deposition process, sol-gel coating, thermal spray coating, and electrostatic powder coating process are the type of the deposition process. The physical vapor deposition process refers to a variety of thin film deposition techniques where a solid material is vaporized in a vacuum environment and deposited on substrates as a pure material or alloy composition coating [6]. The chemical vapor deposition is a process that involves the reaction of a volatile precursor which is injected into a chamber. By the chamber is under vacuum and it is heated to

a reaction temperature that causes the precursor gas to react or break down into the desired coating and bond to the material surface [7]. The sol-gel coating involves the hydrolysis and condensation of alkoxide precursor water to form a colloidal dispersion of particles [8]. The thermal spray coating is a process that sprays coating materials using the pressure of a high-heat gas. The material then bonds to the surface, forming a coating that corrosion protection, thermal resistance, environmental protection, lubricity, wear resistance and electrical and thermal conductivity [9]. The electrostatic powder coating process is a process by which electrically charged particles are deposited out of a water suspension to coat a conductive part. During the electrostatic process, paint is applied to a part at a certain film thickness, which is regulated by the amount of voltage applied [10].

Behzad et al. [11] showed a literature review of the coating techniques for surface protection. The coating processes were reliable means of material deposition and surface protection, but there were advantages and disadvantages to all of them in different applications. The physical vapor deposition process could cause corrosion and wear resistance. The thin film deposition could have adjustable mechanical, corrosion, and aesthetic properties. But this deposition process required a high vacuum, and the corrosion resistance was affected by abrasion. The chemical vapor deposition process could cause corrosion and wear resistance. It could be coated by the deposition of various types of materials with

different microstructures. In addition, the coating materials could work at low atmospheric pressures. But the material could be heat-resistant. The sol-gel coating was cost-effective in biomedical applications. It could provide corrosion and ion release protection. The material could have high adhesion in the multilayered coating process. But this process was restricted by the thickness control and the slow rate of the coating cycle. The failure during heat treatment was the possibility of coating multilayered structures. For the thermal spray coating, the material was non-conductive and had corrosion and wear resistance. But it had several disadvantages, such as requiring a small range of powder sizes with a narrow size distribution, numerous process variables to change the coating structure, and a heat source. There have several advantages to the electrostatic powder coating process, such as high corrosion resistance and hardness, porous structure for biomedical applications, low-corrosion and wear, and high-temperature applications. This coating was suitable for valve metals and could be used for conductive substrates.

Some researchers are studying the electrostatic powder coating process [12-16]. Sharmene et al. [12] studied the trajectories of charged powder particles in an electrostatic powder coating system. The mathematical model was modeled considering electrical and fluid forces in order to compute charge density in the gun-to-target region. The simulation results showed good agreement with experimental data at several collection points on the painting target

and provided valuable information concerning particle deposition. Schmitt and Lebienvu [14] studied the conductive polymeric materials used for electrostatic painting applications. The critical volume fraction of fibres and give its valued for a little fibre-matrix associations were investigated. The result shown that the microstructure had a strong effect on the overall mechanical properties of the composite material. Toljic et al. [15] studied the three-dimensional FLUENT numerical model of the electrostatic coating process for the automotive industry. The result shown that the transfer efficiency increases when the electrical forces and that the coating uniformity improved with the movement of the target.

The electrostatic powder coating process is the process by which a positively charged electron within the spray nozzle charges the paint particles. These particles all have a positive charge; they repel each other and break apart, resulting in a fine mist that coats evenly. There is also a magnetic field effect, and the negative charge of the workpiece attracts the positive charge of the paint particles across its full surface. For this result, the electrostatic powder coating process is used in this research in order to produce automotive grade spray paint that can be used on vehicles and military aerospace coating materials. For this result, the electrostatic powder coating process is used in this research in order to be cost effective in military vehicles and military aerospace. In the previous study, it was not systematically studied. In this study, the mechanism of the electrostatic powder coating is seriously

investigated for the coating process. The effect of the electrode and ground arrangement on the sample plate is systematically proposed in order to improve the powder coating process. The first part, the electric force is numerically studied under the electrostatic process. The second and third parts are experimental studies of the powder coating on the sample without and with the electrostatic process, respectively. The verification and problem statements are analyzed in the last part.

## 2. Governing equation

The electrostatic process is a branch of physics that directly converts electrical energy into kinetic energy without mechanical pieces. The influence of electrostatic phenomena can change the pattern of fluid flow and enhances transport phenomena with lowering energy supplied [17]. From the mechanism and characteristic of the electrostatic process, Saneewong Na Ayuttaya [18] divided the fourth group of applications. The first group was increasing flow mechanism; it was used for pumping and biomechanics application. The second group was injection flow mechanism; it was used for the droplet, electrospray and microfluidics. The third group was inducing flow mechanism; it was used for electrostatic precipitator and actuator. The last group was mixing particle process; it was used for boiling and condensation, heat and mass transfer, heat exchanger and drying process. For the third group (inducing flow mechanism), the induced flow caused the total reaction to

lean backward in the plane of rotation. This also reduced the perpendicular component of the total reaction and reduced total rotor thrust. The motion and precipitation of dust particles in an electrostatic precipitation depended on the electric field, space charge, and gas flow field and dust particle properties. The electrostatic coating is used for inducing flow mechanism in order to increase the adhesion of powder painting [19].

The governing equations for the electric force per unit volume  $\vec{f}_E$  (Eq. (2.1)) generated by the electric fields with strength  $E$  in airflow of dielectric permittivity ( $\epsilon$ ), density ( $\rho$ ), and uniform temperature ( $T$ ) [20]. Electric field distribution is computed by using Maxwell's equations (Eqs. (2.2)-(2.5)) listed as below:

$$\vec{f}_E = q\vec{E} - \frac{1}{2}\vec{E}^2\nabla\epsilon + \frac{1}{2}\nabla\left[\vec{E}^2\left[\frac{\partial\epsilon}{\partial\rho}\right]_T\rho\right], \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot \epsilon \vec{E} = q, \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{J} + \frac{\partial q}{\partial t} = 0, \quad (2.3)$$

$$\vec{J} = qb\vec{E} + q\vec{v}, \quad (2.4)$$

$$\vec{J} = qb\vec{E} + q\vec{v}, \quad (2.5)$$

This electric energy density ( $\eta_E$ ) can be used to calculate the energy stored in a electric field, as shown in Eq. (2.6).

$$\eta_E = \epsilon E^2 \quad (2.6)$$

where  $v$  is flow velocity,  $q$  is the space charge density in the fluid,  $V$  is electrical voltage,  $J$  is current density, and  $t$  is time. The ion mobility ( $b$ ) is  $1.80 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{V.s}$  and the dielectric permittivity of free space ( $\epsilon$ ) is  $8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ .

From Eq. (2.1), three terms are the electrophoretic, dielectrophoretic, and electrostrictive forces, respectively. In the first term, the electrophoretic force results from the net uncharged within the fluid or ions injected from the electrodes. Electric field distribution is emitted from the electrode and induces to the ground. The second term, the dielectrophoretic force is a consequence of inhomogeneity in the permittivity of the dielectric fluid due to the non-uniform electric field, temperature gradients, and phase differences. The last term, the electrostrictive force is caused by non-homogeneous electric field strength and the variation in dielectric constant with temperature and density [21].

The governing equations are developed to predict the flow field. The continuity and Navier-Stokes equations which are coupled with the Coulomb force equation are considered from Eqs. (2.7) and (2.8), respectively. They are expressed by:

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0, \quad (2.7)$$

$$\rho \left[ \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right] = -\nabla P + \mu \nabla^2 \vec{v} + \vec{f}_E \quad (2.8)$$

where  $\mu$  is viscosity and  $P$  is pressure.

The heat and mass transfer in sprays has been measured with the convective heat transfer coefficient ( $h_c$ ) (Eq. (2.9)) and the Sherwood number ( $Sh$ ) (Eq. (2.10)), respectively. Convective heat transfer is the movement of thermal energy within fluids, and the Sherwood number is a dimensionless number used in mass transfer operations. It represents the ratio of the total heat and mass transfer rate to the rate of

diffusive transport. The mass transfer rate is composed of convection and diffusion.

$$h_c = -\frac{k}{\Delta T} \frac{\partial T}{\partial n}, \quad (2.9)$$

$$Sh = \frac{\dot{m}}{\Delta C A_c} \frac{d}{D} \quad (2.10)$$

where  $k$  is thermal conductivity,  $n$  is coordinate in  $x$  and  $y$  axis,  $\dot{m}$  is mass transfer rate,  $d$  is diameter of electrode,  $D$  is mass diffusivity,  $A_c$  is surface area of sample that is exposed to electrostatic powder coating process and  $\Delta C$  is difference in water vapor concentration between the sample surface and ambient.

### 3. Method and model

For the electrostatic process, the electrode and the ground arrangement are varied on the sample plate. The experimental and numerical are investigated both of techniques. In this electrostatic powder coating process, the collected data of powder spray is investigated three times and an average score is used for these experimental results. The arrangement of the electrode and ground is very important in the electrostatic powder coating process. The pin of the electrode and ground are suitable for local heat transfer coefficient and the electrode and ground plate are suitable for average total heat transfer coefficient. The diagram of the electrode and ground arrangements above the sample plate are varied for seven patterns, as shown in Fig. 1. The symbol of electrode and ground is  $E$  in red color and  $G$  in blue color, respectively. The copper wire and copper plate are shown in



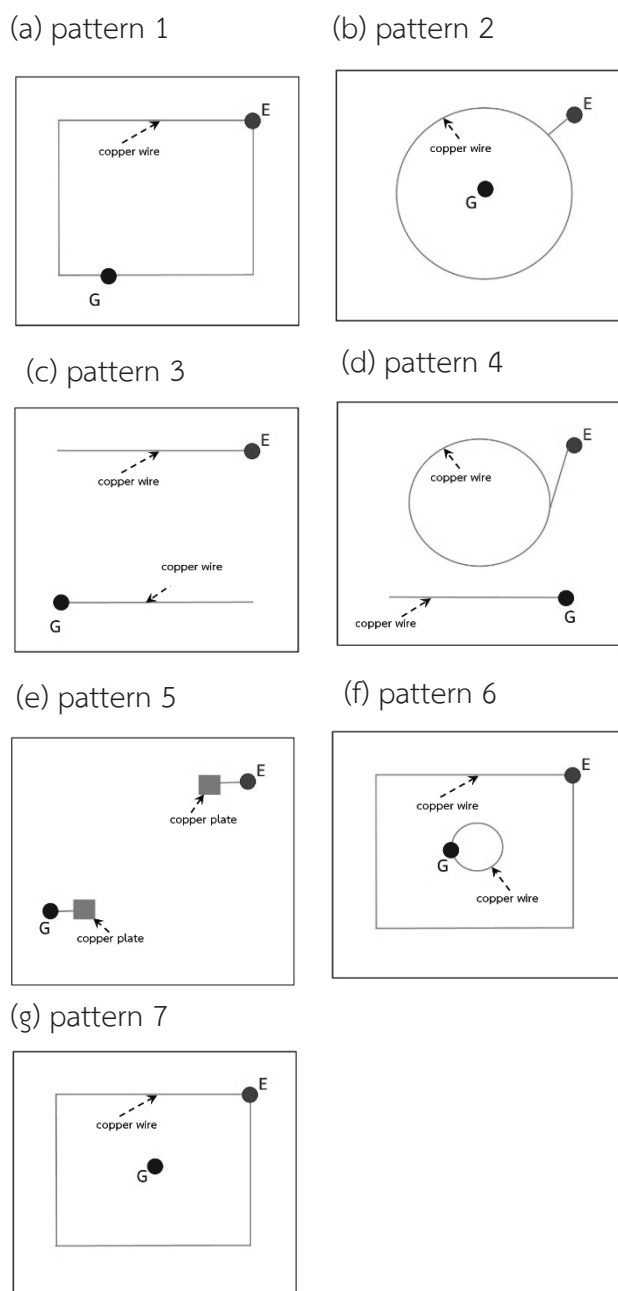
yellow color. All of patterns are described in Table 1. After experimental analysis, the thickness of coating is measured by the cross-cut tester. The cross-cut tester uses a blade to cut through the coating to the substrate.

The spray paint is used the automotive grade spray paint formulated by concentrated lacquer. The premium color spray can be used on vehicles and military aerospace coating material. It is good quality paint which build beautiful film with glossy, durability, quick drying and good adhesion. The black paint material has solid fraction 72.34%. The wet and the dry density are 1.32 and 1.69 g/ml, respectively. The pressure supply is 200 bars, corresponding to a paint the mass flow rate of 0.02733 kg/s. The effective orifice diameter is 0.48-0.53 mm and spray angle are 45°. The gun to target distance is 300 mm and the booth air velocity is 0.1 m/s.

The coating parameters which should be observed during the coating operation such as the inlet and outlet air temperature, the outlet butterfly valve, the humidity Level, the tablet bed temperature, the spray rate and the atomizing air pressure.

**Table 1** The data of the conventional coating (without electrostatic coating) and electrode and ground arrangements above the sample plate

| Number of patterns | Fig.  | Electrode Arrangement                             | Ground Arrangement                             |
|--------------------|-------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1                  | 1 (b) | Electrode Wire<br>in Square<br>Arrangement        | Ground Point                                   |
| 2                  | 1 (c) | Electrode Wire<br>in Circle<br>Arrangement        | Ground Point                                   |
| 3                  | 1 (d) | Electrode Wire<br>in Straight Line<br>Arrangement | Ground Wire<br>in Straight Line<br>Arrangement |
| 4                  | 1 (e) | Electrode Wire<br>in Circle<br>Arrangement        | Ground Wire<br>in Straight Line<br>Arrangement |
| 5                  | 1 (f) | Electrode Plate                                   | Ground Plate                                   |
| 6                  | 1 (g) | Electrode Wire<br>in Square<br>Arrangement        | Ground Wire<br>in Circle<br>Arrangement        |
| 7                  | 1 (h) | Electrode Wire<br>in Square<br>Arrangement        | Ground Point                                   |



**Fig. 1** The diagram of electrode and ground arrangements under the electrostatic powder coating process (a) pattern 1 (b) pattern 2 (c) pattern 3 (d) pattern 4 (e) pattern 5 (f) pattern 6 (g) pattern 7

The heat and mass transfer enhancement technique utilizing electrostatic process generated from the polarization of dielectric fluid. It can be one of the most promising methods among various active techniques because of its several advantages. This technique deals with the interdisciplinary field with subjects concerning the interactions between electric and flow fields. When an electrical voltage is exposed to airflow, ions from a sharp electrode move forwards to the ground. An ionic wind or primary flow is formed when air ions are accelerated by an electric field and exchange momentum with neutral air molecules. As a result, the momentum of airflow is enhanced.

### 3.1 Experimental analysis

The three-dimensional model for the powder coating is shown in Fig. 2. For the experimental analysis, the sample plate is mostly made of acrylic plate (the dimension of the sample plate is  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ ). In order to study the electrode and ground arrangement, the electrode and the ground are made of copper, and they stick above the sample plate. The high voltage power supply (ACOPIAN model: NO30HP2M.-230) is used to create electrical voltage. and the copper is used to connect the circuit with the electrode and ground. The gap of the electrode and ground is in range 2-10 cm. Because the brake-down spark appears when the gap is less than 2 cm and the electrostatic process is not influenced when the gap is higher than 10 cm.

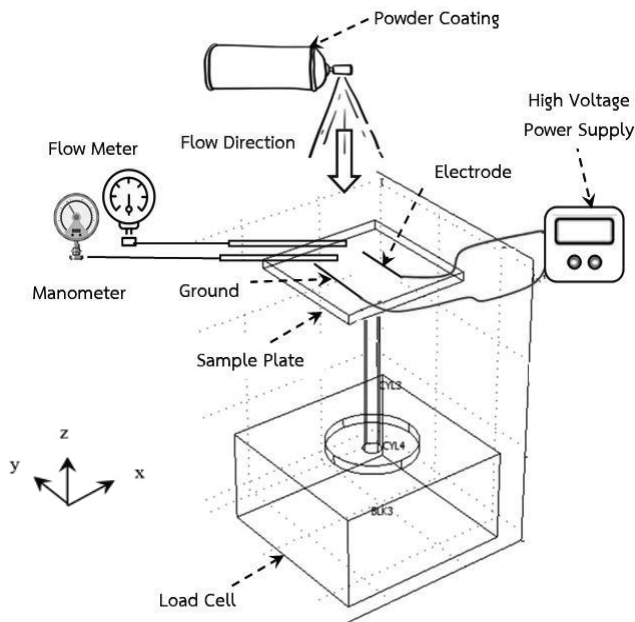


Fig. 2 Three-dimensional model for experimental setup

The flow meter and manometer are set up in order to meter the impact of airflow under the electrostatic powder coating process. The digital pressure manometer and the digital flow meter have an accuracy  $+ 0.1 \text{ hPa} + 1.5\%$  and  $+ 3\% + 0.1 \text{ dgts}$ , respectively. In each test run, impact pressure ( $P$ ), impact velocity ( $v$ ) and gravity force ( $F$ ) under the electrostatic powder coating process is measured by a manometer, flow meter and load cell with data logger, respectively.

### 3.2 Numerical analysis

This electrostatic process deal to the interdisciplinary field with subjects concerning the interactions between the electric field and flow field. In this numerical analysis, the computational models are shown in Fig. 3 and compose of main two parts: the first and second parts are electric field model and flow field model, respec-

tively. The dimensions of the three-dimensional model are  $15 \times 15 \times 20 \text{ cm}^3$  and the dimensions of sample plate are  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ . The radius of circle electrode and circle ground are  $0.1 \text{ cm}$ . The space charge density ( $q_0$ ) at the tip of the electrode is considered from Griffiths [20].

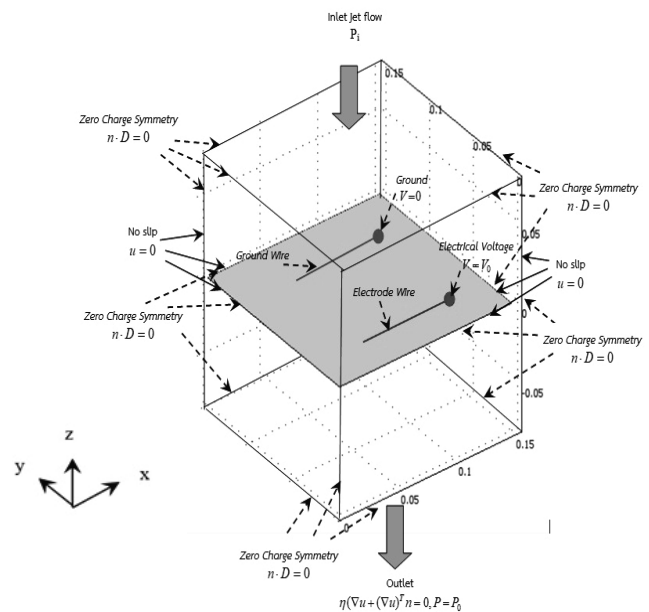


Fig. 3 The boundary condition for numerical analysis

For the boundary conditions for solving the electric field and flow field, the normal font and the Italics font for the boundary conditions are set for the electric field and flow field, respectively. The outer sides of the electric flow and sample plate boundary condition are considered as zero charge symmetry.

$$\mathbf{n} \cdot \mathbf{D} = 0 \quad (3.1)$$

where  $\mathbf{n}$  is the outward normal from medium and  $\mathbf{D}$  is electric flux density.

The tip of the electrode and ground are considered as electrical voltage and ground boundary condition, respectively.

$$V = V_0, \quad (3.2)$$

$$V = 0, \quad (3.3)$$

where subscript zero means at electrode wire.

The inlet jet is inlet pressure ( $P_i$ ) and the pressure of outlet boundary condition is considered with no viscous stress. This boundary condition specifies vanishing viscous stress along with a Dirichlet condition on the pressure:

$$\eta(\nabla \bar{\mathbf{u}} + (\nabla \bar{\mathbf{u}})^T \cdot \mathbf{n} = \mathbf{0} \text{ and } \bar{\mathbf{P}} = \bar{\mathbf{P}}_0, \quad (3.4)$$

where  $P_0$  is atmospheric pressure, is kinematics viscosity and  $T$  is matrix transpose. All of the boundary and the sample plate are considered as no slip boundary condition. This is the standard and default boundary condition for a stationary solid wall. The condition prescribes:

$$\bar{\mathbf{u}} = \mathbf{0}, \quad (3.5)$$

In this idea, a finite-dimensional space of some solutions and a number of points in the boundary and the collocation points are used for the given equation. This convergence test leads to a mesh having approximately 15,000 elements. A fine mesh is specified in the sensitive areas is discretized using a triangular element. With percentage error is lower than 0.1 and a dimensionless time step of  $1 \times 10^{-4}$  to ensure numerical stability and accuracy. The system of governing equations is solved with the unsymmetrical multi-frontal method. It is reasonable to assume that, in this element number, the accuracy of the simulation results is independent of the number of elements.

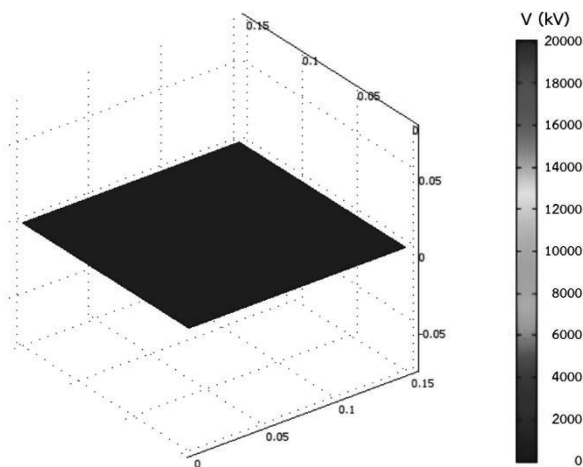
## 4. Results and discussion

The effect of the electrode and ground arrangement on the sample plate is systematically proposed in order to the powder coating process improvement. In this experimental study, the saturation vapor pressure is 0.0028-0.0031 bar, the relative humidity is 58-62% and the temperature of the condition experimental setup are controlled at 25°C. The electrical voltage ( $V_0$ ) is fixed at 20 kV and the inlet jet of powder coating is set at  $P_i = 490.33$  kPa. For the first part, the electrode and ground arrangements under the electrostatic powder coating process are numerically varied in 7 patterns. The maximum electric field, the maximum electric energy density and the maximum surface charge density are investigated. For the second part, the powder coating from the electrostatic process is experimentally compared with the powder coating without the electrostatic process. The verification and problem statements are analyzed in the last part. The impact pressure ratio, the impact velocity ratio and the gravity force ratio of powder coating is varied in the electrode and the ground arrangement.

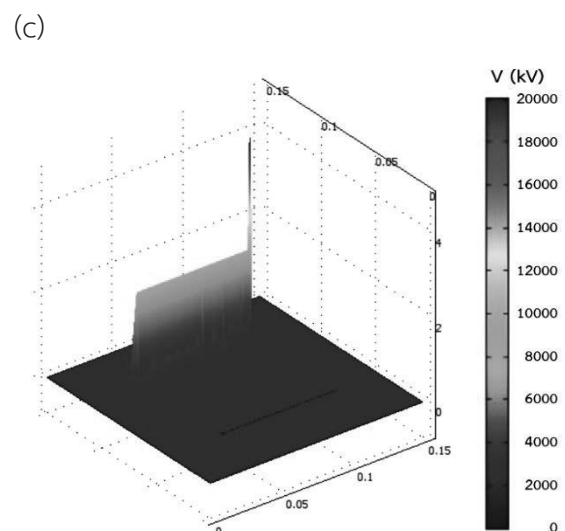
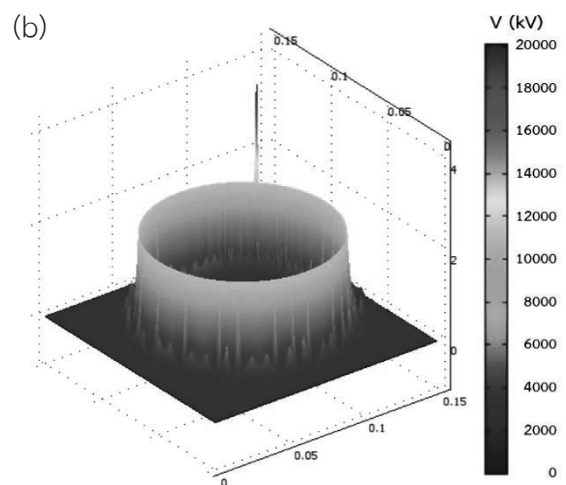
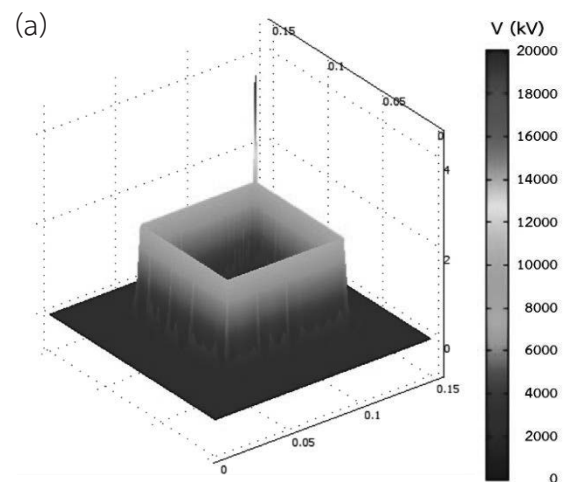
### 4.1 Numerical study the electric force under the electrostatic process

An electric field is the physical field that surrounds electrically charged particles and exerts force on all other charged particles in the field. The electric field is originated from electric charges, and it moved toward at the ground [22]. For the conventional coating process, the electrical voltage and the electric field distribution is not

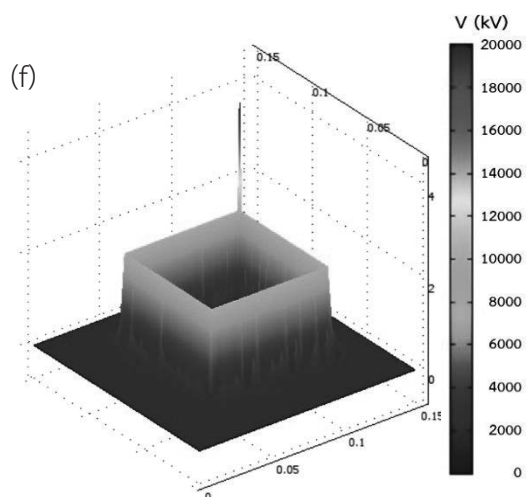
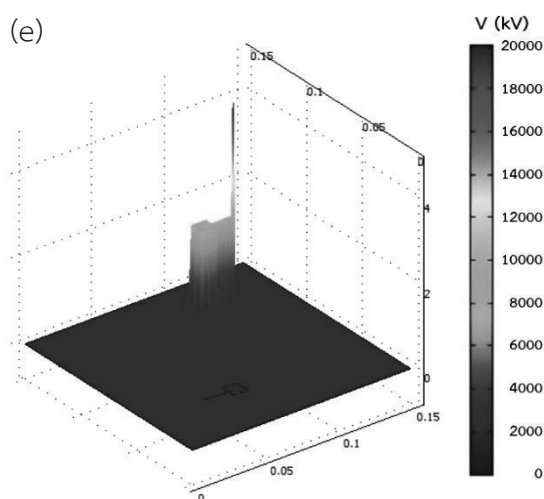
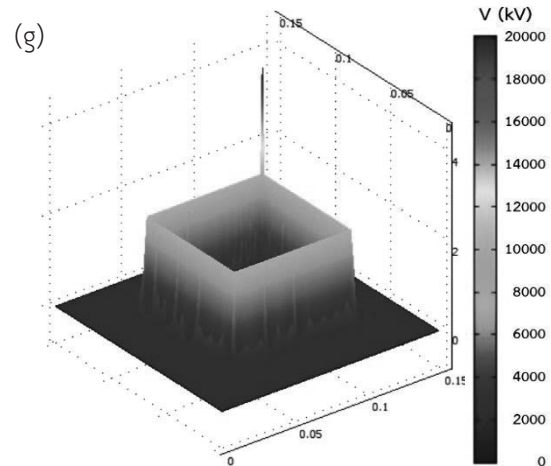
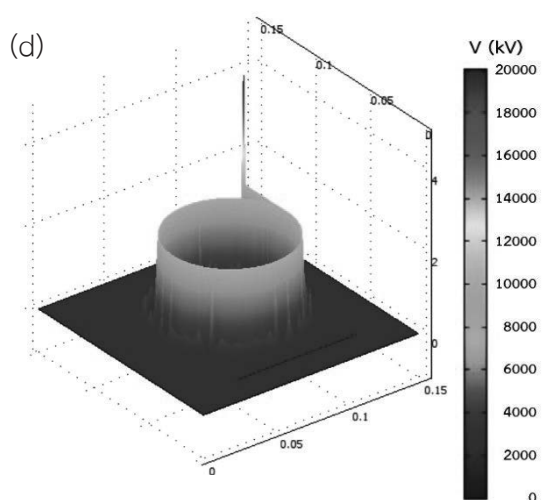
numerical appeared, as shown in Fig. 4. The electric field is appeared under the electrostatic process. The diagram from Fig. 1 is used in order to numerical studied the electrical voltage distribution, as shown in Fig. 5. In all the cases, the maximum electrical voltage is appeared at the tip of the electrode and the high value of electrical voltage is appeared in the electrode area. The zero electrical voltage is appeared at the ground area. The maximum and the minimum electrical voltage are not different for each arrangement. The electrical voltage distribution due to the different electrode and ground arrangement from Fig. 1 (a-g) has been already shown in Fig. 5 (a-g), respectively.



**Fig. 4** Numerical results of conventional coating Process

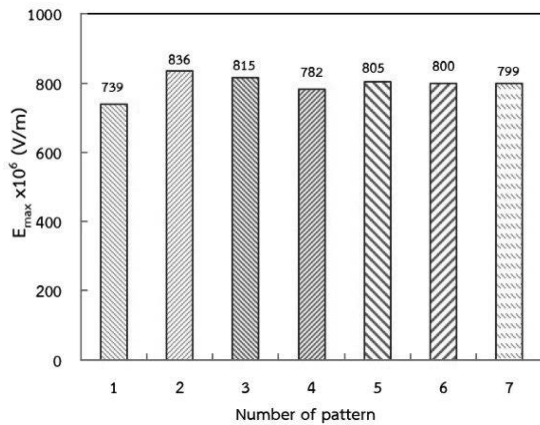




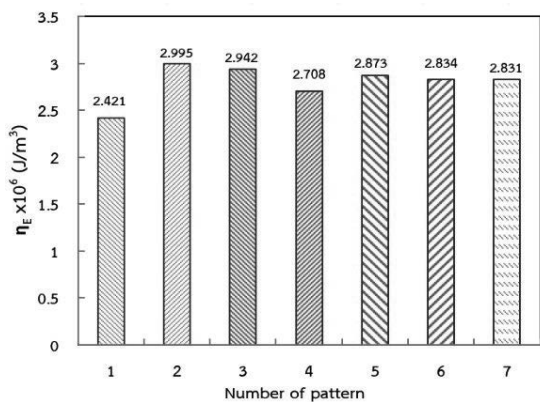


**Fig. 5** Numerical results of electrical voltage distribution (a) pattern 1 (b) pattern 2 (c) pattern 3 (d) pattern 4 (e) pattern 5 (f) pattern 6 (g) pattern 7

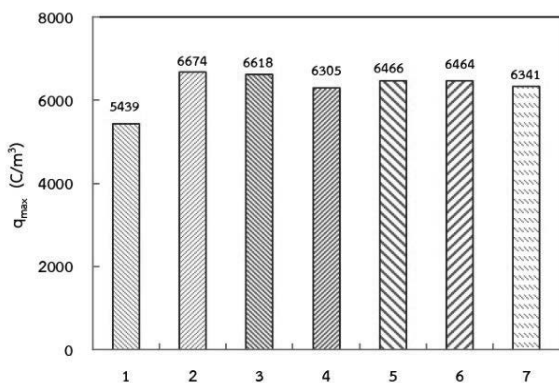
In various the electrode and the ground arrangement with electrostatic process, the maximum electric field, the maximum electric energy density and maximum surface charge density are numerical investigated in Fig. 6-8, respectively. The maximum value in each case is not difference due to the electrical high voltage is fixed. It can be seen that the highest value of the electrode and the ground arrangement is the pattern 2 (electrode wire in circle arrangement and ground point) and pattern 3 (electrode and ground wire in straight line arrangement). The lowest value of the electrode and the ground arrangement is pattern 1 (electrode wire in circle arrangement and ground point). The maximum electric field, the maximum electric energy density and maximum surface charge density are affected to the electric force so electrostatic coating process increasing.



**Fig. 6** The maximum electric field in various electrode and the ground arrangement with electrostatic process



**Fig. 7** The maximum electric energy density in various electrode and the ground arrangement with electrostatic process

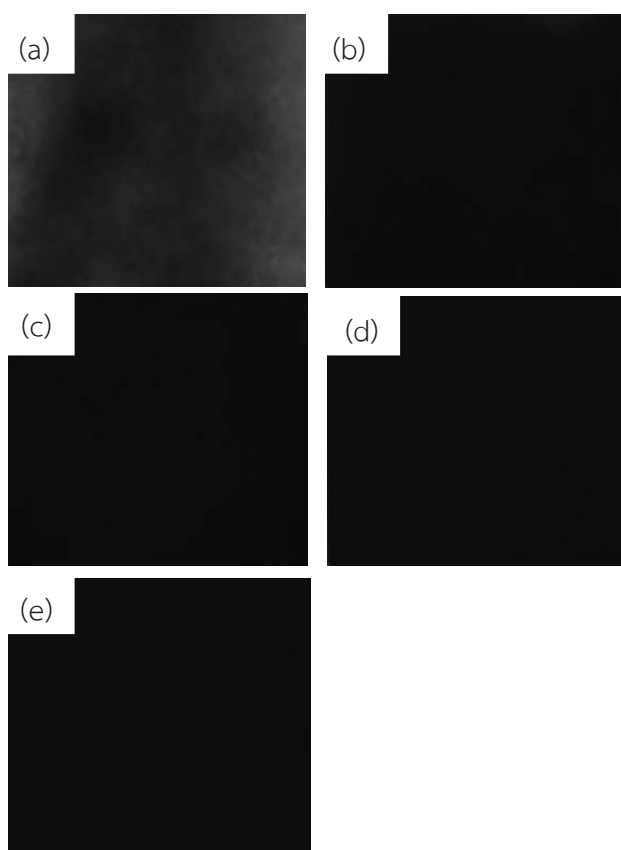


**Fig. 8** The maximum surface charge density in various electrode and the ground arrangement with electrostatic process

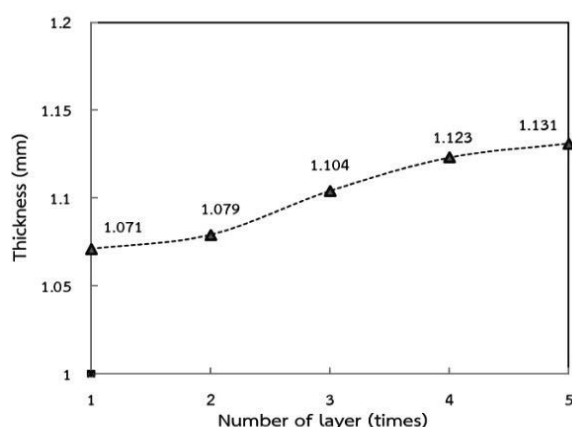
## 4.2 Experimental study the powder coating on the sample without the electrostatic process

In this without electrostatic powder coating process, the powder coating is paint until 1-5 layers and it is waiting for 10 minutes in each layer. The collected data of powder spray are investigated three times, and an average score is used for these experimental results. Fig. 9 shows the powder coating on the sample without the electrostatic process. The thin layer and the little thick layer are appeared when coating process is 1 layer and 2 layers, as shown in Fig. 9 (a) and 9 (b), respectively. The thickness of coating is measured by the cross-cut tester. The thick layer is coated in case of the powder coating is 3 layers (Fig. 9 (c)) and 4 layers (Fig. 9 (d)). For 5 layers (Fig. 9 (e)), the thickest layer is coated when comparison in all the cases.

The thickness of the powder coating on the sample plate is increased with the number of the experimental analysis increasing, as shown in Fig. 10. In case of 1-3 layers coating, the trend graph of thickness is steeper than that case of 3-5 layers coating. The optimum value for the powder coating is 3-4 layers. The thickness increases when the number of powder coatings increases. From 2 to 5 layers, the thickness of the coating is increased by 0.75, 3.08, 4.63, and 5.60 times, respectively, when compared with the thickness of the coating in 1 layer. It can be seen that the thickness of the coating in cases of 3-4 layers is greater than in cases of 2-5 layers. By trend of thickness is steep in case of 3-4 layers.



**Fig. 9** Experimental results of powder coating on sample plate without electrostatic process (a) 1 layer (b) 2 layers (c) 3 layers (d) 4 layers (e) 5 layers



**Fig. 10** Comparison between number of experimental analysis and thickness for powder coating on the sample plate without electrostatic process

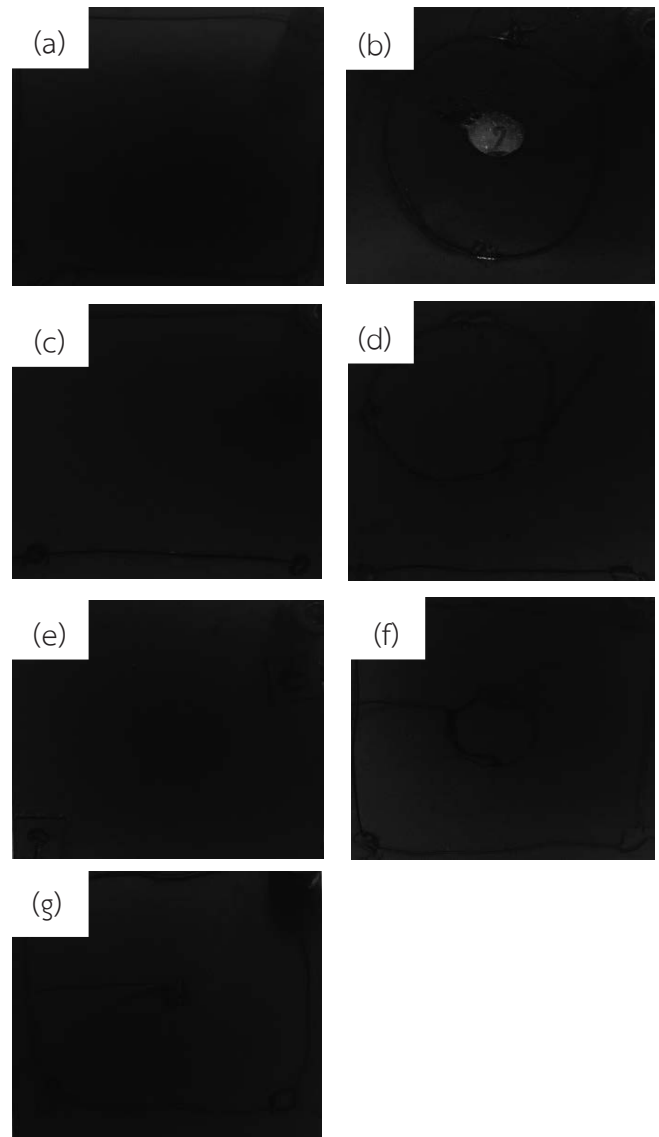
#### 4.3 Experimental study the powder coating on the sample with the electrostatic process

The electrode and the ground arrangement are studied for enhancement the electrostatic powder coating process. The powder coating is paint on the sample plate for 5 layers. The collected data of powder spray are investigated 3 times, and an average score is used for these experimental results. The diagram of the electrode and the ground arrangement are used from Fig. 1. The electrode and ground arrangements above the sample plate are composed of 7 patterns. Fig. 11 shows the powder coating on the sample with the electrostatic process in various the electrode and the ground arrangement. The powder coating on the sample with the electrostatic process from Fig. 11 (a-g) used the diagram from Fig. 1 (a-g), respectively.

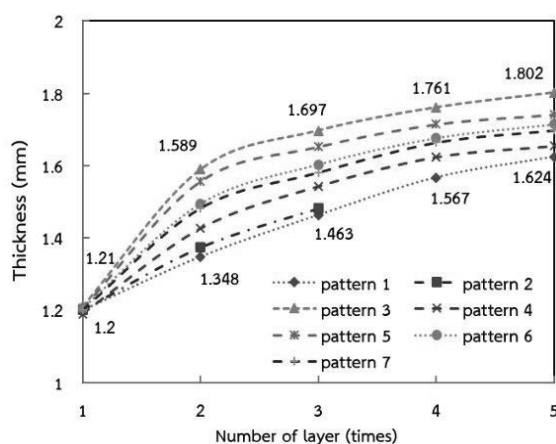
The pattern 3 (Fig. 11 (c)) and the pattern 6 (Fig. 11 (f)) show the electrode and the ground wire in the straight-line arrangements and the electrode and ground plate, respectively. These arrangements can support coating direction and coating process. This is because the electric charge can directly move from the electrode to the ground. The copper wire is supplied the electric current from the electrode and ground. It can be seen that the coatings can protect the substrate and the both patterns can control thickness. The pattern 4 (Fig. 11 (d)) and the pattern 6 (Fig. 11 (f)) show the electrode wire in the circle arrangement and the ground wire in the straight-line arrangement, respectively. The electrode wire is arranged in the circle and the

square pattern so these arrangements cannot completely support coating direction and coating process. But the ground wire and ground circle can spread the electric charge so the most coating material is deposited on the sample plate. In case of ground point, the pattern 1 (Fig. 11 (a)), the pattern 2 (Fig. 11 (b)), and the pattern 7 (Fig. 11 (g)) show the electrode wire in the square arrangement, the electrode wire in the circle arrangement and the electrode wire in the square arrangement, respectively. These arrangements cannot support coating direction and coating process. Some coating material is deposited on the sample plate. In addition, the circle arrangement and the ground point are the unsuitable pattern. The electric charge is directly moved from the electrode wire to the ground point. This arrangement can abrupt the electrical discharge when a sufficiently high electric field creates an ionized, the electric spark is appeared, as shown in Fig. 10 (b). It can be seen that the damages of coating equipment are appeared the middle of the sample plate (ground point area).

For the electrostatic process in various the electrode and the ground arrangement, Fig. 12 shows the comparison between the thickness and the number of the experimental analysis for the powder coating on the sample plate. The thickness of the powder coating on the sample plate is increased with the number of the experimental analysis increasing. The results of Fig. 11 are the similar trend with the result of Fig. 12. In all the cases, the electrostatic process can more increase the thickness of coating than without the electrostatic process.



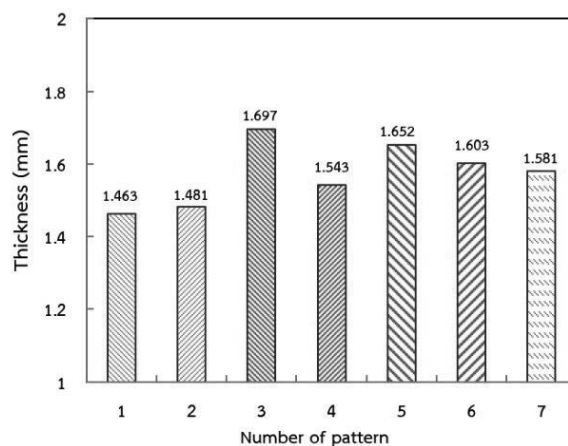
**Fig. 11** The powder coating on the sample plate with the electrostatic process in various the electrode and the ground arrangement (a) pattern 1 (b) pattern 2 (c) pattern 3 (d) pattern 4 (e) pattern 5 (f) pattern 6 (g) pattern 7



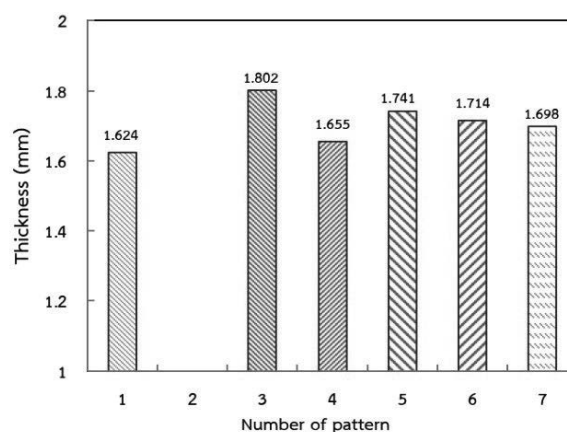
**Fig. 12** Comparison between thickness and number of experimental analyses for the powder coating on the sample plate with the electrostatic process in various the electrode and the ground arrangement

Fig. 13 and 14 show the thickness of the powder coating on the sample plate with the electrostatic process in various the electrode and the ground arrangement. The 7 patterns in various the electrode and the ground arrangement are used the data from Table 1 and Fig. 1. For 3 layers coating (Fig. 13), all of the patterns can be coated. The pattern 2 is not collect of data because the sample plate is damaged from the electric spark, as shown in 5 layers coating (Fig. 14).

The maximum coating is 5 layers, the thickness of powder coating for pattern 1 is 1.624 mm and the thickness of pattern 3-7 are 1.802 mm, 1.655 mm, 1.741 mm, 1.714 mm and 1.698 mm, respectively. The maximum of the powder coating on the sample plate with the electrostatic process is 1.59 times when comparing in without the electrostatic process.



**Fig. 13** The thickness of powder coating on sample plate with electrostatic process in various electrode and the ground arrangement for 3 layers



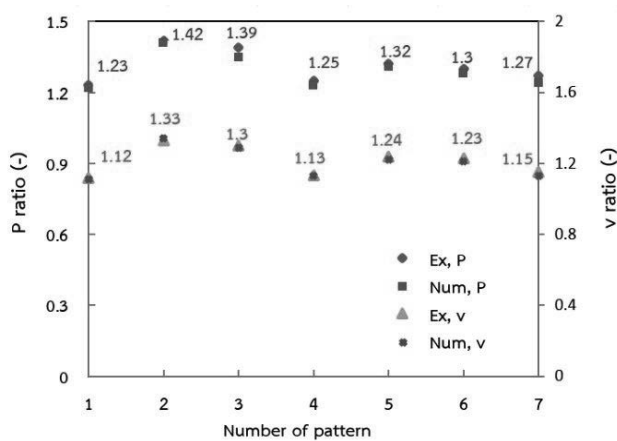
**Fig. 14** The thickness of powder coating on sample plate with electrostatic process in various electrode and the ground arrangement for 5 layers

#### 4.4 Verification and problem statements for analysis

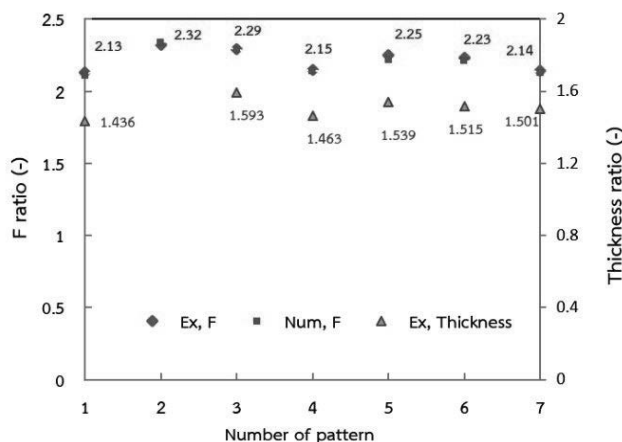
From a previous study, the electrode and the ground arrangement on the sample plate is the main influenced under the electrostatic powder coating process. The electrode and the



ground arrangement are influenced with the maximum electric field, the maximum electric energy density and the maximum surface charge density so the electric force is differenced. The electric force under the electrostatic process is influenced with the impact pressure (P), impact velocity (v) and gravity force (F) so powder coating on the sample plate is differenced.



**Fig. 15** The impact pressure ratio and the impact velocity ratio of powder coating in various electrode and the ground arrangement



**Fig. 16** The gravity force ratio and thickness ratio of powder coating in various electrode and the ground arrangement

Fig. 15 shows the impact pressure ratio (impact pressure with the electrostatic process per impact pressure without the electrostatic process; P ratio) and the impact velocity ratio (impact velocity with the electrostatic process per impact velocity without the electrostatic process; v ratio), respectively. Fig. 16 shows the gravity force ratio (gravity force with the electrostatic process per gravity force without the electrostatic process; F ratio) and thickness ratio (thickness of coating with the electrostatic process per thickness of coating without the electrostatic process; thickness ratio). In various electrode and the ground arrangement, the highest impact pressure ratio, the impact velocity ratio and gravity force ratio are the pattern 2 (electrode wire in circle arrangement and ground point) and pattern 3 (electrode and ground wire in straight line arrangement). The lowest impact pressure ratio, the impact velocity ratio and gravity force ratio are pattern 1 (electrode wire in square arrangement and ground point). From above numerical data, the maximum electric field, the maximum electric energy density and the maximum surface charge density in Fig. 6-8 are influenced in the electric force so it is affected with the impact pressure, impact velocity and gravity force in Fig. 15 and Fig. 16. From above experimental data, the all of patterns can be coated for 5 layers coating. The pattern 2 is not studied the data because the sample plate is damaged from the electric spark. The maximum and minimum of the powder coating on the sample plate with the electrostatic process are pattern 3 (electrode and ground wire in straight

line arrangement) and pattern 1 (electrode wire in square arrangement and ground point), respectively. For Fig. 16, the thickness ratio of powder coating is the similar trend with the thickness of powder coating in Fig. 13.

The percent error is the difference between estimated value and the actual value in comparison to the actual value and is expressed as a percentage. From Fig. 15, the percentage error of the impact pressure ratio and the impact velocity ratio are 0.70-2.84% and 0.11-1.74%, respectively. From Fig. 16, the percentage error of the gravity force ratio 0-1.33%. From the above results, all the percentage error is lower than 3% so the data is generally accepted as being valid. It can be seen that numerical results had good agreement with experiment results.

## 5. Conclusion

The numerical and experimental result is carried out to study the influence of the coating process under the electrostatic process. The following are the conclusions of this research work:

1. The electric force is appearing under the electrostatic process, and the electrical voltage distribution is difference with various the electrode and ground arrangement.

2. The thickness of the powder coating on the sample plate is increased with the number of the coating, and the electrostatic process can more increase the thickness of coating than without the electrostatic process.

3. The electrode and ground arrangement are affected with the thickness of the powder coating on the sample plate.

## 6. Recommendation

All of parameter for coating should be observed during the coating operation so the idea behind this work can be used as guidance for special design for military vehicles and military aircraft coating material with the least manpower and minimum maintenance in the future.

## 7. Acknowledgements

This research was conducted at the Chulachomklao Royal Military Academy Fund and Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin for their support of this study.

## 8. References

- (1) Fatemeh, S. M., Yong, C., Leonard, M. S. and Janusz, P. Optimization of the Coating Procedure for a High-Throughput 96-Blade Solid Phase Microextraction System Coupled with LC-MS/MS for Analysis of Complex Samples, *Analytical Chemistry*, Vol. 83, June 2011, pp. 6018-6025, (2011).
- (2) Hamid, A., Sebastian, M. and Hamidreza, F. Effect of Interconnect Coating Procedure on Solid Oxide Fuel Cell Performance, *Materials Letters*, Vol. 259, Jan 2020, 126898, (2020).
- (3) Klomkliang, P., Koedbankram, I., Abhaisuwan, S., Konpudsa, Y., Lamsee, M., Yochana, N., Punkla, T., Mawintorn, T. and Saneewong Na Ayuttaya, S. Effect of Inclined Plate under the Electrophoretic Deposition Technique for Coating Process. The 36th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, July 2022, (2022).

- (4) Kerry, N.A., Vinod, J.G., Gordon, P.B. and Victoria, J.G. Monitoring of a Military Vehicle Coating under Prohesion Exposure by Embedded Sensors, *Progress in Organic Coating*, Vol. 65(1), April 2009, pp. 142-151, (2009).
- (5) Dangqing, Z., Naiping, H. and Dale, W.S. Chapter 1 - Water-based Sol-Gel Coatings for Military Coating Applications, *Handbook of Waterborne Coating*, August 2020, pp. 1-27, (2020).
- (6) Mehran, Q.M., Fazal, M.A., Bushroa, A.R. and Saeed, R. A Critical Review on Physical Vapor Deposition Coatings Applied on Different Engine Components, *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, Vol. 43(2), June 2017, pp. 158-175, (2018).
- (7) Nina, S., Michael, T. and Christian, M. Hard Coatings for Cutting Applications: Physical vs. chemical Vapor Deposition and Future Challenges for the Coatings Community, *Surface and Coating Technology*, Vol. 429, January 2022, pp. 127949, (2022).
- (8) Duhau, W. and Gordon, P.B. Sol-Gel Coatings on Metals for Corrosion Protection, *Progress in Organic Coating*, Vol. 64(4), March 2009, pp. 327-338, (2009).
- (9) Lutz-Michael, B. Application of Hardmetals as Thermal Spray Coatings, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 49, March 2015, pp. 350-364, (2015).
- (10) Nina, S., Michael, T. and Christian, M. Hard Coatings for Cutting Applications: Physical vs. chemical Vapor Deposition and Future Challenges for the Coatings Community, *Surface and Coating Technology*, Vol. 429, January 2022, pp. 127949, (2022).
- (11) Behzad, F., Navid, N. and Amir, D. On Coating Techniques for Surface Protection: A Review, *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, Vol. 3(28), March 2019, pp. 1-22, (2019).
- (12) S Sharmene, A., Base, T.E. and Inculet, I. Mathematical Modeling of Powder Paint Particle Trajectories in Electrostatic Painting, *IEEE Transaction on Industry Application*, Vol. 36(4), July-August 2000, pp. 992-997, (2000).
- (13) Ye, Q., Steigleder, T., Scheibe, A. and Dornick, J. Numerical Simulation of the Electrostatic Powder Coating Process with a Corona Spray Gun, *Journal of Electrostatics*, Vol. 54(2), February 2002, pp. 189-205, (2002).
- (14) Schmitt, C. and Lebienvenu, M. Electrostatic Painting of Conductive Composite Materials, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 134(3), March 2003, pp. 303-309, (2003).
- (15) Toljic, N., Adamiak, k., Castle, G.S.P., Kuo, H. and Fan, H. A full 3D Numerical Model of the Industrial Electrostatic Coating Process for Moving Targets, *Journal of Electrostatics*, Vol. 71(3), June 2013, pp. 299-304, (2013).
- (16) Nobrega, J.H.C., Pio, P.G.C., Fernandes, G.L., Botelho, S.T. and Araujo, T.C. Sustainability in manufacturing processes: practices performed in metal forming, casting, heat treatment, welding and electrostatic painting, *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, Vol. 26(8), August 2019, pp. 684-697, (2019).
- (17) Saneewong Na Ayuttaya, S. and Rattanadecho, P. Influence of Electrode Arrangements on Electrohydrodynamics and Transport Phenomenon within Water and Porous Samples Connected to Rectangular Duct. *International Journal of Thermal Sciences*, 130C, pp. 367-385, (2018).
- (18) Saneewong Na Ayuttaya, S. A review of Electrohydrodynamics Application (Based on the Mechanism Characteristic). *CRMA Journal*, Vol. 15, December 2017, pp. 37-59, (2017).
- (19) Shah, U., Zhu, J., Zhang, C. and Senior, J.H.N. Numerical Investigation of Coarse Powder and Air Flow in an Electrostatic Powder Coating Process, *Powder Technology*, Vol. 164(1), May 2006, pp. 22-32, (2006).
- (20) David, J.G. *Introduction to Electorhydrodynamics*, Prentice Hall International, Inc., New Jersey, (1999).
- (21) Landau, L.D. and Lifshitz, E.M. *Electrohydrodynamics of Continuous Media*. Pergamon, New York, (1963).
- (22) Saneewong Na Ayuttaya, S., Chaktranond, C., Rattanadecho, P. and Kreewatcharin, T. Effect of Ground Arrangements on Swirling Flow in a Rectangular Duct Subjected to Electrohydrodynamic Effects. *Journal of Fluids Engineering -Transactions of the ASME*, Vol. 134, pp. 051211-9, (2012).

การประยุกต์ใช้ข้อมูลระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิเพื่อการเตือนภัยหน่วยงาน  
ของกองทัพเรือซึ่งตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน

An Application of Tsunami Travel Time for Warning to Naval Units along  
Andaman Coast

พิเชษฐ ปัวเฮงทรัพย์  
Pichet Puahengsup

รองผู้อำนวยการ กองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Deputy Director, Department of Hydrographic Engineering, Academic Branch,  
Royal Thai Naval Academy

Corresponding Author. E-mail : ppuahengsup@yahoo.com

(Received: May 2, 2024, Revised: May 27, 2024, Accepted: May 31, 2024)

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์นำข้อมูลระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิมาใช้ในการเตือนภัยหน่วยของกองทัพเรือซึ่งมีที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน โดยพิจารณากำหนดจุดกำเนิดแผ่นดินไหวที่มีศักยภาพตามแนวรอยเลื่อนแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลียกับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย ในทะเลอันดามันระหว่างละติจูด  $2^{\circ}00'$  ถึง  $16^{\circ}00'$  เหนือ และระหว่างลองจิจูด  $92^{\circ}00'$  ถึง  $98^{\circ}00'$  ตะวันออก เพื่อนำไปคำนวณหาระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิไปยังพื้นที่บริเวณชายฝั่งซึ่งเป็นที่ตั้งหน่วยงานของกองทัพเรือในจังหวัดระนอง จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต และจังหวัดสตูล ระยะเวลาวิกฤตคือ ระยะเวลาเดินทางน้อยสุดที่คลื่นยักษ์สึนามิจะมาถึงชายฝั่งซึ่งเป็นที่ตั้งแต่ละหน่วยของกองทัพเรือ โดยสามารถคำนวณได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ WiniTDB (Windows-Based Integrated Tsunami Database) ผลจากการวิจัยทำให้ทราบว่าพื้นที่เสี่ยงภัยจากคลื่นยักษ์สึนามิ ได้แก่ พื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามันตั้งแต่จังหวัดระนองถึงจังหวัดสตูล โดยเมื่อเกิดแผ่นดินไหวตามแนวรอยเลื่อนในทะเลอันดามันที่มีขนาดความรุนแรงมากกว่า 6.5 ริคเตอร์ และพิสูจน์ทราบได้ว่ากำลังจะเกิดคลื่นยักษ์สึนามิ ศูนย์ปฏิบัติการกองทัพเรือจะต้องดำเนินการแจ้งให้หน่วยต่าง ๆ ของกองทัพเรือซึ่งมีที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งตั้งแต่จังหวัดระนองถึงจังหวัดสตูล และตามเกาะต่าง ๆ ให้ทำการอพยพกำลังพลอาวุธยุทโธปกรณ์ที่มีความสำคัญไปไว้ในบริเวณที่ปลอดภัยจากคลื่นยักษ์สึนามิภายในเวลา 2 ชั่วโมง

**คำสำคัญ:** คลื่นยักษ์สึนามิ แผ่นดินไหว แบบจำลองคณิตศาสตร์ รอยเลื่อน

**Abstract:** This research has objective to apply tsunami travel time for warning naval units on the Andaman coast. The potential tsunamigenic source along the fault line, between latitude  $2^{\circ}00'$  to  $16^{\circ}00'$  N and longitude  $92^{\circ}00'$  to  $98^{\circ}00'$  E, of the Indo-Australian plate and the Eurasian plate is designated to calculate the tsunami travel time to those locations in Ranong, Phang-Nga, Phuket, and Satun. Critical time is defined as a minimum time for a tsunami wave travelling to the coast where each naval unit is located. It can be calculated by mathematical model, namely WiniTDB (Windows-Based Integrated Tsunami Database). The results reveal that a risky area from tsunami is the coastal area from Ranong to Satun. The Royal Thai Navy Command Center must immediately notify naval units, in those locations, to evacuate personnel, and move important munitions to safety area within 2 hours when an earthquake, is greater than 6.5 Richter scale, occurred along the fault line in Andaman Sea and tsunami was approved about to occur.

**Keywords:** Tsunami, Earthquake, Mathematical Model, Fault



## 1. บทนำ

เหตุการณ์ธรณีพิบัติภัยจากภัยคลื่นยักษ์สึนามิในมหาสมุทรอินเดียซึ่งเกิดจากแผ่นดินไหวขนาด 9.0 ริกเตอร์ เมื่อปี พ.ศ. 2547 ได้สร้างความเสียหายอย่างมากจนถูกจารึกไว้ในประวัติศาสตร์ของประเทศไทย พื้นที่และชุมชนชายฝั่งทะเลใน 6 จังหวัดภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามันที่ได้รับผลกระทบ ได้แก่ ภูเก็ต พังงา กระบี่ ตรัง สตูล และระนอง โดยมีรายงานจำนวนผู้เสียชีวิตทั้งชาวไทยและต่างประเทศรวมกันมากกว่า 5,000 คน และสูญหายอีกประมาณ 3,000 คน [1] ในส่วนของกองทัพเรือ มีหน่วยงานซึ่งมีที่ตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามันอยู่ในหลายจังหวัด เช่น หน่วยปฏิบัติการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง 451 ตั้งอยู่ในจังหวัดระนอง ฐานทัพเรือพังงา ตั้งอยู่ในจังหวัดพังงา หน่วยปฏิบัติการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง 591 ตั้งอยู่ในจังหวัดภูเก็ต หน่วยปฏิบัติการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง 452 หน่วยปฏิบัติการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง 491 และสถานีเรือละงู ตั้งอยู่ในจังหวัดสตูล เป็นต้น หน่วยเหล่านี้ต่างก็ได้รับความเสียหายอย่างมากเช่นกัน

ธรณีแปรสัณฐานของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เกิดขึ้นจากแผ่นเปลือกโลกเคลื่อนที่ชนกันและมุดจมตัวลง แหล่งกำเนิดแผ่นดินไหวที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับประเทศไทยและเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงมากที่สุดที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาดความรุนแรงมากกว่า 7.0 ริกเตอร์ได้ในรอบ 10 ปี คือ แนวมุดตัวสุมาตรา-อันดามัน โดยเฉพาะบริเวณหมู่เกาะนิโคบาร์-อันดามัน [2], [3] อัตราการเปลี่ยนรูป (Deformation rates) ตามแนวรอยต่อระหว่างแผ่นเหล่านี้มีการผันแปรซึ่งมีค่าไม่แน่นอนในกรณีนี้จึงทำให้เกิดการเคลื่อนตัวตลอดแนวรอยเลื่อนจากทางตอนเหนือของเกาะสุมาตราขึ้นไปยังชายฝั่งด้านตะวันตกของประเทศพม่ารวมระยะทางประมาณ 1,400 กิโลเมตร และทำให้เกิดกิจกรรมทางธรณีแปรสัณฐาน (Tectonic activity) เกิดการเคลื่อนที่ของแนวรอยเลื่อน (Inland Seismogenic

Faults) ทำให้เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวเป็นจำนวนมากทั้งในบริเวณแนวมุดตัวสุมาตรา-อันดามัน (Subduction) และบริเวณภายในแผ่นยูเรเชีย (Intraplate) [4] หากสืบค้นข้อมูลสถิติการเกิดแผ่นดินไหวในฝั่งทะเลอันดามันจากเว็บไซต์ของกองเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา จะพบว่าตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันมีเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในฝั่งทะเลอันดามันมากมาย หากแต่ยังไม่มีปัจจัยมากพอที่จะก่อให้เกิดคลื่นยักษ์สึนามิ แต่นั่นก็ไม่ได้หมายความว่าไม่มีโอกาสในการเกิดภัยพิบัติดังกล่าวได้อีก

แม้ว่าในปัจจุบันเรายังไม่สามารถยับยั้งธรณีพิบัติภัยที่เกิดจากคลื่นยักษ์สึนามิได้ แต่เราสามารถที่จะเตรียมการป้องกันและวางแผนรับมือกับภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้นได้ในปัจจุบันกองทัพเรือได้มีการจัดตั้ง ศูนย์ประสานและสนับสนุนข้อมูลการแจ้งเตือนภัย ศูนย์บรรเทาสาธารณภัย กองทัพเรือ โดยมีภารกิจหลักสำคัญประการหนึ่งคือการเฝ้าระวังแผ่นดินไหวและแจ้งเตือนการเกิดคลื่นยักษ์สึนามิให้กับศูนย์ปฏิบัติการกองทัพเรือ (ศบก.ทร.) เพื่อแจ้งให้หน่วยต่าง ๆ ของกองทัพเรือและเรือรบหลวงที่ปฏิบัติราชการอยู่ในทะเลได้ทราบ โดยกองทัพเรือได้มอบหมายให้กรมอุทกศาสตร์ (อค.) ในฐานะหน่วยขึ้นตรงของกองทัพเรือเป็นหน่วยรับผิดชอบโดยตรง สำหรับการแจ้งเตือนภัยที่ผ่านมานั้นจะอาศัยข้อมูลจากสถานีวัดความสั่นสะเทือน จังหวัดเชียงใหม่ (สวท.ชม.) สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหวของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีเฝ้าระวังแผ่นดินไหวต่าง ๆ ของโลก สถานีวัดระดับน้ำเพื่อการเตือนภัยคลื่นยักษ์สึนามิในฝั่งทะเลอันดามันของกรมอุทกศาสตร์ ศูนย์เตือนภัยคลื่นยักษ์สึนามิ (DART-Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami) ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย สถานีวัดระดับน้ำของหน่วยงานอื่น ๆ ร่วมกับการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ผ่านมามีการศึกษาผลการเกิดคลื่นยักษ์สึนามิที่ปันกันดารัน (Pangandaran) ประเทศอินโดนีเซีย โดยคำนวณระยะเวลาการเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิจากแบบจำลอง WinITDB ซึ่งเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มี

ความสามารถในการประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว [5]

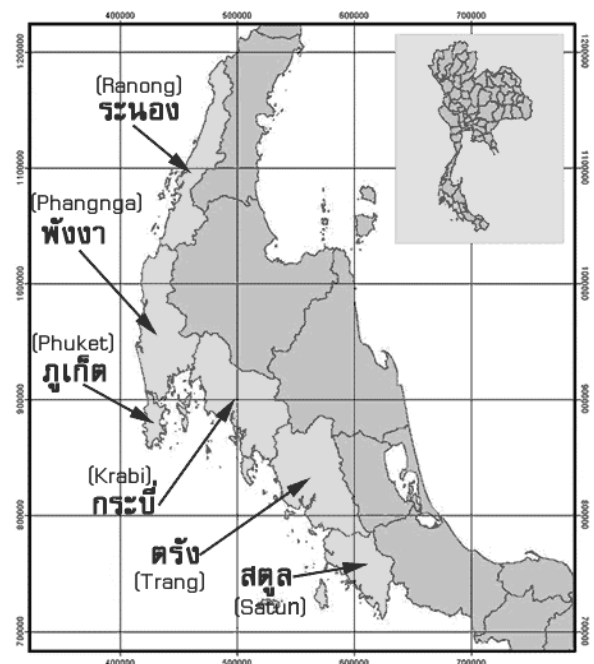
ในปี ค.ศ. 2009 ได้มีการศึกษาระยะเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิที่เดินทางมายังชายฝั่งประเทศไต้หวัน โดยกำหนดจุดกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณแนวห้วยทะเลลึกมะนิลา เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ซึ่งมีโอกาสเกิดแผ่นดินไหว [6] สำนักเฝ้าระวังและบรรเทาผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวของโลก (The World Agency of Planetary Monitoring and Earthquake Risk Reduction; WAPMERR) ได้จัดทำแผนที่ระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิกระทบฝั่งในขอบเขตพื้นที่ระดับโลกและระดับภูมิภาค โดยใช้ฐานข้อมูลการเกิดคลื่นยักษ์สึนามิตั้งแต่ 1,628 ปีก่อนคริสตกาล เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความสูญเสียกับตำบลที่ของจุดกำเนิดแผ่นดินไหว รวมถึงอธิบายเกี่ยวกับห้วงเวลาที่เกิดความสูญเสีย [7] นอกจากนี้ ภูเวียง ประคำมินทร์ เคยทำการศึกษาระยะเวลาการเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิในอ่าวไทย โดยกำหนดจุดกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณกลางอ่าวไทย เนื่องจากพิจารณาแล้วว่ามีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มบริเวณแท่นขุดเจาะกลางอ่าวไทย [8] และอาจเป็นเหตุให้เกิดคลื่นยักษ์สึนามิ แต่ยังไม่เคยปรากฏการศึกษาว่าหากเกิดแผ่นดินไหวตามแนวรอยเลื่อนในทะเลอันดามันแล้วจะมีพื้นที่ใดของหน่วยงานกองทัพเรือบ้างที่ได้จะรับผลกระทบบ้าง ระยะเวลานานเท่าใดที่คลื่นยักษ์สึนามิเหล่านั้นจะเดินทางมาถึงพื้นที่ชายฝั่งซึ่งเป็นที่ตั้งหน่วยของกองทัพเรือ และกองทัพเรือจะมีระยะเวลามากที่สุดเท่าใดในการแจ้งเตือนกำลังพลเพื่อทำการอพยพและเคลื่อนย้ายอาวุธยุทธโปกรณ์ที่สำคัญไปยังพื้นที่ปลอดภัย ระยะเวลาดังกล่าวถูกพิจารณาว่าเป็นระยะเวลาน้อยสุดที่คลื่นยักษ์สึนามิจะเดินทางมาถึงฝั่งในตำบลที่ตั้งหน่วยใด ๆ ของกองทัพเรือซึ่งงานวิจัยนี้ได้ให้คำจำกัดความว่าเป็นระยะเวลาวิกฤต หรือ Critical period โดยจุดกำเนิดแผ่นดินไหวที่แตกต่างกันก็จะทำให้ระยะเวลาเดินทางของ คลื่นยักษ์สึนามิไปยังแต่ละพื้นที่แตกต่างกันด้วย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอข้อมูลระยะเวลาวิกฤตเพื่อใช้

สำหรับการแจ้งเตือนภัย อพยพกำลังพลและขนย้ายอาวุธยุทธโปกรณ์ที่สำคัญของกองทัพเรือซึ่งมีที่ตั้งอยู่บนบริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน เพื่อบรรเทาความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นกับชีวิตและทรัพย์สินรวมทั้งอาวุธยุทธโปกรณ์ที่สำคัญของกองทัพเรือ

## 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ลักษณะกายภาพของกลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน

กลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามันตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของภาคใต้ประกอบด้วย 6 จังหวัด ได้แก่ ระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล พื้นที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก ลักษณะภูมิประเทศนี้เกิดจากแผ่นดินยุบตัว ทำให้ชายฝั่งทะเลมีลักษณะเว้าแหว่ง โดยบริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันตกของภาคใต้จะมีลักษณะเว้าแหว่งมากกว่าทางด้านตะวันออก มีอ่าวและเกาะจำนวนมากมีป่าชายเลน เขตที่ราบทางด้านตะวันตกจะเป็นบริเวณแคบ ๆ ขนานกับชายฝั่งทะเล



ภาพที่ 1 กลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอันดามัน 6 จังหวัด [9]

2.2 คลื่นยักษ์สึนามิ

2.2.1 ลักษณะของคลื่นยักษ์สึนามิ

คลื่นยักษ์สึนามิเคลื่อนตัวออกจากจุดกำเนิดในลักษณะเป็นชุดของคลื่น กล่าวคือเมื่อมีการกำเนิดคลื่นแล้ว คลื่นลูกที่หนึ่งเคลื่อนออกจากจุดกำเนิดไปได้สักระยะหนึ่งประมาณ 10-60 นาที คลื่นลูกที่สองจึงจะเคลื่อนที่ตามออกไป จากนั้นอีกสักระยะหนึ่งคลื่นลูกที่สามและลูกต่อ ๆ ไปจึงจะเคลื่อนตัวออกไป คลื่นยักษ์สึนามิเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นนานหลายนาทีและมีความยาวคลื่นยาวมาก โดยมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 80-200 กิโลเมตร คลื่นยักษ์สึนามิเคลื่อนที่จากทะเลลึกเข้าหาฝั่งจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยตั้งแต่ 200 กิโลเมตร/ชั่วโมง จนถึงมากกว่า 1,000 กิโลเมตร/ชั่วโมง หากทราบความเร็วของคลื่นยักษ์สึนามิจะสามารถคาดหมายระยะเวลาที่คลื่นเคลื่อนตัวถึงชายฝั่งได้ โดยตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วของคลื่นยักษ์สึนามิ ได้แก่ ความลึกของน้ำกับอัตราเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยที่ความเร็วในการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิจะเท่ากับรากที่สองของความลึกของน้ำกับอัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามสมการด้านล่าง

$$C = \sqrt{gD}$$

เมื่อ

C คือ ความเร็วในการเคลื่อนตัวของสึนามิ (เมตร/วินาที)

D คือ ความลึกของน้ำที่สึนามิเคลื่อนตัวผ่าน (เมตร)

g คือ อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตร/วินาที<sup>2</sup>)

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของคลื่นยักษ์สึนามิที่ระดับความลึกน้ำต่าง ๆ พร้อมกับยกตัวอย่างลักษณะของภูมิประเทศบริเวณพื้นที่ท้องทะเล (Bathymetry) ตามความลึกอีกด้วย องค์ความรู้พื้นฐานที่กล่าวมาข้างต้นนั้นถูกนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณระยะเวลาการเคลื่อนที่ของคลื่นยักษ์สึนามิเข้าสู่ฝั่ง

ตารางที่ 1 ความเร็วของคลื่นยักษ์สึนามิที่ความลึกต่าง ๆ [10]

| ความลึกน้ำ (ม.) | ความเร็วคลื่น (กม./ชม.) | หมายเหตุ                       |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------|
| 10              | 36                      | ชายฝั่งทั่วไป                  |
| 20              | 50                      | อ่าวไทยตอนบน และ บริเวณชายฝั่ง |
| 100             | 113                     | จุดลึกสุดในอ่าวไทย             |
| 200             | 159                     | เขตไหล่ทวีป                    |
| 3,000           | 504                     | จุดลึกสุดในฝั่งทะเลอันดามัน    |
| 4,000           | 713                     | ความลึกเฉลี่ยของมหาสมุทร       |
| 10,000          | 1,127                   | หุบเหวใต้สมุทร                 |

2.2.2 สาเหตุการเกิดคลื่นยักษ์สึนามิ

คลื่นยักษ์สึนามิเกิดขึ้นเมื่อมวลน้ำทะเลปริมาตรมหาศาลถูกผลักดันให้เคลื่อนตัวออกจากตำแหน่งเดิมอย่างฉับพลันด้วยพลังงานมหาศาล มวลน้ำทะเลจึงกระจายตัวออกเป็นคลื่นยักษ์สึนามิ โดยคลื่นยักษ์สึนามิเกิดได้จากสาเหตุหลายประการ เช่น การระเบิดอย่างรุนแรงของภูเขาไฟ แผ่นดินถล่มใต้น้ำ การเคลื่อนตัวของเปลือกโลกจากการเกิดแผ่นดินไหว เป็นต้น โดยคลื่นยักษ์สึนามิส่วนใหญ่เกิดจากแผ่นดินไหวในทะเลหรือการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกใต้ทะเลอย่างฉับพลัน อันเนื่องมาจากเปลือกโลกซึ่งเป็นของแข็งลอยตัวอยู่บนหินหนืด (Mantle) ซึ่งเป็นของไหลที่มีความร้อนสูงและมีความหนาแน่นสูง โดยเปลือกโลกมิได้ต่อเนื่องกันโดยตลอด แต่มีลักษณะเป็นแผ่นย่อย ๆ จำนวนหลายแผ่น ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งที่มีความหนาเล็กน้อย ประมาณ 100-150 กิโลเมตร เมื่อเทียบกับรัศมีของโลก มันจึงถูกเรียกว่า

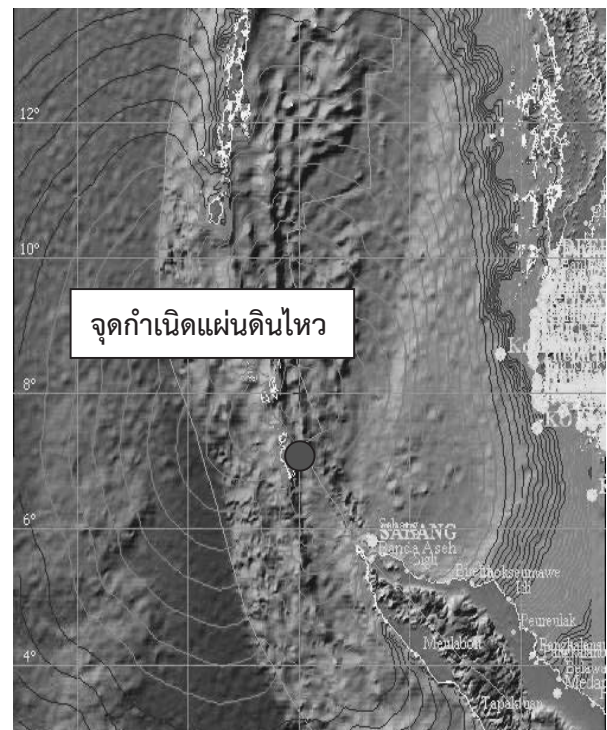
เพลท (Plate) [11] เมื่อเพลทซึ่งลอยตัวอยู่บนหินหนืด (Mantle) ซึ่งเป็นของไหลที่มีความร้อนสูงประมาณ 1,500-3,000 องศาเซลเซียส และมีความหนาแน่นสูง (มีค่าประมาณ 3.3 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) เคลื่อนตัว จะเกิดลักษณะขอบของเพลทแบบต่าง ๆ เช่น ขอบของเพลทแบบชนกัน (Convergence) ขอบของเพลทแบบแยกจากกัน (Divergence) และขอบของเพลทแบบเคลื่อนที่สวนทางกัน (Transform) โดยแผ่นดินไหวในมหาสมุทรอินเดียเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2547 นั้นก็มีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่ชนกันระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินเดีย (India Plate) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลีย (Indo-Australian Plate) กับแผ่นเปลือกโลกพม่า (Burma plate) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian Plate) โดยในปัจจุบันแผ่นเปลือกโลกดังกล่าวก็ยังมีการเคลื่อนที่ชนกันอยู่ตลอดเวลา

### 2.3 แบบจำลอง WinITDB

WinITDB เป็นฟรีแวร์ (Freeware) ที่ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดได้จากอินเทอร์เน็ตเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งสามารถใช้งานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows Operation) ถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณหาระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิ โดยศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ได้ใช้แบบจำลองนี้ในการคำนวณหาระยะเวลาการเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิเข้าสู่ฝั่ง [12] ศูนย์ประสานและสนับสนุนข้อมูลการแจ้งเตือนภัย ศูนย์บรรเทาสาธารณภัย กองทัพเรือก็ใช้แบบจำลองนี้เช่นกัน จึงเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มีความน่าเชื่อถือเป็นอย่างยิ่ง

ผลจากการใช้งานแบบจำลอง WinITDB เพื่อจำลองการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิเข้าสู่ฝั่งจะแสดงระยะเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวไปยังพื้นที่ชายฝั่งต่าง ๆ ตั้งแต่ระดับจังหวัดจนถึงระดับหมู่บ้านได้ตามที่ถูกระบุไว้ในฐานข้อมูลของ WinITDB ซึ่งในปัจจุบันศูนย์ประสานและสนับสนุนข้อมูลการแจ้งเตือนภัย ศูนย์บรรเทาสาธารณภัยกองทัพเรือ ได้

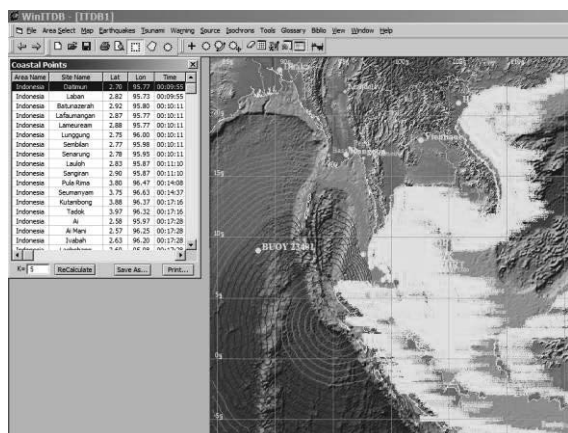
ทำการปรับแก้ไฟล์ที่มีชื่อว่า CITIES.CTY ในฐานข้อมูลของแบบจำลอง WinITDB เพื่อให้สามารถแสดงผลการจำลองการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิเข้าสู่ฝั่งซึ่งเป็นพื้นที่ของกองทัพเรือที่จะได้รับผลกระทบจากคลื่นยักษ์สึนามิ ในการวิจัยนี้ได้กำหนดไว้จำนวน 4 พื้นที่ ได้แก่ ท่าเรือ น้ำลึกระนอง จังหวัดระนอง ฐานทัพเรือพังงา จังหวัดพังงา ท่าเรือภาค 3 จังหวัดภูเก็ต และเกาะหลีเป๊ะ จังหวัดสตูล โดยเกาะหลีเป๊ะนั้นเป็นที่ตั้งของหน่วยปฏิบัติการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง 491 นอกจากนั้น ในบริเวณใกล้เคียงยังเป็นที่ตั้งของสถานีเรือหลวง รวมถึงหน่วยปฏิบัติการต่อสู้อากาศยานและรักษาฝั่ง 452 อีกด้วย การแสดงผลระยะเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิเข้าสู่ฝั่งจะถูกแสดงในรูปของแผนที่ (Travel Time Map) ประกอบด้วยวงสีต่าง ๆ โดย 1 วงสีหรือที่เรียกว่า “คอนทัวร์ (Contour)” คือระยะเวลา 1 ชั่วโมง ตามที่แสดงในรูปที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างผลการพยากรณ์เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่ง (1 วงสี คือ 1 ชั่วโมง) วงกลมสีแดงคือ จุดกำเนิดแผ่นดินไหว กรณีนี้จุดกำเนิดแผ่นดินไหว ละติจูด 8°00' เหนือ ลองจิจูด 94°00' ตะวันออก



นอกจาก WinITDB จะแสดงผลการคำนวณออกมาในรูปแบบที่แสดงระยะเวลาการเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิแล้ว หากผู้ใช้งานต้องการทราบระยะเวลาที่คลื่นยักษ์สึนามิเดินทางถึงจุดต่าง ๆ ตามชายฝั่งที่เราสนใจก็สามารถตรวจสอบได้จากตารางข้อมูลที่ WinITDB สร้างขึ้นมาตามที่แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยชื่อสถานที่ ละติจูด ลองจิจูด และเวลา

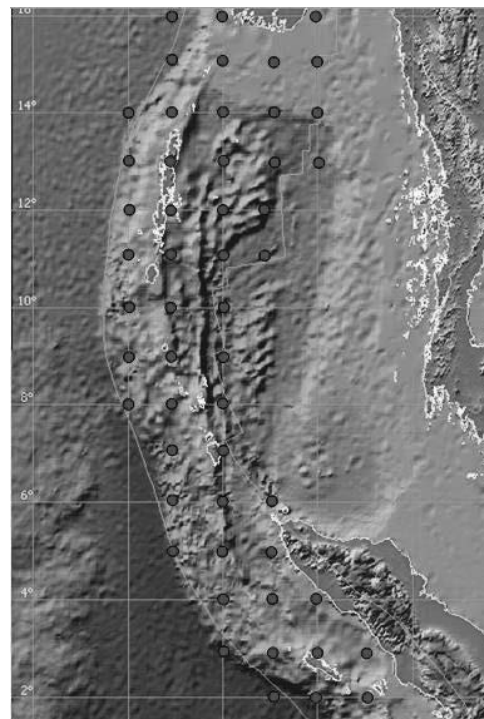


| Coastal Points |             |      |       |          |
|----------------|-------------|------|-------|----------|
| Area Name      | Site Name   | Lat  | Lon   | Time     |
| Indonesia      | Datimun     | 2.70 | 95.77 | 00:09:55 |
| Indonesia      | Laban       | 2.82 | 95.73 | 00:09:55 |
| Indonesia      | Batunazerah | 2.92 | 95.80 | 00:10:11 |
| Indonesia      | Lafaumangan | 2.87 | 95.77 | 00:10:11 |
| Indonesia      | Lameuream   | 2.88 | 95.77 | 00:10:11 |
| Indonesia      | Lunggung    | 2.75 | 96.00 | 00:10:11 |
| Indonesia      | Sembilan    | 2.77 | 95.98 | 00:10:11 |
| Indonesia      | Senarung    | 2.78 | 95.95 | 00:10:11 |
| Indonesia      | Lauloh      | 2.83 | 95.87 | 00:11:10 |
| Indonesia      | Sangiran    | 2.90 | 95.87 | 00:11:10 |
| Indonesia      | Pula Rima   | 3.80 | 96.47 | 00:14:08 |
| Indonesia      | Seumanyam   | 3.75 | 96.63 | 00:14:37 |
| Indonesia      | Kutanibong  | 3.88 | 96.37 | 00:17:16 |
| Indonesia      | Tadok       | 3.97 | 96.32 | 00:17:16 |
| Indonesia      | Ai          | 2.58 | 95.97 | 00:17:28 |
| Indonesia      | Ai Mani     | 2.57 | 96.25 | 00:17:28 |
| Indonesia      | Ivabah      | 2.63 | 96.20 | 00:17:28 |
| Indonesia      | Ivabah      | 2.63 | 96.20 | 00:17:28 |

ภาพที่ 3 การแสดงผลของแบบจำลองคณิตศาสตร์ WinITDB จะแสดงตำบลพื้นที่ชายฝั่งที่สนใจเป็นค่าพิกัด (ละติจูด กับ ลองจิจูด) และเวลาที่คลื่นยักษ์สึนามิเดินทางไปถึงจุดชายฝั่งเหล่านั้น

### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วิธีการวิจัย



ภาพที่ 4 การกำหนดจุดกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลียกับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย สำหรับการพยากรณ์เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิ

การวิจัยนี้จะกำหนดจุดกำเนิดแผ่นดินไหวซึ่งก่อให้เกิดคลื่นยักษ์สึนามิบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลีย (Indo-Australian Plate) กับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian Plate) ซึ่งอยู่ในทะเลอันดามันระหว่างละติจูด  $2^{\circ}00'$  ถึง  $16^{\circ}00'$  เหนือ ลองจิจูด  $92^{\circ}00'$  ถึง  $98^{\circ}00'$  ตะวันออก โดยแต่ละจุดจะมีระยะห่างประมาณ 1 องศา หรือประมาณ 60 ไมล์ทะเล หรือประมาณ 111 กิโลเมตร ดังแสดงตามรูปที่ 4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับการใช้งานแบบจำลองจะกำหนดค่าดังนี้ ค่า Time Limit กำหนดไว้เท่ากับ 10,800 วินาที ค่า Color Range กำหนดไว้เท่ากับ 3,600 วินาที และค่า Step กำหนดไว้เท่ากับ 300 วินาที



### 3.2 ขอบเขตการวิจัย

3.2.1 ผลจากการใช้แบบจำลอง WinITDB เพื่อจำลองการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิเข้าสู่ฝั่งสามารถแสดงเวลาการเคลื่อนตัวของคลื่นยักษ์สึนามิของพื้นที่ได้ตั้งแต่ระดับจังหวัดถึงระดับหมู่บ้าน อย่างไรก็ตาม ในการวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะตำบลที่ตั้งหน่วยของกองทัพเรือเพียง 4 พื้นที่เท่านั้น ได้แก่ ท่าเรือน้ำลึกกระนอง จังหวัดระนอง ฐานทัพเรือพังงา จังหวัดพังงา ทัพเรือภาค 3 จังหวัดภูเก็ต และเกาะหลีเป๊ะ จังหวัดสตูล การวิจัยนี้จึงจำกัดขอบเขตการวิจัยและขอบเขตของการอภิปรายผลของการวิจัยเฉพาะพื้นที่ดังกล่าวข้างต้นเท่านั้น

3.2.2 การวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะคลื่นยักษ์สึนามิซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดแผ่นดินไหวเท่านั้น เนื่องจากการเกิดคลื่นยักษ์สึนามิจากสาเหตุอื่น ๆ เช่น การปะทุอย่างรุนแรงของภูเขาไฟใต้ทะเล การเกิดแผ่นดินถล่มขนาดใหญ่ใกล้ชายฝั่งทะเล (Landslides) การพุ่งชนของอุกกาบาตลงบนพื้นน้ำ ในมหาสมุทรบริเวณพื้นที่ดังกล่าวนั้น ไม่ใช่สาเหตุหลักและมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อยมาก โดยจะพิจารณาแหล่งกำเนิดคลื่นยักษ์สึนามิจากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวบริเวณรอยต่อแผ่นเปลือกโลกอินโด-ออสเตรเลีย (Indo-Australian Plate) กับแผ่นเปลือกโลกยูเรเชีย (Eurasian Plate) ในทะเลอันดามันระหว่างละติจูด  $2^{\circ}00'$  ถึง  $16^{\circ}00'$  เหนือ และระหว่างลองจิจูด  $92^{\circ}00'$  ถึง  $98^{\circ}00'$  ตะวันออก

3.2.3 การใช้แบบจำลอง WinITDB นั้นมีขีดจำกัดคือ ไม่สามารถพยากรณ์ความสูงและความรุนแรงของคลื่นยักษ์สึนามิได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จะไม่อภิปรายเกี่ยวกับความสูงและความรุนแรงของคลื่นยักษ์สึนามิ แต่จะตั้งสมมติฐานว่าคลื่นยักษ์สึนามิที่เกิดขึ้นตามแนวรอยเลื่อนในทะเลอันดามันนั้นมีความรุนแรงมากพอที่จะสามารถทำให้เกิดความเสียหายให้กับพื้นที่และหน่วยงานตามชายฝั่งทะเลของกองทัพเรือได้

### 4. ผลการศึกษา

ตารางที่ 2 เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่งท่าเรือน้ำลึกกระนอง จังหวัดระนอง

| LON \ LAT | 92°  | 93°  | 94°  | 95°  | 96°  | 97°  | 98°  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 16°       | –    | 4:29 | 4:38 | –    | 5:28 | –    | –    |
| 15°       | –    | 4:17 | 4:37 | 4:47 | 4:36 | –    | –    |
| 14°       | 3:46 | 3:34 | 3:18 | 3:08 | 3:09 | –    | –    |
| 13°       | 3:49 | 3:18 | 3:05 | 2:53 | 2:50 | –    | –    |
| 12°       | 3:40 | 5:02 | 2:54 | 2:43 | –    | –    | –    |
| 11°       | 3:28 | 3:00 | 2:46 | 2:36 | –    | –    | –    |
| 10°       | 3:15 | 2:57 | 2:45 | –    | –    | –    | –    |
| 9°        | 6:03 | 5:43 | 5:31 | –    | –    | –    | –    |
| 8°        | 6:03 | 5:55 | 5:36 | –    | –    | –    | –    |
| 7°        | –    | 3:20 | 3:04 | –    | –    | –    | –    |
| 6°        | –    | 3:27 | 3:15 | 3:10 | –    | –    | –    |
| 5°        | –    | 3:36 | 3:27 | 3:28 | –    | –    | –    |
| 4°        | –    | –    | 3:40 | 3:38 | 3:58 | –    | –    |
| 3°        | –    | –    | 4:05 | 4:07 | 4:12 | 4:26 | –    |
| 2°        | –    | –    | –    | 4:17 | 4:25 | 4:39 | 5:09 |

ผลการคำนวณจากแบบจำลอง WinITDB จะถูกแสดงผลการคำนวณออกมาในรูปแบบของแผนที่ระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิกระทบฝั่ง ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้นั้นอาจจะไม่สะดวกนักสำหรับผู้ที่ไม่มีความคุ้นเคยกับการใช้งานแบบจำลองดังกล่าว ดังนั้นเพื่อให้เป็นการง่ายและสะดวกต่อการนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อประยุกต์ใช้งานต่อไปนั้น ผู้วิจัยจึงจะสรุปข้อมูลที่ได้จากการใช้แบบจำลอง WinITDB ในรูปแบบตาราง โดยกำหนดให้แนวนอน คือ ลองจิจูด และแนวตั้งคือ ละติจูด เวลาที่แสดงในตารางจะแสดงใน

รูปแบบ ชั่วโมง:นาที รายละเอียดตามที่แสดงในตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 5

**ตารางที่ 3** เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่ง  
รฐท.พง.ทรภ.3 จังหวัดพังงา

| LON \ LAT | 92°  | 93°  | 94°  | 95°  | 96°  | 97°  | 98°  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 16°       | –    | 3:41 | 3:40 | –    | 4:46 | –    | –    |
| 15°       | –    | 3:30 | 3:50 | 4:04 | 3:54 | –    | –    |
| 14°       | 3:32 | 3:19 | 3:07 | 2:43 | 3:01 | –    | –    |
| 13°       | 3:24 | 3:02 | 2:51 | 2:59 | 2:43 | –    | –    |
| 12°       | 3:15 | 4:42 | 2:38 | 2:31 | –    | –    | –    |
| 11°       | 3:03 | 2:38 | 2:27 | 2:21 | –    | –    | –    |
| 10°       | 2:49 | 2:32 | 2:21 | –    | –    | –    | –    |
| 9°        | 2:47 | 2:29 | 2:16 | –    | –    | –    | –    |
| 8°        | 2:46 | 2:37 | 2:14 | –    | –    | –    | –    |
| 7°        | –    | 2:40 | 2:17 | –    | –    | –    | –    |
| 6°        | –    | 2:35 | 2:21 | 2:13 | –    | –    | –    |
| 5°        | –    | 2:42 | 2:31 | 2:23 | –    | –    | –    |
| 4°        | –    | –    | 2:44 | 2:42 | 3:02 | –    | –    |
| 3°        | –    | –    | 2:51 | 2:54 | 2:58 | 3:12 | –    |
| 2°        | –    | –    | –    | 3:03 | 3:11 | 3:25 | 3:26 |

**ตารางที่ 4** เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่ง  
ทรภ.3 จังหวัดภูเก็ต

| LON \ LAT | 92°  | 93°  | 94°  | 95°  | 96°  | 97°  | 98°  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 16°       | –    | 4:00 | 4:09 | –    | 5:05 | –    | –    |
| 15°       | –    | 3:49 | 4:09 | 4:23 | 4:13 | –    | –    |
| 14°       | 3:54 | 3:43 | 3:31 | 3:24 | 3:27 | –    | –    |
| 13°       | 3:44 | 3:26 | 3:15 | 3:08 | 3:08 | –    | –    |
| 12°       | 3:35 | 5:05 | 3:02 | 2:57 | –    | –    | –    |
| 11°       | 3:23 | 3:00 | 2:51 | 2:46 | –    | –    | –    |
| 10°       | 3:09 | 2:52 | 2:44 | –    | –    | –    | –    |
| 9°        | 3:32 | 3:14 | 3:02 | –    | –    | –    | –    |
| 8°        | 3:31 | 3:21 | 2:58 | –    | –    | –    | –    |
| 7°        | –    | 2:52 | 2:29 | –    | –    | –    | –    |
| 6°        | –    | 2:47 | 2:33 | 2:23 | –    | –    | –    |
| 5°        | –    | 2:54 | 2:43 | 2:44 | –    | –    | –    |
| 4°        | –    | –    | 2:56 | 2:54 | 3:14 | –    | –    |
| 3°        | –    | –    | 2:52 | 2:55 | 2:59 | 3:13 | –    |
| 2°        | –    | –    | –    | 3:04 | 3:12 | 3:26 | 3:57 |

จากตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 5 ตัวเลขสีแดงในตาราง คือ เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่งซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่เคยเกิดเหตุการณ์ธรณีพิบัติขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2547 ส่วนในช่องของตารางที่มีการไฮไลต์ด้วยสีเหลืองคือ จุดกำเนิดแผ่นดินไหวที่เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่งน้อยที่สุดซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ จากผลการวิจัยทำให้สามารถตอบคำถามวิจัยได้ว่าเมื่อเกิดแผ่นดินไหวตามแนวรอยเลื่อนในทะเลอันดามันแล้วพื้นที่ท่าเรือ น้ำลึกระนอง จังหวัดระนอง ฐานทัพเรือพังงา ท่าเรือภาค 3 จังหวัดพังงา ท่าเรือภาค 3 จังหวัดภูเก็ต และเกาะหลีเป๊ะ จังหวัดสตูล จะได้รับผลกระทบจากคลื่นยักษ์สึนามิอย่างแน่นอน และเมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วจะพบว่า

**ตารางที่ 5** เวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิถึงชายฝั่ง  
เกาะหลีเป๊ะ จังหวัดสตูล

| LON \ LAT | 92°  | 93°  | 94°  | 95°  | 96°  | 97°  | 98°  |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 16°       | –    | 4:25 | 4:34 | –    | 5:31 | –    | –    |
| 15°       | –    | 4:13 | 4:34 | 4:48 | 4:38 | –    | –    |
| 14°       | 4:05 | 4:00 | 3:48 | 3:41 | 3:44 | –    | –    |
| 13°       | 3:54 | 3:42 | 3:32 | 3:25 | 3:26 | –    | –    |
| 12°       | 3:45 | 5:16 | 3:19 | 3:14 | –    | –    | –    |
| 11°       | 3:33 | 3:11 | 3:06 | 3:03 | –    | –    | –    |
| 10°       | 3:19 | 3:03 | 2:56 | –    | –    | –    | –    |
| 9°        | 3:27 | 3:10 | 2:58 | –    | –    | –    | –    |
| 8°        | 3:26 | 3:15 | 2:52 | –    | –    | –    | –    |
| 7°        | –    | 3:01 | 2:38 | –    | –    | –    | –    |
| 6°        | –    | 2:55 | 2:40 | 2:27 | –    | –    | –    |
| 5°        | –    | 3:01 | 2:48 | 2:48 | –    | –    | –    |
| 4°        | –    | –    | 3:01 | 2:58 | 3:18 | –    | –    |
| 3°        | –    | –    | 3:16 | 3:19 | 3:23 | 3:37 | –    |
| 2°        | –    | –    | –    | 3:28 | 3:37 | 3:50 | 4:21 |

1. ฐานทัพเรือพังงา ทัพเรือภาค 3 จังหวัดพังงา เป็นพื้นที่ที่คลื่นยักษ์สึนามิมีโอกาสเดินทางมาถึงบริเวณชายฝั่งด้วยระยะเวลาที่น้อยที่สุดคือ 2 ชั่วโมง 14 นาที หากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณละติจูด 8°00' เหนือ ลองจิจูด 94°00' ตะวันออก หรือบริเวณใกล้เคียง

2. ทัพเรือภาค 3 จังหวัดภูเก็ต เป็นพื้นที่ที่คลื่นยักษ์สึนามิมีโอกาสเดินทางมาถึงบริเวณชายฝั่งด้วยระยะเวลาที่น้อยที่สุดคือ 2 ชั่วโมง 23 นาที หากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณละติจูด 6°00' เหนือ ลองจิจูด 95°00' ตะวันออก หรือบริเวณใกล้เคียง

3. เกาะหลีเป๊ะ จังหวัดสตูล เป็นพื้นที่ที่คลื่นยักษ์สึนามิมีโอกาสเดินทางมาถึงบริเวณชายฝั่งด้วยระยะเวลาที่น้อยที่สุดคือ 2 ชั่วโมง 27 นาที หากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณ ละติจูด 6°00' เหนือ ลองจิจูด 95°00' ตะวันออก หรือบริเวณใกล้เคียง

4. ท่าเรือน้ำลึกระนอง จังหวัดระนอง เป็นพื้นที่ที่คลื่นยักษ์สึนามิมีโอกาสเดินทางมาถึงบริเวณชายฝั่งด้วยระยะเวลาที่น้อยที่สุดคือ 2 ชั่วโมง 36 นาที หากจุดกำเนิดแผ่นดินไหวอยู่ในบริเวณละติจูด 11°00' เหนือ ลองจิจูด 95°00' ตะวันออก หรือบริเวณใกล้เคียง

## 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยทำให้ทราบว่าพื้นที่เสี่ยงภัยจากคลื่นยักษ์สึนามิ ได้แก่ พื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามันตั้งแต่จังหวัดระนองถึงจังหวัดสตูล ซึ่งคลื่นยักษ์สึนามิสามารถเดินทางถึงฐานทัพเรือพังงา ทัพเรือภาค 3 จังหวัดพังงา โดยใช้เวลาการเดินทางน้อยสุดเพียง 2 ชั่วโมง 14 นาที เดินทางถึงทัพเรือภาค 3 จังหวัดภูเก็ต ใช้เวลาน้อยสุดเพียง 2 ชั่วโมง 23 นาที เดินทางถึงเกาะหลีเป๊ะ จังหวัดสตูล ใช้เวลาน้อยสุดเพียง 2 ชั่วโมง 27 นาที และเดินทางถึงท่าเรือน้ำลึกระนอง จังหวัดระนอง ใช้เวลาน้อยสุดเพียง 2 ชั่วโมง 36 นาที ด้วยเหตุนี้ในพื้นที่ที่ศูนย์ปฏิบัติการกองทัพอเรือ ได้รับการแจ้งและยืนยันจุดกำเนิดแผ่นดินไหวในทะเลอันดามันที่มีขนาดความรุนแรงมากกว่า 6.5 ริคเตอร์ (ซึ่งเป็นไปตามหลักเกณฑ์การแจ้งเตือนภัยของศูนย์ประสานและสนับสนุนข้อมูลการแจ้งเตือนภัย ศูนย์บรรเทาสาธารณภัยกองทัพอเรือ) จากสถานีวัดความสั่นสะเทือนจังหวัดเชียงใหม่ และพิสูจน์ทราบได้ว่าการกำลังจะเกิดคลื่นยักษ์สึนามิ ศูนย์ปฏิบัติการกองทัพอเรือจะต้องดำเนินการแจ้งให้หน่วยต่าง ๆ ของกองทัพอเรือซึ่งมีที่ตั้งอยู่ตามเกาะบริเวณชายฝั่งตั้งแต่จังหวัดระนองถึงจังหวัดสตูลให้ทำการอพยพกำลังพล อาวุธยุทโธปกรณ์ที่มีความสำคัญไปไว้ในบริเวณที่ปลอดภัยจากคลื่นยักษ์สึนามิภายในเวลา 2 ชั่วโมง (ระยะเวลาวิกฤต) นอกจากนี้ กองทัพอเรือควรจะให้มีการจัดทำแผนที่น้ำท่วมถึงจากคลื่นยักษ์สึนามิ (Inundation Map) ในพื้นที่เสี่ยงภัยของกองทัพอเรือดังกล่าวข้างต้น รวมถึงกำหนดเส้นทางอพยพให้ชัดเจนเพื่อลดความคับคั่งในการอพยพ เรือที่เทียบท่าอยู่นั้นจะต้องจอดเรือโดยหันหัวเรือออกสู่ทะเลเปิด และเตรียมการออกเรือให้พร้อม

เพื่อที่จะนำเรือออกไปสู่ทะเลลึกได้ทันทีเมื่อได้รับการ  
แจ้งเตือนว่าคลื่นยักษ์สึนามิกำลังจะเดินทางมาถึง

## 6. บรรณานุกรม

- (1) มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, "ความเสียหาย  
ที่ประเทศไทยได้รับจากคลื่นยักษ์สึนามิ (อินเทอร์เนต)."   
กรุงเทพฯ, (เข้าถึงเมื่อ 10 พ.ค. 2567), เข้าถึงได้จาก:   
<https://www.saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=30&chap=8&page=f30-8-infodetail06.html>
- (2) S. Sukrungsri and, S Pailoplee, "Precursory seismicity  
changes prior to major earthquakes along the  
Sumatra-Andaman Subduction zone: a region-timelength  
algorithm approach." *Earth, Planets and Space*, DOI  
10.1186/s40623-015-0269-0, (2015).
- (3) S. Sukrungsri and S. Pailoplee, "Precursory seismic  
quiescence along the Sumatra-Andaman Subduction  
Zone: Past and present." *Journal of seismology*, DOI  
10.1007/s10950-016-9602, (2016).
- (4) P. Charusiri, B.P. Rhodes, P. Saithong, S. Kosuwan, S.  
Pailoplee, W. Wiwegwin, V. Doarerk, C. Hinthong, and  
S. Klaipongpan, "Regional tectonic setting and seismicity  
of Thailand with reference to reservoir construction." *International Conference on Geology of Thailand:  
Towards Sustainable Development and Sufficiency  
Economy*, (2007).
- (5) M. F. Yusdian, R. E. Prasetyo, A. A. Supriyadi, Y. Prihanto,  
"Tsunami Disaster Modeling for Non-Military Defense  
in Pangandaran Regency Using Geographic Information  
System." *International Journal of Remote Sensing and  
Earth Sciences*, Vol. 20 No. 1, pp. 45–57, (2023).
- (6) Wu, T.-R., Huang and H.-C., "Modeling Tsunamis Hazards  
from the Manila Trench to Taiwan." *Journal of Asian  
Earth Sciences* 36, p.21-28, (2009).
- (7) V.K.Gusiakov, D.G.Khidasheli, A.G.Marchuk,  
S.S.L.Hettiarachchi, A.Karas, T.V.Kalashnikova,  
WAPMERR Tsunami Research Group, "Analysis of Tsunami  
Travel Time Maps for Damaging Historical Tsunamis in  
The World Ocean."
- (8) ภูเวียง ประคำมินทร์, "คลื่นสึนามิทะเลอันดามัน (อินเทอร์เนต)."   
กรุงเทพฯ, (เข้าถึงเมื่อ 12 พ.ค. 2567), เข้าถึงได้จาก: [https://earthquake.tmd.go.th/file\\_downloads/%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B6%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%B4.pdf](https://earthquake.tmd.go.th/file_downloads/%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B6%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%B4.pdf)
- (9) ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย, "แผนที่แสดงลักษณะ  
ภูมิประเทศ ของประเทศไทย บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นยักษ์  
(Tsunami) (อินเทอร์เนต)." กรุงเทพฯ, (เข้าถึงเมื่อ 12 พ.ค. 2567),  
เข้าถึงได้จาก: <https://www.gisthai.org/v2/index.php/2015-02-04-07-55-43/2015-02-04-08-47-03/33-gis-remote-sensing-tsunami-26-2547-the-application-of-gis-and-remote-sensing-on-assessing-physical-impact-caused-by-tsunami-on-dec-26-2004-in-the-coastal-zone-of-thailand>
- (10) กรมอุตุนิยมวิทยา กองทัพเรือ, "ระดับน้ำในน่านน้ำไทย พ.ศ. 2550."   
กรุงเทพฯ: กองสร้างแผนที่ กรมอุตุนิยมวิทยา, (2550).
- (11) พิเชษฐ บัวแสงทรัพย์, นาวาเอก, "สมุทรศาสตร์ธรณี." กรุงเทพฯ:  
โรงเรียนนายเรือ, (2565).
- (12) ศูนย์เตือนภัยพิบัติแห่งชาติ กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย,  
"Webinar: Lessons Learnt during Exercise IOWave."   
(เอกสารที่ไม่มีการพิมพ์), (2023).

แนวทางการนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในงานข่าวกรองเพื่อ  
เพิ่มประสิทธิภาพให้กับหน่วยข่าวกรองกองทัพบก  
Harnessing Artificial Intelligence for Military Intelligence:  
Enhancing Capabilities in the Digital Age

ปาไลตา ไพศาลรุ่งพนา<sup>1</sup>  
Palita Pisanrungpana<sup>1</sup>  
นาวาอากาศโท วุฒิรงค์ คงวุฒิ<sup>2</sup>  
Wing Commander Wuttirong Kongwut<sup>2</sup>  
พัฒนศรีญ์ เลหาไฟบูลย์<sup>3</sup>  
Phatsaran Laohhapaiboon<sup>3</sup>  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรณิชา คงวุฒิ<sup>4\*</sup>  
Assistant Professor Ornnicha Kongwut<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>โรงเรียนเทพศิรินทร์ สมุทรปราการ สมุทรปราการ 10270 ประเทศไทย

<sup>1</sup>Debsirin Samutprakan School, Samut Prakan 10270, Thailand

<sup>2</sup>กองบิน 2 กองทัพอากาศไทย ลพบุรี 15160 ประเทศไทย

<sup>2</sup>Wing 2, Royal Thai Air Force, Lopburi 15160, Thailand

<sup>3</sup>บุญพาวาสนาสง 84 เขตบางแค กรุงเทพมหานคร 10160 ประเทศไทย

<sup>3</sup>Boonpawassanasong 84, Bangkae, Bangkok 10160, Thailand

<sup>4</sup>สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

กาญจนบุรี 71190 ประเทศไทย

<sup>4</sup>Department of Physics, Faculty of Science and Technology,

Kanchanaburi Rajabhat University, Kanchanaburi 71190, Thailand

\*Corresponding Author. E-mail : ornnicha.k@kru.ac.th

(Received: April 4, 2024, Revised: June 2, 2024, Accepted: June 12, 2024)

**บทคัดย่อ:** บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจแนวทางการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในงานข่าวกรองทางทหาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและขีดความสามารถของหน่วยข่าวกรองในยุคดิจิทัล โดยอภิปรายถึงการนำปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ การประมวลผลภาษาธรรมชาติ การรับรู้ภาพ การคาดการณ์ การตรวจจับการหลอกลวง และการฝึกอบรมเสมือนจริง ซึ่งช่วยให้สามารถรวบรวม ประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย การคาดการณ์ภัยคุกคามล่วงหน้า และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงยุทธศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น การใช้งานปัญญาประดิษฐ์ยังมีข้อจำกัดและความเสี่ยงที่ต้องคำนึงถึงจึงจำเป็นต้องอยู่ภายใต้การควบคุมและตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยมองเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ ไม่ใช่ผู้ชี้นำแต่เพียงผู้เดียว สำหรับทิศทางในอนาคตควรมุ่งเน้นการวิจัยเพื่อเพิ่มความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือของปัญญาประดิษฐ์ การสร้างความร่วมมือในการแบ่งปัน



ข้อมูล การพัฒนาบุคลากร รวมถึงการกำหนดแนวปฏิบัติด้านจริยธรรมและกฎหมายที่เหมาะสม เพื่อขับเคลื่อนการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในงานข่าวกรองอย่างมีประสิทธิภาพ โปร่งใส และเป็นประโยชน์สูงสุดต่อประเทศชาติโดยรวม

**คำสำคัญ:** ปัญญาประดิษฐ์ ข่าวกรอง มนุษย์

**Abstract:** This article aims to explore the application of Artificial Intelligence (AI) in military intelligence to enhance the efficiency and capabilities of intelligence units in the digital era. It discusses the use of AI in analyzing big data, natural language processing, image recognition, forecasting, deception detection, and virtual reality training. These applications enable the collection, processing, and analysis of vast amounts of data from diverse sources, anticipating threats in advance, and supporting strategic decision-making more effectively. However, the use of AI also has limitations and risks that must be considered. It is essential to ensure that AI operates under the control and supervision of experts, viewing the technology as a tool to support decision-making rather than the sole determinant. Future directions should focus on research to improve the accuracy and reliability of AI, fostering collaboration in data sharing, developing human resources, and establishing appropriate ethical and legal frameworks. These measures will drive the efficient, transparent, and beneficial use of AI in intelligence work for the overall benefit of the nation.

**Keywords:** AI, Information, Human

## 1. บทนำ

ในยุคปัจจุบันที่เทคโนโลยีก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว การข่าวกรองทางทหารมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความมั่นคงและความได้เปรียบเชิงยุทธศาสตร์ของประเทศ การเก็บรวบรวม วิเคราะห์ และตีความข้อมูลข่าวสารอย่างทันทั่วทั้งที่ สามารถช่วยให้ผู้นำทางทหารและฝ่ายบริหารประเทศตัดสินใจได้อย่างชาญฉลาดและมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามด้วยปริมาณข้อมูลมหาศาลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในยุคดิจิทัล การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีดั้งเดิมอาจไม่เพียงพออีกต่อไป

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ในปัจจุบันเปิดโอกาสให้องค์กรข่าวกรองทางทหารสามารถจัดการกับความท้าทายเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ปัญญาประดิษฐ์ คือ ความพยายามในการพัฒนาคอมพิวเตอร์ให้สามารถทำงานที่ต้องอาศัยความฉลาดได้เทียบเท่ามนุษย์ ซึ่งครอบคลุมสาขาย่อยที่สำคัญ ได้แก่ การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมจำนวนมากในการเรียนรู้ และสกัดข้อมูลเชิงลึก การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ที่พัฒนาอัลกอริทึมให้ปรับปรุงประสิทธิภาพได้ด้วยตนเองจากการฝึกฝนกับข้อมูล ระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert Systems) ที่บรรจุความรู้ของผู้เชี่ยวชาญมาใช้ในการให้คำแนะนำการแก้ปัญหา และการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Computing) ที่ได้แรงบันดาลใจจากการคัดเลือกทางธรรมชาติในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ปัญญาประดิษฐ์มีศักยภาพในการปรับปรุงความสามารถในการรวบรวม ประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก ช่วยระบุรูปแบบ แนวโน้ม และสัญญาณเตือนภัยที่ซ่อนอยู่ในข้อมูล นอกจากนี้ ปัญญาประดิษฐ์ยังสามารถช่วยในการแปลภาษา สรุปรายการ วิเคราะห์ภาพ และคาดการณ์เหตุการณ์ในอนาคต ซึ่งล้วนแต่เป็นงานสำคัญในกระบวนการข่าวกรองทางทหารทั้งสิ้น

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจแนวทางการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในด้านต่าง ๆ ของข่าวกรอง ทางทหาร โดยจะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ การประมวลผลภาษาธรรมชาติ การรับรู้ภาพ การคาดการณ์ การตรวจจับการหลอกลวง และการฝึกอบรมเสมือนจริง นอกจากนี้ บทความยังจะอภิปรายถึงประโยชน์ ข้อจำกัด และข้อพิจารณาทางจริยธรรมและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในบริบทของข่าวกรองทางทหารอีกด้วย ผู้เขียนหวังว่าบทความนี้จะให้ข้อมูลเชิงลึกที่เป็นประโยชน์สำหรับผู้ปฏิบัติงานด้านข่าวกรองทางทหาร นักวิจัย และผู้กำหนดนโยบาย ในการใช้ประโยชน์จากศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงและความได้เปรียบในการแข่งขันให้กับประเทศต่อไป

## ตารางที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ข่าวกรองระหว่างมนุษย์กับปัญญาประดิษฐ์

| ปัจจัย                           | มนุษย์                                                               | ปัญญาประดิษฐ์                                                                             |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| ความเร็วในการประมวลผล            | ใช้เวลานานในการประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก                                | สามารถประมวลผลข้อมูลจำนวนมากได้อย่างรวดเร็ว                                               |
| ความถูกต้องและแม่นยำ             | อาจเกิดข้อผิดพลาดจากความล้าหรือความผิดพลาดของมนุษย์                  | มีความถูกต้องและแม่นยำสูง หากได้รับการฝึกฝนด้วยข้อมูลที่มีคุณภาพ                          |
| การจัดจำรูปแบบ                   | สามารถจดจำรูปแบบที่ซับซ้อนได้ แต่อาจใช้เวลานาน                       | สามารถระบุรูปแบบที่ซ่อนอยู่ในข้อมูลจำนวนมากได้อย่างรวดเร็ว                                |
| การเรียนรู้และปรับตัว            | สามารถเรียนรู้และปรับตัวได้ดี แต่ต้องใช้เวลาและประสบการณ์            | สามารถเรียนรู้ และปรับปรุงประสิทธิภาพได้อย่างต่อเนื่องจากข้อมูลใหม่                       |
| การจัดการกับข้อมูลที่ไม่มีรูปแบบ | สามารถใช้วิจารณญาณและประสบการณ์ในการเติมเต็มช่องว่างของข้อมูล        | อาจมีความยากลำบากในการจัดการกับข้อมูลที่ผิดปกติหรือไม่สมบูรณ์หรือมีคุณภาพต่ำ              |
| ความเข้าใจบริบท                  | สามารถเข้าใจบริบททางสังคม วัฒนธรรม และการเมืองได้ดี                  | อาจขาดความเข้าใจบริบทที่ลึกซึ้ง หากไม่ได้รับการฝึกฝนด้วยข้อมูลที่ครอบคลุม                 |
| ความคิดสร้างสรรค์และการเชื่อมโยง | สามารถคิดนอกกรอบ และเชื่อมโยงข้อมูลที่แตกต่างเพื่อสร้างข้อสรุปใหม่ ๆ | มีความสามารถจำกัดในการสร้างความคิดสร้างสรรค์ หรือการเชื่อมโยงข้อมูลนอกเหนือจากที่ถูกฝึกฝน |
| ความเหนื่อยล้า                   | ประสิทธิภาพอาจลดลงเมื่อเวลาผ่านไปเนื่องจากความเหนื่อยล้า             | สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่เหนื่อยล้า                                              |
| การอธิบายเหตุผล                  | สามารถอธิบายกระบวนการคิด และเหตุผลเบื้องหลังข้อสรุปได้               | อาจขาดความโปร่งใสในกระบวนการตัดสินใจ ทำให้ยากต่อการอธิบายเหตุผล                           |
| ค่าใช้จ่าย                       | มีค่าใช้จ่ายในการจ้างงานฝึกอบรม และดูแลสวัสดิการ                     | มีค่าใช้จ่ายสูงในการพัฒนาและบำรุงรักษาระบบในระยะเริ่มต้น แต่คุ้มค่าในระยะยาว              |

จากตารางข้างต้น จะเห็นได้ว่าทั้งมนุษย์และปัญญาประดิษฐ์ต่างมีจุดแข็งและข้อจำกัดในการวิเคราะห์ข่าวกรองที่แตกต่างกัน ในขณะที่ปัญญาประดิษฐ์มีความเร็ว ความแม่นยำ และความสามารถในการประมวลผลข้อมูลจำนวนมากเหนือกว่ามนุษย์ แต่มนุษย์กลับมีความยืดหยุ่น ในการปรับตัว ความคิดสร้างสรรค์ และความเข้าใจบริบทที่ลึกซึ้งกว่า ดังนั้นการผสมผสานการทำงานระหว่างมนุษย์ และปัญญาประดิษฐ์จึงน่าจะเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพ สูงสุดในการวิเคราะห์ข่าวกรองทางทหารในยุคปัจจุบัน โดยให้ปัญญาประดิษฐ์รับผิดชอบงานที่ต้องอาศัย การประมวลผลข้อมูลเชิงลึกและการวิเคราะห์แบบ อัตโนมัติ ในขณะที่มนุษย์ทำหน้าที่ตีความผลการวิเคราะห์ กำกับดูแล และตัดสินใจในประเด็นที่มีความซับซ้อนและ อ่อนไหวความร่วมมือนี้จะช่วยให้การวิเคราะห์ข่าวกรอง มีประสิทธิภาพ ความรวดเร็ว และความถูกต้องแม่นยำ สูงสุด พร้อมกับรักษาหลักจริยธรรมและความรับผิดชอบ ต่อสังคมไว้ได้ในเวลาเดียวกัน

## 2. การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์

### 2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data Analytics)

ในยุคดิจิทัล องค์กรข่าวกรองทางทหารต้องเผชิญ กับข้อมูลจำนวนมากมหาศาลที่มาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ข้อมูล จากเซนเซอร์ สัญญาณดาวเทียม โซเชียลมีเดียและรายงาน ข่าวกรอง การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่เหล่านี้มีความ สำคัญอย่างยิ่งในการระบุภัยคุกคาม แนวโน้ม และโอกาส ทางยุทธศาสตร์ที่อาจซ่อนอยู่ในกองทัพอากาศ [1] อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ข้อมูลดิบจำนวนมากด้วยมือเป็น เรื่องยากหรือแทบเป็นไปไม่ได้เลย ด้วยความก้าวหน้า ของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ การวิเคราะห์ข้อมูลขนาด ใหญ่กลายเป็นเรื่องที่ทำได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น องค์กร ข่าวกรองสามารถใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ในการฝึกฝนแบบจำลองที่สามารถ ระบุรูปแบบ และความสัมพันธ์ที่ซ่อนอยู่ในชุดข้อมูล

ขนาดใหญ่ได้ [2] เช่น องค์กรข่าวกรองสามารถใช้เทคนิค การเรียนรู้ของเครื่องในการวิเคราะห์ข้อมูลจากโซเชียล มีเดียจำนวนมากมหาศาล เพื่อค้นหารูปแบบ แนวโน้ม และ สัญญาณเตือนภัยของการก่อการร้าย การก่อความไม่สงบ หรือปัญหาสังคมที่อาจนำไปสู่ความขัดแย้งรุนแรงได้ล่วงหน้า หรือวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อติดตาม การเคลื่อนไหวของกองกำลังทางทหาร [3] นอกจากนี้ เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) ยังช่วยให้ นักวิเคราะห์ข่าวกรองสามารถค้นหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องจาก ฐานข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งช่วยประหยัดเวลา และทรัพยากรได้มาก

การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาด ใหญ่มีประโยชน์มากมาย ได้แก่ การเพิ่มความเร็วและ ประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูล ปรับปรุงความ แม่นยำในการคาดการณ์ภัยคุกคาม และช่วยระบุโอกาส ใหม่ ๆ ที่อาจถูกมองข้ามไป [4] อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัด บางประการ เช่น ความจำเป็นในการมีข้อมูลฝึกฝนคุณภาพ สูงจำนวนมาก ซึ่งอาจหาได้ยากในบางสถานการณ์ และ ความเสี่ยงที่ปัญญาประดิษฐ์อาจสร้างอคติหรือข้อสรุปที่ ผิดพลาดหากข้อมูลที่ใช้ฝึกฝนมีความลำเอียง นอกจากนี้ การพึ่งพาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มากเกินไปอาจทำให้ เกิดความเสี่ยงด้านความมั่นคงทางไซเบอร์ หากระบบ ถูกเจาะหรือโจมตี [5] ดังนั้นจึงควรใช้ปัญญาประดิษฐ์เป็น เครื่องมือเสริมการตัดสินใจของมนุษย์ไม่ใช่ตัวตัดสินใจ หลักในงานข่าวกรองที่มีความอ่อนไหวสูง โดยต้องมีระบบ กำกับดูแลและตรวจสอบที่รัดกุมควบคู่ไปด้วย

### 2.2 การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing)

การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) มีบทบาท สำคัญในงานข่าวกรองทางทหาร เนื่องจากข้อมูลข่าวกรอง จำนวนมากอยู่ในรูปแบบของข้อความ เช่น รายงาน บันทึก อีเมลและการสื่อสารที่ถูกดักฟัง [6] การวิเคราะห์ข้อมูล เหล่านี้ด้วยมือต้องใช้เวลาและทรัพยากรมาก ดังนั้น เทคโนโลยี NLP ที่ขับเคลื่อนด้วยปัญญาประดิษฐ์จึงกลาย

เป็นเครื่องมือสำคัญในการสกัดข้อมูลเชิงลึกจากข้อมูลตัวอักษรจำนวนมาก [7] หนึ่งในการประยุกต์ใช้ NLP ที่สำคัญในข่าวกรองคือการแปลภาษาอัตโนมัติ (Machine Translation) ซึ่งใช้อัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ในการแปลงข้อความจากภาษาหนึ่งไปอีกภาษาหนึ่งได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ [3] ตัวอย่างเช่น กองทัพสหรัฐฯ ใช้ระบบแปลภาษาอัตโนมัติ ในการแปลเอกสารและการสื่อสารที่ตกได้จากภาษาอาหรับและพาร์ซี ช่วยให้นักวิเคราะห์ข่าวกรองสามารถทำความเข้าใจเนื้อหาได้อย่างทันทั่วทั้งที่ [8], [9] นอกจากนี้ เทคนิค NLP เช่น การสรุปเอกสารอัตโนมัติ (Automatic Summarization) ยังช่วยให้สามารถสกัดใจความสำคัญจากรายงานหรือเอกสารขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็ว ช่วยประหยัดเวลาในการอ่านและทำความเข้าใจเนื้อหา [10]

การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการประมวลผลภาษาธรรมชาติมีประโยชน์หลายประการในงานข่าวกรอง ได้แก่ การเพิ่มความเร็วและประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลตัวอักษรจำนวนมาก การปรับปรุงความแม่นยำในการแปลภาษาและสรุปเอกสาร และการช่วยระบุข้อมูลสำคัญที่ซ่อนอยู่ในเอกสาร [11] อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความท้าทายในการจัดการกับภาษาแสลง สำนวน และบริบททางวัฒนธรรม ที่ซับซ้อน ซึ่งปัญญาประดิษฐ์อาจตีความผิดพลาดได้ นอกจากนี้ ความแม่นยำของระบบ NLP ยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการฝึกอบรม หากข้อมูลมีคุณภาพต่ำหรือมีอคติ ผลลัพธ์ที่ได้อาจไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำกับดูแลโดยผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาและวัฒนธรรม เพื่อตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ NLP อย่างต่อเนื่อง [12]

### 2.3 การรับรู้ภาพ (Image Recognition)

การรับรู้ภาพมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานข่าวกรองทางทหาร เนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม อากาศยานไร้คนขับ และกล้องวงจรปิด เป็นแหล่งข้อมูลข่าวกรองขั้นสำคัญ [13] การวิเคราะห์ภาพถ่ายเหล่านี้

ด้วยตาเปล่าต้องใช้เวลาและกำลังคนจำนวนมาก ซึ่งอาจทำให้ล่าช้าและพลาดรายละเอียดสำคัญไป ดังนั้นเทคโนโลยีรับรู้ภาพที่ขับเคลื่อนด้วยปัญญาประดิษฐ์จึงกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพจำนวนมาก [14] หนึ่งในการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการรับรู้ภาพที่สำคัญคือการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ซึ่งใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ในการระบุและจำแนกวัตถุต่าง ๆ ในภาพถ่าย เช่น ยานพาหนะ อาคาร หรืออาวุธ [15] ตัวอย่างเช่น กองทัพสามารถใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกในการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมหรือภาพจากโดรนจำนวนมาก เพื่อสำรวจพื้นที่ ค้นหาฐานที่มั่นของกลุ่มก่อการร้าย ติดตามการเคลื่อนไหวของยุทโธปกรณ์ หรือประเมินความเสี่ยงจากการปฏิบัติการทางทหาร ได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยให้การข่าวกรองและสนับสนุนการปฏิบัติการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทันทั่วทั้งที่ และแม่นยำมากขึ้น ระบบรับรู้ภาพอัจฉริยะยังสามารถตรวจจับสิ่งผิดปกติ เช่น การวางระเบิด การเคลื่อนย้ายอาวุธ หรือการชุมนุมของกลุ่มก่อการร้าย จากภาพถ่ายระยะไกล ซึ่งช่วยเพิ่มการแจ้งเตือนภัยล่วงหน้าให้กับหน่วยข่าวกรองได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ [4], [5], [16]

การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการรับรู้ภาพมีประโยชน์หลายประการในงานข่าวกรอง ได้แก่ การเพิ่มความเร็วและประสิทธิภาพ ในการประมวลผลข้อมูลภาพจำนวนมาก การปรับปรุงความแม่นยำในการตรวจจับและจำแนกวัตถุ และการช่วยระบุสิ่งผิดปกติหรือภัยคุกคามที่ซ่อนอยู่ในภาพ [17] อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความต้องการข้อมูลฝึกสอนคุณภาพสูงจำนวนมากในการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งอาจเป็นความท้าทายในบางสถานการณ์ และความเสี่ยงที่ระบบปัญญาประดิษฐ์อาจมีอคติหรือข้อผิดพลาด หากถูกฝึกด้วยข้อมูลที่ไม่สมดุลหรือมีคุณภาพต่ำ นอกจากนี้ระบบรับรู้ภาพอาจมีข้อบกพร่องในการตีความภาพที่มีความกำกวม ไม่ชัดเจน หรือถูกบิดเบือน ดังนั้นจึงยังจำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญควบคู่ไปด้วยเสมอ [18]

## 2.4 การคาดการณ์ (Predictive Analytics)

การคาดการณ์มีบทบาทสำคัญในงานข่าวกรองทางทหาร เนื่องจากช่วยให้สามารถระบุภัยคุกคามหรือโอกาสได้ล่วงหน้า และวางแผนเชิงรุกเพื่อรับมือกับสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างทันท่วงที [19] ในอดีตการคาดการณ์มักอาศัยการวิเคราะห์แนวโน้มโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งอาจมีความล่าช้าและอคติส่วนบุคคล แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ได้เปิดโอกาสให้สามารถสร้างแบบจำลองคาดการณ์ที่แม่นยำและเป็นระบบมากขึ้นหนึ่งในการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการคาดการณ์คือการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) ซึ่งใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องในการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตเพื่อคาดการณ์แนวโน้มในอนาคต [20] ตัวอย่างเช่น กองทัพสหรัฐฯ ใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์รูปแบบการก่อการร้ายในอดีตเพื่อคาดการณ์เหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต และจัดสรรทรัพยากรเพื่อป้องกันภัยคุกคามได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การคาดการณ์ด้วยปัญญาประดิษฐ์ยังถูกใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพทางการเมือง โดยใช้ปัจจัยต่าง ๆ เช่น ข้อมูลเศรษฐกิจ สังคม และการทหารในการคาดการณ์ความเสี่ยงของความขัดแย้งหรือการปฏิวัติในประเทศต่าง ๆ [21]

การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการคาดการณ์มีประโยชน์หลายประการในงานข่าวกรอง ได้แก่ การเพิ่มความเร็วและประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลซับซ้อนจำนวนมาก การปรับปรุงความแม่นยำในการคาดการณ์ภัยคุกคามและเหตุการณ์สำคัญ และการช่วยวางแผนยุทธศาสตร์ระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความต้องการข้อมูลในอดีตที่ครบถ้วนและมีคุณภาพสูง ซึ่งอาจหาได้ยากในบางบริบท [22] การขาดความโปร่งใสของแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ที่อาจทำให้ยากต่อการอธิบายเหตุผลเบื้องหลังการคาดการณ์ [23] รวมถึงความเสี่ยงที่การคาดการณ์อาจมีความผิดพลาด โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่มีตัวแปรแทรกซ้อนหรือมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คาดคิด ดังนั้นจึงจำเป็นต้อง

ใช้วิจารณญาณของมนุษย์ควบคู่ไปกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และมีกลไกในการปรับปรุงแบบจำลองอย่างต่อเนื่อง

## 2.5 การตรวจจับการหลอกลวง (Deception Detection)

การตรวจจับการหลอกลวงมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานข่าวกรองทางทหาร เนื่องจากข้อมูลเท็จและการปฏิบัติการจิตวิทยามักถูกใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างความได้เปรียบเหนือศัตรู [24] การระบุและเปิดโปงความพยายามในการหลอกลวงได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำจึงมีความสำคัญต่อการตัดสินใจเชิงยุทธศาสตร์และการปกป้องความมั่นคงของชาติ อย่างไรก็ตาม การตรวจจับการหลอกลวงเป็นงานที่ท้าทาย เนื่องจากผู้หลอกลวงมักใช้เทคนิคที่ซับซ้อนและแยบยลซึ่งยากต่อการสังเกตด้วยตาเปล่า [25] เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์กำลังถูกนำมาใช้เพื่อพัฒนาเครื่องมือตรวจจับการหลอกลวงที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวอย่างเช่น นักวิจัยได้พัฒนาอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อวิเคราะห์ข้อความ โดยระบุรูปแบบทางภาษาที่เชื่อมโยงกับการหลอกลวง เช่น การใช้คำพูดกำกวม การหลีกเลี่ยงการตอบคำถาม หรือการใช้ภาษาที่แสดงอารมณ์มากเกินไป นอกจากนี้ปัญญาประดิษฐ์ยังถูกใช้ในการวิเคราะห์เสียงพูด เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับเสียง จังหวะ และลักษณะทางเสียงอื่น ๆ ที่อาจบ่งชี้ถึงความเครียดหรือการหลอกลวง [26] ในด้านการวิเคราะห์ภาพ เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกถูกใช้เพื่อตรวจจับสัญญาณทางกายภาพของการหลอกลวง เช่น การเปลี่ยนแปลงของสีหน้า ท่าทาง และการเคลื่อนไหวของร่างกาย [27]

การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการตรวจจับการหลอกลวงมีประโยชน์หลายประการ ได้แก่ การเพิ่มความเร็วและประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก การลดความเหนื่อยล้าและอคติของมนุษย์ในการวิเคราะห์ข้อมูล และการช่วยระบุสัญญาณของการหลอกลวงที่ซับซ้อนหรือแยบยลมากขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดบางประการ



เช่น ความต้องการข้อมูลฝึกสอนจำนวนมากที่มีการระบุการหลอกลวงอย่างถูกต้อง ซึ่งอาจหายากและต้องใช้ทรัพยากรสูงในการสร้าง [9] ความเสี่ยงที่ระบบอาจมีอคติหรือข้อผิดพลาดหากถูกฝึกด้วยข้อมูลที่ไม่สมดุลหรือมีคุณภาพต่ำ รวมถึงข้อกังวลด้านจริยธรรมเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีนี้อย่างไม่เหมาะสม เช่น การละเมิดความเป็นส่วนตัวหรือการเลือกปฏิบัติ [28] ดังนั้น การใช้งานปัญญาประดิษฐ์เพื่อตรวจจับการหลอกลวง จึงต้องทำด้วยความระมัดระวัง โดยคำนึงถึงข้อจำกัดของเทคโนโลยีและผลกระทบด้านจริยธรรม พร้อมกับมีมาตรการกำกับดูแลที่เหมาะสมควบคู่ไปด้วย

## 2.6 การฝึกอบรมเสมือนจริง (Virtual Training)

การฝึกอบรมเสมือนจริงมีบทบาทสำคัญในการเตรียมความพร้อมให้กับบุคลากรชาวกรองทางทหาร เนื่องจากช่วยให้สามารถฝึกฝนทักษะและทดสอบแผนต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยและควบคุมได้ [29] ในอดีต การฝึกอบรมมักจำกัดอยู่กับการบรรยายในห้องเรียนหรือการซ้อมรบจริง ซึ่งมีข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่าย ความเสี่ยงและความสมจริง แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และระบบเสมือนจริงได้เปิดโอกาสให้สามารถสร้างสถานการณ์จำลองที่มีความสมจริง และปฏิสัมพันธ์ได้มากขึ้น ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการฝึกอบรมเสมือนจริงสำหรับงานชาวกรอง ได้แก่ การสร้างตัวแทนเสมือนจริงที่ขับเคลื่อนด้วยปัญญาประดิษฐ์ (AI-driven avatars) เพื่อแสดงบทบาทเป็นผู้ก่อการร้าย ประชาชนในพื้นที่ หรือหน่วยงานชาวกรองของศัตรู โดยตัวแทนเหล่านี้สามารถโต้ตอบและตอบสนองต่อการกระทำของผู้เข้าฝึกอบรมได้อย่างสมจริง ผ่านการประมวลผลภาษาธรรมชาติและการเรียนรู้เชิงลึก [30] นอกจากนี้ระบบปัญญาประดิษฐ์ยังถูกใช้ในการสร้างสถานการณ์และเหตุการณ์เสมือนจริงที่ปรับเปลี่ยนไปตามการตัดสินใจและการกระทำของผู้ใช้ เพื่อให้การฝึกอบรมมีความท้าทายและไม่สามารถคาดเดาได้ ยิ่งไปกว่านั้นเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องยังสามารถใช้ในการประเมินประสิทธิภาพและให้ข้อเสนอแนะ

เชิงลึกแก่ผู้เข้าฝึกอบรม โดยการวิเคราะห์พฤติกรรมและการตัดสินใจของพวกเขาตลอดการฝึก [31]

การใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการฝึกอบรมเสมือนจริงมีประโยชน์หลายประการ ได้แก่ การเพิ่มความสมจริงและความน่าสนใจของการฝึกการลดค่าใช้จ่ายและความเสี่ยงจากการฝึกในสถานการณ์จริง การปรับแต่งการฝึกให้เหมาะกับระดับทักษะและความต้องการของแต่ละบุคคล รวมถึงการใช้ข้อมูลเชิงลึกจากการฝึกเพื่อปรับปรุงหลักสูตรและวิธีการฝึกอบรมในอนาคต [32] อย่างไรก็ตาม การฝึกอบรมเสมือนจริงยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความต้องการทรัพยากรด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ที่สูง ความท้าทายในการสร้างสถานการณ์ที่สมจริงและครอบคลุมทุกแง่มุม รวมถึงความเสี่ยงที่ผู้เข้าฝึกอบรมอาจไม่สามารถนำทักษะที่เรียนรู้ไปประยุกต์ใช้ในโลกแห่งความเป็นจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ [33] ดังนั้นองค์กรจำเป็นต้องวางแผนและออกแบบโปรแกรมการฝึกอบรมเสมือนจริงอย่างรอบคอบ โดยพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ กลุ่มเป้าหมาย และการวัดผลที่ชัดเจน ตลอดจนมีการฝึกอบรมในสถานการณ์จริงควบคู่ไปด้วย เพื่อให้เกิดการพัฒนาทักษะที่สมดุลและสามารถนำไปใช้ได้จริง

## 3. วิจารณ์

ข้อพิจารณาทางจริยธรรมและกฎหมาย ในการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) มีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อการพัฒนาและใช้งานปัญญาประดิษฐ์เป็นไปอย่างมีความรับผิดชอบ คำนึงถึงประโยชน์ของมนุษย์และสังคมเป็นหลัก ข้อพิจารณาที่สำคัญได้แก่

1. ประเด็นความเป็นส่วนตัวและการรักษาความปลอดภัยข้อมูลการใช้ปัญญาประดิษฐ์ทำให้มีการเก็บรวบรวมและประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องมีมาตรการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลที่เหมาะสม ป้องกันการนำข้อมูลไปใช้ในทางที่ผิด และรักษาความปลอดภัยของระบบปัญญาประดิษฐ์ จากการโจมตีทางไซเบอร์โดยต้องมีกฎหมายและกลไกกำกับดูแลที่ชัดเจน [34]

2. ความโปร่งใสและความรับผิดชอบในการใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้การใช้งานปัญญาประดิษฐ์มีความโปร่งใส ตรวจสอบได้ และมีความรับผิดชอบ ควรมีการเปิดเผยข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ กระบวนการ และผลลัพธ์ของระบบปัญญาประดิษฐ์ให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียได้รับทราบ รวมทั้งมีการกำหนดความรับผิดชอบที่ชัดเจนของผู้พัฒนาและผู้ใช้งาน โดยเฉพาะการรับผิดชอบต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น [35]

3. ความจำเป็นในการกำกับดูแลโดยมนุษย์ถึงแม้ปัญญาประดิษฐ์จะมีความสามารถสูง แต่มนุษย์ยังคงต้องมีบทบาทสำคัญในการกำกับดูแลการทำงานของปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้มั่นใจว่าการทำงานเป็นไปตามคุณธรรมและจริยธรรมที่พึงประสงค์ โดยต้องจัดให้มีระบบการควบคุมและตรวจสอบโดยมนุษย์ (Human-in-the-loop) ในจุดวิกฤตของระบบปัญญาประดิษฐ์รวมทั้งพัฒนาองค์ความรู้ของผู้กำกับดูแลอย่างต่อเนื่อง [36]

ข้อพิจารณาทางจริยธรรมและกฎหมายเหล่านี้ถือเป็นกรอบสำคัญในการพัฒนาและใช้งานปัญญาประดิษฐ์อย่างเหมาะสมและเป็นประโยชน์ต่อสังคมโดยรวม อย่างไรก็ตาม แนวปฏิบัติที่เหมาะสมจะต้องพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ให้ก้าวทันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและการใช้งานที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้สามารถบริหารจัดการความเสี่ยงและสร้างประโยชน์จากปัญญาประดิษฐ์ในระยะยาว

#### 4. สรุป

การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในงานข่าวกรองทางทหารมีศักยภาพสูงในการเพิ่มประสิทธิภาพและขีดความสามารถของหน่วยข่าวกรองในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ การประมวลผลภาษาธรรมชาติ การรับรู้ภาพ การคาดการณ์ การตรวจจับการหลอกลวง และการฝึกอบรมเสมือนจริงซึ่งช่วยให้สามารถรวบรวม ประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย คาดการณ์ภัยคุกคาม

ล่วงหน้า รวมทั้งสนับสนุนการตัดสินใจเชิงยุทธศาสตร์ของผู้บัญชาการได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

การใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในข่าวกรองยังมีข้อจำกัดและความเสี่ยงที่ต้องคำนึงถึง เช่น ความซับซ้อนและพลวัตของสถานการณ์ความมั่นคง การขาดข้อมูลฝึกฝนที่มีคุณภาพ ความเสี่ยงจากการโจมตีหรือความผิดพลาดของระบบ รวมถึงประเด็นด้านจริยธรรมและกฎหมาย ดังนั้นการใช้ปัญญาประดิษฐ์จึงจำเป็นต้องอยู่ภายใต้การควบคุมและตรวจสอบโดยมนุษย์ที่มีความเชี่ยวชาญโดยมองเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ ไม่ใช่ให้ปัญญาประดิษฐ์เป็นผู้กำหนดทางเลือกแต่เพียงผู้เดียว

สำหรับทิศทางในอนาคต การวิจัยและพัฒนาปัญญาประดิษฐ์สำหรับงานข่าวกรองควรมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ การสร้างแบบจำลองที่สามารถอธิบายเหตุผลได้ชัดเจน (Explainable AI) การส่งเสริมความร่วมมือระหว่างหน่วยงานในการแบ่งปันข้อมูล การพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีควบคู่ไปกับการข่าวกรอง รวมถึงการกำหนดแนวปฏิบัติด้านจริยธรรมและกฎหมายที่เหมาะสมและทันต่อพัฒนาการของเทคโนโลยีเพื่อขับเคลื่อนการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในงานข่าวกรองอย่างมีประสิทธิภาพ โปร่งใสและเป็นประโยชน์สูงสุดต่อประเทศชาติโดยรวม

#### 5. บรรณานุกรม

- (1) N. Joshi, "The role of big data in military intelligence." Forbes. (2019).
- (2) K. Hao, "The Pentagon is investing in AI to help predict events days into the future." MIT Technology Review. (2019).
- (3) J. Hernandez, "Artificial intelligence and the future of warfare." RAND Corporation. (2018).
- (4) K.M. Saylor, "Artificial intelligence and national security." Congressional Research Service. (2020).
- (5) J. Johnson, "Artificial intelligence: Implications for military operations and cybersecurity." SANS Institute. (2019).

- (6) J. Gao, M. Galley, & L. Li, "Neural approaches to conversational AI." *Foundations and Trends in Information Retrieval*, 13(2-3), pp. 127-298, (2019).
- (7) J. Hirschberg, & C.D. Manning, "Advances in natural language processing." *Science*, DOI:10.1126/science.aaa8685, 349(6245), pp. 261-266, (2015).
- (8) D.S., Hoadley, & N.J., Lucas, "Artificial intelligence and national security", Congressional Research Service, (2018).
- (9) A.K. Ghosh, A. Schwartzbard, & M. Schatz, "Learning program behavior profiles for intrusion detection." In *Workshop on Intrusion Detection and Network Monitoring*. 51462, pp. 1-13, (1999).
- (10) M., Gambhir, & V., Gupta, "Recent automatic text summarization techniques: a survey." *Artificial Intelligence Review*, <https://doi.org/10.1007/s10462-016-9475-9>, 47(1), pp. 1-66, (2017).
- (11) K.R. Chowdhary, "Natural language processing." *Fundamentals of Artificial Intelligence*, DOI:10.1007/978-81-322-3972-7\_19, pp. 603-649. (2020).
- (12) E.M. Bender, B. Friedman, "Data statements for natural language processing: Toward mitigating system bias and enabling better science." *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, DOI:10.1162/tac1\_a\_00041, 6, pp. 587-604, (2018).
- (13) M. Srivastava, N. Sharma, "Deep learning applications in military systems and equipment." In *Artificial Intelligence and Machine Learning for Defense Applications*, CRC Press, pp. 67-93, (2021).
- (14) S. Kaur, M. Sharma, "Image recognition using deep learning for defense and security applications." In *2019 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS)*. IEEE, pp. 103-109, (2019).
- (15) Z.Q. Zhao, P. Zheng, S.T. Xu, X. Wu, "Object detection with deep learning: A review." *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, DOI:10.1109/TNNLS.2018.2876865 30(11), pp. 3212-3232, (2019).
- (16) G. Kalliatakis, S. Ehsan, M. Fasli, K.D. McDonald-Maier, "Detection of online recruitment frauds: Character recognition and machine learning approach." In *2017 International Conference on Cyber Security and Protection of Digital Services (Cyber Security)* IEEE, pp. 1-6, (2017).
- (17) A. Voulodimos, N. Doulamis, A. Doulamis, E., Protopadakis, "Deep learning for computer vision: A brief review." *Computational Intelligence and Neuroscience*, <https://doi.org/10.1155/2018/7068349>, (2018).
- (18) S. Dodge, L. Karam, "A study and comparison of human and deep learning recognition performance under visual distortions." In *2017 26th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*. DOI:10.1109/ICCCN.2017.8038465, IEEE, pp. 1-7, (2017).
- (19) S.J. Andriole, "Artificial intelligence, machine learning, and predictive analytics." *IT Professional*, 21(4), pp. 91-93, (2019).
- (20) C. Lim, K. H. Kim, M. J. Kim, J. Y. Heo, K. J. Kim, P.P., Maglio, "From data to value: A nine-factor framework for data-based value creation in information-intensive services." *International Journal of Information Management*, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.007>, 39, pp. 121-135. 2018
- (21) D.S. Hoadley, N.J. Lucas, "Artificial intelligence and national security." Congressional Research Service. (2018).
- (22) A. Agarwal, A. Gurumurthy, V. Sharma, X. Gao, "On the challenges of building a web-scale knowledge graph for intelligent web applications." In *Proceedings of the 26th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining.*, pp. 3441-3449, (2020).
- (23) C. Rudin, "Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead." *Nature Machine Intelligence*, 1(5), pp. 206-215. (2019).
- (24) M., Bennett, E. Waltz, "Counter deception principles and applications for national security." Artech House, (2007).
- (25) F.J. Stech, C. Elsässer, "Deception detection by analysis of competing hypothesis." *Deception and Counter-Deception in Warfare*, pp. 91-102. (2004).
- (26) J. Hirschberg, A. Hjalmarsson, "The sound of deception: Acoustic-prosodic cues to deception in speech." In *Proceedings of the International Conference on Speech Prosody*, (2010).

- (27) M. Jaiswal, S. Tabibu, R. Bajpai, "The truth and nothing but the truth: Multimodal analysis for deception detection." In 2016 IEEE 16th International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW). pp. 938-943, (2016).
- (28) Q. Shen, S. Tople, P. Saxena, "Auror: Defending against poisoning attacks in collaborative deep learning systems." In Proceedings of the 32nd Annual Conference on Computer Security Applications, pp. 508-519, (2016).
- (29) A. Lele, "Virtual reality and its military utility." Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 10(9), 3445-3454. (2019).
- (30) R. Gonçalves,, R. Baptista, A. Coelho, M. Melo, L. Barbosa, M. Bessa, "Comparative analysis of a virtual reality fire drill simulator and a traditional fire drill exercise." In 2018 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR), pp. 158-161, (2018).
- (31) J. Boril, R. Jalovecky, R. Ali, E. Effekhari, D. Prochazkova, "Application of artificial intelligence methods in autonomous systems. In 2018 19th International Carpathian Control Conference (ICCC), pp. 303-308, (2018).
- (32) A. Lele, "Virtual reality and its military utility." Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, DOI:10.1007/s12652-011-0052-4, 4(1), pp. 17-26, (2013).
- (33) P.A. Roman, D. Brown, "Games-just how serious are they." In The interservice/industry training, simulation & education conference (I/ITSEC). 1. National Training Systems Association. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107280137.006>, (2008).
- (34) European Commission. "White Paper on Artificial Intelligence: a European approach to excellence and trust." European Commission, [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_en.pdf), (2020).
- (35) IEEE. "Ethically Aligned Design: A Vision for Prioritizing Human Well-being with Autonomous and Intelligent Systems, First Edition." IEEE, <https://standards.ieee.org/content/ieee-standards/en/industry-connections/ec/autonomous-systems.html>, (2019).
- (36) OECD., "Recommendation of the Council on Artificial Intelligence." OECD, <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>, (2019).

การพัฒนาการบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์  
กรณีศึกษา โรงพยาบาลโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
Development of Drugs and Medical Supply Inventory Management:  
A Case Study of Chulachomklao Royal Military Academy Hospital

ร้อยโท วิชญ์ชพล พลตื้อธนะกุล  
Lieutenant Witchapon Pontuethanagoon

กองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
นครนายก 26001 ประเทศไทย

Department of Ordnance Engineering, Academic Division,  
Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok, 26001, Thailand

Corresponding Author. E-mail : witchapon.po@crma.ac.th

(Received: April 24, 2024, Revised: June 11, 2024, Accepted: June 17, 2024)

**บทคัดย่อ:** โรงพยาบาลโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าปฏิบัติงานสอดคล้องกับนโยบายการรักษาสมดุลทางการเงินในโรงพยาบาลของกรมแพทย์ทหารบกด้านการบริหารจัดการในระยะยาวของการจัดหาและสิ่งอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามลำดับความสำคัญ ปัญหาที่พบคลังยามียาและเวชภัณฑ์บางรายการที่ใช้น้อยแต่มีมูลค่าสูงและยาบางส่วนหมดอายุก่อนใช้งาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพโดยใช้เครื่องมือการบริหารสินค้าคงคลัง คือการจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ที่มีความสำคัญด้วยหลักการ ABC-VED Analysis การหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) ของกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ที่มีความสำคัญและต้นทุนสูง จากนั้นการหาจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP) และสินค้าคงคลังสำรอง (SS) เพื่อการจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ที่เหมาะสม ผลการศึกษาสรุปว่า การประยุกต์ใช้หลักการ ABC-VED Analysis สำหรับจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์มีจำนวนทั้งหมด 1,121 รายการ มูลค่ารวมรายปี เท่ากับ 188,544,735 บาท กลุ่มที่ 1 ได้แก่ AV, AE, AD, BV และ CV มีคุณสมบัติเป็นยาที่มีความจำเป็นและมีต้นทุนสูงแต่มีจำนวนรายการสัดส่วนน้อย มีจำนวนเท่ากับ 202 รายการ คิดเป็นร้อยละ 18.02 ของปริมาณยาและเวชภัณฑ์ทั้งหมด มีมูลค่ารวมเท่ากับ 162,854,826 บาท คิดเป็นร้อยละ 86.37 ของมูลค่ายาและเวชภัณฑ์รวมรายปี ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดเท่ากับ 8,084,487 หน่วย และจำนวนการสั่งซื้อเท่ากับ 201 ครั้งต่อปี ทำให้ปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์ลดลง 4,405,413 หน่วย หรือร้อยละ 35.27 ของปริมาณเดิมและจำนวนรอบการสั่งซื้อลดลง 124 ครั้งต่อปี หรือร้อยละ 38.15 ของรอบการสั่งซื้อเดิม การจัดซื้อที่จุด (Q/2) หรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์ที่ต้องการต่อหน่วยเวลาเป็นจุดที่มีความเหมาะสมส่งผลให้ต้นทุนรวมการจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ลดลง 67,637 บาทต่อเดือน และไม่ก่อให้เกิดปัญหาการขาดสินค้าคงคลัง

**คำสำคัญ:** คลังยาและเวชภัณฑ์ หลักการ ABC-VED Analysis ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด การหาจุดสั่งซื้อใหม่  
สินค้าคงคลังสำรอง



**Abstract:** Chulachomklao Royal Military Academy Hospital operates in alignment with the financial balance policy of the Royal Thai Army Medical Department, specifically in the long-term management of drugs and medical supplies procurement according to priority. The identified issue is that the pharmacy inventory contains some high-value items with low usage and some drugs that expire before use. This research aims to efficiently manage the inventory of drugs and medical supplies using inventory management tools. Specifically, it applies the ABC-VED analysis to categorize drugs and supplies by importance, calculates the Economic Order Quantity (EOQ) for important and high-cost items, and determines the Reorder Point (ROP) and Safety Stock (SS) to facilitate appropriate procurement of drugs and supplies. The study concluded that applying the ABC-VED analysis principle to categorize drugs and medical supplies resulted in a total of 1,121 items with an annual value of 188,544,735 baht. Category 1, which includes AV, AE, AD, BV, and CV items, comprises essential and high-cost drugs that account for a small proportion of the total items. This category contains 202 items, representing 18.02% of all drugs and supplies, with a total value of 162,854,826 baht, or 86.37% of the total annual value. The Economic Order Quantity (EOQ) is 8,084,487 units, with 201 orders per year. This reduces the usage of drugs and supplies by 4,405,413 units or 35.27% from the original volume, and the number of orders by 124 times per year or 38.15% from the original order frequency. Purchasing at the point ( $Q/2$ ), or half the required volume per unit time, is optimal, resulting in a reduction of total procurement costs by 67,637 baht per month without causing stock shortages.

**Keywords:** Drugs and Medical Supplies, ABC-VED Analysis, Economic Order Quantity, Reorder Point, Safety Stock

## 1. บทนำ

กระทรวงสาธารณสุข [1] ได้จัดทำแผนยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี ด้านสาธารณสุข (พ.ศ. 2560-2579) เนื่องจากสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยภายในและภายนอกที่ส่งผลต่อระบบสุขภาพ อาทิ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของประชากรไทย การเปลี่ยนแปลงฐานเศรษฐกิจไปสู่ยุคดิจิทัล การเกิดโรคอุบัติใหม่และอุบัติซ้ำ การเสียชีวิตด้วยโรคไม่ติดต่อที่สามารถป้องกัน ปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมภัยพิบัติธรรมชาติ และภัยก่อการร้าย เป็นต้น โดยกำหนดยุทธศาสตร์กระบวนการดำเนินงาน เป้าหมายตัวชี้วัดพร้อมรายละเอียดตามเป้าหมายหลักของโครงการและกำหนดการดำเนินงานเป็น 4 ระยะโดยแต่ละระยะมีเวลา 5 ปี ได้แก่ ระยะที่ 1 การปฏิรูประบบ (พ.ศ. 2560-2564) ระยะที่ 2 การสร้างความแข็งแกร่ง (พ.ศ. 2565-2569) ระยะที่ 3 การสู่ความยั่งยืน (พ.ศ. 2570-2574) และระยะที่ 4 การเป็น 1 ใน 3 ของเอเชีย (พ.ศ. 2575-2579) จากแผนยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี ดังกล่าวกองทัพบกมีหน่วยงานรับผิดชอบด้านการบริการสาธารณสุขและการแพทย์ คือ กรมแพทย์ทหารบก [2] กำหนด 4 แผนยุทธศาสตร์ปฏิบัติงานตามนโยบายเร่งด่วน ดังนี้

1) เป็นองค์กรสมรรถนะสูง โดยเป็นหน่วยสามารถพัฒนาคุณภาพการรับรองระบบงานภายในประเทศและระบบรับรองคุณภาพสากลและสนับสนุนให้มีการวิจัยพัฒนาและสร้างนวัตกรรม เพื่อตอบสนองต่อกองทัพบก

2) เป็นเลิศบริการทางการแพทย์ในที่ตั้งพัฒนาคุณภาพงานด้านรวดเร็ว ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ ผู้รับบริการมีความพึงพอใจ สร้างเสริมสุขภาพ ป้องกันโรคติดต่อและโรคไม่ติดต่อ มีความพอเพียงด้านบุคลากรทางการแพทย์ ตามมาตรฐานวิชาชีพรวมทั้งรักษาสมดุลด้านการเงินของโรงพยาบาลกองทัพบก ด้วยการบริหารจัดการในระยะยาวโดยกำกับดูแล การจัดหา ยา สิ่งอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามลำดับความเร่งด่วน การก่อสร้างอาคารที่เหมาะสมกับภาระงานในแต่ละพื้นที่

3) เป็นเลิศการบริการทางการแพทย์สนามฟื้นฟูพัฒนา หน่วยแพทย์เสนารักษ์และการแพทย์สนามรักษาอัตลักษณ์หน่วยแพทย์ทหารให้กำลังพลและหน่วยสายแพทย์สังกัดกองทัพบกมีความทันสมัยด้านวิชาการ เข้มแข็งอย่างทหารอาชีพสามารถทำการรักษาพยาบาลได้อย่างรวดเร็วเหมาะสมในสถานการณ์ที่จำกัด การสนับสนุนนายสิบเสนารักษ์มีคุณวุฒิด้านเวชกิจฉุกเฉิน พร้อมสำหรับภารกิจเร่งด่วนในยามปกติและในสถานการณ์ที่ไม่ปกติ รวมทั้งการส่งเสริมให้พลทหารเสนารักษ์มีองค์ความรู้การดูแลผู้ป่วยภาวะฉุกเฉินและทักษะการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน

4) ผู้นำด้านการแพทย์ทหารในภูมิภาคสนับสนุนการดำเนินงานผ่านศูนย์แพทย์ทหารอาเซียนและเป็นมาตรฐานร่วมกันในกลุ่มชาติอาเซียนสู่ความร่วมมือและช่วยเหลือทางการแพทย์

ปัจจุบันการปฏิบัติงานของโรงพยาบาลโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า [3] ที่สอดคล้องกับนโยบายแผนยุทธศาสตร์ที่ 2) ได้แก่ การรักษาสมดุลทางการเงินในโรงพยาบาลกองทัพบกด้วยการบริหารจัดการในระยะยาวโดยกำกับดูแลการจัดหายาและสิ่งอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามลำดับความเร่งด่วน กระบวนการดังกล่าวมีลักษณะคล้ายคลึงกับหลักการบริหารโลจิสติกส์ของธุรกิจสุขภาพ [4] (Healthcare Business) สำหรับในธุรกิจสุขภาพต้นทุนที่สำคัญขององค์กรคือ ยา เวชภัณฑ์ เครื่องมือแพทย์ และวัตถุดิบที่เกี่ยวข้องกับการรักษาโรค เป็นต้น

คลังยาและเวชภัณฑ์มียาและเวชภัณฑ์บางรายการที่มีการใช้น้อยแต่มีมูลค่าสูงและยาบางส่วนหมดอายุก่อนได้ใช้งาน บางครั้งยาที่ต้องการใช้ไม่เพียงพอกับความต้องการทำให้ผู้ป่วยขาดโอกาสที่จะได้รับการรักษาอย่างทันเวลา การบริหารคงคลัง (Inventory Management) ที่ดีช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นและนำไปสู่การดูแลผู้ป่วยที่ดีตามไปด้วย การบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ คือ การจัดหายาให้มียาใช้อย่างพอเพียงอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมไม่ทำให้เกิดต้นทุนที่สูงเกินไป

การดำเนินการเพื่อให้เกิดการบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องใช้เครื่องมือช่วยในการจัดการนอกจากการบริหารสินค้าคงคลัง (Inventory Management) แล้ว การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ ABC-VED Analysis เป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยให้การบริหารจัดการยาคงคลังมีประสิทธิภาพ จากแนวคิดดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาและพัฒนาการบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาลโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าเพื่อหารูปแบบการจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ที่เหมาะสมและเป็นประโยชน์ต่อแผนกเภสัชกรรมของโรงพยาบาลในการวางแผนงบประมาณต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาลังยาและเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาลโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
- 2.2 เพื่อศึกษาการจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์โดยใช้หลักการ ABC-VED Analysis
- 2.3 เพื่อศึกษาและเสนอแนวทางการจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ที่เหมาะสมและเป็นประโยชน์ต่อโรงพยาบาลโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องและวัตถุประสงค์

การบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ คือ การจัดหายาให้มีพอเพียงอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องใช้เครื่องมือช่วยในการจัดการโดยการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดกรอบแนวความคิดที่จะนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและวัตถุประสงค์

| ทฤษฎี                                                                                        | วัตถุประสงค์                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 2.1 การจัดการโลจิสติกส์ของโรงพยาบาล [5], [6], [7]                                            | ศึกษาระบบโลจิสติกส์ของโรงพยาบาล                       |
| 2.2 หลักการ ABC-VED Analysis [8], [9], [10]                                                  | ศึกษาแบบกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ตามหลักการ ABC-VED Analysis |
| 2.3 สินค้าคงคลัง [11]                                                                        | ศึกษาการจัดการของสินค้าคงคลัง                         |
| 2.4 ต้นทุนสินค้าคงคลัง [12], [13]                                                            | ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนสินค้าคงคลัง                |
| 2.5 การหาปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัด (Economic Ordering Quantity : EOQ) [13]                    | ศึกษาการหาปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัดและเหมาะสม          |
| 2.6 ทฤษฎีจุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder Point : ROP) และสินค้าคงคลังสำรอง (Safety Stock : SS) [13] | ศึกษาการหาจุดสั่งซื้อใหม่และคงคลังสำรอง               |
| 2.7 การทดสอบด้านความเหมาะสมของตัวแบบด้วย Peterson-Silver Rule [14]                           | ศึกษาความแปรปรวนระดับความต้องการยาและเวชภัณฑ์         |

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กานติมา ศรีวัฒนะ [15] ทำงานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาประสิทธิภาพในการบริหารคลังยา โรงพยาบาลสระบุรี” มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดซื้อยาหารูปแบบที่เหมาะสมในการจัดซื้อยา รวมทั้งเปรียบเทียบต้นทุนรวมของยาคงคลังก่อนและหลังการนำหลักการปริมาณการ

สั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด (EOQ) เทคนิคจุดสั่งซื้อใหม่ และการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลมา ผลการศึกษาพบว่า ต้นทุนรวมของยาในกลุ่ม AF จำนวน 43 รายการ ยาในกลุ่ม BF จำนวน 11 รายการ สามารถลดลงไปได้ 5,740,689.24 บาทต่อปี และวิธีคำนวณปริมาณยาที่มีความเหมาะสมคือ วิธีจุดสั่งซื้อใหม่ เนื่องจากทำให้ไม่เกิดยาขาดสินค้าคงคลังระหว่างปี

ลภัสสรดา ลิ้มศิลา [16] ทำงานวิจัยเรื่อง “การลดต้นทุนสินค้าโดยใช้หลักการ ABC-VED Analysis : กรณีศึกษาโรงงานเครื่องผลิตสออ่าง” มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการสั่งซื้อที่เหมาะสมกับบริษัทและลดต้นทุนด้านสินค้าคงคลัง ประยุกต์ใช้ ABC-VED Analysis แบ่งประเภทตามลำดับความสำคัญของการผลิตจำนวน 496 รายการ มีวัตถุประสงค์ในกลุ่มที่มีมูลค่าสูงสุดและมีความสำคัญต่อการผลิตจำนวน 46 รายการ คือกลุ่ม AV และ AE เปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง พบว่า การประยุกต์ใช้เทคนิค EOQ Model และ แบบ Silver-Meal สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบคงคลังได้ 3,991,313.61 บาท คิดเป็นร้อยละ 65.90 ของต้นทุนสินค้าคงคลังเดิม

วิชัย ก้องเกียรติดิษฐ์ [17] ทำงานวิจัยเรื่อง “การศึกษาการจัดกลุ่มรายการยาในเภสัชตำรับโรงพยาบาลศรีนครินทร์โดยใช้ ABC-VED Matrix” มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางในการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาลศรีนครินทร์ โดยใช้สถิติร้อยละแบ่งกลุ่มยาตามการวิเคราะห์ ABC และ VED แล้วนำมาวิเคราะห์ ABC-VED matrix แบ่งเป็น 3 หมวด คือหมวดที่ 1 คือ ยาที่มีความจำเป็นอย่างมากหรือมีค่าใช้จ่ายสูง หมวดที่ 2 คือ ยาที่มีความจำเป็นและมีค่าใช้จ่ายปานกลาง หมวดที่ 3 คือ ยาที่มีความจำเป็นน้อยและมีค่าใช้จ่ายน้อย เมื่อนำมาวิเคราะห์ ABC-VED matrix ได้ผลดังนี้ หมวด 1 มีจำนวนร้อยละ 25.97 เป็นมูลค่าร้อยละ 77.82 หมวด 2 มีจำนวนร้อยละ 48.06 เป็นมูลค่าร้อยละ 20.05 และหมวด 3 มีจำนวนร้อยละ 25.97 เป็นมูลค่าร้อยละ 2.13

Saxena et al. [18] ทำงานวิจัยเรื่อง “ABC-VED analysis of the pharmacy of an urban health centre” ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ ABC-VED ในการควบคุมรายการยาให้มีประสิทธิภาพช่วยระบุยาที่ต้องได้รับการควบคุมการวิเคราะห์ VED ดำเนินการโดยปรึกษาหารือกับแพทย์และศูนย์ที่รับผิดชอบวิเคราะห์ยาทั้งหมด 145 รายการ มูลค่าตามรายจ่ายยาประจำปีอยู่ที่ 1,058,046 รูปี ร้อยละของยาในกลุ่ม A, B และ C เท่ากับ 15.2, 23.4 และ 61.4 ตามลำดับ ประมาณร้อยละ 3 ของยาเป็น V, ร้อยละ 59 เป็น E และร้อยละ 38 เป็น D จากการวิเคราะห์เพิ่มเติม พบว่า ปริมาณร้อยละ 19 ของกลุ่มยาประเภท 1 ได้แก่ AV, AE, AD, BV & CV คิดเป็นร้อยละ 69 ของมูลค่ายาประจำปีทั้งหมด

Hussain M. et al. [19] ทำงานวิจัยเรื่อง “ABC, VED and Lead Time Analysis in the Surgical Store of a Public Sector Tertiary Care Hospital in Delhi” เพื่อค้นหาวัดสุสันเปลี่ยนในการผ่าตัดที่ใช้เสมอตลอดจนการคำนวณระยะเวลารอคอยสินค้าประเภท A และวัสดุสันเปลี่ยนในการผ่าตัดที่สำคัญ การวิเคราะห์ ABC พบว่าสินค้า 35 รายการ คิดเป็นร้อยละ 14 ถูกจัดหมวดหมู่เป็นกลุ่ม A มีมูลค่าการบริโภคร้อยละ 70 ต่อปี รายการสำคัญ (V) ประกอบด้วยรายการส่วนใหญ่ กล่าวคือ ร้อยละ 73 ของรายการทั้งหมด และรายการประเภทจำเป็น (E) คิดเป็นร้อยละ 26 ของรายการทั้งหมดระยะเวลารอคอยสินค้าโดยเฉลี่ยคือ 17 วัน

Gunawan and Setiawan [20] ทำงานวิจัยเรื่อง “Inventory Management with EOQ Method at Nitra Jaya Fashion-Making Company in Badung” มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการจัดการสินค้าคงคลังที่เหมาะสมของระบบการจัดการของ Nitra Jaya โดยใช้วิธี EOQ ผลการวิจัยพบว่าการจัดการสินค้าคงคลังของ Nitra Jaya เดิมยังคงไม่มีประสิทธิภาพด้วยการใช้วิธีการที่ใช้ตามปกติ ในปี 2019 ต้นทุนสินค้าคงคลังทั้งหมดที่เกิดขึ้นคือ 27,150,000 รูปี หากใช้วิธี EOQ จัดการต้นทุนสินค้า

คงคลังทั้งหมดคือ 14,247,886 รูปี จะสามารถประหยัดเงินได้ 12,902,114 รูปี คิดเป็นร้อยละ 47.5 ของต้นทุนเดิม

#### 4. วิธีดำเนินการศึกษา

วิธีการดำเนินการประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

4.1 การศึกษาแผนกเภสัชกรรมโรงพยาบาลโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคลังยาและเวชภัณฑ์ ผู้วิจัยศึกษาข้อมูลคลังยาและเวชภัณฑ์ของแผนกเภสัชกรรม โรงพยาบาลโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2565 - ตุลาคม พ.ศ. 2566 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณยดใช้รายเดือนและต้นทุนต่อหน่วยของรายการยาและเวชภัณฑ์ทั้งหมด 1,121 รายการ แบ่งเป็น 21 ประเภท ได้แก่ ENT 31 รายการ, HAD 23 รายการ, INV 14 รายการ, น้ำเกลือ 16 รายการ, น้ำยาฆ่าเชื้อ 16 รายการ, ยาครีม 18 รายการ, ยาฉีด 115 รายการ, ยาน้ำ 48 รายการ, ยาผง 11 รายการ, ยาพ่น 15 รายการ, ยาเม็ด 313 รายการ, ยาสมุนไพร 33 รายการ, ยาเหน็บ 5 รายการ, อุปกรณ์กระดูก 77 รายการ, อุปกรณ์กระดูก OR 72 รายการ, อุปกรณ์ทั่วไป 33 รายการ, เวชภัณฑ์กระดูก 41 รายการ, เวชภัณฑ์ทั่วไป 69 รายการ, สบู่ล้างมือ 141 รายการ, ไหม 29 รายการ และยาอื่น ๆ 1 รายการ เป็นต้น ตัวอย่างการเก็บข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างกลุ่มยาประเภท HAD

| รหัสยา | รายการ     | ยดใช้<br>รายปี<br>(หน่วย) | ต้นทุน<br>ต่อหน่วย<br>(บาท) |
|--------|------------|---------------------------|-----------------------------|
| HAD1   | NaCl 3%    | 120                       | 39.50                       |
| HAD2   | Adrenaline | 3,600                     | 7.75                        |
| ...    | ...        | ...                       | ...                         |
| HAD22  | Novomix    | 600                       | 376                         |
| HAD23  | Warfarin   | 7,200                     | 3                           |

4.3 การประยุกต์ใช้หลักการ ABC-VED Analysis สำหรับการจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

4.3.1 การจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ตามหลักการ ABC-Analysis โดยเรียงลำดับตามมูลค่าต้นทุนรวมรายปี แสดงข้อมูลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การจัดกลุ่มแบบ ABC-Analysis

| กลุ่ม ABC | รายละเอียด                                                                      |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| กลุ่ม A   | กลุ่มยาที่ใช้งบประมาณร้อยละ 75-80 ของงบทั้งหมดมีจำนวนร้อยละ 10 ของรายการทั้งหมด |
| กลุ่ม B   | กลุ่มยาที่ใช้งบประมาณร้อยละ 15-20 ของงบทั้งหมดมีจำนวนร้อยละ 20 รายการทั้งหมด    |
| กลุ่ม C   | กลุ่มยาที่ใช้งบประมาณร้อยละ 5-10 ของงบทั้งหมดมีจำนวนร้อยละ 70 ของรายการทั้งหมด  |



4.3.2 การจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ตามหลักการ VED-Analysis โดยเรียงลำดับตามความจำเป็นที่ต้องมีไว้ในโรงพยาบาลเพื่อใช้ในสถานการณ์ฉุกเฉินหรือเพื่อให้กระบวนการดูแลรักษาผู้ป่วยเกิดประสิทธิผลและความปลอดภัยโดยขึ้นอยู่กับบริบทของแต่ละโรงพยาบาล แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การจัดกลุ่มแบบ VED-Analysis

| กลุ่ม VED                    | รายละเอียด                                                                                |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| กลุ่ม V<br>(Vital Items)     | กลุ่มยาที่ต้องมีพร้อมใช้ตลอดเวลาในโรงพยาบาล เช่น ยาช่วยชีวิต ยาต้านพิษ ยาปฏิชีวนะ เป็นต้น |
| กลุ่ม E<br>(Essential Items) | กลุ่มยาที่ควรมีไว้ในโรงพยาบาล เช่น ยาบัญชี ก. และ ข. ในบัญชียาหลักแห่งชาติ เป็นต้น        |
| กลุ่ม D<br>(Desirable Items) | กลุ่มยาที่อาจมีในโรงพยาบาล เช่น อาหารเสริมและยาสมุนไพร เป็นต้น                            |

4.3.3 การพิจารณาจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ตามหลักการ ABC-VED Analysis โดยพิจารณาทั้งสองหลักการรวมกันเพื่อลดข้อจำกัดของแต่ละวิธีการและทำให้การบริหารจัดการคลังยาและเวชภัณฑ์มีประสิทธิภาพ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การจัดกลุ่มตามหลัก ABC-VED Analysis

| กลุ่ม ABC-VED                           | รายละเอียด                                                                           |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| ประเภทที่ 1<br>AV, AE, AD, BV<br>และ CV | ยาที่มีความจำเป็นและค่าใช้จ่ายสูงแต่มีจำนวนรายการน้อยแต่มีผลต่อค่าใช้จ่ายอย่างมาก    |
| ประเภทที่ 2<br>BE, CE และ BD            | ยาที่มีความจำเป็นและมีค่าใช้จ่ายปานกลางต้องคงไว้ในเภสัชตำรับของโรงพยาบาล             |
| ประเภทที่ 3<br>CD                       | ยาที่มีความจำเป็นและมีค่าใช้จ่ายน้อยมีจำนวนรายการยามากแต่มีค่าใช้จ่ายเป็นสัดส่วนน้อย |

4.4 การหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) การหาจุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder Point) และสินค้าคงคลังสำรอง (Safety Stock)

4.4.1 การทดสอบความเหมาะสมการหาปริมาณสั่งซื้อด้วย Peterson-Silver Rule

จากข้อจำกัดการใช้ตัวแบบปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) สามารถใช้ได้เมื่อความต้องการของสินค้ามีลักษณะคงที่สม่ำเสมอมีการวัดความแปรปรวนของระดับความต้องการด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Variability Coefficient, VC) ดังสมการที่ (1)-(3)

$$VC = \frac{Est.var D}{(\bar{d})^2} \quad (1)$$

โดยที่ Est.var D คือ ค่าประมาณความแปรปรวน

( $\bar{d}$ ) คือ ค่าความต้องการเฉลี่ยต่อช่วงเวลา

คำนวณค่าประมาณความแปรปรวนของความต้องการต่อช่วงเวลา (Est.var D) ดังนี้

$$Est. var D = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2\right) - (\bar{d})^2 \tag{2}$$

คำนวณค่าความต้องการเฉลี่ยต่อช่วงเวลา ( $\bar{d}$ ) ดังนี้

$$(\bar{d}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \tag{3}$$

เมื่อ  $d_i$  = ปริมาณความต้องการสินค้าในแต่ละช่วงเวลา

$n$  = ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (VC) ได้มีเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (VC) ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 0.25 แสดงว่าระดับความต้องการสินค้ามีลักษณะคงที่สามารถที่จะใช้ตัวแบบ EOQ ในการคำนวณปริมาณสั่งซื้อได้

2) ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (VC) ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า 0.25 แสดงว่าระดับความต้องการสินค้ามีลักษณะแปรปรวนให้ใช้ Dynamic Lot Sizing Model หาคำตอบ

4.4.2 การคำนวณการหาค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Variability Coefficient, VC) ของยา  
รหัส HAD2 Adrenaline ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการหาค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของยารหัส HAD2 Adrenaline

| เดือน     | ปริมาณใช้รายเดือน ( $d_i$ )<br>(หน่วย) | ปริมาณใช้รายเดือน ( $d_i$ ) <sup>2</sup><br>(หน่วย) |
|-----------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| ต.ค.- 65  | 350                                    | 122,500                                             |
| พ.ย.- 65  | 300                                    | 90,000                                              |
| ธ.ค.- 65  | 250                                    | 62,500                                              |
| ม.ค.- 66  | 250                                    | 62,500                                              |
| ก.พ.- 66  | 250                                    | 62,500                                              |
| มี.ค.- 66 | 275                                    | 75,625                                              |
| เม.ย.- 66 | 350                                    | 122,500                                             |
| พ.ค.- 66  | 300                                    | 90,000                                              |
| มิ.ย.- 66 | 350                                    | 90,000                                              |
| ก.ค.- 66  | 350                                    | 122,500                                             |
| ส.ค.- 66  | 350                                    | 122,500                                             |
| ก.ย.- 66  | 275                                    | 75,625                                              |
| ค่ารวม    | 3,600                                  | 12,960,000                                          |

จากตารางที่ 6 จะนำตัวแปรที่ได้มาคำนวณหา  
ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (VC) ดังนี้

4.4.2.1 คำนวณหาค่าเฉลี่ยของความถี่ความต้องการ  
ต่อช่วงเวลาดังสมการที่ (3)

$$(\bar{d}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i = 3600/12 \\ = 300 \text{ หน่วย}$$

4.4.2.2 คำนวณหาค่าความแปรปรวนของ  
ความต้องการต่อช่วงเวลาดังสมการที่ (2)

$$Est. var D = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2 \right) - (\bar{d})^2 \\ = [(350)^2 + (300)^2 + \dots + (275)^2] / 12 - (300)^2 \\ = [(12,960,000) / 12 - 90,000] = 0$$

4.4.2.3 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของความ  
แปรปรวน (Variability Coefficient, VC) ดังสมการที่ (1)

$$VC = \frac{Est. var D}{(\bar{d})^2} \\ = 0 / (300)^2 = 0$$

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (VC)  
ของยารหัส HAD2 Adrenaline ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า  
0.25 แสดงว่าระดับความต้องการสินค้า หรือปริมาณการ  
ใช้งานมีลักษณะคงที่

4.4.3 การประยุกต์ตัวแบบการหาปริมาณ  
สั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) ตามระดับความต้องการ

ประยุกต์ใช้ตัวแบบการหาปริมาณสั่งซื้อที่  
ประหยัด (EOQ) ดังสมการที่ (4)

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (4)$$

โดยที่ EOQ คือปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (หน่วย)

D คือ ปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์ต่อปี (หน่วย)

S คือ ต้นทุนการสั่งซื้อต่อครั้ง (บาท)

H คือ ต้นทุนเก็บรักษาต่อหน่วยต่อปี (บาท)

4.4.3.1 คำนวณหาปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัด  
จากข้อมูล คือ ปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์ต่อปี ต้นทุน  
การสั่งซื้อต่อครั้งเท่ากับ 2,009 บาท/ครั้ง/ปี และต้นทุน  
การเก็บรักษาเท่ากับ 0.10 บาท/หน่วย/ปี ตัวอย่างการ  
คำนวณจากตารางที่ 2 ยารหัส HAD2 Adrenaline มี  
ปริมาณการใช้รายเดือนเท่ากับ 300 หน่วย คิดเป็นปริมาณ  
การใช้ยาและเวชภัณฑ์รายปีเท่ากับ  $(300 \times 12) = 3,600$   
หน่วย นำค่าที่ได้ไปแทนในสมการที่ (4)

$$EOQ = \sqrt{\frac{2(3,600)(2,009)}{(0.10)}} = 12,027 \text{ หน่วย}$$

4.4.3.2 คำนวณจำนวนรอบการสั่งซื้อต่อปี  
= ปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์รายปี/ปริมาณสั่งซื้อที่  
ประหยัด =  $3,600 / 12,027 = 0.30$  ครั้ง/ปี

ยารหัส HAD2 Adrenaline มีปริมาณสั่งซื้อที่  
ประหยัดเท่ากับ 12,027 หน่วย และมีจำนวนรอบการสั่ง  
ซื้อต่อปีเท่ากับ 0.30 ครั้ง/ปี ตัวแบบการหาปริมาณสั่งซื้อ  
อย่างประหยัดทำให้หาปริมาณสั่งซื้อเท่าใดจึงจะเหมาะสม  
แต่การสั่งซื้อเมื่อเวลาหรือที่จุดใดต้องอาศัยตัวแบบที่เรียก  
ว่าจุดสั่งซื้อใหม่

4.4.4 การหาจุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder Point)  
และสินค้าคงคลังสำรอง (Safety Stock) แสดงสมการ  
และตัวอย่างการคำนวณการหาจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP) เป็น  
จุดสั่งซื้อยาและเวชภัณฑ์เพิ่มเติมเพื่อให้วัตถุดิบคงคลังเข้า  
มาแทนที่เมื่อจำนวนยาและเวชภัณฑ์ลดลงถึงจุดที่กำหนด  
ขึ้นอยู่กับตัวแปร 2 ตัว คือ ปริมาณความต้องการยาและ  
เวชภัณฑ์และช่วงเวลานำ ดังสมการที่ (5)

$$ROP = SS + (d \times LT) \quad (5)$$

โดยที่ ROP คือ จุดสั่งซื้อใหม่ (หน่วย)

SS คือ ระดับสินค้าคงคลังสำรอง (หน่วย)

d คือ ปริมาณความต้องการต่อหน่วยเวลา (หน่วย)

LT คือ ช่วงเวลานำหรือเวลารอคอยสินค้า (วัน)

ตัวอย่างคำนวณจากตารางที่ 2 ยารหัส HAD2 Adrenaline ข้อมูลพิจารณามีช่วงเวลานำหรือเวลารอคอยสินค้า (LT) เท่ากับ 7 วันหรือ 1 สัปดาห์ มีปริมาณการใช้รายเดือนเท่ากับ 300 หน่วย คิดเป็นปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์ต่อวัน (d) เท่ากับ  $300/30 = 10$  หน่วย สินค้าคงคลังสำรอง (SS) เท่ากับ  $7 \times 10 = 70$  หน่วย นำค่าที่ได้แทนในสมการที่ (5)

$$ROP = 70 + (10 \times 7) = 140 \text{ หน่วย}$$

สรุปได้ว่า ยารหัส HAD2 Adrenaline มีจุดสั่งซื้อใหม่เท่ากับ 140 หน่วย และสินค้าคงคลังสำรองต่อสัปดาห์ เท่ากับ 70 หน่วย

4.4.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ต้นทุนการจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ที่เหมาะสม การจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์เดิมนั้นจะมีรอบการสั่งซื้อ 4 ครั้งต่อเดือนนำผลการวิเคราะห์ตามหัวข้อที่ 4.4.4 ประยุกต์ใช้สามารถลดรอบการสั่งซื้อจาก 4 ครั้งต่อเดือน เหลือ 2 ครั้งต่อเดือน ทำให้มีรอบการสั่งซื้อและต้นทุนรวมลดลง แสดงตัวอย่างการคำนวณดังนี้

ยารหัส HAD2 Adrenaline มีต้นทุนยา 7.75 บาทต่อหน่วย มีปริมาณการใช้รายเดือนเท่ากับ 300 หน่วย รอบการใช้งานต่อ 4 สัปดาห์เท่ากับ  $300/4 = 75$  หน่วย ต้นทุนการสั่งซื้อต่อครั้งใน 1 เดือน คิดจาก  $(2,009/12)$  มีค่าเท่ากับ 167.42 บาท/ครั้ง/เดือน ต้นทุนการเก็บรักษาต่อหน่วยใน 1 เดือนคิดจาก  $(0.10/12)$  มีค่าเท่ากับ 0.008 บาท/หน่วย/เดือน เดิมมีรอบการสั่ง 4 ครั้ง/เดือน คิดต้นทุนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนรวม} &= [(\text{ต้นทุนยา} + \text{ต้นทุนการเก็บรักษา} + \text{ต้นทุนการสั่งซื้อ})] \times \text{จำนวนครั้งสั่งซื้อ} \\ &= [(75 \times 7.75) + (75 \times 0.008) + (167.42)] \times 4 \\ &= 2,997.08 \text{ บาท} \end{aligned}$$

การประยุกต์ใช้การจัดซื้อยาที่จุด (Q/2) ของยารหัส HAD2 มีต้นทุนยา 7.75 บาทต่อหน่วย มีปริมาณการใช้รายเดือนเท่ากับ 300 หน่วย รอบการใช้งานต่อ

2 สัปดาห์เท่ากับ  $300/2 = 150$  หน่วย ต้นทุนการสั่งซื้อต่อครั้งใน 1 เดือน คิดจาก  $(2,009/12)$  มีค่าเท่ากับ 167.42 บาท/ครั้ง/เดือน ต้นทุนการเก็บรักษาต่อหน่วยใน 1 เดือน คิดจาก  $(0.10/12)$  มีค่าเท่ากับ 0.008 บาท/หน่วย/เดือน การประยุกต์ใช้หลักการจุดสั่งซื้อใหม่และสินค้าคงคลังสำรองทำให้มีรอบการสั่ง 2 ครั้ง/เดือน โดยเพิ่มปริมาณการสั่งแต่ละรอบมากขึ้น คิดต้นทุนรวมดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนรวม} &= [(\text{ต้นทุนยา} + \text{ต้นทุนการเก็บรักษา} + \text{ต้นทุนการสั่งซื้อ})] \times \text{จำนวนครั้งสั่งซื้อ} \\ &= [(150 \times 7.75) + (150 \times 0.008) + (167.42)] \times 2 \\ &= 2,662.24 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จากการเปรียบเทียบต้นทุนการจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ที่เหมาะสมที่จุด (Q/2) กับการจัดซื้อยาแบบเดิมทำให้ต้นทุนลดลง 335 บาทต่อเดือนเนื่องจากต้นทุนรอบการสั่งซื้อที่ลดลง และนำหลักการคิดต้นทุนไปคำนวณกับยาและเวชภัณฑ์ประเภทที่ 1 ได้แก่ AV, AE, AD, BV และ CV จำนวน 202 รายการ

## 5. ผลการศึกษา

ผลการศึกษาวิจัยแสดงผลดังต่อไปนี้

5.1 ผลลัพธ์การจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์แบบ ABC-VED Analysis แสดงข้อมูลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลลัพธ์การจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์แบบ ABC-VED Analysis

| กลุ่ม | จำนวนยา<br>เวชภัณฑ์<br>(รายการ) | มูลค่ารายปี<br>(บาท) | ร้อยละมูลค่า<br>รายปี<br>(%) |
|-------|---------------------------------|----------------------|------------------------------|
| AV    | 60                              | 98,181,300           | 52.07                        |
| AE    | 30                              | 48,789,288           | 25.88                        |
| AD    | 3                               | 3,295,800            | 1.75                         |
| BV    | 49                              | 10,782,900           | 5.72                         |

ตารางที่ 7 ผลลัพธ์การจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์แบบ  
ABC-VED Analysis (ต่อ)

| กลุ่ม | จำนวนยา<br>เวชภัณฑ์<br>(รายการ) | มูลค่ารายปี<br>(บาท) | ร้อยละมูลค่า<br>รายปี<br>(%) |
|-------|---------------------------------|----------------------|------------------------------|
| CV    | 60                              | 1,805,538            | 0.96                         |
| BE    | 81                              | 16,331,028           | 8.66                         |
| BD    | 7                               | 1,415,892            | 0.75                         |
| CE    | 291                             | 6,797,175            | 3.61                         |
| CD    | 540                             | 1,145,814            | 0.61                         |
| รวม   | 1,121                           | 188,544,735          | 100                          |

จากตารางที่ 7 พบว่า รายการยาและเวชภัณฑ์มีจำนวนทั้งหมด 1,121 รายการ มีมูลค่ารวมรายปี เท่ากับ 188,544,735 บาท หลักการ ABC-VED จะเลือกพิจารณา รายการยาและเวชภัณฑ์ประเภทที่ 1 ประกอบด้วย AV, AE, AD, BV และ CV ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นยาที่มีความจำเป็นอย่างมากหรือมีค่าใช้จ่ายสูง มีจำนวนรายการเป็นสัดส่วนน้อยแต่มีผลต่อค่าใช้จ่ายอย่างมาก มีจำนวนเท่ากับ 202 รายการ คิดเป็นร้อยละ 18.02 ของปริมาณยาและเวชภัณฑ์ทั้งหมดโดยนำข้อมูลยาและเวชภัณฑ์ประเภทที่ 1 หาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) ต่อไป

## 5.2 ผลลัพธ์การทดสอบความเหมาะสมการหาปริมาณสั่งซื้อด้วย Peterson-Sliver Rule

จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (VC) ของรายการยาและเวชภัณฑ์ 202 รายการ ค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 0.25 แสดงว่าระดับความต้องการสินค้าหรือปริมาณการใช้งานมีลักษณะคงที่โดยกลุ่มยาและเวชภัณฑ์กรณีศึกษาที่มีปริมาณการใช้เฉลี่ยคงที่ทำให้นำตัวแบบปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) มาประยุกต์ใช้กับกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ทั้งหมดได้

## 5.3 ผลลัพธ์การหาปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัด

จากตัวอย่างการคำนวณในหัวข้อที่ 4.4.3 จะคำนวณหาปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัดสำหรับยาและเวชภัณฑ์ประเภทที่ 1 ได้แก่ AV, AE, AD, BV และ CV จำนวน 202 รายการ พิจารณาในรูปหน่วยต่อปีปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัดและจำนวนการสั่งซื้อที่คำนวณแสดงข้อมูลผลลัพธ์รวมรายปี ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลลัพธ์ปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัดสำหรับ  
กลุ่มยาและเวชภัณฑ์ประเภทที่ 1

| กลุ่ม | ปริมาณ<br>การใช้<br>(หน่วย/ปี) | ปริมาณสั่ง<br>ที่ประหยัด<br>(หน่วย/ปี) | จำนวนการ<br>สั่งซื้อ<br>(ครั้ง/ปี) |
|-------|--------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|
| AV    | 7,394,400                      | 3,757,074                              | 93                                 |
| AE    | 206,952                        | 437,737                                | 11                                 |
| AD    | 124,200                        | 105,880                                | 3                                  |
| BV    | 3,715,200                      | 2,503,508                              | 62                                 |
| CV    | 1,049,148                      | 1,280,298                              | 32                                 |
| รวม   | 12,489,900                     | 8,084,497                              | 201                                |

จากตารางที่ 8 ปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์รายปีเดิมเท่ากับ 12,489,900 หน่วย มียอดรอบการสั่งซื้อมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 325 ครั้ง/ปี เมื่อคำนวณหาปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัดได้ปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์รายปีเท่ากับ 8,084,487 หน่วย และจำนวนรอบการสั่งซื้อเท่ากับ 201 ครั้ง/ปี ทำให้ปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์ลดลง 4,405,413 หน่วย หรือร้อยละ 35.27 และจำนวนรอบการสั่งซื้อลดลง 124 ครั้ง/ปี หรือร้อยละ 38.15 ข้อมูลแสดงให้เห็นว่าการหาปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัดสามารถบริหารคลังสินค้าไม่ให้มีสินค้าคงคลังมีมากเกินไปจนความจำเป็นเพราะทำให้เกิดต้นทุนการเก็บรักษารวมทั้งลดรอบการสั่งซื้อเพื่อให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด



5.4. ผลลัพธ์การหาจุดสั่งซื้อใหม่และสินค้าคงคลังสำหรับการจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ที่เหมาะสมของกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ประเภทที่ 1 ได้แก่ AV, AE, AD, BV และ CV จำนวน 202 รายการ พิจารณาในรูปปริมาณการใช้ต่อเดือนและหาร้อยละจุดสั่งซื้อใหม่เปรียบเทียบกับปริมาณการใช้เดิมแสดงผลลัพธ์ข้อมูล ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ปริมาณจุดสั่งซื้อใหม่กับปริมาณการใช้เดิม

| กลุ่ม | ปริมาณการใช้เดิม<br>(หน่วย/เดือน) | ปริมาณจุดสั่งซื้อใหม่<br>(หน่วย/เดือน) | ร้อยละจุดสั่งซื้อใหม่<br>จากเดิม (%) |
|-------|-----------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
| AV    | 616,200                           | 287,560                                | 46.67                                |
| AE    | 17,246                            | 8,048                                  | 46.67                                |
| AD    | 10,350                            | 4,830                                  | 46.67                                |
| BV    | 309,600                           | 144,480                                | 46.67                                |
| CV    | 87,429                            | 40,800                                 | 46.67                                |
| รวม   | 1,040,825                         | 485,718                                | 46.67                                |

จากตารางที่ 9 ร้อยละจุดสั่งซื้อใหม่ที่ได้เท่ากับร้อยละ 46.67 หรือประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์ต่อเดือนเดิมซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎีปริมาณวัสดุคงคลังเฉลี่ยที่กำหนดให้  $Q$  เป็นปริมาณของการสั่งซื้อและมีจำนวนคงคลังเท่ากับ  $Q$  เมื่อได้รับวัสดุแล้วจะนำมาใช้และหมดไปจนเป็นศูนย์จุดสั่งซื้อที่ถูกเติมเพิ่มมีจำนวนวัสดุคงคลังโดยเฉลี่ยเท่ากับ  $(Q/2)$

5.5 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบผลลัพธ์ต้นทุนการจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ที่เหมาะสม

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ต้นทุนการจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ที่เหมาะสมทำให้ต้นทุนลดลง 335 บาทต่อเดือน มีจำนวนกลุ่มยาและเวชภัณฑ์กลุ่มที่ 1 ทั้งหมด 202 รายการ จากการคำนวณต้นทุนรวมเดิมมีค่าเท่ากับ 13,714,837 บาท ต้นทุนใหม่มีค่าเท่ากับ 13,647,200 บาท ส่งผลให้ต้นทุนรวมทั้งหมดลดลง 67,637 บาทต่อเดือน

6. สรุปและอภิปรายผล

6.1 จากผลการวิจัยการประยุกต์ใช้หลักการ ABC-VED Analysis สำหรับจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์พบว่ารายการยาและเวชภัณฑ์มีจำนวนทั้งหมด 1,121 รายการ คิดเป็นมูลค่ารวมรายปีเท่ากับ 188,544,735 บาท แบ่งการจัดกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ ดังนี้

1) รายการยาในกลุ่ม AV มีจำนวนเท่ากับ 60 รายการ มีมูลค่ารวมสูงที่สุด เท่ากับ 98,181,300 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 52.07 ของมูลค่ารวมรายปี

2) รายการยาในกลุ่ม AE มีจำนวนเท่ากับ 30 รายการ มีมูลค่ารวมเท่ากับ 48,789,288 บาท หรือ คิดเป็นร้อยละ 25.88 ของมูลค่ารวมรายปี

3) รายการยาในกลุ่ม AD มีจำนวนเท่ากับ 3 รายการ มีมูลค่ารวมเท่ากับ 3,295,800 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 1.75 ของมูลค่ารวมรายปี

4) รายการยาในกลุ่ม BV มีจำนวนเท่ากับ 49 รายการ มีมูลค่ารวมเท่ากับ 10,782,900 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 5.72 ของมูลค่ารวมรายปี

5) รายการยาในกลุ่ม CV มีจำนวนเท่ากับ 60 รายการ มีมูลค่ารวมเท่ากับ 1,805,538 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 0.96 ของมูลค่ารวมรายปี

6) รายการยาในกลุ่ม BE มีจำนวนเท่ากับ 81 รายการ มีมูลค่ารวมเท่ากับ 16,331,028 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 8.66 ของมูลค่ารวมรายปี

7) รายการยากลุ่ม BD มีจำนวนเท่ากับ 7 รายการ มีมูลค่ารวมเท่ากับ 1,415,892 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 0.75 ของมูลค่ารวมรายปี

8) รายการยากลุ่ม CE มีจำนวนเท่ากับ 291 รายการ มีมูลค่ารวมเท่ากับ 6,797,175 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 3.61 ของมูลค่ารวมรายปี

9) รายการยากลุ่ม CD มีจำนวนเท่ากับ 540 รายการ มีมูลค่ารวมเท่ากับ 1,145,814 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 0.61 ของมูลค่ารวมรายปี

จากข้อมูลรายการยาและเวชภัณฑ์จะเลือกพิจารณาประเภทที่ 1 ประกอบด้วย AV, AE, AD, BV และ CV ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นยาที่มีความจำเป็นอย่างมากและมีค่าใช้จ่ายสูง มีจำนวนรายการเป็นสัดส่วนน้อยแต่มีผลต่อค่าใช้จ่ายอย่างมาก มีจำนวนเท่ากับ 202 รายการ คิดเป็นร้อยละ 18.02 ของปริมาณยาและเวชภัณฑ์ทั้งหมด มีมูลค่ารวมเท่ากับ 162,854,826 บาท คิดเป็นร้อยละ 86.37 ของมูลค่ายาและเวชภัณฑ์รวมรายปีโดยจะนำข้อมูลยาและเวชภัณฑ์ประเภทที่ 1 หาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) เพื่อลดต้นทุนการสั่งซื้อและต้นทุนการเก็บรักษา

6.2 การหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดระดับความต้องการสินค้าหรือปริมาณการใช้งานมีลักษณะคงที่โดยกลุ่มยาและเวชภัณฑ์กรณีศึกษามีกำหนดปริมาณการใช้เฉลี่ยเท่ากันทุกเดือนทำให้ตัวแบบปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) สามารถประยุกต์ใช้คำนวณกับกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ทั้งหมด

6.3 ปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์รายปีเดิมเท่ากับ 12,489,900 หน่วย มีรอบการสั่งซื้อมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 325 ครั้ง/ปี เมื่อคำนวณหาปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัดปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์รายปีเท่ากับ 8,084,487 หน่วย และจำนวนรอบการสั่งซื้อเท่ากับ 201 ครั้ง/ปี ทำให้ปริมาณการสั่งซื้อยาและเวชภัณฑ์ลดลงจากเดิม 4,405,413 หน่วย หรือร้อยละ 35.27 และจำนวนรอบการสั่งซื้อลดลง 124 ครั้ง/ปี หรือร้อยละ 38.15 ดังนั้นการหาปริมาณสั่งซื้อที่ประหยัดสามารถบริหารคลังสินค้า

ไม่ให้มีสินค้าคงคลังมากเกินไปและลดรอบการสั่งซื้อเพื่อให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด

6.4 การวิเคราะห์ผลลัพธ์การหาจุดสั่งซื้อใหม่และสินค้าคงคลังสำรองสำหรับการจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ที่เหมาะสม พบว่า การสั่งซื้อที่จุด (Q/2) เป็นจุดที่มีความเหมาะสมและไม่ก่อให้เกิดปัญหาการขาดสินค้าคงคลังสำหรับกรณีศึกษานี้เมื่อระดับปริมาณยาและเวชภัณฑ์ลดลงที่ระดับร้อยละ 46.67 เท่ากับครึ่งหนึ่งของปริมาณการใช้ยาและเวชภัณฑ์ที่ต้องการใช้ต่อหน่วยเวลาควรมีการสั่งซื้อยาและเวชภัณฑ์เพิ่มเติม

6.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ต้นทุนการจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ที่เหมาะสมพบว่ากลุ่มยาและเวชภัณฑ์กลุ่มที่ 1 ทั้งหมด 202 รายการ ต้นทุนรวมลดลง 67,637 บาท ต่อเดือน แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้การจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ด้วยหลักการการหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) การหาจุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder Point) และสินค้าคงคลังสำรอง (Safety Stock) มีความเหมาะสมสำหรับการวางแผนการจัดซื้อยาและเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาล

## 7. ข้อเสนอแนะจากการศึกษา

7.1 งานวิจัยนี้สามารถประยุกต์ใช้เป็นแนวทางสำหรับการบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ของหน่วยงานที่มีความคล้ายคลึงกันได้

7.2 การหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดหากระดับความต้องการสินค้าหรือปริมาณยาและเวชภัณฑ์การใช้งานไม่คงที่อาจพิจารณาตัวแบบใหม่ที่เหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับกรณีศึกษา

7.3 การประยุกต์ใช้การหาจุดสั่งซื้อใหม่และสินค้าคงคลังสำรองขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลของกรณีศึกษาเนื่องจากมีข้อจำกัดแตกต่างกันไป

7.4 การศึกษาครั้งนี้พิจารณาเฉพาะกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ประเภทที่ 1 ประกอบด้วย AV, AE, AD, BV และ CV ซึ่งเป็นยาที่มีความสำคัญต่อการรักษาและมีต้นทุนที่สูง การศึกษาในกลุ่มยาและเวชภัณฑ์ทั้งหมดจะทำให้การ

พัฒนาและบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์มีความครอบคลุมและสมบูรณ์สำหรับการวางแผนงบประมาณของหน่วยงานราชการต่อไป

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาและบุคลากรของโรงพยาบาลโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับการดำเนินงานวิจัยและการเก็บข้อมูลวิจัยของกรณีศึกษาและขอขอบคุณกองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าด้านการวิจัยประจำปี 2566 และคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิกลั่นกรองและประเมินบทความที่ให้คำแนะนำการจัดทำบทความทางวิชาการ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อกองทัพบกกรมทั้งหน่วยงานราชการอื่น ๆ และเป็นแนวทางสำหรับผู้ศึกษาวิจัยต่อไป

## 9. บรรณานุกรม

- (1) กองยุทธศาสตร์และแผนงาน, “แผนยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี ด้านสาธารณสุข (พ.ศ. 2560-2579),” กรุงเทพฯ: สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข, กระทรวงสาธารณสุข, (2561).
- (2) กรมแพทย์ทหารบก, “4 ยุทธศาสตร์แนวนโยบายและเป้าหมายเร่งด่วน,” (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <https://amed.rta.mi.th/main/page/284/th.html> (23 เม.ย. 2567).
- (3) โรงพยาบาลโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, “ภารกิจและวิสัยทัศน์,” (ออนไลน์). สืบค้นจาก: <https://amed.rta.mi.th/main/page/284/th.html> (23 เม.ย. 2567).
- (4) N. Kalaphut, “Healthcare Logistics,” *Journal of Hematology and Transfusion Medicine*, vol. 20(3), pp. 165-168, (2010).
- (5) J. Stock & D. Lambert, “Strategic Logistics Management,” 4th ed. New York: McGraw-Hill/Irwin; (2001).
- (6) T. Sirisornchai, “The Characteristics of Hospital Logistics in Thailand,” *Journal of the Thai Medical Informatics Association*. vol. 8(2), pp. 86-92, (2022).
- (7) D. Kritchanai et al., “Logistics within the Hospital,” Center of Excellence in Health Supply Chain Management (Log Health), Mahidol University, (2019).
- (8) P. Vrat, “Selective inventory management,” *Materials management: an integrated systems approach*, India, Springer, (2014).

- (9) K. Holloway & T. Green, “Drug and Therapeutics Committees: A Practicalguide,” Department of Essential Drugs and Medicines Policy, Switzerland, World Health Organization, (2003).
- (10) B. Techajamroensuk et al., “Application of ABC-VED analysis in drug and medical inventory management,” Center for Continuing Education, Pharmacy Council, (2018).
- (11) R. Suwandechochai & N. Muangpat, “Analysis and development of medicine inventory model: a hospital case study,” *Thailand Research Fund*, (2011).
- (12) Packhai., “What is Inventory Cost ?,” 2023, (Accessed on Apr. 23, 2024, at <https://packhai.com/storage-cost/>)
- (13) J. Chujai, “The Improvement for Inventory Management System for Case Study Resistor,” *Independent Study of Department of Industrial Engineering*, Thammasat University, (2016).
- (14) R. Peterson & E.A. Silver, “Decision System for Inventory Management and Production Planning,” New York, John Wiley & Sons, (1979).
- (15) กานติมา ศรีวัฒนะ. “การพัฒนาประสิทธิภาพในการบริหารคลังยาโรงพยาบาลสระบุรี,” การค้นคว้าอิสระบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต วิชาเอกการจัดการโลจิสติกส์. คณะบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, (2562).
- (16) ลภัสดา ลิ้มศิลา. “การลดต้นทุนสินค้าโดยใช้หลักการ ABC-VED Analysis: กรณีศึกษา โรงงานเครื่องผลิตสำอาง,” วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม, วิทยาลัยด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, (2562).
- (17) วิชัย ก้องเกียรตินคร. “การศึกษาการจัดกลุ่มรายการยาในเภสัชตำรับโรงพยาบาลศรีนครินทร์ โดยใช้ ABC-VED Matrix,” วารสารประสาทยาศาสตร์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ปีที่ 15 ฉบับที่ 4, หน้า 46-55, ตุลาคม-ธันวาคม, (2563).
- (18) R. Saxena et al., “ABC-VED analysis of the Pharmacy of an urban health centre,” *International Journal of Multidisciplinary Research and Development*, vol. 4(8), pp. 233-236, (2017).
- (19) M. Hussain et al., “ABC-VED and Lead Time Analysis in the Surgical Store of a Public Sector Tertiary Care Hospital in Delhi,” *Indian Journal of Public Health*, vol. 63(3), pp. 194-198, (2019).
- (20) N. D. Gunawan & P.Y. Setiawan, “Inventory Management with EOQ Method at Nitra Jaya Fashion-Making Company In Badung,” *European Journal of Business and Management Research*, vol. 7(3), pp. 347-351, (2012).

การใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์  
ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงไฟป่าในเขตพื้นที่ป่าโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า  
และพื้นที่ใกล้เคียง จังหวัดนครนายก

The Application of Remote Sensing and GIS in Area Assessment of  
Forest Fire Hazard for Chulachomklao Royal Military Academy,  
Nakhon Nayok Province and Its Vicinity

ร้อยเอกหญิง ปาริฉัตต์ สุขศรี<sup>1\*</sup>

Captain Parichat Sooksri<sup>1\*</sup>

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล<sup>2</sup>

Associate Professor Dr. Sirima Panyametheekul<sup>2</sup>

พันเอกหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตยาภรณ์ เจริญผล<sup>3</sup>

Colonel Assistant Professor Dr. Kittayaporn Charoenpol<sup>3</sup>

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์<sup>2</sup>

Associate Professor Dr. Pichaya Rachdawong<sup>2</sup>

ดร.กัมปนาท ดีอุดมจันทร์<sup>4</sup>

Dr. Kampanat Deeudomchan<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีการป้องกันประเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

<sup>1\*</sup>Master student, Department of Defense Engineering and Technology,

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

<sup>2</sup>Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering,

Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>3</sup>กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ส่วนการศึกษา

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า นครนายก 26001 ประเทศไทย

<sup>3</sup>Department of Environmental Science, Academic Division,

Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok, 26001, Thailand

<sup>4</sup>สำนักภูมิสารสนเทศ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรุงเทพมหานคร 10210 ประเทศไทย

<sup>4</sup>Geo-Informatics Office, Geo-Informatics and Space Technology Development Agency

(Public Organization), Ministry of Science and Technology, Bangkok 10210, Thailand

\*Corresponding Author. E-mail : parichat.So@crma.ac.th

(Received: May 2, 2024, Revised: July 2, 2024, Accepted: July 3, 2024)

**บทคัดย่อ:** การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยจากไฟป่าและถอดบทเรียนกรณีศึกษาการเกิดไฟป่าในเขตพื้นที่โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าและพื้นที่ใกล้เคียง จังหวัดนครนายก ซึ่งวิธีการศึกษาพื้นที่เสี่ยงภัยจากไฟป่าได้ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-8 บันทึกข้อมูลภาพปี พ.ศ. 2559, พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 และนำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ (Normalized difference vegetation index: NDVI) และค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Land surface temperature: LST) นอกจากนี้ยังใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 บันทึกข้อมูลเมื่อปี พ.ศ. 2559, พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 มาวิเคราะห์หาค่าดัชนีการเผาไหม้ (Difference Normalized Burn Ratio: dNBR) เพื่อหาพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้โดยใช้โปรแกรม SNAP โดยทั้งนี้การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่านั้นนำปัจจัยต่าง ๆ เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล ความลาดชัน ทิศด้านลาด ชนิดป่า ระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม ระยะห่างจากตำแหน่งหมู่บ้าน ระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรม ค่าดัชนี NDVI และ ค่า LST

พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าในพื้นที่ศึกษาได้กำหนดค่าคะแนนความสามารถของปัจจัยแต่ละตัว (Rating value) โดยใช้การคำนวณเปอร์เซ็นต์ CV (Coincided Value) ช่วยในการพิจารณา ส่วนค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญระหว่างปัจจัย (Weight Score) ได้จากการให้คะแนนโดยผู้เชี่ยวชาญและนำมาคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) ผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยจากไฟป่าสามารถจำแนกได้ 4 ชั้น คือ พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด พื้นที่เสี่ยงมาก พื้นที่เสี่ยงปานกลาง และพื้นที่เสี่ยงน้อย คิดเป็นพื้นที่เท่ากับ 30,982.19 ไร่ (17.98%), 34,307.94 ไร่ (19.90%), 103,087.69 ไร่ (59.81%) และ 3,977.44 ไร่ (2.31%) ตามลำดับ โดยพื้นที่เสี่ยงมากที่สุดส่วนใหญ่อยู่ในตำบลพรหมณี อำเภอเมือง

ในส่วนผลการถอดบทเรียนไฟป่าพบว่า ไฟป่าส่วนใหญ่เกิดจากฝีมือมนุษย์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงจากไฟป่าในด้านปัจจัยระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรม ระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม ที่มีคะแนนความสำคัญมากที่สุด และรองลงมาคือปัจจัยระยะห่างจากหมู่บ้าน ล้วนเป็นปัจจัยที่แสดงถึงความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่และกิจกรรมที่อาจส่งผลต่อการเกิดไฟป่า การจัดการปัญหาไฟป่าควรเริ่มตั้งแต่การเฝ้าระวัง การบริหารจัดการเชื้อเพลิงก่อนถึงฤดูไฟป่า การทำแนวกันไฟเพิ่มในพื้นที่เสี่ยง การรณรงค์ประชาสัมพันธ์ให้ความรู้เกี่ยวกับปัญหาไฟป่า การเตรียมความพร้อมบุคลากรโดยจัดอบรมและฝึกซ้อมดับไฟป่า การป้องกัน เฝ้าระวัง ลาดตระเวน และเพิ่มจุดตรวจช่วยลดการลักลอบการจุดไฟได้ ขอรับการสนับสนุนงบประมาณเพิ่มในเรื่องอุปกรณ์ดับไฟป่า ควรเพิ่มโทษทางกฎหมายต่อผู้กระทำผิด สิ่งสำคัญที่สุดคือการสนธิกำลังและบูรณาการความร่วมมือกันของทุกภาคส่วนทั้งหน่วยงานของรัฐและชาวบ้าน

**คำสำคัญ:** ไฟป่า พื้นที่เสี่ยงไฟป่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การสำรวจระยะไกล



**Abstract:** This thesis aims to evaluate forest fire risk areas learned from a wildfire case study in the vicinity of Chulachomklao Royal Military Academy (CRMA) and nearby areas in Nakhon Nayok Province. The study employed techniques from Remote Sensing and GIS to process SENTINEL-2 satellite imagery from 2016, 2020, and 2023 to analyze the Normalized Difference vegetation index (NDVI) and Land surface temperature (LST). The images from Sentinel-2 satellite recorded in 2016, 2020 and 2023 were used to calculate the Difference Normalized Burn Ratio (DNBR) to look for the burned areas by using the SNAP program. The analysis of risk wildfire was considered by different factors to help with the GIS are elevation, slopes, aspect, forest type, distances from the roads, distances from districts, distances from agricultural areas, NDVI, and LST.

The forest fire risk areas determine rating value by using Coincided Value (CD) in order to require Weight Score by experts by using Analytic Hierarchy Process (AHP). As a result, the forest fire risk areas were divided into 4 levels: highest risk, high risk, moderate risk and low risk, calculated into the areas 4,957.15 ha. (17.98%), 5,489.3 ha. (19.90%), 16,494.0 ha. (59.81%), and 636.4 ha. (2.31%) accordingly. The highest risk area is in Prommani, Amphur Muang. As a result of the wildfire study, we found out that it is caused by human activities. Aligned with the results of factor testing used to analyze areas at risk of wildfires, the factors of distance from agricultural areas and proximity to transportation routes ranked highest in importance. Following these, factors such as distance from villages consistently indicated accessibility to areas and activities that could affect wildfire occurrence. The wildfire management should implement the following precautions: 1) fuel management before wildfire season 2) increase fire lines in forest fire risk areas 3) having campaigns illustrating wildfire problems 4) personnel training seminars 5) practicing putting out wildfire 6) prevention: precautions and patrols 7) adding check points to reduce fire ignition 8) requesting more budgets re the fire extinguisher equipment 9) stricter laws for lawbreakers and 10) most importantly involving and collaborating with all stakeholders including governmental agencies and local communities.

**Keywords:** Forest Fire, Forest Fire Risk Area, Geographic Information System, Remote sensing

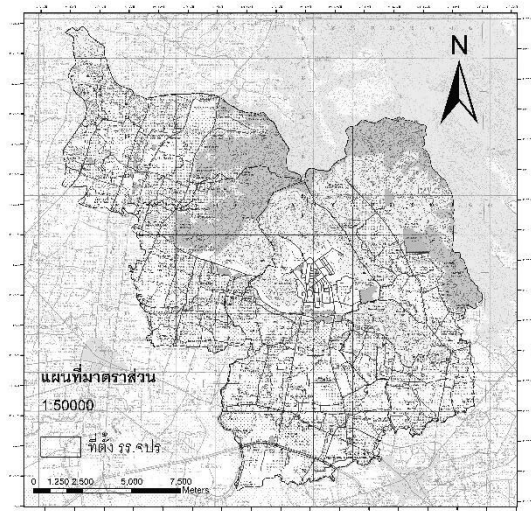
## 1. บทนำ

ปัจจุบันไฟป่าเป็นปัญหาหนึ่งที่รุนแรงมากขึ้นตามสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวน ร่วมกับปัจจัยที่เกิดจากมนุษย์ซึ่งไฟป่าก่อให้เกิดผลกระทบมากมายหลายด้าน เช่น ความเสียหายต่อทรัพยากรธรรมชาติทั้งป่าไม้ ดิน น้ำ สัตว์ป่า และในระยะยาวอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตทั้งทางด้านสุขภาพ หรือแม้แต่ว่าความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจ [1]

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (ร.ร.จปร.) เป็นสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษาทางทหาร ตั้งอยู่ในจังหวัดนครนายก มีเนื้อที่ประมาณ 21,000 ไร่ (33.60 ตร.กม.) โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ภูเขาและพื้นที่ป่าไม้ ประกอบด้วย เขาชะโงก เขาแหลม เขาคอก และเขาชะพลู นอกจากนี้ ยังอยู่ติดกับพื้นที่ป่าไม้ภูเขาอื่น ๆ ได้แก่ เขาฝาละมี และเขาตะแบก และยังอยู่ติดเขตพื้นที่ป่าในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ หากย้อนกลับไปเมื่อปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2566 เป็นเวลา 8 ปี ได้เกิดสถานการณ์ไฟป่าขึ้นบริเวณแนวเขาดังกล่าว จำนวน 4 ครั้งในปี พ.ศ. 2559, พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 [2] ซึ่งพื้นที่ป่านั้นยังมีขอบเขตที่ติดต่อกับส่วนราชการทางทหารอีก 2 ส่วน คือ โรงเรียนทหารการสัตว์ กรมการสัตว์ทหารบก และโรงเรียนเตรียมทหาร จึงมีการระดมสรรพกำลังเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง กำลังทหาร รวมถึงหน่วยงานต่าง ๆ เข้ามาสกัดกั้นไฟไม่ให้ไฟลามเข้าไปยังพื้นที่สำคัญ

จากสถานการณ์ไฟป่าที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันนำมาสู่การวิจัยครั้งนี้ เพื่อเป็นการถอดบทเรียน และเพื่อเป็นการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดไฟป่าบริเวณโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าและพื้นที่ใกล้เคียง โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ เพื่อจัดทำแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยจากไฟป่า อันเป็นข้อมูลที่สำคัญที่ใช้ในการเตรียมการเป็นแนวทางการวางแผนการบริหารของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการป้องกันการเกิดไฟป่าทำให้สามารถควบคุม บริหารจัดการไฟป่าได้ ส่งผลให้

สามารถคุ้มครองพื้นที่ป่าให้ยังคงไว้ซึ่งความหลากหลายทางชีวภาพ และลดพื้นที่ป่าที่ถูกทำลาย



ภาพที่ 1 แผนที่ภูมิประเทศ แสดงพื้นที่ศึกษา

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อถอดบทเรียนกรณีศึกษาการเกิดไฟป่าในเขตพื้นที่โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า และพื้นที่ใกล้เคียง จังหวัดนครนายก

2.2 เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยจากไฟป่าในเขตพื้นที่โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า และพื้นที่ใกล้เคียง จังหวัดนครนายก

## 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1.1 นิยามของไฟป่า

ไฟป่า หมายถึง ไฟที่เกิดขึ้นจากสาเหตุใดก็ตาม ในป่าธรรมชาติ พุ่มหญ้า หรือสวนป่า แล้วลุกลามไปอย่างเสรีโดยปราศจากการควบคุม ทั้งนี้รวมถึงไฟป่าที่เกิดจากธรรมชาติและคนจุดด้วย โดยลักษณะที่สำคัญที่แยกไฟป่าออกจากไฟที่เผาตามกำหนด (Prescribe Burning) คือ ไฟป่ามีการลุกลามอย่างอิสระ ปราศจากการควบคุม ในขณะที่ไฟที่เกิดจากการเผาตามกำหนดจะมีการควบคุมการลุกลามให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดเอาไว้เท่านั้น [3]

### 3.1.2 สาเหตุของการเกิดไฟป่า

ไฟป่า เกิดได้จาก 2 สาเหตุ [4] ดังนี้

#### 3.1.2.1 ไฟป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเกิด

ได้จากหลายสาเหตุ เช่น ไฟผ่า กิ่งไม้เสียดสีกัน ภูเขาไฟระเบิด ก้อนหินกระทบกัน แสงแดดตกกระทบผลึกหิน แสงแดดส่องผ่านหยดน้ำ ปฏิกริยาเคมีในดินป่าพรุ การลุกไหม้ในตัวเองของสิ่งมีชีวิต (Spontaneous Combustion)

#### 3.1.2.2. ไฟป่าที่เกิดจากมนุษย์ โดยกรม

อุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช ได้กำหนดสาเหตุไฟป่าที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ดังนี้ เก็บหาของป่า เผาไร่กำจัดวัชพืช แกล้งจุด ทิ้งก้นบุหรี่ ล่าสัตว์ เลี้ยงปศุสัตว์ จุดเล่นนักท่องเที่ยวยักแรม ทำไม้บุกรุกพื้นที่ป่าไม้ เผ้วถางป่า หรือเผาป่าทำไร่เลื่อนลอย

### 3.1.3 ผลกระทบจากไฟป่า

ไฟมีทั้งโทษและประโยชน์ต่อระบบนิเวศป่าไม้ โดยประโยชน์จะเกิดขึ้นเมื่อไฟที่เกิดขึ้นไม่รุนแรง อย่างเช่น ในป่าที่มีอัตราการย่อยสลายช้า ไฟช่วยย่อยสลายซากพืชอย่างรวดเร็วจึงทำให้การหมุนเวียนธาตุอาหารเร็วขึ้น ส่งผลให้ต้นไม้เจริญเติบโตดีขึ้น ไฟช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน ช่วยกำจัดเชื้อเพลิง จำพวกเศษไม้ ใบไม้ รวมทั้งโรคแมลงและปรสิตที่เกาะกินสัตว์ป่า เป็นต้น ด้านการทำลาย ไฟป่าทำให้คุณภาพของเนื้อไม้ลดลง ลำต้นเป็นแผลหรือตายลง รวมถึงส่งผลกระทบต่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ ในบางครั้งยังทำลายทรัพยากรสินที่อยู่อาศัยของทั้งมนุษย์และสัตว์ด้วย [4] โดยผลของไฟจะเกิดมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความถี่ของการเกิดไฟ ถูที่ไฟไหม้ ปริมาณเชื้อเพลิง ระยะเวลาที่ไฟไหม้ ชนิดของระบบนิเวศ เหล่านี้ทำให้ในแต่ละพื้นที่เกิดผลกระทบแตกต่างกัน

### 3.1.4 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)

คือกระบวนการใช้คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ซอฟต์แวร์ (Software) ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ (Geographic Data) และการออกแบบ (Personnel Design) ใน

การเสริมสร้างประสิทธิภาพของการจัดเก็บข้อมูล การปรับปรุงข้อมูล การคำนวณ และการวิเคราะห์ข้อมูลให้แสดงผลในรูปแบบของข้อมูลที่สามารถอ้างอิงได้ในทางภูมิศาสตร์ [5]

### 3.1.5 การรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing)

เป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะ ที่ได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ หรือปรากฏการณ์ จากเครื่องมือบันทึกข้อมูลโดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย อาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือช่วงคลื่น, รูปทรงสัญญาณของวัตถุบนพื้นผิวโลก และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา [6]

### 3.1.6 ค่าดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)

ใช้วิเคราะห์สัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิว โดยการนำแถบความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) กับช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีแดง (Red) ที่สะท้อนจากพื้นผิวมาคำนวณผลต่างของการสะท้อน โดยบริเวณที่มีพืชพรรณปกคลุม NDVI มีค่าเป็นบวก ในขณะที่บริเวณพืชไม่สมบูรณ์หรือบริเวณที่เกิดความแห้งแล้ง ค่า NDVI ที่คำนวณได้จะมีค่าใกล้เคียง 0 และบริเวณที่เป็นแหล่งน้ำ NDVI จะมีค่าติดลบ [7]

### 3.1.7 ค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature: LST)

เป็นค่าความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีของวัตถุนบนพื้นผิวโลกที่ตรวจจับได้ในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนจากข้อมูลจากดาวเทียม มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat-8 TIRS, Band 10 ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared) [8] มาคำนวณโดยใช้ชุดสมการที่กำหนด ผ่านคำสั่งคำนวณใน Software

### 3.1.8 อัตราส่วนการเผาไหม้ปกติ (Normalized Burn Ratio: NBR)

เป็นดัชนีที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ที่ถูกไฟไหม้ในเขตเพลิงไหม้ โดยคำนวณอัตราส่วนระหว่างแถบความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) และอินฟราเรด

คลื่นสั้น (SWIR) โดยค่า NBR ที่สูงบ่งชี้ถึงพืชพรรณที่มีความอุดมสมบูรณ์ ในขณะที่ค่า NBR ที่ต่ำบ่งชี้ถึงพื้นที่โล่งและพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้ [9]

3.1.9 อัตราส่วนการเผาไหม้ปกติที่แตกต่างกัน  
(Differenced Normalized Burn Ratio: dNBR)

เป็นการคำนวณค่าความแตกต่างระหว่าง NBR ก่อนการเผาไหม้ และหลังการเผาไหม้ สามารถใช้ในการประเมินความรุนแรงของการเผาไหม้ได้ [9]

3.1.10 กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น  
(Analytic Hierarchy Process: AHP)

เป็นการเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยในการตัดสินใจเป็นรายคู่ (Pair wise comparison) [10] เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญระหว่างปัจจัยโดยใช้ตัวเลขแทนค่าเพื่อคำนวณค่าคะแนนความสำคัญรวมของแต่ละปัจจัย โดยใช้ตารางเมทริกซ์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การสร้างตารางเมทริกซ์แบบเปรียบเทียบเป็นคู่

| เกณฑ์ C<br>$C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ |       | เกณฑ์      |            |            |     |          |
|----------------------------------------|-------|------------|------------|------------|-----|----------|
|                                        |       | $A_1$      | $A_2$      | $A_3$      | ... | $A_n$    |
| เกณฑ์                                  | $A_1$ | 1          | $a_{12}$   | $a_{13}$   | ... | $a_{1n}$ |
|                                        | $A_2$ | $1/a_{12}$ | 1          | $a_{23}$   | ... | $a_{2n}$ |
|                                        | $A_3$ | $1/a_{13}$ | $1/a_{23}$ | 1          | ... | $a_{3n}$ |
|                                        | ...   | ...        | ...        | ...        | ... | ...      |
|                                        | $A_n$ | $1/a_{1n}$ | $1/a_{2n}$ | $1/a_{3n}$ | ... | 1        |

ตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูล โดยการคำนวณอัตราส่วนความสมเหตุสมผลของข้อมูล (Consistency Ratio: CR) ดังสมการ ( $CR < 0.1$ )

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$$

เมื่อ CI คือ ดัชนีความสมเหตุสมผล

CR คือ สัดส่วนความสมเหตุสมผล

RI คือ ดัชนีค่าสุ่มของความไม่สมเหตุสมผล ดังตารางที่ 2

$$C.I. = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

เมื่อ n คือ ขนาดของสแควร์เมทริกซ์

$\lambda_{max}$  คือ ผลรวมของค่าวินิจฉัยของแต่ละหลักเกณฑ์ในแนวตั้งแต่ละแนว มาคูณด้วยผลรวมของค่าเฉลี่ยในแนวนอนแต่ละแนว แล้วนำเอาผลคูณที่ได้มารวมกัน

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีสุ่ม ค่า RI

| n  | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 9    | 10   |
|----|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| RI | 0.52 | 0.89 | 1.11 | 1.25 | 1.35 | 1.4 | 1.45 | 1.49 |

### 3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชินปัญญ์ ปลั่งศิริ [11] ศึกษาและประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า ณ อุทยานแห่งชาตินาแห้ว จังหวัดเลย โดยใช้ปัจจัยทางด้านชีวกายภาพ ได้แก่ ทิศด้านลาด, ความลาดชัน, ระดับความสูง และชนิดป่า โดยกลุ่มปัจจัยจากมนุษย์ ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม, ไร่เลื่อนลอย, หมู่บ้าน และถนน โดยนำข้อมูลแต่ละประเภทมาซ้อนทับกับข้อมูลพื้นที่ไฟป่าในแต่ละปี และได้จำแนกพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ตามปริมาณร้อยละของพื้นที่ไฟไหม้ในแต่ละปัจจัย บ่งชี้ว่าการวิเคราะห์ปัจจัยดังกล่าวสามารถนำมาประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า และใช้ประโยชน์ในการวางแผนจัดการไฟป่าได้

กัมปนาท และ อนุสรณ์ [12] ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-TM วิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ดัชนีความแตกต่างของการเผาไหม้ (dNBR) และนำปัจจัยด้านชนิดป่า, ความลาดชัน, ทิศด้านลาด, ระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม, ระยะห่างจากตำแหน่งหมู่บ้าน, ระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรม และความถี่ของการเกิดไฟมากำหนดค่า Rating Value และค่า Weight Score โดยสามารถจำแนกพื้นที่เสี่ยงเป็น 5 ระดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้ดัชนี dNBR วิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยอื่น ๆ โดยให้ค่าคะแนนความสำคัญและน้ำหนักปัจจัยสามารถใช้วิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าได้

พงศ์เทพ สุวรรณวารี [13] ศึกษาความสัมพันธ์ของจุดเกิดไฟป่ากับปัจจัยด้านภูมิประเทศ และลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2552-2556 รวมถึงการประเมินผลกระทบของไฟป่า และการเกิดมลภาวะทางอากาศ พบว่า พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ (Burned area) อยู่ในเขตป่าเบญจพรรณมากที่สุด รองลงมาคือ เขตป่าสมบูรณ์และพื้นที่เกษตรกรรม โดยจุดไฟส่วนใหญ่อยู่ใกล้แนวถนนระยะไม่เกิน 1 กม. บ่งชี้ว่าน่าจะเกิดจากการกระทำของมนุษย์ นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าดัชนีคุณภาพอากาศ NDAI มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่า PM 10 สูง ( $R^2 = 0.661$ ) สามารถนำมาพัฒนาเป็นแผนที่คุณภาพอากาศ (AQI map) สำหรับการเตือนภัยเชิงสุขภาพให้กับประชาชนได้

ภัทรา และคณะ [14] ศึกษาสถานการณ์ไฟป่าที่เกิดขึ้นในป่าสงวนแห่งชาติป่าแม่แจ้ฟ้า จังหวัดลำปาง ระหว่างปี พ.ศ. 2556-2559 โดยแปลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-8 จากการใช้ค่าความแตกต่างระหว่างดัชนีการเผาไหม้ (DifNBR) และรวบรวมข้อมูลปัจจัยต่าง ๆ จำนวน 12 ปัจจัยจากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดไฟป่าในระดับสูง คือ ระยะห่างจากหมู่บ้านและความหนาแน่นของประชากร รองลงมาคือ ดัชนีพืชพรรณ (NDVI), ปริมาณเชื้อเพลิงและความลาดชัน โดยสามารถแบ่งระดับความเสี่ยงของการเกิดไฟป่าในพื้นที่ศึกษาออกเป็น 3 ระดับ คือ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง, พื้นที่ที่มีความเสี่ยงปานกลาง และพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำ ตามลำดับ

ศราวุธ และ โสภณวิษณุ [15] ศึกษาการจำแนกพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ภาพเชิงวัตถุกรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติน้ำตกตาดโตน จังหวัดชัยภูมิ ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI จากการศึกษาสามารถจำแนกพื้นที่เสี่ยงได้ 3 ระดับ ได้แก่ เสี่ยงน้อย เสี่ยงปานกลาง และเสี่ยงมาก พบว่าในพื้นที่เสี่ยงสูงเป็นพื้นที่ที่เกิดไฟส่วนใหญ่ มีค่าของปัจจัยดังนี้ 1) ค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) มากกว่า 0.38

2) ดัชนีความร้อนของแบนด์ (Thermal infrared) มากกว่า 34,000 3) ระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม น้อยกว่า 150 เมตร 4) ความลาดชัน มากกว่า 53% และ 5) ความเป็นสีเขียวของพืชพรรณ (GVI) มากกว่า 1,800 โดยครอบคลุมพื้นที่ป่าไม้ผลัดใบเป็นส่วนใหญ่

Suhrabuddin และ Kaan [16] ศึกษาความรุนแรงของพื้นที่เผาไหม้ และการฟื้นฟูพืชพรรณ โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในการทำแผนที่พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ ผลการศึกษาพบว่าดัชนีความแตกต่างของการเผาไหม้ (dNBR) จำแนกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้เป็น 5 ระดับ และดัชนีผลต่างดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (dSAVI) สามารถจำแนกระดับความรุนแรงของการเผาไหม้เป็น 5 ระดับ บ่งบอกว่าค่า dNBR และ dSAVI สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์และทำแผนที่พื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ได้

อนุเฒ่า และคณะ [17] ศึกษาการเสื่อมสภาพของพื้นที่ป่าไม้กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย โดยการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ก่อนเกิดไฟป่า และหลังเกิดไฟป่า พบว่าค่าผลต่างดัชนีการเผาไหม้ของพื้นที่ที่ไม่ถูกเผาไหม้มีจำนวนน้อยลงทุกปีบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของพื้นที่ป่าไม้ และพบว่าค่าดัชนีการเผาไหม้แปรผกผันกับค่าดัชนีพืชพรรณ สามารถใช้เป็นปัจจัยหนึ่งในการบ่งชี้ถึงความเสื่อมสภาพของพื้นที่ป่าไม้ได้ และสามารถใช้ค่าความรุนแรงของการเผาไหม้ (Burn Severity) ร่วมกันกับค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลลัพธ์ได้

Boden [18] ศึกษาค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) ที่สัมพันธ์กับอัตราส่วนการเผาไหม้ปกติ (NBR) โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 พบว่ามี ดัชนี NBR และ NDVI ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ บริเวณไฟไหม้ส่วนใหญ่มีความรุนแรงจากการเผาไหม้ในระดับต่ำถึงปานกลาง หลังเกิดไฟป่าค่าการสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ลดลงเนื่องจากพืชถูกเผาไหม้ หลังเวลาผ่านไปผลการวิเคราะห์ดัชนี NDVI เพิ่มขึ้น ตามการฟื้นตัวของพืชพรรณ จึงสามารถใช้ค่าดัชนีความต่างพืชพรรณ ที่แปรผันกับ



อัตราส่วนการเผาไหม้ปกติในการพิสูจน์ว่าพื้นที่ป่าไม้ถูกเผาไหม้ หรืออยู่ในช่วงของการฟื้นฟูป่าของพืชพรรณ

Natasya และ Arie [19] ศึกษาพื้นที่ที่ถูกไฟไหม้แบบเวลาเดียว และหลายเวลาโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยใช้ 6 ดัชนี ได้แก่ ดัชนีความแตกต่างของการเผาไหม้ 1 (dNBR), ดัชนีความแตกต่างของการเผาไหม้ 2 (dNBR2), ค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ Normalized (dNDVI), ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (dSAVI), ดัชนีดินซาร์ (dCSI), ดัชนีพื้นที่การเผาไหม้ (dBAIS2) และดัชนีการเผาไหม้ของอินฟราเรดกลาง (dMIRBI) เป็นข้อมูลนำเข้าของโมเดล ผลการศึกษาพบว่า ดัชนี dNBR, dMIRBI และ dNBR2 มีความสัมพันธ์มากที่สุดกับพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้

4. วิธีดำเนินการศึกษา

4.1 กำหนดพื้นที่ศึกษา

บริเวณโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าพื้นที่ศึกษา และพื้นที่ใกล้เคียงในเขตจังหวัดนครนายก มีพื้นที่ทั้งหมด 172,355.25 ไร่ (27,577 ตารางกิโลเมตร) ครอบคลุมพื้นที่ 2 อำเภอ ได้แก่ 1) อำเภอเมือง ประกอบด้วย ตำบลพรหมณี และตำบลเขาพระ 2) อำเภอบ้านนา ประกอบด้วย ตำบลเขาเพิ่ม และตำบลศรีกะอาง จังหวัดนครนายก

4.2 การรวบรวมข้อมูล

4.2.1 การถอดบทเรียนเฉพาะประเด็นที่เน้นระบบของการเตรียมความพร้อมในการป้องกันและรองรับสถานการณ์ไฟป่า โดยทบทวนขั้นตอนการปฏิบัติงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและนำมาสรุปเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงการปฏิบัติงาน ประกอบด้วย 1) การศึกษาข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เอกสารและข่าวที่เกี่ยวข้อง 2) การสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานดับไฟป่า ได้แก่ เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานดับไฟป่า จากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช และเจ้าหน้าที่ทหารจากกองพันทหารราบ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

4.2.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไฟป่า  
ดังแสดงในตารางที่ 3

4.3 กำหนดเครื่องมือใช้วิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไฟป่า

4.3.1 โปรแกรม ArcGIS 10.5 เป็นชุดโปรแกรมประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ใช้ในการจัดการข้อมูลภูมิสารสนเทศ ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัท ESRI จำกัด

4.3.2 โปรแกรม SNAP 10 ใช้สำหรับการประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมภายใต้สัญญาของ General Public License (GPL) ผู้ใช้สามารถใช้งานซอฟต์แวร์โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ตารางที่ 3 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์

| ลำดับ | ข้อมูล                                                                                                 | ประเภทข้อมูล | แหล่งข้อมูล   |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|
| 1     | ข้อมูลภาพจากดาวเทียม Landsat-8 Path 129 Row 50 ระหว่างเดือน ม.ค. ถึง เม.ย. ปี พ.ศ. 2559, 2563 และ 2566 | TTIF File    | สตอก.         |
| 2     | ข้อมูลภาพจากดาวเทียม Sentinel-2 ระหว่างเดือน ม.ค. ถึง เม.ย. พ.ศ. 2559, 2563 และ 2566                   | TTIF File    | สตอก.         |
| 3     | แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 50,000 ลำดับชุด L7018                                                     | TTIF File    | กรมแผนที่ทหาร |
| 4     | ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (DEM)                                                                  | TTIF File    | กรมแผนที่ทหาร |
| 5     | ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดนครนายก มาตราส่วน 1: 50,000                                          | SHP File     | สตอก.         |
| 6     | ข้อมูล หมู่บ้าน และ เส้นทางคมนาคม                                                                      | SHP File     | สตอก.         |

## 4.4 ขั้นตอนดำเนินการศึกษาการถอดบทเรียน

4.4.1 ถอดบทเรียนโดยการวิเคราะห์เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

4.4.2 ทำการสัมภาษณ์แบบเจาะลึกต่อเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานดับไฟ จำนวน 5 นาย ดังนี้ 1) การลำดับเหตุการณ์ในการเกิดไฟฟ้า 2) การตอบโต้สถานการณ์ไฟฟ้า 3) การให้ความช่วยเหลือจากหน่วยงานต่าง ๆ 4) ความเสียหายและผลกระทบที่เกิดขึ้น 5) ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน และ 6) ข้อเสนอแนะและมาตรการฟื้นฟู

4.4.3 วิเคราะห์เนื้อหาที่ได้ โดยการตีความเรื่องราวที่ปรากฏและเชื่อมโยงความเกี่ยวข้องของข้อมูล

4.5 กำหนดค่าปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงจากไฟฟ้า [12]

ประกอบด้วย 9 ปัจจัย ได้แก่ ค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI) ค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ชนิดป่า ความสูงภูมิประเทศ ความลาดชัน ทิศด้านลาด ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากหมู่บ้าน และระยะห่างจากพื้นที่เกษตร

4.5.1 การหาค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) และค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) [20] โดยนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 ที่ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.5

1) คำนวณค่าการแผ่รังสีชั้นบนของบรรยากาศ (Top of Atmospheric spectral radiance: TOA)

$$TOA(L) = (ML \times Qcal) + AL$$

เมื่อ ML = ค่า RADIANCE\_MULT\_BAND\_10

AL = ค่า RADIANCE\_ADD\_BAND\_10

Qcal = ค่าการวัดและการนับจำนวนขนาดภาพ (Band 10)

2) คำนวณค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (TOA to Brightness Temperature conversion: BT)

$$BT = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L+1}\right)} - 273.15$$

เมื่อ L = ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น (TOA Spectral Radiance)

K1 = ค่า K1\_CONSTANT\_BAND\_10

K2 = ค่า K2\_CONSTANT\_BAND\_10

3) คำนวณค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ (Normalized difference vegetation index: NDVI)

$$NDVI = \text{Float} \frac{(\text{Band } 5 - \text{Band } 4)}{(\text{Band } 5 + \text{Band } 4)}$$

เมื่อ Band 5 = ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ แบนด์ที่ 5

Band 4 = ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง แบนด์ที่ 4

4) คำนวณค่าสัดส่วนพืชพรรณ (Proportion of vegetation: PV)

$$PV = \text{Square} \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})}$$

เมื่อ PV = ค่าสัดส่วนพืชพรรณ

NDVI = ค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ

NDVI<sub>min</sub> = ค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณต่ำสุด

NDVI<sub>max</sub> = ค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณสูงสุด

5) คำนวณค่าการเปล่งรังสี (Calculate Emissivity: E)

$$E = 0.004 \times PV + 0.986$$

เมื่อ PV = ค่าสัดส่วนพืชพรรณ

6) คำนวณค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Land surface temperature: LST)

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\lambda \times \frac{BT}{C2}\right)} \times \ln(E)$$

เมื่อ BT = ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง

$\lambda$  = ค่าความยาวคลื่น emitted radiance (Landsat8 band10 = 10.8)

$C2 = h \times c / s = 1.4388 \times 10^{-2} \text{ mK} = 14388 \text{ } \mu\text{mK}$

$h$  = ค่าคงตัวของพลังค์ =  $6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$

$s$  = ค่าคงตัวบ็อลทซ์มันน์ =  $1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}$

$c$  = อัตราเร็วของแสง =  $2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$

$E$  = ค่าการเปล่งรังสี

4.5.2 การหาพื้นที่การเผาไหม้ นำภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ไปวิเคราะห์หาค่าดัชนีการเผาไหม้ (dNBR) ด้วยโปรแกรม SNAP 10 [21]

1) คำนวณค่าดัชนีการเผาไหม้ (Normalized Burn Ratio: NBR)

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

เมื่อ NIR = ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ แบนด์ที่ 8

SWIR = ช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรด แบนด์ที่ 12

2) คำนวณค่าผลต่างระหว่างค่าดัชนีการเผาไหม้ (Differenced Normalized Burn Ratio: dNBR)

$$dNBR = (PreFireNBR - PostFireNBR)$$

เมื่อ dNBR = ค่าผลต่างระหว่างค่าดัชนีการเผาไหม้

PreFireNBR = ค่าดัชนีการเผาไหม้ก่อนเกิดไฟ

PostFireNBR = ค่าดัชนีการเผาไหม้หลังเกิดไฟ

4.5.3 การจัดชั้นข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไฟป่าโดยนำชั้นข้อมูลปัจจัยมาจัดชั้น (Reclassification) ดังแสดงในตารางที่ 4

4.5.4 กำหนดค่าความสามารถของปัจจัยย่อย (Rating Value หรือ RV) ด้วยการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ Coincided Value (CV) ซึ่งจะมีค่าจาก 0-100 เปอร์เซ็นต์ โดยหากพื้นที่ที่เกิดไฟป่า (พื้นที่การเผาไหม้ในข้อ 4.5.2) มีตำแหน่งตรงกับปัจจัยย่อย ค่า %CV ที่ได้จะมีค่ามาก หากพื้นที่ที่เกิดไฟป่ามีตำแหน่งตรงกับปัจจัยย่อยบางส่วน หรือไม่ตรงตำแหน่งเลย ค่า %CV ก็จะมีค่าลดหลั่นกันลงมา โดยคำนวณจากสมการ

$$\%Coincided\ Value\ (CV) = \frac{(2 \times S)}{(R + F)} \times 100$$

เมื่อ S = ปัจจัยย่อยที่มีพื้นที่ตรงกับพื้นที่เกิดไฟไหม้ป่า

R = พื้นที่ที่เกิดไฟไหม้ป่าในพื้นที่ศึกษา

F = พื้นที่ปัจจัยย่อยที่มีพื้นที่ทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 4 การจัดชั้นข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไฟป่า

| ปัจจัยหลัก                            | ปัจจัยย่อย    | ปัจจัยหลัก                                 | ปัจจัยย่อย    |
|---------------------------------------|---------------|--------------------------------------------|---------------|
| 1. ความสูงภูมิประเทศ (เมตร)           | 0 - 156       | 6. ระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม (เมตร)         | 3,000 - 4,000 |
|                                       | 156 - 321     |                                            | > 4,000       |
|                                       | 321 - 486     |                                            | < 800         |
|                                       | 486 - 651     |                                            | 800 - 1,600   |
|                                       | 651 - 816     |                                            | 1,600 - 2,400 |
|                                       | <5            |                                            | 2,400 - 3,200 |
| 2. ความลาดชันของพื้นที่ (องศา)        | 5 - 15        | 7. ชนิดป่า                                 | > 3,200       |
|                                       | 15 - 25       |                                            | ป่าไม่ผลัดใบ  |
|                                       | 25 - 35       |                                            | ป่าผลัดใบ     |
|                                       | > 35          | 8. ค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) (องศาเซลเซียส) | < 24          |
| 3. ทิศด้านลาด (องศา)                  | 0 - 90        |                                            | 24 - 28       |
|                                       | 90 - 180      |                                            | 28 - 32       |
|                                       | 180 - 270     |                                            | 32 - 34       |
|                                       | 270 - 360     |                                            | > 34          |
| 4. ระยะห่างจากตำแหน่งหมู่บ้าน (เมตร)  | < 1,000       | 9. ค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI)                  | < 0           |
|                                       | 1,000 - 2,000 |                                            | 0 - 0.1       |
|                                       | 2,000 - 3,000 |                                            | 0 - 0.2       |
|                                       | 3,000 - 4,000 |                                            | 0.2 - 0.3     |
|                                       | > 4,000       |                                            | 0.3 - 0.4     |
| 5. ระยะห่างจากพื้นที่เกษตรกรรม (เมตร) | < 1,000       |                                            | > 0.4         |
|                                       | 1,000 - 2,000 |                                            |               |
|                                       | 2,000 - 3,000 |                                            |               |

4.5.5 การกำหนดค่าความสามารถของปัจจัยย่อยใหม่ (Rating Value: RV) โดย %CV ของปัจจัยย่อยที่มีค่ามาก จะกำหนดคะแนน RV ให้ปัจจัยชั้นนั้นมีค่าเท่ากับ 5, 4, 3, 2 และ 1 ลดหลั่นตาม %CV ตามลำดับ หากค่า %CV ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันให้ค่า RV เป็นค่าเดียวกันได้ จากนั้นกำหนดค่า RV ลงในชั้นข้อมูลโดยใช้คำสั่ง Weighted Overlay ในโปรแกรม ArcGIS 10.5 ทำการกรอกค่า RV ให้กับทุกชั้นข้อมูลย่อยที่คอลัมน์ Scale Value

4.5.6 การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลัก (Weighting Score หรือ W) ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) โดยการเปรียบเทียบปัจจัยหลักเป็นรายคู่ จะได้ค่า Eigenvector ใช้ในการกำหนดค่า W ของแต่ละปัจจัยหลัก โดยในงานวิจัยนี้ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ระบุค่าคะแนนน้ำหนัก

#### 4.6 การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า

4.6.1 วิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าด้วยการนำค่า Rating Value (RV) และค่า Weighting Score (W) ที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยการซ้อนทับข้อมูล (Overlay Analysis) โดยใช้คำสั่ง Raster Calculator ในโปรแกรม ArcGIS 10.5

$$\text{Suitability (S)} = (R1 \times W1) + (R2 \times W2) + \dots + (Rn \times Wn)$$

เมื่อ S = ระดับความรุนแรง/ความเสี่ยง

R = กำหนดค่าความสามารถของปัจจัยย่อย

W = ค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลัก

4.6.2 จัดชั้นข้อมูลพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าโดยนำค่าที่คำนวณได้ในข้อ 4.6.1 มาจัดชั้นข้อมูลใหม่ให้เป็น 4 ชั้นข้อมูล (ความเสี่ยง 4 ระดับ)

4.6.3 จัดทำแผนที่พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า

## 5. ผลการศึกษา

### 5.1 การถอดบทเรียนกรณีศึกษา

#### 5.1.1 ลำดับเหตุการณ์

1) เกิดไฟป่าระหว่างวันที่ 27 กุมภาพันธ์ ถึง 4 มีนาคม พ.ศ. 2559 (6 วัน) คาดการณ์ว่าสาเหตุเบื้องต้นเกิดจากฝีมือมนุษย์ พบว่ามีความสอดคล้องต่อปัจจัยที่ทำการศึกษาด้านระยะห่างจากแหล่งชุมชน และระยะห่างจากถนน เนื่องจากจุดแรกที่เกิดไฟอยู่ใกล้กับอ่างเก็บน้ำคลองโบทซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวและมีถนนตัดผ่านโดยบริเวณดังกล่าว มีบุคคลต่าง ๆ สัญจรไปมาได้ และยังพบว่าเป็นฝีมือของกลุ่มที่เสียผลประโยชน์เกี่ยวกับการลักลอบตัดไม้บนเขาเนื่องจากเจ้าหน้าที่ได้ทำการจับกุมและสามารถยึดไม้ต้องห้ามได้

2) เกิดไฟป่าระหว่างวันที่ 18 ถึง 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 (10 วัน) คาดการณ์ว่าสาเหตุเบื้องต้นมาจากฝีมือมนุษย์ พบว่ามีความสอดคล้องเกี่ยวกับระยะห่างจากแหล่งชุมชนและระยะห่างจากถนน เนื่องจากบริเวณใกล้เคียงที่เกิดไฟไหม้ พบชาวบ้านในพื้นที่มีการจุดไฟเผากองขยะ สันนิษฐานได้ว่าบุคคลสามารถเข้าไปทำกิจกรรมที่อาจก่อให้เกิดไฟใกล้พื้นที่ดังกล่าวได้

3) เกิดไฟป่าระหว่างวันที่ 29 มีนาคม ถึง 3 เมษายน พ.ศ. 2566 (6 วัน) สาเหตุเกิดจากจังหวัดนครนายกได้เกิดลมพายุรุนแรง และมีผู้พบเห็นฟ้าผ่าซึ่งทำให้เกิดไฟไหม้บริเวณเขาชะพลู 1 จุด จากนั้นไฟป่าลุกลามอย่างต่อเนื่อง พบว่ามีความสอดคล้องต่อปัจจัยด้านชนิดป่าไม้ เนื่องจากบริเวณที่เกิดไฟผ่านนั้น เป็นป่าไม้ชนิดผลัดใบซึ่งต้นไม้จะมีการผลัดใบในฤดูแล้ง โดยใบไม้จะร่วงหล่นและทับถมบริเวณพื้นดินเป็นจำนวนมาก ซึ่งต่อมากจะกลายเป็นเชื้อเพลิงผิวดินที่อาจก่อให้เกิดไฟป่าลุกลามต่อไปได้

4) เกิดไฟป่าระหว่างวันที่ 20 ถึง 25 เมษายน พ.ศ. 2566 (6 วัน) เนื่องจากเกิดไฟไหม้ในบริเวณเดิมที่เคยเกิดไฟไหม้เมื่อวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2566 จึงคาดการณ์สาเหตุไว้ 2 ประเด็น ดังนี้ 1) เกิดจากฝีมือมนุษย์ 2) เกิดความร้อนสะสมจากการลุกไหม้ของไฟป่าครั้งก่อนหน้า จึงอาจสอดคล้องทั้งในปัจจัยด้านที่เกี่ยวข้องกับการเข้าถึงพื้นที่ของบุคคล หรือ ปัจจัยด้านชนิดป่าไม้ เนื่องจาก

บริเวณที่เกิดไฟฟ้า เป็นบริเวณเดิมที่เคยเกิดไฟฟ้าครั้งก่อนหน้า และป่าไม้เป็นชนิดผลัดใบมีใบไม้ทับถมบริเวณพื้นดิน และผนวกกับพื้นดินบริเวณดังกล่าวอาจมีความร้อนสะสมซึ่งอาจก่อให้เกิดชนวนไฟฟ้าครั้งต่อไปได้

#### 5.1.2 การตอบโต้สถานการณ์

การตอบโต้สถานการณ์ ประกอบด้วย 3 หน่วยปฏิบัติ ดังนี้

1) หน่วยภาคพื้นดิน ประกอบด้วย หมูดับไฟฟ้าต่าง ๆ ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ ชุดดับไฟฟ้าจากกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กองกำลังทหารจากกองพันทหารราบ รร.จปร., ชุดปฏิบัติการพิเศษดับไฟฟ้า, หมูดับไฟฟ้า อบต. และอาสาสมัคร ในพื้นที่

2) หน่วยเครื่องจักรกล ประกอบด้วย รถดับเพลิง, เครื่องฉีดน้ำดับไฟฟ้าติดรถยนต์ (Sip on tank), รถบรรทุกน้ำ, รถดับเพลิง และรถแบ็กโฮ

3) หน่วยอากาศยาน ประกอบด้วยเฮลิคอปเตอร์จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ กรมทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรมป้องกันบรรเทาสาธารณภัย และกองทัพบก, เครื่องบินบรรทุกสารเคมีดับไฟจากกองทัพอากาศ อากาศยานไร้คนขับ UAV ตรวจจับจุดความร้อนและชุดปฏิบัติการฝนหลวง

#### 5.1.3 การให้ความช่วยเหลือ

มีการสนับสนุนให้ความช่วยเหลือทางด้านหน่วยแพทย์ พยาบาล อาหาร น้ำดื่ม รวมถึงการอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ให้เพียงพอต่อความต้องการของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน ทั้งจากหน่วยงานของภาครัฐ และเอกชน

#### 5.1.4 ความเสียหาย ผลกระทบ

สัตว์ป่าชนิดเล็ก ๆ เช่น กระรอก, เต่า, งู ถูกไฟคลอก เนื่องจากหลบหนีไฟฟ้าไม่ทัน และเกิดผลกระทบจากไข้เถา, ฝุ่น และควัน ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ทำให้ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ในส่วนความเสียหายของพื้นที่ราชการบริเวณเรือนรับรองและ

กองพยาบาลภายในเขตโรงเรียนเตรียมทหาร ส่วนพื้นที่ป่าไม้ที่เสียหายส่วนใหญ่เกิดขึ้นในเขตพื้นที่ อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความเสียหายต่อพื้นที่ป่าไม้

| เหตุการณ์             | ความเสียหายต่อพื้นที่ป่าไม้                                                                                                                                                                      |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 27 ก.พ. – 4 มี.ค. 59  | พื้นที่เสียหายประมาณ 530 ไร่<br>- เทือกเขาผาลาม ต.เขาพระ อ.เมือง เกิดพื้นที่เสียหายประมาณ 500 ไร่<br>- บริเวณเขาลำดวน ต.เขาพระ อ.เมือง เกิดพื้นที่เสียหายประมาณ 30 ไร่                           |
| 18 - 27 ก.พ. 63       | พื้นที่เสียหายประมาณ 8,000 ไร่<br>- พื้นที่ทหาร (รร.จปร., รร.ตท., รร.ทหารการสัตว) ประมาณ 4,000 ไร่<br>- พื้นที่ป่านุรักษ์ ประมาณ 1,000 ไร่<br>- พื้นที่เขตอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ประมาณ 3,000 ไร่ |
| 29 มี.ค. – 3 เม.ย. 66 | บริเวณเขาชะพลู เขาแหลม และเขาตะแบก พื้นที่เสียหายรวมประมาณ 1,805 ไร่                                                                                                                             |
| 20-25 เม.ย. 66        | เกิดซ้ำในบริเวณเดิมที่เคยเกิดไฟฟ้าเมื่อ 29 มี.ค. 66 คือบริเวณเขาตะแบก                                                                                                                            |

#### 5.1.5 ปัญหาและอุปสรรค

ในการดับไฟฟ้าในแต่ละครั้งมักพบกับปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ ทำให้เกิดความยากลำบากต่อการปฏิบัติการขาดแคลนอุปกรณ์ดับไฟ เครื่องเป่าลม ไม้ดับไฟ พลุ ตะขอสืบ ถังน้ำแบบสเปซพายหลัง รถดับเพลิง เครื่องบินเฮลิคอปเตอร์ นักบินจำนวนจำกัด ในส่วนของพื้นที่ป่ามีลักษณะภูมิประเทศที่สูงชัน ไม่สามารถเดินขึ้นไปดับไฟยังจุดเกิดไฟได้โดยตรง ทำได้เพียงควบคุมไม่ให้ไฟลุกลามและทำแนวกันไฟบริเวณโดยรอบ และช่วงที่เกิดไฟ มีลมกรรโชกแรงทำให้ไฟลามเป็นบริเวณกว้างเร็วขึ้น ไฟยังเป็นอุปสรรคต่อการทำฝนหลวงเนื่องจากลมพัดกลุ่มเมฆฝนลอยไปตกบริเวณอื่น และในบางพื้นที่ไม่มีแนวกันไฟ ในหลายพื้นที่ทำให้ไฟลุกลามเร็ว รวมทั้งแนวกันไฟเดิม



ถูกปกคลุมด้วยป่ารก ไม้หนาม และวัชพืช อีกทั้งมีกับดักสัตว์ อยู่ตามเส้นทางทำให้เกิดความยากลำบากต่อเจ้าหน้าที่ ภาคพื้นดิน รวมไปถึงสภาพพื้นป่ามีความแห้งแล้ง ซึ่งเป็น เชื้อเพลิงอย่างดีต่อการลามของไฟ

#### 5.1.6 ข้อเสนอแนะ และมาตรการฟื้นฟู

ข้อเสนอแนะในการป้องกันและรับมือต่อ สถานการณ์ควมมีการจัดหาอุปกรณ์ดับไฟให้เพียงพอต่อการ ใช้งาน โดยมีการจัดฝึกอบรมการป้องกันไฟป่าให้กับกำลังพล เพื่อเตรียมความพร้อมในการจัดการสถานการณ์ไฟป่า รวมถึงส่งเสริมให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจัดทำแนวกันไฟ รณรงคให้ความรู้แก่ชาวบ้านโดยชี้ให้เห็นความสำคัญ รวมถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากไฟป่า และจัดการประชุม หารือระหว่างหน่วยงานราชการเพื่อวางแผนในการจัดการ และป้องกันไฟป่า ในส่วนของมาตรการฟื้นฟูที่ได้กระทำไป เป็นการดำเนินการฟื้นฟูพื้นที่ป่าในลักษณะประชาอาสา หน่วยงานทหารดำเนินการปลูกป่าฟื้นฟูในพื้นที่เกิดไฟป่า และการปล่อยให้ป่าฟื้นฟูเองตามธรรมชาติในช่วงฤดูฝน

### 5.2 ผลการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยจากการเกิดไฟป่า

#### 5.2.1 ค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI)

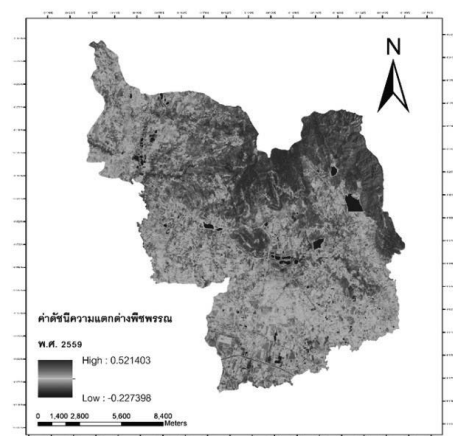
ค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) ในปีที่เกิด ไฟป่า ได้แก่ ปี พ.ศ. 2559, พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 ดังแสดงในภาพที่ 2-4 ตามลำดับ โดยในแต่ละปีมีค่า NDVI ดังตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าบริเวณที่เป็นพื้นที่ป่าไม้จะมีค่า NDVI อยู่ในช่วง 0.05-0.57

จากการวิเคราะห์การซ้อนทับค่าดัชนีความ แตกต่างพืชพรรณ (NDVI) ระหว่าง ปี พ.ศ. 2559, พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 เพื่อเป็นตัวแทนค่าดัชนีความ แตกต่างพืชพรรณ 3 ปี ซึ่งสามารถจัดชั้นข้อมูลได้ 6 ชั้น ดังแสดงในภาพที่ 5 ประกอบด้วย NDVI < 0, NDVI 0-0.1, NDVI 0.1-0.2, NDVI 0.2-0.3, NDVI 0.3-0.4 และ NDVI > 4 มีพื้นที่ 447.25 ไร่, 1,982.75 ไร่, 10,336.0 ไร่, 46,446.50 ไร่, 76,446.50 ไร่ และ 39,220 ไร่ ตาม ลำดับ พบว่าพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมหนาแน่น NDVI มี ค่ามากกว่า 0.4 จะอยู่ในพื้นที่ป่าไม้ผลัดใบเป็นส่วนใหญ่

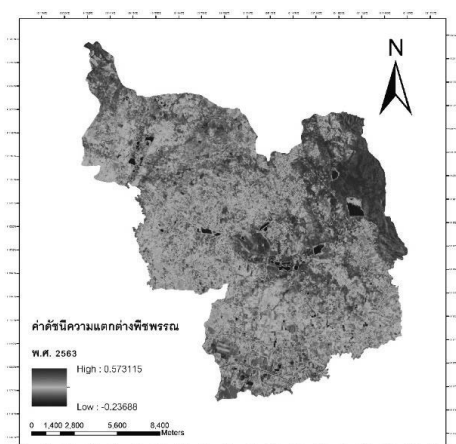
ในขณะที่บริเวณพื้นดินไม่มีพืชพรรณ หรือพืชไม่สมบูรณ์ หรือพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ ค่า NDVI จะอยู่ในช่วง 0.1-0.3 ส่วนบริเวณที่เป็นแหล่งน้ำ NDVI จะมีค่าน้อยกว่า 0

ตารางที่ 6 ค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI)

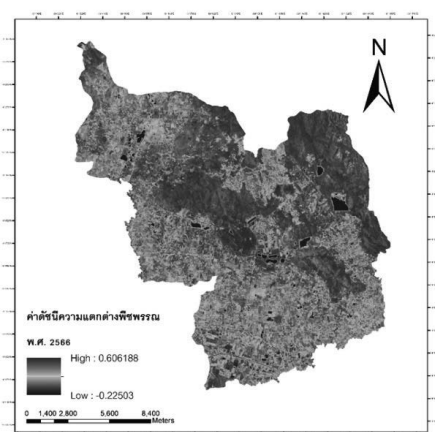
| NDVI                                                | ค่าต่ำสุด | ค่าสูงสุด | ค่าเฉลี่ย | SD   |
|-----------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------|
| ปี พ.ศ. 2559                                        |           |           |           |      |
| พื้นที่ทั้งหมด                                      | -0.23     | 0.52      | 0.29      | 0.08 |
| พื้นที่ป่าไม้                                       | 0.05      | 0.52      | 0.35      | 0.06 |
| ปี พ.ศ. 2563                                        |           |           |           |      |
| พื้นที่ทั้งหมด                                      | -0.24     | 0.58      | 0.30      | 0.09 |
| พื้นที่ป่าไม้                                       | 0.08      | 0.54      | 0.34      | 0.09 |
| ปี พ.ศ. 2566                                        |           |           |           |      |
| พื้นที่ทั้งหมด                                      | -0.23     | 0.61      | 0.36      | 0.10 |
| พื้นที่ป่าไม้                                       | 0.06      | 0.56      | 0.42      | 0.09 |
| ซ้อนทับข้อมูล ปี พ.ศ. 2559, พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 |           |           |           |      |
| พื้นที่ทั้งหมด                                      | -0.21     | 0.58      | 0.33      | 0.09 |
| พื้นที่ป่าไม้                                       | 0.09      | 0.54      | 0.38      | 0.07 |



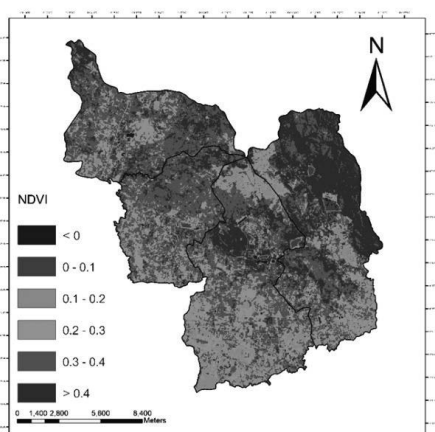
ภาพที่ 2 แผนที่ค่า NDVI ปี 2559



ภาพที่ 3 แผนที่ค่า NDVI ปี 2563



ภาพที่ 4 แผนที่ค่า NDVI ปี 2563



ภาพที่ 5 แผนที่ชั้นค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI)  
ปี 2559-2566

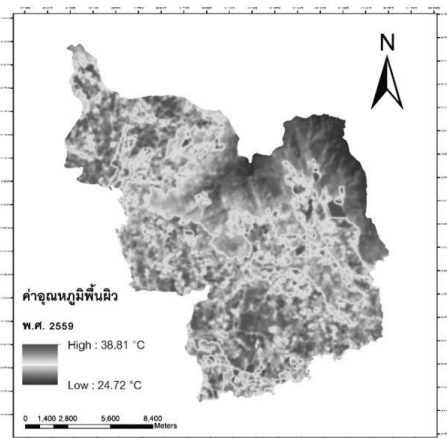
## 5.2.2 ค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST)

จากการวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ในปี พ.ศ. 2559, พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 สามารถแสดงแผนที่อุณหภูมิพื้นผิวในแต่ละปีได้ ดังภาพที่ 6-8 ตามลำดับ โดยค่า LST ในแต่ละปีสามารถแสดงผลได้ตามตารางที่ 7 จากการศึกษพบว่า บริเวณที่เป็นพื้นที่ป่าไม้มีค่า LST อยู่ในช่วงกว้าง เท่ากับ 19.38-37.69°C

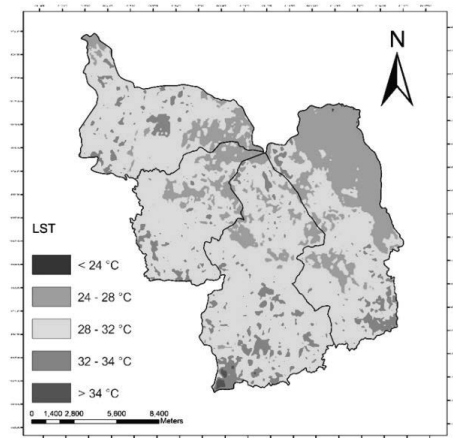
ซึ่งสามารถจัดชั้นข้อมูลได้ 5 ชั้น ดังแสดงในภาพที่ 9 ประกอบด้วย LST < 24°C, LST 24-28°C, LST 28-32°C, LST 32-34°C และ LST > 34°C มีพื้นที่ 28.75 ไร่, 34,460.00 ไร่, 119,245.25 ไร่, 14,372.50 ไร่ และ 269.00 ไร่ ตามลำดับ พบว่าพื้นที่ป่าไม้รวมถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมดินจะมีค่าอุณหภูมิพื้นผิวค่อนข้างต่ำ อยู่ในช่วง 19.38-24.72°C แต่หากวิเคราะห์ค่าในห้วงที่เกิดไฟป่าจะเห็นความแตกต่างของค่า LST ที่สูงขึ้นกว่าปกติ อยู่ในช่วง 33.83-38.81°C เนื่องจากการสะท้อนของคลื่นความร้อนที่เกิดจากไฟป่า

## ตารางที่ 7 ค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST)

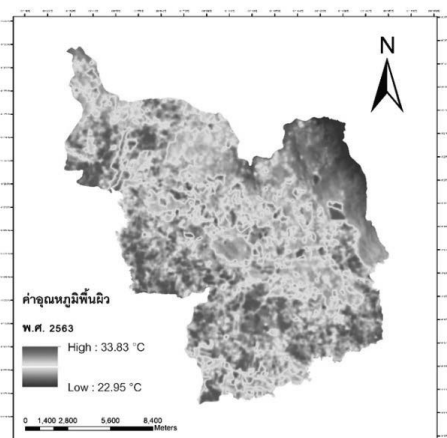
| LST                                                 | ค่าต่ำสุด (°C) | ค่าสูงสุด (°C) | ค่าเฉลี่ย (°C) | SD   |
|-----------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|------|
| ปี พ.ศ. 2559                                        |                |                |                |      |
| พื้นที่ทั้งหมด                                      | 24.72          | 38.81          | 30.93          | 2.20 |
| พื้นที่ป่าไม้                                       | 24.72          | 37.69          | 28.69          | 1.64 |
| ปี พ.ศ. 2563                                        |                |                |                |      |
| พื้นที่ทั้งหมด                                      | 22.95          | 33.83          | 28.70          | 1.88 |
| พื้นที่ป่าไม้                                       | 22.95          | 33.83          | 27.01          | 1.69 |
| ปี พ.ศ. 2566                                        |                |                |                |      |
| พื้นที่ทั้งหมด                                      | 19.38          | 37.14          | 29.34          | 1.96 |
| พื้นที่ป่าไม้                                       | 19.38          | 36.00          | 27.58          | 1.63 |
| ซ้อนทับข้อมูล ปี พ.ศ. 2559, พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 |                |                |                |      |
| พื้นที่ทั้งหมด                                      | 23.89          | 37.14          | 29.58          | 1.89 |
| พื้นที่ป่าไม้                                       | 23.89          | 36.00          | 27.93          | 1.60 |



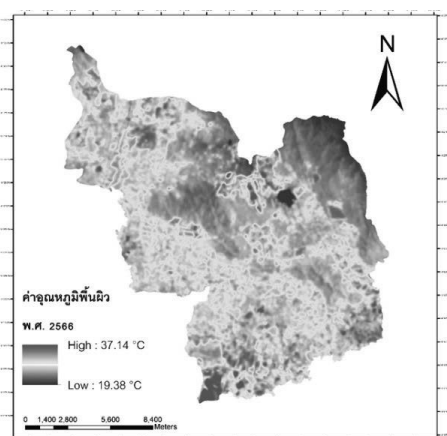
ภาพที่ 6 แผนที่ค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ปี 2559



ภาพที่ 9 แผนที่ชั้นค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ปี 2559-2566



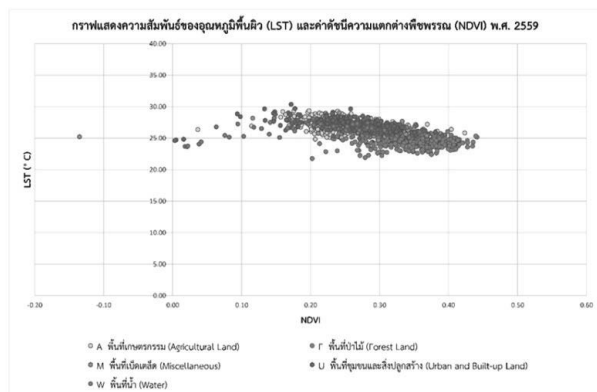
ภาพที่ 7 แผนที่ค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ปี 2563



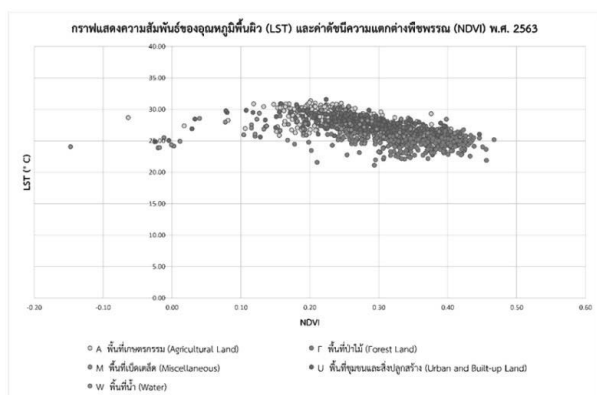
ภาพที่ 8 แผนที่ค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ปี 2566

### 5.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) กับค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST)

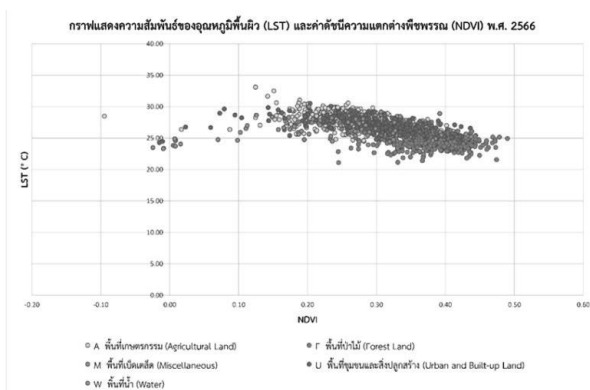
จากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ Correlation Coefficient (r) ระหว่างค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ (NDVI) กับค่าอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ของพื้นที่ศึกษา ในปี พ.ศ. 2559, พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 พบว่าค่าสหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.590, -0.569 และ -0.589 ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ค่าดัชนีผลต่างพืชพรรณ และค่าอุณหภูมิพื้นผิว มีความสัมพันธ์เชิงลบ (Negative Correlation) หรือแปรผกผัน โดยข้อมูลมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง [22] กล่าวคือพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมดินมาก จะมีค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ ส่วนพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมดินน้อย หรือ พื้นที่ป่าถูกเผาไหม้ หรือ พื้นที่การเกษตรที่มีการเก็บเกี่ยวพืชแล้ว หรือ พื้นที่ชุมชน จะมีค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูง ดังแสดงในภาพที่ 10-12



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI และ LST ปี 2559



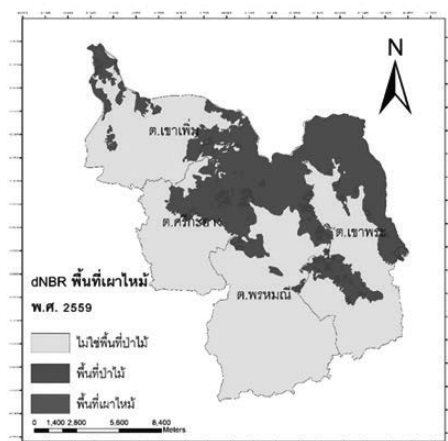
ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI และ LST ปี 2563



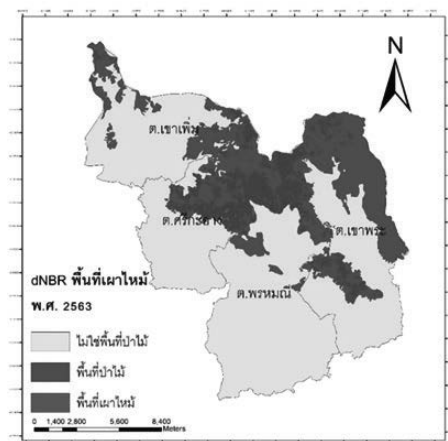
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI และ LST ปี 2566

#### 5.2.4 พื้นที่เผาไหม้ (Burned Area)

ได้จากการวิเคราะห์ค่าผลต่างระหว่างค่าดัชนีการเผาไหม้ (dNBR) ได้ผลดังนี้ พื้นที่เผาไหม้ ในปี พ.ศ. 2559, พ.ศ. 2563, พ.ศ. 2566 มีพื้นที่จำนวน 2,090.00 ไร่ 4,980.75 ไร่ และ 1,258.50 ไร่ คิดเป็น 3.64%, 8.67% และ 2.19% ของพื้นที่ศึกษา ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 13-15 และพื้นที่เผาไหม้ที่เกิดจากการซ้อนทับข้อมูลรวม 3 ปี (ปี พ.ศ. 2559, 2563 และ 2566) มีพื้นที่ จำนวน 8,329.50 ไร่ คิดเป็น 14.54% ของพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 16 พื้นที่เผาไหม้ส่วนใหญ่อยู่ในตำบลศรีกะอาง และตำบลพรหมณี โดยเกิดในป่าผลัดใบเป็นส่วนมาก



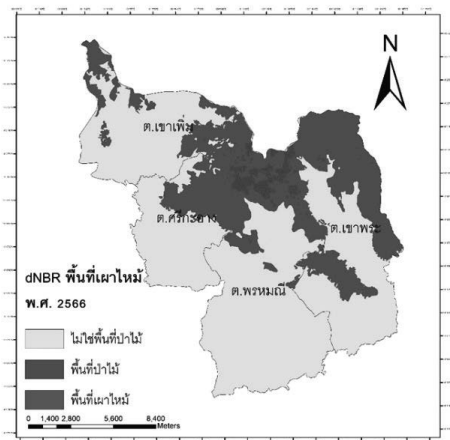
ภาพที่ 13 พื้นที่เผาไหม้ในเขตพื้นที่ป่าไม้ ปี 2559



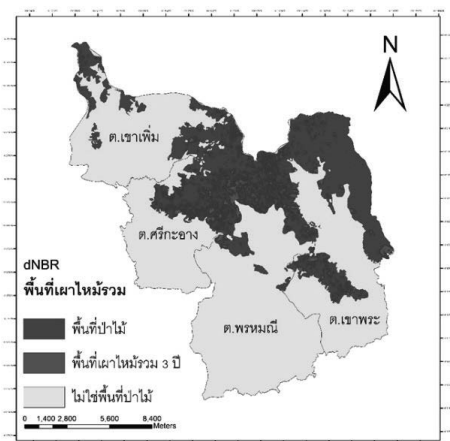
ภาพที่ 14 พื้นที่เผาไหม้ในเขตพื้นที่ป่าไม้ ปี 2563

ตารางที่ 8 ค่าเปอร์เซ็นต์ CV, RV และ W

| ปัจจัย                                               | ปัจจัยย่อย    | S<br>(ไร่) | R<br>(ไร่) | F<br>(ไร่) | % CV  | RV | W    |
|------------------------------------------------------|---------------|------------|------------|------------|-------|----|------|
| 1. ความสูง<br>ของพื้นที่<br>(เมตร)                   | 0 - 156       | 2,264.50   | 8,329.25   | 24,733     | 13.70 | 3  | 0.08 |
|                                                      | 156 - 321     | 3,051.00   | 8,329.25   | 19,125.00  | 22.23 | 5  |      |
|                                                      | 321 - 486     | 1,887.75   | 8,329.25   | 9,250.00   | 21.48 | 4  |      |
|                                                      | 486 - 651     | 493.75     | 8,329.25   | 3,111.00   | 8.63  | 2  |      |
|                                                      | 651 - 816     | 57.75      | 8,329.25   | 1,014.75   | 1.24  | 1  |      |
| 2. ความ<br>ลาดชันของ<br>พื้นที่<br>(องศา)            | < 5           | 158.75     | 8,329.25   | 2,986      | 2.81  | 1  | 0.04 |
|                                                      | 5 - 15        | 1,916.75   | 8,329.25   | 16,997.50  | 15.14 | 3  |      |
|                                                      | 15 - 25       | 3,753.50   | 8,329.25   | 24,209.50  | 23.07 | 5  |      |
|                                                      | 25 - 35       | 1,779.75   | 8,329.25   | 11,262.00  | 18.17 | 4  |      |
|                                                      | > 35          | 128.25     | 8,329.25   | 1,437.75   | 2.63  | 1  |      |
| 3. ทิศ<br>ด้านลาด<br>(องศา)                          | 0 - 90        | 1,524      | 8,329.25   | 10,713.00  | 16.01 | 3  | 0.05 |
|                                                      | 90 - 180      | 2,354.00   | 8,329.25   | 13,210.75  | 21.86 | 5  |      |
|                                                      | 180 - 270     | 2,798.50   | 8,329.25   | 21,837.00  | 18.55 | 4  |      |
|                                                      | 270 - 360     | 1,060.50   | 8,329.25   | 11,131.50  | 10.90 | 2  |      |
| 4. ระยะ<br>ห่างจาก<br>ตำแหน่ง<br>หมู่บ้าน<br>(เมตร)  | < 1,000       | 465.00     | 8,329.25   | 7,875.78   | 5.74  | 1  | 0.19 |
|                                                      | 1,000 - 2,000 | 2,006.25   | 8,329.25   | 20,764.50  | 13.79 | 2  |      |
|                                                      | 2,000 - 3,000 | 2,831.50   | 8,329.25   | 17,026.75  | 22.33 | 4  |      |
|                                                      | 3,000 - 4,000 | 2,300.00   | 8,329.25   | 10,027.75  | 25.06 | 5  |      |
|                                                      | > 4,000       | 153        | 8,329.25   | 1,550.50   | 3.09  | 1  |      |
| 5. ระยะ<br>ห่างจาก<br>พื้นที่<br>เกษตรกรรม<br>(เมตร) | < 1,000       | 3,071.75   | 8,329.25   | 31,237.00  | 15.53 | 3  | 0.24 |
|                                                      | 1,000 - 2,000 | 2,799.75   | 8,329.25   | 14,992     | 24.01 | 5  |      |
|                                                      | 2,000 - 3,000 | 1,804.75   | 8,329.25   | 8,619.25   | 21.30 | 4  |      |
|                                                      | 3,000 - 4,000 | 81.00      | 8,329.25   | 2,161.00   | 1.54  | 1  |      |
|                                                      | > 4,000       | 0          | 8,329.25   | 276.50     | 0     | 1  |      |
| 6. ระยะ<br>ห่างจาก<br>เส้นทาง<br>คมนาคม<br>(เมตร)    | < 800         | 3,218.25   | 8,329.25   | 30,826.00  | 16.44 | 3  | 0.24 |
|                                                      | 800 - 1,600   | 3,446.75   | 8,329.25   | 17,875.75  | 26.31 | 5  |      |
|                                                      | 1,600 - 2,400 | 977.25     | 8,329.25   | 7,422.25   | 12.41 | 2  |      |
|                                                      | 2,400 - 3,200 | 115.50     | 8,329.25   | 997.50     | 2.48  | 1  |      |
|                                                      | > 3,200       | 0          | 8,329.25   | 184.00     | 0     | 1  |      |
| 7. ชนิดป่า                                           | ไม่ผลัดใบ     | 33.50      | 8,329.25   | 5,842.75   | 0.47  | 1  | 0.11 |
|                                                      | ผลัดใบ        | 7,671.25   | 8,329.25   | 51,470     | 5.66  | 5  |      |
| 8. ค่า<br>อุณหภูมิ<br>พื้นผิว (°C)                   | < 24          | 20.25      | 8,329.25   | 99         | 0.48  | 1  | 0.03 |
|                                                      | 24 - 28       | 143.25     | 8,329.25   | 1,905.75   | 2.80  | 1  |      |
|                                                      | 28 - 32       | 5,687.75   | 8,329.25   | 51,083.25  | 19.15 | 2  |      |
|                                                      | 32 - 36       | 1,884      | 8,329.25   | 4,148      | 30.20 | 3  |      |
|                                                      | > 36          | 20.25      | 8,329.25   | 31.00      | 0.91  | 5  |      |



ภาพที่ 15 พื้นที่เผาไหม้ในเขตพื้นที่ป่าไม้ ปี 2566



ภาพที่ 16 พื้นที่เผาไหม้ 3 ปี (ปี 2559, 2563 และ 2566)

### 5.2.5 พื้นที่เสี่ยงภัยจากไฟป่า

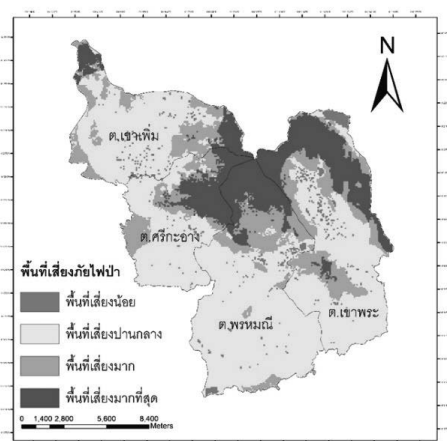
ผลจากการวิเคราะห์ค่าความสามารถของปัจจัยย่อย (RV) ด้วยการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ CV และการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลัก (W) แสดงดังตารางที่ 8 นำมาจัดชั้นข้อมูลใหม่ และให้ค่าลำดับคะแนน



ตารางที่ 8 ค่าเปอร์เซ็นต์ CV, RV และ W (ต่อ)

| ปัจจัย                                    | ปัจจัยย่อย | S<br>(ไร่) | R<br>(ไร่) | F<br>(ไร่) | % CV | RV | W    |
|-------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------|----|------|
| 9. ค่าดัชนี<br>ความ<br>แตกต่าง<br>พืชพรรณ | < 0        | 8.75       | 8,329.25   | 9.00       | 0    | 1  | 0.03 |
|                                           | 0 - 0.1    | 1,680      | 8,329.25   | 3,524.00   | 28   | 4  |      |
|                                           | 0 - 0.2    | 3,577.25   | 8,329.25   | 8,532.50   | 42   | 5  |      |
|                                           | 0.2 - 0.3  | 1,890.25   | 8,329.25   | 11,842.25  | 19   | 3  |      |
|                                           | 0.3 - 0.4  | 545.50     | 8,329.25   | 14,966.25  | 5    | 2  |      |
|                                           | > 0.4      | 52.75      | 8,329.25   | 18,358.00  | 0    | 1  |      |

โดย S = ปัจจัยย่อยที่มีพื้นที่ตรงกับพื้นที่เกิดไฟไหม้ป่า  
R = พื้นที่เกิดไฟไหม้ป่าในพื้นที่ศึกษา  
F = พื้นที่ปัจจัยย่อยที่ทั้งหมดปรากฏในพื้นที่ศึกษา  
จากตารางที่ 8 คำนวณหาพื้นที่เสี่ยงไฟป่าจากการ  
วิเคราะห์การซ้อนทับข้อมูลค่าน้ำหนักความสำคัญของ  
ปัจจัยหลัก (W) และค่าความสามารถของปัจจัยย่อย (RV)  
ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.5 จะได้พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิด  
ไฟป่าออกมา ทำการจัดชั้นความเสี่ยงออกเป็น 4 ระดับ คือ  
พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด พื้นที่เสี่ยงมาก พื้นที่เสี่ยงปานกลาง  
และพื้นที่เสี่ยงน้อย มีพื้นที่ 30,982.19 ไร่, 34,307.94  
ไร่, 103,087.69 ไร่ และ 3,977.44 ไร่ คิดเป็น 17.98%,  
19.90%, 59.81% และ 2.31% ของพื้นที่ศึกษา พบว่า  
พื้นที่เสี่ยงมากที่สุดอยู่ในตำบลศรีกะอางและตำบลเขาเพิ่ม  
เขตอำเภอบ้านนา และตำบลพรหมณีและตำบลเขาพระ  
เขตอำเภอมือง ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 พื้นที่เสี่ยงภัยจากไฟป่าในพื้นที่ศึกษา

## 6. สรุปและอภิปรายผล

### 6.1 ผลการวิเคราะห์การถอดบทเรียนไฟป่า

การถอดบทเรียนไฟป่าระหว่างปี พ.ศ. 2559-2566  
แบ่งออกเป็น 6 ประเด็น ดังนี้ 1) การลำดับเหตุการณ์  
พบว่าสาเหตุของการเกิดไฟป่าส่วนใหญ่เกิดจากมนุษย์  
ซึ่งสอดคล้องกับ ศราวุธ และ โสภณวิทย์ [15] พบว่า  
ไฟป่าส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะ  
อย่างยิ่งการสูบบุหรี่ หรือ การเผาป่าเพื่อล่าสัตว์ หรือ การ  
กำจัดวัชพืช โดยปัจจัยระยะห่างจากถนนเป็นปัจจัยที่  
แสดงถึงความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่และกิจกรรมใด ๆ  
ที่อาจส่งผลต่อการเกิดไฟป่า 2) การตอบโต้สถานการณ์  
ประกอบด้วย 3 หน่วยปฏิบัติ ได้แก่ หน่วยผู้ปฏิบัติงาน  
ดับไฟป่าภาคพื้นดิน หน่วยเครื่องจักรและรถดับเพลิง  
และหน่วยอากาศยานเฮลิคอปเตอร์ดับไฟ ร่วมประสาน  
งาน หรือ ลงพื้นที่ปฏิบัติการตลอดภารกิจ 3) การให้  
ความช่วยเหลือ ได้รับการสนับสนุนและอำนวยความสะดวก  
สะดวกในด้านต่าง ๆ จากหน่วยงานของภาครัฐและ  
เอกชน ได้แก่ หน่วยแพทย์ พยาบาล อาหาร และน้ำดื่ม  
4) ความเสียหายและผลกระทบ ได้แก่ สัตว์ป่าชนิด  
เล็ก ๆ ถูกไฟคลอก เกิดมลพิษทางอากาศ เกิดความ  
เสียหายต่ออาคารสถานที่ของราชการ และเกิดการ  
สูญเสียทรัพยากรป่าไม้ที่สำคัญ 5) ปัญหาและอุปสรรค  
ที่เกิดขึ้น ได้แก่ ขาดแคลนเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ดับ  
ไฟป่า ลักษณะภูมิประเทศมีความสูงชัน และมีกับดักสัตว์  
ทำให้เกิดความยากลำบากในการเข้าถึงพื้นที่ และมีม  
กกรโซภกรรวมถึงสภาพผืนป่ามีความแห้งแล้งทำให้เกิด  
การลุกลามของไฟอย่างรวดเร็ว และ 6) ข้อเสนอแนะใน  
การดำเนินการ ได้แก่ การเฝ้าระวัง การบริหารจัดการ  
เชื้อเพลิงก่อนถึงฤดูไฟป่า การทำแนวกันไฟในพื้นที่เสี่ยง  
ให้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น ประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับปัญหา  
ไฟป่า ซึ่งเป็นการลดการเกิดไฟที่ต้นเหตุ อบรมและ  
ฝึกซ้อมการดับไฟป่าแก่ส่วนราชการและอาสาสมัคร การ  
เฝ้าระวัง ลาดตระเวน และเพิ่มจุดตรวจจะช่วยลดการ  
ลักลอบการจุดไฟได้ การขอรับการสนับสนุนงบประมาณ

เพิ่มให้เพียงพอต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่และการสำรวจและจัดแนวทำแนวกันไฟตามเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อตัดเส้นทางไฟป่าและเป็นเส้นทางสำหรับรถดับเพลิง, รถบรรทุกน้ำ, ยานพาหนะที่ลำเลียงเจ้าหน้าที่ และอุปกรณ์เพื่อดับไฟ, และควรบังคับใช้กฎหมายที่เกี่ยวข้องต่อผู้กระทำผิดอย่างจริงจัง

6.2 พื้นที่เสี่ยงภัยจากการเกิดไฟป่า แบ่งออกเป็น 4 ชั้น ได้แก่ พื้นที่เสี่ยงมากที่สุด, พื้นที่เสี่ยงมาก, พื้นที่เสี่ยงปานกลาง และพื้นที่เสี่ยงน้อย พื้นที่ 30,982.19 ไร่ (17.98%), 34,307.94 ไร่ (19.90%), 103,087.69 ไร่ (59.81%) และ 3,977.44 ไร่ (2.31%) ตามลำดับ พื้นที่ชุมชนที่เสี่ยงต่อไฟป่ามากที่สุด ประกอบด้วย 1) หมู่ที่ 1, 4, 5 และ 6 ตำบลศรีกะอาง อำเภอบ้านนา 2) หมู่ที่ 9 ตำบลเขาเพิ่ม อำเภอบ้านนา 3) หมู่ที่ 4, 9 และ 13 ตำบลพรหมณี อำเภอเมือง และ 4) หมู่ที่ 5, 11, 12 และ 16 ตำบลเขาพระ อำเภอเมือง พื้นที่ป่าที่มีความเสี่ยงสูงมากที่สุดที่ต้องเฝ้าระวังและป้องกัน มีดังนี้ 1) ทางทิศตะวันตกของ รร.จปร. ประกอบด้วยเขาชะโงก 2) ทางทิศเหนือของ รร.จปร. ประกอบด้วย เขาตะแบก 3) ทางทิศตะวันออกของ รร.จปร. ประกอบด้วย เขาแหลม และเขาชะพลู ในตำบลพรหมณี อำเภอเมือง 4) ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของ รร.จปร. ประกอบด้วย เขาฝาละมี, เขาพระ และเขาเกษิม ในตำบลเขาพระ อำเภอเมือง และ 5) ทางทิศตะวันตกของ รร.จปร. ติดกับ รร.ตท. ประกอบด้วย เขาอีหูด เขาดอก และเขามะค่าทอง ในตำบลศรีกะอาง อำเภอบ้านนา

โดยพื้นที่เสี่ยงต่อไฟป่ามากที่สุดส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง มีความลาดชัน เป็นป่าเบญจพรรณซึ่งเป็นป่าผลัดใบ โดยส่วนใหญ่อยู่ติดกับพื้นที่ชุมชนและถนน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ พงศ์เทพ สุวรรณวาร [13] ที่พบว่าไฟป่ามักเกิดในป่าผลัดใบมากที่สุด ซึ่งในฤดูแล้งใบไม้จะร่วงหล่นและทับถมที่พื้นป่าปริมาณมาก กลายเป็นเชื้อเพลิงผิวดินทำให้ไฟที่เกิดขึ้นลุกลามต่อเนื่องไปได้ และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ภัทรา และคณะ [14] ซึ่ง

พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดไฟในระดับสูง คือระยะห่างจากหมู่บ้านหรือชุมชน ซึ่งต้นเหตุมาจากมนุษย์จำเป็นต้องเฝ้าระวังป้องกันพื้นที่ให้มากที่สุด

## 7. บรรณานุกรม

- (1) สุชาติ โกษฉนงค์, "การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยไฟป่าในประเทศไทย," กลุ่มปฏิบัติการภูมิสารสนเทศส่วนภูมิสารสนเทศ, สำนักฟื้นฟูและพัฒนาพื้นที่อนุรักษ์, กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ, 2553.
- (2) กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. "จำนวนพื้นที่ป่าในเขตพื้นที่อนุรักษ์ที่ถูกไฟไหม้." ระบบบัญชีข้อมูล (Data Catalog) กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. <https://catalog.dnp.go.th/dataset/fire1> (10 มิ.ย. 67).
- (3) สันต์ เกตุปราณีต, นิพนธ์ ตั้งธรรม, สุวิทย์ แสงทองพราว, ปรีชา ธรรมานนท์, นริศ ภูมิภาคพันธ์ และ ศิริ อัครดะธร์, "ไฟป่าและผลกระทบต่อระบบป่าไม้ในประเทศไทย," คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2534.
- (4) สมชาย โกมลคงอยู่, "คู่มือการสร้างเครือข่ายและการมีส่วนร่วมของประชาชนในการป้องกัน และแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควัน," กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ, 2561.
- (5) อภินันท์ ปลอดเปลี่ยว, บพิตร มณีรัตน์ และ วันชัย ปานนาคะพิทักษ์, "การประเมินค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจที่เกิดจากไฟป่า," กองจัดการป่าไม้, กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ, 2536.
- (6) สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์, "หลักการเบื้องต้นของการสำรวจข้อมูลระยะไกล," สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ, 2536.
- (7) USGS. "USGS EROS Archive Sentinel-2 Comparison of Sentinel-2 and Landsat." USGS science for a changing world. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat> (25 Jan 2023).
- (8) Cook, M, Schott, and J. R., "Atmospheric Compensation for a Landsat Land Surface Temperature Product," Landsat Science Team Meeting, 2014.
- (9) Keeley and J. E., "Fire intensity, fire severity and burn severity," A brief review and suggested usage, International Journal of Wildland Fire, pp. 116-126, 2009.
- (10) แพร้วา วิจิตรธรรมา และ อนุเม้า ออบแพทย์, "การพัฒนาแผนที่ความเสี่ยงภัยพิบัติทางธรรมชาติในประเทศไทย," การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27, หน้า 13-17, 2565.
- (11) ชินบัญญัติ ปลั่งศิริ, "การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า อุทยานแห่งชาตินาแห้ว จังหวัดเลย," วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรชีวภาพ), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2543.

- (12) กัมปนาท ดีอุดมจันทร์ และ อนุสรณ์ รังสิพานิช, "เทคนิคการสำรวจจากระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า," สำนักภูมิสารสนเทศ, สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ, 2551.
- (13) พงศ์เทพ สุวรรณวาริ, "ผลกระทบของไฟป่าต่อความสมบูรณ์ของป่าไม้และคุณภาพอากาศในจังหวัดเชียงใหม่," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2558.
- (14) ภัทรา ม่วงเพชร, ชัยวัฒน์ คงสม และ ดุสิต เวชกิจ, "การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และการรับรู้ระยะไกลเพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าในป่าสงวนแห่งชาติป่าแม่แจ้ฟ้า จังหวัดลำปาง," มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2560.
- (15) ศราวุธ ลักขวุธ และ โสภณวิทย์ คำพิลัง, "การจำแนกพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ภาพเชิงวัตถุ กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติน้ำตกตาดโตน ตำบลนาฝาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ," คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2560.
- (16) Suhrabuddin N., Kaan K, "Burn Area Detection and Burn Severity Assessment Using Sentinel 2 MSI Data. izmir/ Turkey: The Case of Karabağlar District," Turkish Journal of Geosciences, pp. 72-77, 2020.
- (17) อนุเฝ้า อบแพทย์, ภูภัต ทองจับ, วันสิริ สุกสินวล, และ อาทิตยา ยีบ๊ะ, "การวิเคราะห์ค่าความรุนแรงพื้นที่เผาไหม้จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย," การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ, ครั้งที่ 26, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2564.
- (18) Matthew B., "Normalized Burn Ratio (NBR) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Study of Vegetation Health and Regrowth Rate Post 2018 Mendocino Complex Fire in Northern California Coastal Mountains." The University of Arizona. USA, 2022.
- (19) Natasya A., Arie Wahyu W, "Mono-temporal and multi-temporal approaches for burnt area detection using Sentinel-2 satellite imagery (a case study of Rokan Hilir Regency, Indonesia)," Ecological Informatics, Vol. 69, July 2022.
- (20) R. M. Grajeda Rosado, E. Alonso-Guzman, C. J. Esparza Lopez, W. Martinez Molina, H. García, and E. Yedra, "Mapping the LST (Land Surface Temperature) with Satellite Information and Software ArcGis," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 811, p. 012045, 05/14 2020.
- (21) Serco Italia SPA, "Burned Area Mapping with Sentinel-2 (SNAP)," Portugal (version 1.2), pp 5-32, 2017.
- (22) สมถวิล วิจิตรวรรณ, สถิติความสัมพันธ์: เลือกใช้อย่างไร. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์, 2565. หน้า 10-13.

การศึกษาความเป็นไปได้เชิงพื้นที่ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์  
กรณีศึกษา พื้นที่ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

The Study of Location Analysis for Installation of Electric Power System  
from Solar Cells with the Study Case of Mae Moh, Lampang

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชร วงศ์ปัญญา<sup>1</sup>

Assistant Professor Dr. Watchara Wongpanyo

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศธร คำใจหนัก<sup>2</sup>

Assistant Professor Dr. Pongsatorn Khamjainuk

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราคม วงศ์ชัย<sup>3</sup>

Assistant Professor Dr. Warakhom Wongchai

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชฎาภรณ์ ทองแป้น<sup>4</sup>

Assistant Professor Dr. Ratchadaporn Thongpaen

ดร.ธัญญพัทธ์ ทิพย์สุภาวงศ์<sup>5\*</sup>

Dr. Thunyapat Tipsupawong

<sup>1</sup>คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000 ประเทศไทย

<sup>1</sup>School of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao 56000, Thailand

<sup>2, 4</sup>คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100 ประเทศไทย

<sup>2, 4</sup>Faculty of Education, Lampang Rajabhat University, Lampang 52100, Thailand

<sup>3</sup>คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100 ประเทศไทย

<sup>3</sup>Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University, Lampang 52100, Thailand

<sup>5\*</sup>หน่วยปฏิบัติการส่วนหน้า อว.มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100 ประเทศไทย

<sup>5\*</sup>Operation unit Rajabhat University, Lampang 52100, Thailand

\*Corresponding Author. thunyapat\_jeab@hotmail.co.th

(Received: May 19, 2024, Revised: July 1, 2024, Accepted: July 15, 2024)

**บทคัดย่อ :** สถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้หน่วยงานภาครัฐต้องจัดหาแหล่งพลังงานแหล่งใหม่เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า และเสริมความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่ได้จากธรรมชาติเป็นพลังงานที่สะอาดที่สามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่จำกัดและสามารถเข้าถึงได้ทุกพื้นที่ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เชิงพื้นที่เพื่อการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีศึกษา พื้นที่ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง วิธีการศึกษาเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลและสำรวจเชิงพื้นที่เพื่อออกแบบระบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และได้มีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จากการศึกษาพื้นที่กรณีศึกษา โดย

สำรวจพื้นที่ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์หาทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมพร้อมทั้งดำเนินการประเมินพื้นที่ หมู่บ้านจำปุย ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีพื้นที่ว่างเปล่ามากกว่า 420,000 ตารางเมตร จากการจำลองการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst 7.1 พบว่าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 815.2 MWh ต่อปี ส่งผลทำให้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 488.0 tCO<sub>2</sub>-eq /ปี หรือ 11,494.8 tCO<sub>2</sub>-eq ตลอดอายุโครงการ 25 ปี เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยปรับเฉลี่ย (LCOE) ตลอดอายุโครงการเท่ากับ 1.102 บาท/kWh มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 26,836,588 บาท มีค่าผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) เท่ากับ 311.97% มีค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 27.66% และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 3.63 ปี พื้นที่ดังกล่าวจึงเป็นพื้นที่ที่สามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้และเกิดความคุ้มค่าในการดำเนินโครงการ

**คำสำคัญ:** ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การจำลองระบบ PVsyst การปล่อยก๊าซเรือนกระจก พลังงานทดแทน ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์



**Abstract:** The situation of consuming electrical energy in Thailand is increasing rapidly. Therefore, government agencies should provide new energy sources to comply with the demand and to strengthen national energy security. Solar energy is renewable and clean energy from nature that can be used without limitations, and it is accessible to everybody. This research aimed to study location possibility for installing electric power system from solar cells with the study case of the area in Mae Moh, Lampang. At the location, according to geographic information system used for finding and evaluating proper location in Jampui, Ban Dong, Mae Moh, Lampang, there is vacant land of 420,000 Sq.m. According to the simulation of using PVsyst 7.1 software to generate electric power from solar cells, it was found that it can generate electricity 815.2 MWh per year. It can reduce the Greenhouse gas emission down to 488.0 tCO<sub>2</sub>-eq /year or 11,494.8 tCO<sub>2</sub>-eq in 25 years. When considering economic, it was found that the Levelized Cost of Electricity for the project is 1.102 baht/kWh and Net Present Value is 26,836,588 baht. The Return-on-Investment equals 311.97% with 3.36 years of payback period. The area is possible for installation of electric power system from solar cells and it will make benefits from the project.

**Keywords:** Solar PV System, Geographic Information System, Simulation, PVsyst, Greenhouse Gas Emission, Renewable energy, Economics Value

## 1. บทนำ

จากรายงานการสำรวจตลาดและนโยบายภาครัฐของประเทศต่าง ๆ ขององค์กรพลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Agency, IEA) ระบุว่ารายงานแนวโน้มพลังงานโลก (World Energy Outlook 2018) มีความต้องการใช้พลังงานจะเพิ่มขึ้นเกิน 1 ใน 4 ระหว่างปี 2017 จนถึง 2040 โดยตัวเลขนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าทั่วโลกใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่หากไม่มีพัฒนาการดังกล่าวความต้องการใช้พลังงานจะเพิ่มเป็น 2 เท่าของที่คาดการณ์เอาไว้ [1]

สถานการณ์การใช้พลังงานของประเทศไทยปี พ.ศ. 2566 จากรายงานสถิติพลังงาน, กระทรวงพลังงานพบว่าโดยภาพรวมมีการใช้พลังงานในประเทศเพิ่มขึ้นจากการใช้พลังงานในภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม ภาคครัวเรือน ภาคธุรกิจการค้า และภาคขนส่ง มีปริมาณ 1,361, 19,092, 5,840, 4,136 และ 19,560 ktoe. ตามลำดับ ทั้งนี้ภาคเศรษฐกิจ ที่เป็นการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายมากที่สุดคือ ภาคขนส่ง คิดเป็น 39.1% รองลงมาเป็นการใช้ในภาคอุตสาหกรรม ภาคครัวเรือน ภาคธุรกิจการค้า และภาคเกษตรกรรม 38.2%, 11.7%, 8.3% และ 2.7% ตามลำดับ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณปีละ 6,666 จิกะวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 3.4 มีการใช้รวมทั้งสิ้น 203,923 จิกะวัตต์ชั่วโมง [2] จากการเติบโตและการพัฒนาประเทศไทยอย่างรวดเร็วในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา ส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้หน่วยงานภาครัฐต้องจัดหาแหล่งพลังงานแหล่งใหม่เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า และเสริมความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ ซึ่งทางรัฐบาลจึงได้มอบหมายให้กระทรวงพลังงานจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan : AEDP 2015) เพื่อแก้ปัญหาพลังงานในประเทศ

สำหรับการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจึงเป็นทางเลือกที่ได้รับความสนใจจากทั้งในภาครัฐ ภาคอุตสาหกรรม และภาคประชาชน ซึ่งประเทศไทยมีศักยภาพของพลังงานทดแทนที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้มีหลายประเภทด้วยกัน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล และที่ผ่านมาได้มีการนำพลังงานเหล่านี้มาใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วในบางส่วน เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยทำการผลิตไฟฟ้าผ่านโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ผาช่อง จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นต้น เพื่อตอบสนองนโยบายของภาครัฐที่ต้องการกระจายแหล่งเชื้อเพลิง ผลิตไฟฟ้าที่สะอาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในราคาที่เป็นธรรม

ปัจจุบันประเทศไทยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้า ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ เชื้อเพลิงฟอสซิล ไฟฟ้านำเข้า พลังงานหมุนเวียนและอื่น ๆ คิดเป็น 59%, 14%, 13%, 9% และ 5% ตามลำดับ [3] ซึ่งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) แม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนขนาดใหญ่ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ดำเนินการผลิตกระแสไฟฟ้าส่งให้กับประชาชน เมื่อปี พ.ศ. 2521 จนถึงปัจจุบัน มีกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าตามสัญญา จำนวน 2,220 เมกะวัตต์ ถือเป็นโรงไฟฟ้าหลักที่สร้างความมั่นคงด้านพลังงาน สามารถรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้าในภาคเหนือ ถึงแม้ว่าปัจจุบันโรงไฟฟ้าแม่เมาะได้ติดตั้งเครื่องกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization : FGD) และนำมาตรการควบคุมตามมาตรฐานสากล มาใช้ในการดำเนินงานภายในโรงไฟฟ้าแม่เมาะแล้วก็ตาม แต่ก็ยังประสบปัญหาการไม่ยอมรับของประชาชนในพื้นที่ เนื่องจากความกังวลเรื่องการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ

จากสภาพปัญหาและข้อจำกัดที่กล่าวมาแล้วนั้น ผู้วิจัยจึงมองเห็นความจำเป็นในการพัฒนาพลังงานทดแทนมาใช้ในพื้นที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เนื่องจาก

ภายในอำเภอแม่เมาะมีแหล่งทรัพยากรทางธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ ทั้งป่าไม้ แหล่งน้ำ รวมถึงประชาชนในพื้นที่มีอาชีพทำการเกษตรเป็นหลักและมีภูมิประเทศอยู่ในบริเวณที่มีความพร้อมทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถนำมาพัฒนาใช้ประโยชน์ อีกทั้งเสริมศักยภาพความมั่นคงด้านพลังงานให้กับหมู่บ้านที่อยู่ห่างไกล รวมถึงบ้านจำปุย หมู่ 4 ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นหมู่บ้าน OTOP นวัตกรรม เป็นหมู่บ้านท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมมีสถานที่ท่องเที่ยวหลายแห่ง เช่น ฝายป๋อง ภาพเขียนสี ค่ายประตู่ผา และมีอัตลักษณ์ที่สำคัญของหมู่บ้านคือ เป็นหมู่บ้านที่มีหลากหลายชนเผ่า มีกลุ่มชาติพันธุ์อาศัยอยู่ร่วมกัน 4 กลุ่มคือ เมียน (เย้า) ปกาเกอญอ (กะเหรี่ยง) ขมุและคนพื้นเมือง ซึ่งในแต่ละปีมีนักท่องเที่ยวมาเที่ยวชมหมู่บ้านนี้เป็นจำนวนมาก ที่ผ่านมามีบ้านจำปุย ประสบปัญหากระแสไฟฟ้าตกบ่อย เนื่องจากเป็นหมู่บ้านที่อยู่ปลายสายทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดเกิดความเสียหายขึ้นบ่อยครั้ง

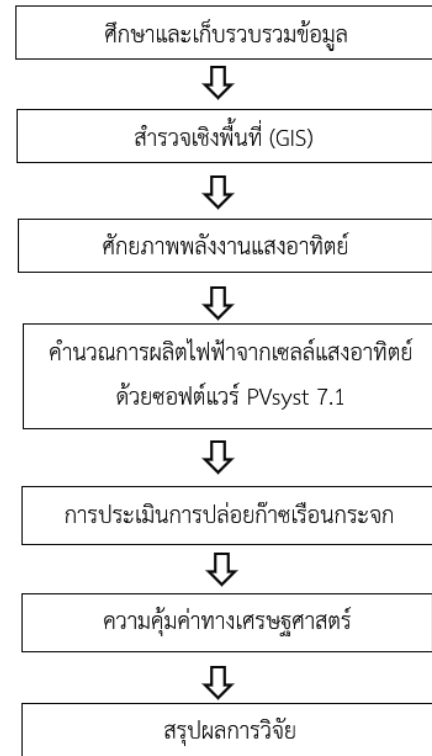
ในปี พ.ศ. 2565 เทศบาลตำบลแม่เมาะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 221.10 MWh เป็นเงิน 1,052,623 บาท คิดเป็นค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.74 บาท/kWh [4] ดังนั้นเพื่อเสริมความมั่นคงทางด้านพลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยจึงศึกษาความเป็นไปได้เชิงพื้นที่ ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในด้านศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปีหรือค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ( $\text{kW/m}^2$ ) การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการติดตั้ง และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญหาให้กับหมู่บ้านแห่งนี้

## 2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่หมู่บ้านจำปุย

## 3. วิธีดำเนินการศึกษา

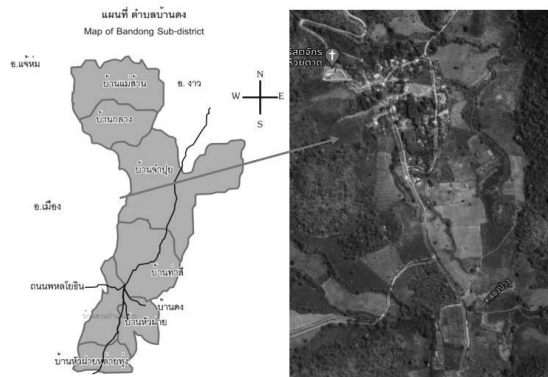
ขั้นตอนวิธีการศึกษาความเป็นไปได้เชิงพื้นที่ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีศึกษา พื้นที่ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีรายละเอียดของการศึกษาดำเนินการวิจัย ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

### 3.1 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลพื้นที่การศึกษา คือบ้านจำปุย ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เป็นหมู่บ้านชาวเขาอยู่กลางดอย มีประชากร จำนวน 771 คน มีจำนวนครัวเรือนทั้งหมด 230 ครัวเรือน ลักษณะภูมิประเทศของตำบลบ้านดง มีลักษณะเป็นที่ราบสลับภูเขาโดยมีภูเขาล้อมรอบ มีแนวเขาที่เป็นสันปันน้ำเชื่อมต่อกับเขตอุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อนและอุทยานแห่งชาติถ้ำผาไท โดยมีที่ตั้งและลักษณะหมู่บ้าน [5] ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนที่ตั้งและลักษณะหมู่บ้านจำปุย

จากการศึกษาข้อมูลในพื้นที่พบว่าชุมชน มีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 kVA และเป็นชุมชนที่อยู่ปลายสาย จึงทำให้เกิดไฟฟ้าตกอยู่บ่อยครั้ง ดังนั้นหากมีการสร้างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะสามารถแก้ปัญหานี้ได้

### 3.2 สำรวจเชิงพื้นที่ (GIS)

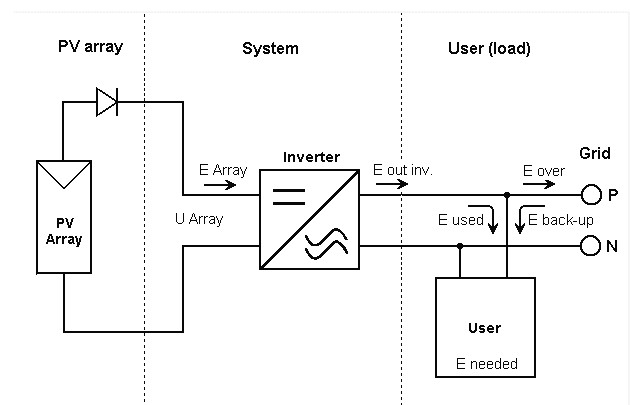
ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์หาทำเลที่ตั้งที่เหมาะสม พร้อมทั้งดำเนินการประเมินพื้นที่ด้วย Google map และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS)

3.3 คำนวณศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์และการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst 7.1

ข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วย ข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปีหรือค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ( $\text{kW/m}^2$ ) วิเคราะห์โดยใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst 7.1 พื้นที่หมู่บ้านจำปุย ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

การออกแบบระบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โครงการนี้ เป็นการเชื่อมโยงแบบระบบสายส่ง มีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Poly Crystalline Silicon) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อสายส่งจะต้องมีคุณสมบัติในการสร้างไฟฟ้ากระแส

สลับที่มีลักษณะรูปคลื่นที่ออกมาแบบ Sine wave และเครื่องแปลง กระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อบรรยากาศสามเฟส (Grid-connected or Grid tied inverter) ทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV array) ระบบจำหน่าย (Grid) และภาระไฟฟ้า (AC loads) โดยรับไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งมีความถี่และแรงดันเดียวกับระบบจำหน่าย และมีส่วนประกอบอื่น ๆ ตามมาตรฐานไฟฟ้า ได้แก่ กล้อง ฟิวส์ อุปกรณ์จับยึดแผง ตู้รวมสาย ระบบป้องกันฟ้าผ่า เบรกเกอร์ สายส่งไฟฟ้า การเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายหลักโดยตรง สามารถใช้ได้กับระบบ 3 เฟส เพื่อให้ป้อนกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายได้สูงสุดเสมอ การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายในประเทศไทยและมีราคาต่ำสุดจากใบเสนอราคาของบริษัทที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีภาพการเชื่อมต่อของระบบ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบสายส่งของตำบลแม่เมาะ

3.4 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการคำนวณจากการใช้ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของโครงการมาคูณกับค่าการ

ปล่อยหรือดูดกลับก๊าซเรือนกระจกและแสดงผลให้อยู่ในรูปของมวล (ตันต่อกิโลกรัม) คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO<sub>2</sub>eq) ดังสมการที่ 1 [6]

$$GHG_i = A_i \times EF_i \quad (1)$$

$GHG_i$  คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก tCO<sub>2</sub>eq

$A_i$  คือ ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก (Unit)

$EF_i$  คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย

### 3.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการศึกษาในครั้งนี้พิจารณาจากต้นทุนของระบบ ต้นทุนค่าบำรุงรักษาระบบ และผลประโยชน์จากการดำเนินโครงการ ซึ่งพิจารณาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยปรับเฉลี่ย (Levelized cost of electricity; LCOE) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value; NPV) ผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on investment; ROI) ระยะเวลาคืนทุน (Payback period; PP) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return; IRR)

3.5.1 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยปรับเฉลี่ยตลอดอายุโครงการ (LCOE)

ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยทำการวิเคราะห์ในรูปแบบ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยปรับเฉลี่ยตลอดอายุโครงการโดยไม่คำนึงถึงมูลค่าของเงินตามเวลาเป็นที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระหว่างเทคโนโลยีการผลิตต่าง ๆ การคำนวณดังสมการที่ 2 [7]

$$LCOE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{I_i + M_i}{(1+r/100)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{(1+r/100)^i}} \quad (2)$$

เมื่อ LCOE คือ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยปรับเฉลี่ยตลอดอายุโครงการ (บาท/kWh)

$I$  คือ เงินลงทุนระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (บาท)

$M_t$  คือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาในปีที่  $t$  (บาท/ปี)

$E_t$  คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในปีที่  $t$  (kWh/ปี)

$r$  คือ อัตราการคิดลด (%)

$n$  คือ อายุโครงการ

### 3.5.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นวิธีคำนวณหาผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับในอนาคตตามอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการหรือต้นทุนเงินทุนกับต้นทุนเงินทุนเริ่มแรก คำนวณดังสมการที่ 3 [8]

$$NPV = \sum_{t=1}^n \left( \frac{C_t}{(1+r)^t} \right) - I \quad (3)$$

เมื่อ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$I$  คือ เงินลงทุนเริ่มแรก

$C_t$  คือ กระแสเงินสดรับสุทธิในแต่ละงวด

$t$  คือ ปีที่ 1 ถึงปีที่  $n$

$n$  คือ จำนวนงวดดอกเบี้ย/จำนวนปี

$r$  คือ อัตราดอกเบี้ย/ผลตอบแทน

### 3.5.3 ผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI)

ผลตอบแทนจากการลงทุนเป็นตัวเลขวัดผลตอบแทนหรือกำไรจากการลงทุน เพื่อวัดประสิทธิภาพในการลงทุนว่ามีความคุ้มค่า มีกำไรหรือขาดทุนมากน้อยเพียงใด การคำนวณดังสมการที่ 4 [9]

$$ROI = \frac{\text{รายรับ-ต้นทุน}}{\text{ต้นทุน}} \times 100 \quad (4)$$

### 3.5.4 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน หมายถึง อัตราส่วนลด (Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเท่ากับศูนย์ หรืออัตราส่วนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของ



ผลประโยชน์เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนคำนวณ  
ดังสมการที่ 5 [10]

$$IRR = \sum_{t=1}^n \left( \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \right) = 0 \quad (5)$$

เมื่อ  $B_t$  คือ ผลตอบแทนในปีที่  $t$

$C_t$  คือ ต้นทุนในปีที่  $t$

$i$  คือ อัตราผลตอบแทนของโครงการ

$t$  คือ ระยะเวลาของปี มีค่าตั้งแต่ 0,1,2,... ,  $n$

$n$  คือ อายุของโครงการ  $n$  ปี

#### 3.5.5 ระยะเวลาคืนทุน (PP)

ระยะเวลาคืนทุนเป็นการหารระยะเวลาที่ผลตอบแทนจากการดำเนินงานแต่ละปีรวมกันเท่ากับจำนวนเงินที่ลงทุนทั้งหมดคำนวณดังสมการที่ 6 [11]

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนเมื่อเริ่มโครงการ}}{\text{กระแสเงินสดรับสุทธิรายปี}} \quad (6)$$

## 4. ผลการศึกษา

การศึกษาความเป็นไปได้ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีศึกษา พื้นที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีผลการวิเคราะห์ ดังนี้

4.1 สำรวจและวิเคราะห์พื้นที่ โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์หาขนาดและทำเลที่ตั้งที่เหมาะสม พร้อมทั้งดำเนินการประเมินพื้นที่ด้วย Google map และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) จากการศึกษาพื้นที่ว่างเปล่าของบ้านจำปุย พบว่า มีพื้นที่มากกว่า  $0.42 \text{ km}^2$  หรือ  $420,000 \text{ m}^2$  จากการจำลองการผลิตไฟฟ้าด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst 7.1 ดังภาพที่ 4



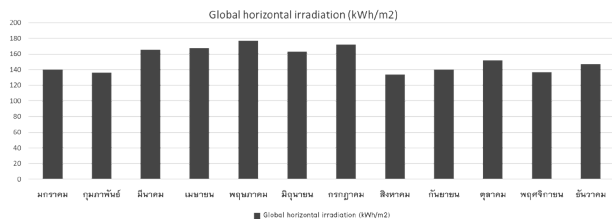
ภาพที่ 4 พื้นที่ว่างเปล่าของบ้านจำปุย ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

4.2 ผลการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี โดยใช้ซอฟต์แวร์ PVsyst 7.1 ของหมู่บ้านจำปุย ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง พบว่ามีศักยภาพค่อนข้างสูงเหมาะสมสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของบ้านจำปุย ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

| เดือน      | Ambient Temperature (°C) | Global horizontal irradiation (kWh/m <sup>2</sup> ) |
|------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| มกราคม     | 21.0                     | 140.0                                               |
| กุมภาพันธ์ | 23.7                     | 136.1                                               |
| มีนาคม     | 26.7                     | 165.3                                               |
| เมษายน     | 28.8                     | 167.5                                               |
| พฤษภาคม    | 27.6                     | 177.0                                               |
| มิถุนายน   | 27.2                     | 162.9                                               |
| กรกฎาคม    | 27.3                     | 172.3                                               |
| สิงหาคม    | 27.0                     | 134.0                                               |
| กันยายน    | 26.1                     | 140.3                                               |
| ตุลาคม     | 25.8                     | 152.0                                               |
| พฤศจิกายน  | 22.7                     | 136.9                                               |
| ธันวาคม    | 21.0                     | 146.9                                               |
| รวมทั้งปี  | 25.4                     | 1,831.3                                             |

จากตารางที่ 1 ศักยภาพรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกบนพื้นราบ (Global horizontal irradiation) ของบ้านจำปุย ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคม เท่ากับ  $177.0 \text{ kWh/m}^2$  และมีค่าต่ำสุดในเดือนสิงหาคม เท่ากับ  $134.0 \text{ kWh/m}^2$  และมีค่ารวมทั้งปีเท่ากับ  $1,831.3 \text{ kWh/m}^2$  และมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ( $\text{kWh/m}^2$ ) ดังภาพที่ 5



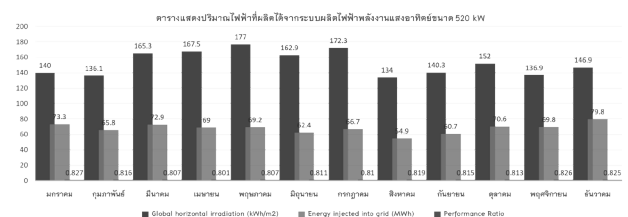
ภาพที่ 5 กราฟแสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์บ้านจำปุย ตำบลบ้านดง อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

4.3 ผลการวิเคราะห์การจำลองการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยซอฟต์แวร์ PVsyst 7.1 พบว่า พื้นที่ว่างเปล่า ดังกล่าว สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ  $520 \text{ kWp}$  (Normal STC) โดยเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีขายในประเทศไทยเป็นหลักและมีราคาต่ำสุด ประกอบด้วยอุปกรณ์ติดตั้งและคุณลักษณะ PV module (JKM 325PP-72 Plus) ขนาด  $325 \text{ kWp}$  จำนวน 1,600 แผง ราคา 5,000 บาทต่อแผง และ Inverter SolarEdge ขนาด  $33.3 \text{ kWac}$  จำนวน 14 หน่วย ราคา 87,975 บาทต่อหน่วย ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

| Configuration                 | PV module                            | Inverter                             |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| PV/Inverter model             | Jinkosolar<br>JKM 325PP-72<br>(Plus) | SolarEdge<br>SE27.6K-EU-<br>APAC/AUS |
| Unit Nom. Power               | $325 \text{ W}_p$                    | $33.3 \text{ kW}_{ac}$               |
| Number of PV/Inverter modules | 1,600 units                          | 14 units                             |
| Nominal (STC)                 | $116 \text{ kW}_p$                   | $110 \text{ kW}_{ac}$                |
| Total module area             | $3,105 \text{ m}^2$                  | -                                    |
| Phom ratio                    | -                                    | 1.05                                 |

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้พื้นที่ขนาด  $420,000 \text{ m}^2$  (พื้นที่ว่างเปล่า) ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด  $520 \text{ kWp}$  โดยสามารถผลิตปริมาณพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งสิ้น  $3,105 \text{ m}^2$  ดังภาพที่ 6 และตารางที่ 3



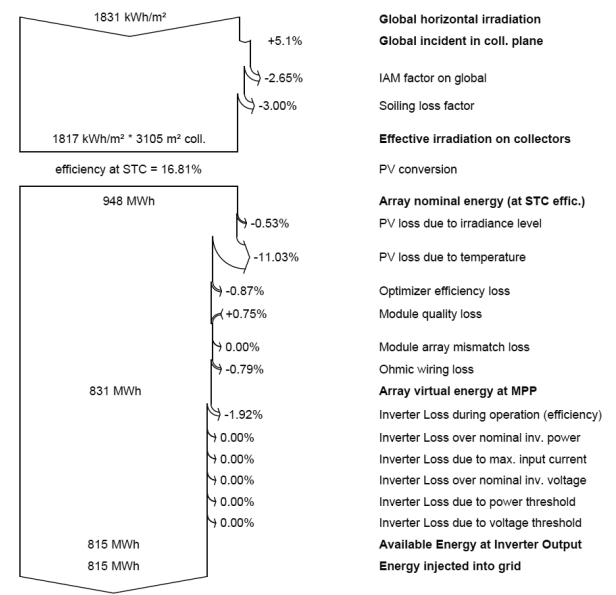
ภาพที่ 6 ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด  $520 \text{ kWp}$

ตารางที่ 3 ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้า  
เซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 520 kWp

| เดือน      | Global horizon-<br>tal irradiation<br>(kWh/m <sup>2</sup> ) | Energy<br>injected<br>into grid<br>(MWh) | Performance<br>Ratio |
|------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------|
| มกราคม     | 140.0                                                       | 73.3                                     | 0.827                |
| กุมภาพันธ์ | 136.1                                                       | 65.8                                     | 0.816                |
| มีนาคม     | 165.3                                                       | 72.9                                     | 0.807                |
| เมษายน     | 167.5                                                       | 69.0                                     | 0.801                |
| พฤษภาคม    | 177.0                                                       | 69.2                                     | 0.807                |
| มิถุนายน   | 162.9                                                       | 62.4                                     | 0.811                |
| กรกฎาคม    | 172.3                                                       | 66.7                                     | 0.810                |
| สิงหาคม    | 134.0                                                       | 54.9                                     | 0.819                |
| กันยายน    | 140.3                                                       | 60.7                                     | 0.815                |
| ตุลาคม     | 152.0                                                       | 70.6                                     | 0.813                |
| พฤศจิกายน  | 136.9                                                       | 69.8                                     | 0.826                |
| ธันวาคม    | 146.9                                                       | 79.8                                     | 0.825                |
| รวมทั้งปี  | 1,831.3                                                     | 815.2                                    | 0.815                |

จากข้อมูลการจำลองระบบในตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Energy injected into grid) ทั้งปีมีค่าเท่ากับ 815.2 MWh ในเดือนธันวาคม สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 79.8 MWh และเดือนสิงหาคมผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ต่ำสุดเท่ากับ 54.9 MWh เมื่อพิจารณาถึงสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้า (PR) พบว่ามีค่าเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 0.815 โดยในเดือนมกราคมมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.827 และเดือนเมษายนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.801

4.4 ผลการวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานของระบบผลิตไฟฟ้าเกิดขึ้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุด จำแนกเป็นการสูญเสียจากการสูญเสียเนื่องจากอุณหภูมิเซลล์ 11.03% และมีการสูญเสียขณะใช้งาน Inverter 1.92% โดยประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (STC) เท่ากับ 16.81% ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การสูญเสียพลังงานของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์  
แสงอาทิตย์

4.5 ผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก การผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 520 kWp สามารถทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ 815.2 MWh/ปี หรือ 19,202.8 MWh ตลอดอายุโครงการ 25 ปี (อัตราการเสื่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 0.5% ต่อปี) ส่งผลทำให้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 488.0 tCO<sub>2</sub>-eq/ปี หรือคิดเป็น 11,494.8 tCO<sub>2</sub>-eq ตลอดอายุโครงการ 25 ปี (Emission factor ของไฟฟ้าเท่ากับ 0.5986 kgCO<sub>2</sub>-eq/kWh)

4.6 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือต้นทุนการติดตั้ง (Installation costs) และต้นทุนการดำเนินการ (Operating costs) โดยต้นทุนราคาของส่วนประกอบระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ค่าเฉลี่ยจากการสำรวจข้อมูลราคาขายจริงของบริษัทต่าง ๆ ในประเทศไทย ณ เดือนมิถุนายน 2566 อายุโครงการนี้กำหนดให้เท่ากับ 25 ปี อัตราการคิดลด 7% อัตราเงินเฟ้อ 3% และอัตราการเสื่อมของแผง

เซลล์แสงอาทิตย์ 0.5%/ปี ตลอดทั้งอายุโครงการ 25 ปี  
ดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์  
ของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

| รายการ                                                     | ค่าอธิบาย      |
|------------------------------------------------------------|----------------|
| อายุโครงการ                                                | 25 ปี          |
| อัตราการคิดลด                                              | 7%             |
| อัตราเงินเฟ้อ                                              | 3%             |
| อัตราการเสื่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์                        | 0.5%           |
| แผงเซลล์แสงอาทิตย์                                         | 7,998,400 บาท  |
| อินเวอร์เตอร์และหน่วยปรับสภาพพลังงาน                       | 1,231,650 บาท  |
| อุปกรณ์เชื่อมต่อเครือข่าย การติดตั้ง<br>และการบริหารจัดการ | 7,831,683 บาท  |
| การบำรุงรักษา                                              | 138,033 บาท/ปี |
| LCOE                                                       | 1.102 บาท/kWh  |
| NPV                                                        | 26,836,588 บาท |
| ROI                                                        | 311.97%        |
| IRR                                                        | 27.66%         |
| PP                                                         | 3.63 ปี        |

จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าศักยภาพ  
พลังงานแสงอาทิตย์ของอำเภอแม่เมาะ อยู่ในเกณฑ์สูง  
สามารถพัฒนาและสนับสนุนส่งเสริมเทคโนโลยีการใช้  
พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็น  
พลังงานทดแทนได้

## 5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เชิง  
พื้นที่เพื่อการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์  
กรณีศึกษา พื้นที่ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง วิธีการ  
ศึกษาเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลและสำรวจเชิงพื้นที่เพื่อ  
ออกแบบระบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ และ  
ได้มีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความ  
คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจาก

เซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า  
ได้เฉลี่ย 815.2 MWh/ปี โดยทิศทางการวางโมดูลเซลล์  
แสงอาทิตย์มีความสำคัญต่อปริมาณการผลิตไฟฟ้าเป็น  
อย่างมาก ซึ่งพบว่า การวางโมดูลทำมุม Azimuth  $-50^\circ$   
มีค่า Transposition factor FT เท่ากับ 1.03 และ Loss  
with respect to optimum 2.7% ในส่วนของการวาง  
โมดูลทำมุม Azimuth  $-142^\circ$  จะมีประสิทธิภาพการรับ  
แสงที่ต่ำกว่า โดยมีค่า Transposition factor FT เท่ากับ  
0.90 และ Loss with respect to optimum 14.9% ใน  
การสร้างระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ หากสามารถ  
วางโมดูลทำมุม Azimuth เข้าใกล้  $0^\circ$  จะทำให้ระบบ  
สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น

มุมเอียงของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์มีผลต่อปริมาณ  
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นอย่างมาก การศึกษาในครั้งนี้  
พบว่า ณ พิกัดบ้านจำปุย ตำบลแม่เมาะ มุมเอียงโมดูล  
เซลล์แสงอาทิตย์  $20^\circ$  สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า 815.2  
MWh/ปี มีค่า ROI ของระบบเท่ากับ 311.97% แต่  
หากปรับมุมเอียงเท่ากับ  $10^\circ$  จะสามารถผลิตพลังงาน  
ไฟฟ้าได้มากที่สุด 154.10 MWh/ปี มีค่า ROI ของระบบ  
เท่ากับ 167.9% เนื่องจากโมดูลบางส่วนที่ทิศทางหันไป  
ทางทิศตะวันออก ดังนั้นเพื่อให้การรับแสงอาทิตย์ที่ดีต้อง  
มีมุมเอียงที่ต่ำ

อุณหภูมิสภาพแวดล้อม ( $T_a$ ) มีผลทำให้อุณหภูมิ  
ของเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงโดยเมื่ออุณหภูมิสภาพ  
แวดล้อมมีค่าสูงจะส่งผลทำให้อุณหภูมิของเซลล์แสง  
อาทิตย์สูงตามไปด้วย ส่งผลทำให้สมรรถนะของระบบผลิต  
ไฟฟ้า (PR) มีค่าลดลง [12]

จากผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็น  
ว่าเป็นโครงการที่น่าลงทุนเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้า  
เท่ากับ 1.102 บาท/kWh [13] ซึ่งต่ำกว่าค่าไฟฟ้าเฉลี่ยที่  
บ้านจำปุย ตำบลแม่เมาะต้องจ่ายในปัจจุบันเท่ากับ 4.74  
บาท/kWh ในโครงการนี้ยังมีค่าผลตอบแทนจากการลงทุน  
(ROI) สูงถึง 311.97% มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ  
26,836,588 บาท ค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

เท่ากับ 27.66% และระยะเวลาคืนทุน (PP) 3.63 ปี เมื่อเทียบกับอายุโครงการสามารถใช้งานได้ถึง 25 ปี แต่ถ้าหากในอนาคตราคาค่าไฟฟ้ามีการปรับตัวสูงขึ้น 10% จะทำให้โครงการมีค่าผลตอบแทนจากการลงทุนเพิ่มขึ้นเป็น 353.16% และจะมีระยะเวลาคืนทุนเร็วขึ้นเป็น 3.19 ปี สอดคล้องกับผลการวิจัยของ ราชันย์ ชูชาติ [14] และ เขมิกา จิตจันทน์ [15] ที่ได้ทำการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยพบว่ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เทศบาลตำบลแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ได้ให้ข้อมูลรวมถึงข้อคิดเห็นต่าง ๆ และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาตรวจสอบให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงต้นฉบับบทความดังกล่าวนี้

## 7. บรรณานุกรม

- (1) สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย, (สืบค้นจาก <https://shorturl.at/iDNS3>).
- (2) สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, รายงานสถานการณ์พลังงานปี 2566 และแนวโน้มปี 2567. กระทรวงพลังงาน, (2566).
- (3) สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, รายงานสถานการณ์พลังงาน (รายไตรมาส) ครึ่งปีแรกของปี 2566. กระทรวงพลังงาน, (2566).
- (4) สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, โครงการลดใช้พลังงานในภาครัฐ. (สืบค้นจาก <https://e-report.energy.go.th/cpr66/elec.php?dept=47514>), (2566).
- (5) กนิษฐกานต์ บันแก้ว, การศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นกลุ่มชาติพันธุ์บ้านจำปุย อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร, 10(1), หน้า 144-155, (2560).
- (6) เนตรชนากานต์ สุนันตา และ เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล, การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาล ด้วยระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์. วารสารเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 1(1), หน้า 144-155, (2560).
- (7) ธนาพล ดันดีสัตยกุล, พีรพล รัชมีธรรมโชติ, และ เมทาพร อยู่สกุล, การประเมินผลประโยชน์ทางพลังงานสิ่งแวดล้อม และ เศรษฐศาสตร์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 25(6), หน้า 1083-1099, (2560).
- (8) อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์, บทความการตัดสินใจเพื่อการลงทุน. (สืบค้นจาก [https://home.kku.ac.th/anuton/3526301/Doc\\_04.pdf](https://home.kku.ac.th/anuton/3526301/Doc_04.pdf), (2554).
- (9) อมรศิริ ดิสสร, แนวโน้มการวัดผลตอบแทนการลงทุน (ROI) การฝึกอบรมแบบจำลองสมองแห่งการเรียนรู้. วารสารวิชาการศรีปทุม ชลบุรี, 15(2), หน้า 98-107, (2561).
- (10) ฉัตรธิดา อิ่มแสง และ ชิตตะวัน ชนะกุล, การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินในการลงทุนโครงการ Co-Working Space ในกรุงเทพมหานคร: พื้นที่รัชดาภิเษกบริเวณแนวรถไฟฟ้า MRT. Journal of Buddhist Education and Research : JBER, 6(2), หน้า 136-149, (2563).
- (11) สิริรัตน์ บุตรเต, วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนเพื่อขยายโรงงานผลิตเครื่องมือตัด. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, (2555).
- (12) พีระวุฒิ ชินวรรังสี และคณะ, การประเมินสมรรถนะและความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายเทคโนโลยีที่ติดตั้งบนหลังคาในประเทศไทย. วิศวกรรมสาร, 32(2), หน้า 19-24, (2558).
- (13) N. Caglayan, The Technical and Economic Assessment of a Solar Rooftop Grid-Connected Photovoltaic System for a Dairy Farm. Energies, 16(20), p. 7043, (2023)
- (14) ราชันย์ ชูชาติ, การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตไมยางพาราแปรรูปในจังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, (2562).
- (15) เขมิกา จิตจันทน์, "การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาสำหรับอาคารสำนักงานเชิงพาณิชย์ กรณีศึกษาโครงการซัมเมอร์ ลากาล. สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม, (2560).



## คำแนะนำสำหรับผู้นิพนธ์บทความ

วารสารวิชาการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า มีจุดประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานทางวิชาการ ด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ในทุกแขนง โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานที่มีประโยชน์ต่อการวิชาการ การพัฒนาประเทศ และงานที่สามารถประยุกต์ใช้ในทางทหาร การรักษาความปลอดภัย และความมั่นคงของชาติ โดยมีกำหนดออกในเดือนธันวาคมของแต่ละปี ผู้นิพนธ์สามารถส่งบทความมาตีพิมพ์ได้ โดยไม่จำเป็นต้องเป็นสมาชิกของวารสารหรือเป็นบุคลากรของกองทัพไทย

วารสารฯ รับผิดชอบต้นฉบับทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ผลงานที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ จะต้องมีความน่าสนใจ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นองค์ความรู้ใหม่ หรือนำเสนอองค์ความรู้เดิมในมุมมองใหม่ ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นใด

### วารสารฯ รับผิดชอบบทความดังต่อไปนี้

1. บทความวิจัย (Research Articles) เป็นบทความที่นำเสนอผลการดำเนินการวิจัยอย่างเป็นระบบ และได้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย ประกอบด้วยชื่อเรื่องและรายละเอียดผู้เขียน บทคัดย่อ และเนื้อหาบทวิจัยซึ่งประกอบไปด้วย บทนำ วัตถุประสงค์ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีดำเนินการศึกษา ผลการศึกษา สรุปและอภิปรายผล กิตติกรรมประกาศ และบรรณานุกรม
2. บทความปริทัศน์ (Review Articles) เป็นบทความที่เขียนจากการรวบรวมความรู้ในเรื่องที่น่าสนใจในปัจจุบัน เรื่องใดเรื่องหนึ่ง ผ่านกระบวนการ วิเคราะห์ สังเคราะห์ เปรียบเทียบ และ/หรือ วิจัย เพื่อให้เกิดเป็นองค์ความรู้ในมุมมองใหม่ ประกอบด้วย บทนำ เนื้อหา วิจัย สรุป และบรรณานุกรม

### การส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์

ผู้นิพนธ์สามารถส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฯ ได้ทางเว็บไซต์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/crma-journal>

## การดำเนินงานของกองบรรณาธิการวารสารวิชาการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

เมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์จะจัดให้มีการกลั่นกรองเพื่อคัดเลือกเฉพาะบทความที่อยู่ในขอบข่ายการตีพิมพ์ของวารสารฯ และมีระดับคุณภาพที่ยอมรับได้ โดยบทความที่ได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์ กระบวนการประเมินเป็นแบบ Double-Blind Peer Review โดยบทความต้องผ่านการประเมินและได้รับการตอบรับจากผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความอย่างน้อย 2 ท่าน จากทั้งหมด 3 ท่าน และ/หรือ ผ่านการพิจารณาจากกองบรรณาธิการเป็นรายกรณี สำหรับบทความที่ได้รับการตอบรับอย่างมีเงื่อนไข ผู้นิพนธ์ของบทความนั้นต้องดำเนินการแก้ไขให้เสร็จสมบูรณ์ภายในระยะเวลาที่กองบรรณาธิการระบุ บทความที่ได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์จะถูกเผยแพร่ทั้งในรูปแบบเล่มและแบบ online บนเว็บไซต์ของวารสารฯ

### บทบาท หน้าที่ และจริยธรรมของบรรณาธิการ (Duties and Ethics of Editors)

1. บรรณาธิการต้องคัดเลือกผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาของบทความที่ประเมินสามารถประเมินและให้คำแนะนำต่อผู้นิพนธ์ได้เป็นอย่างดี
2. บรรณาธิการต้องคัดเลือกบทความบนพื้นฐานของความเป็นองค์ความรู้ใหม่ ความสำคัญ และความสอดคล้องกับขอบเขตการตีพิมพ์ของวารสารฯ
3. บรรณาธิการต้องมีการตรวจสอบการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) หากตรวจพบการคัดลอกผลงาน บรรณาธิการต้องหยุดกระบวนการประเมินในทันที
4. ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ บรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยชื่อผู้นิพนธ์ และชื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง
5. บรรณาธิการต้องไม่ตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์ที่ใด ๆ มาแล้ว
6. บรรณาธิการต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความด้วยเหตุผลอันเนื่องมาจากความสงสัยหรือไม่แน่ใจ โดยให้โอกาสผู้นิพนธ์ได้จัดหาหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยที่มีอยู่
7. บรรณาธิการต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์หรือผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

### บทบาท หน้าที่ และจริยธรรมของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ (Duties and Ethics of Reviewers)

1. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความต้องประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนมีความชำนาญเท่านั้น
2. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความต้องประเมินบทความโดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่จะมีต่อสาขานั้น ๆ โดยไม่ใช้ความคิดเห็นส่วนตัวมาตัดสินบทความ
3. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความต้องระบุผลงานวิจัยที่สำคัญต่อบทความที่ประเมิน นอกจากนี้หากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือนหรือซ้ำซ้อนกับผลงานอื่น ๆ ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบ

4. ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความต้องไม่เปิดเผยข้อมูลส่วนใดส่วนหนึ่งของบทความที่อยู่ระหว่างการพิจารณาแก่บุคคลที่ไม่เกี่ยวข้อง
5. ถ้าผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความตระหนักว่าตนเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ เช่น รู้จักผู้นิพนธ์เป็นการส่วนตัว เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่ทำให้ไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอย่างอิสระได้ ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบ และปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ

### บทบาท หน้าที่ และจริยธรรมของผู้นิพนธ์ (Duties and Ethics of Authors)

1. บทความที่ส่งมาขอตีพิมพ์ต้องเป็นบทความใหม่ของผู้นิพนธ์เอง ไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน ไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์โดยผู้ตีพิมพ์อื่นใด และเป็นไปตามจรรยาวิชาชีพวิจัยและแนวทางปฏิบัติของสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ
2. ผู้นิพนธ์ที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคน ต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการวิจัยจริง
3. หากมีการนำผลงานของผู้อื่นมาใช้ ผู้นิพนธ์ต้องอ้างอิงผลงานเหล่านั้น
4. ผู้นิพนธ์ต้องรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัย ไม่มีการบิดเบือน ไม่ให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ
5. ผู้นิพนธ์ต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการทำวิจัยนี้ (ถ้ามี)
6. ผู้นิพนธ์ต้องระบุผลประโยชน์ทับซ้อน (ถ้ามี)
7. ผู้นิพนธ์ต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดไว้ใน “คำแนะนำสำหรับผู้นิพนธ์บทความ”

### ลิขสิทธิ์

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ ถือเป็นลิขสิทธิ์ของวารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า



แบบฟอร์มขอส่งบทความเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ  
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า .....

ตำแหน่ง / สังกัด .....

ตำแหน่งทางวิชาการ ☐ ผศ. ☐ รศ. ☐ ศ.

ขอส่ง ☐ บทความวิจัย (Research Article) ☐ บทความปริทัศน์ (Review Article)

ชื่อเรื่องภาษาไทย.....

.....

คำสำคัญ .....

ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ.....

.....

Keywords (ภาษาอังกฤษ).....

ชื่อผู้เขียน (ภาษาไทย).....

.....

ชื่อผู้เขียน (ภาษาอังกฤษ).....

.....

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้..... หมู่ที่..... ซอย..... ถนน.....

ตำบล..... อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรศัพท์มือถือ..... โทรสาร.....

E-mail.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้

1. เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุในบทความ (ถ้ามี) จริง
2. ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นใด

ลงนาม.....

(.....)





- การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่สำหรับประเมินความเสี่ยงโรคไตเรื้อรัง  
ในเขตพื้นที่โครงการระเบียบเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก
- การศึกษารรณีสัญฐานและแร่วิทยาบริเวณเขาชะโงก  
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เพื่อสร้างเส้นทางท่องเที่ยวเชิงธรณีวิทยา
- ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไป  
ของนักเรียนนายร้อย โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
- การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาการคำนวณโดยใช้โครงงานเป็นฐาน  
ในเทคโนโลยี IoT เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะเชิงคำนวณและความเป็นนวัตกรรม  
สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีระดับความสามารถต่างกัน
- Electrode and Ground Arrangement on Sample Plate Under Electrostatic Powder  
Coating Process
- การประยุกต์ใช้ข้อมูลระยะเวลาเดินทางของคลื่นยักษ์สึนามิเพื่อการเตือนภัยหน่วยงานของ  
กองทัพเรือซึ่งตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลอันดามัน
- แนวทางการนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในงานข่าวกรองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับ  
หน่วยข่าวกรองกองทัพบก
- การพัฒนาการบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ กรณีศึกษา โรงพยาบาลโรงเรียนนายร้อย  
พระจุลจอมเกล้า
- การใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงไฟป่า  
ในเขตพื้นที่ป่าโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า และพื้นที่ใกล้เคียง จังหวัดนครนายก
- การศึกษาความเป็นไปได้เชิงพื้นที่ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์  
กรณีศึกษา พื้นที่ อำเภอมะแมะ จังหวัดลำปาง

