



# วารสาร มทร.อีสาน

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN 1906-215X

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2561



วารสาร มทร.อีสาน ได้รับการประเมินคุณภาพให้อยู่ในฐานข้อมูลของ  
ศูนย์ติดตามการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) กลุ่มที่ 1

# วารสาร มทร.อีสาน

## RMUTI JOURNAL

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Rajamangala University of Technology Isan (RMUTI)

#### วัตถุประสงค์

- เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ด้านวิชาการ ด้านงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์ระหว่างนักวิชาการ และนักวิจัยกับผู้ที่สนใจทั่วไป
- เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้ทางวิชาการ ผลงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์ของนักวิชาการและนักวิจัยสู่สาธารณะ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

วารสาร มทร.อีสาน เน้นบทความทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในสาขาวิชาดังต่อไปนี้

- สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์
- สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
- สาขาวิชาสหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เป็นสาขาที่ศึกษาแนวความคิด ทฤษฎีและกฎเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ ทั้งแต่ระดับอนุภาค ระดับโมเลกุลไปจนถึงทั้งจักรวาล ปฏิกิริยาทางเคมี ระหว่างอะตอมและโมเลกุล อันเชื่อมโยงกันอย่างลึกซึ้ง ครอบคลุมทั้งวิถีชีวิต รวมถึงแนวความคิดพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีความสำคัญและมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน ตลอดจนศึกษาถึงประเด็นของการถกเถียงที่สำคัญๆ เกี่ยวกับพรัอมแคนต์แห่งความรู้ ระหว่างวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับลัทธิ และความเชื่อ รวมถึงแนวคิดลัทธิ

#### เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 0 - 4423 - 3063 โทรสาร 0 - 4423 - 3064

E-mail : rmuti.journal@gmail.com

#### พิมพ์เผยแพร่ปีละ 3 ฉบับ

ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เดือนเมษายน

ฉบับที่ 2 ประจำเดือนพฤษภาคม - เดือนสิงหาคม

ฉบับที่ 3 ประจำเดือนกันยายน - เดือนธันวาคม

ทั้งนี้ คั้งแต่ ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เดือนเมษายน 2558 เป็นต้นไป

#### ลิขสิทธิ์

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ ถือเป็นลิขสิทธิ์ของ วารสาร มทร.อีสาน และบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่ง มิใช่เป็นความคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมิใช่เป็นความรับผิดชอบของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

#### พิมพ์ที่

บริษัท สมบูรณ์การพิมพ์ จำกัด

โทรศัพท์ 044 - 954222 - 6

จำนวนพิมพ์ 350 เล่ม เดือนสิงหาคม 2561

**วารสาร มทร.อีสาน**  
**RMUTI JOURNAL**

**ที่ปรึกษาของบรรณาธิการ**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ลิ้มไขแสง  
อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ดร.อนิวรรต ทาสุข

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

รองศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย พุทธวงศ์

ประธานหลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**บรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ**

ศาสตราจารย์กิตติคุณ อร่วง	เปรมปรีดี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.พิรศักดิ์ ศรีนิเวศน์	สมบัติสมgap	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์	จุฑากेतุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง	ชุดima	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ปาร์เมค	เมนะเควด	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.เบี่ยมศักดิ์	ลิ้มสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ์	เหล่าสุวรรณ	มหาวิทยาลัยหาดใหญ่
ศาสตราจารย์ ดร.ไฟศาล	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.เมธा	ประلمพ์กาญจน์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ศาสตราจารย์ ดร.วินัย	ปฤทุมนาคกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย	จักรใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ลำเรือง	โภษภรณฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ	เบญจกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.สุทธอรักษ์	ลิ่มกตัญญู	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ	นัยวิกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์	อินทรพิเชฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.กนกอร	ชำนิประศาสน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.กนต์ธร	ราศุทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์	ราเรบุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา	ลุขน้อย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.ตะวัน	สุคลลังษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
รองศาสตราจารย์ ดร.นิรัช	แพpengคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์	กอเจริญ	วิทยาลัยเทคโนโลยีจิตรลดา
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา		

## บรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ (ต่อ)

รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส	ชัยจันทร์	มหาวิทยาลัยวัลลภษณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติกร	ยิมนิรัณ	สถาบันวิทยบริเมธี
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย	ลิงท์ยะบุคก์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ	เคชะปัญญา	มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์	คุลย์จินดาชนาพร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร	ไชยะ	94/7 หมู่บ้านวนาแลนด์ ซอย 5 ถนนสุวินทวงศ์ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000
รองศาสตราจารย์ ดร.ลิทธิชัย	แสงอาทิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ กานุจนา	ตันสุวรรณรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ อุดมศักดิ์	สาริบุตร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

## บรรณาธิการ

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรี วงศ์ไตรรัตน์**

**รองผู้อำนวยการฝ่ายบริหารงานทั่วไป**

**สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน**

### **ผู้ช่วยบรรณาธิการ**

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต	กฤตาคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์กานุจนา	ตันสุวรรณรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรลิธิ	วสุพ์ญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติสุชา	สมนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักษดา	ธารงค์กุลวิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล	สมนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิพันธ์	วงศ์สุทธาราivas	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา	อุ่นเรือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์	อัศวลุชี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.จาเรพงษ์	บรรเทา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.ชาครวิ特	นวลจิมพลี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.ชนิดา	เยรัมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.ณรงค์ศักดิ์	โยอา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.เยาวพา	ความทมั่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.สุกัญญา	คำหล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

## กองบรรณาธิการบริหาร

รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโขติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.สันน์ การค้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โมนิก ครีภูธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชิต สุทธิพิร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำเนาว์ เสาภูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
นายปริญ นาชัยลิทิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

## ฝ่ายจัดการและธุรการ

นางสาวอรุณรักษ์ ตีราชรัมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
นางสาววีรนุช กุบโคกกรวด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
นางสาวสุภาภรณ์ พิมสุค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

## รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ (Peer Reviews) ประจำฉบับ

รองศาสตราจารย์ ดร.กัมปนาท ภักดีกุล	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนัดชัย กุลวรรณิชพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณีต งามเส้นท์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.พนิต ภู่จินดา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทร เพ่งธรรมกิรติ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญาณันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ วิโรจนกุญ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวัฒน์ ลาวัณย์วิสุทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพศรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนีรัตน์ พุกุดะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัมปนาท เทียนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ พระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ศิริรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานน พิทิมภัทร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน สีดาท้าว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุหรัน พันธุ์สวัสดิ์	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ฉายบุ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุช อุณฑเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณาวิลัย วิทยากร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิปัจจุบันที่ประเมินบทความ (Peer Reviews) ประจำฉบับ (ต่อ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรุณิ	มรรคเจริญ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อําไพศักดิ์	เชื้อชวด ชัยลิทธิ์	มหาวิทยาลัยเรศวร
ดร.พิมพา	ทันบุญมา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.เชิดศักดิ์	สุขศิริพัฒนพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.จาระ	สุวรรณชาต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.จักราชุธ	ตันสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.จักรชดา	ธารงค์วุฒิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.พรเทพ	โ戎นวสุ	มหาวิทยาลัยพะเยา
ดร.วิทยา	เรืองฤทธิ์	สำนักงานนโยบายและพัฒนาเมือง จังหวัดนราธิวาส

## สารบัญ

### บทความวิจัย

- A Watering Controller System in Mixed Garden Based on Temperature and Moisture by Case Base Reasoning Technique via Wireless Network 1

Thammakorn Krongtripop, Putthiphong Kirdpipat and Witaya Srigul

- Lower Density Solvent-Based Dispersive Liquid-Liquid Microextraction for the Determination of Benzoic Acid 14

Panida Surawongtakoon, Plaichumpon Paha and Worapan Pormsila

- เทคนิคการใช้ UAV ในการเก็บข้อมูลเพื่อการวางแผนและผังพัฒนาพื้นที่ กรณีศึกษา ถนนจอมพล 25

### จังหวัดนครราชสีมา

อภินันท์ ลีม่วงงาม

- การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเทคนิคనิรვ้อนเน็ตเวิร์ก ชัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนและนิวโรฟิชชี 40 กับการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว เพื่อวิเคราะห์และแยกแยะสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า

อดิสรณ์ กำลังเพชร และประจวบ อินระวังค์

- การใช้ตัวถอนที่ได้จากการขุดลอกหะเลเป็นวัสดุทดแทนในงานทาง 56 วรรณราวงศ์ รัตนานิคม และสยาม ยิ่มคิริ

- การประเมินสภาพธรณิวัทยาแหล่งน้ำพุร้อนด้วยเทคนิคการวัดค่าความด้านทานไฟฟ้า 73 ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง, ชนะรบ วิชาลัย และอรรรรณ จันทสุทธิ

- ปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงจากเห็บมันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิเดซ์เบด 88 วิริยะ แดงทน และเกยูรุ ดวงอุปมา

- การศึกษาคุณสมบัติความเข้มและความหนาต่อแรงกระแทกของพื้นอิฐอิฐขนาดใหญ่ในคอมโพสิตจากวัสดุทางเลือก 100 เบนจิต เสนา, ชัยภัทร เครือหงส์ และสายฝน เครือหงส์

- การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงในพื้นที่อำเภอเสนาง 114 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

วัชรากรณ์ ตันติพนาทิพย์

- ระดับความเข้มของพื้นผิวย้อมสีครามธรรมชาติกับการป้องกันรังสี UV 129 อ้อยทิพย์ ผู้พัฒนา

- คุณภาพน้ำหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำคลองโอบอ่าง 142 อุทุมพร สมพงษ์

- การเปรียบเทียบเทคนิคօนุกรรมเวลาเพื่อพยากรณ์ราคาทองและราคาน้ำมัน 154 วิบูล ภูมิ และ Jarvis ทองคำ

## Table of Contents

### Research Articles

<b>A Watering Controller System in Mixed Garden Based on Temperature and Moisture by Case Base Reasoning Technique via Wireless Network</b>	1
Thammakorn Krongtripop, Putthiphong Kirdpipat and Witaya Srigul	
<b>Lower Density Solvent-Based Dispersive Liquid-Liquid Microextraction for the Determination of Benzoic Acid</b>	14
Panida Surawongtakoon, Plaichumpon Paha and Worapan Pormsila	
<b>Using sUAV for Data Collection in Planning A Case Study of Jompol Road, Nakhon Ratchasima</b>	25
Apinan Seemuangngam	
<b>Efficiency Comparison of Neural Networks, Support Vector Machine and Neuro-Fuzzy with Fast Fourier Transform for Waveform Analysis and Classification</b>	40
Adisorn Kamlungpetch and Prajuab Inrawong	
<b>Dredged Marine Sediment used for Pavement Material Substitution</b>	56
Wanwarang Ratananikom and Siam Yimsiri	
<b>Geological Evaluation of Hot Springs by Electrical Resistivity Measurement Techniques</b>	73
Narongchai Wiwattanachang, Chanarop Vichalai and Orawan Jantasuto	
<b>Energy Yields of Fuel Gas from Cassava Rhizome in a Fluidised-Bed Reactor</b>	88
Wiriya Dangton and Keyoon Duanguppama	
<b>Hardness and Impact Resistance Study of Flooring Epoxy Nanocomposites from Alternative Materials</b>	100
Khemajit Sena, Chaiyaput Kruehong and Saifon Kruehong	
<b>Water Footprint Assessment of Red Tilapia Production from Fishery Farms in the Sena Districts, Phranakhon Si Ayutthaya Province</b>	114
Watcharaporn Tantipanatip	
<b>Intensity of Natural Indigo Dyed Cotton Fabrics with UV Protection</b>	129
Oiytip Pupatana	
<b>Water Quality After Removing Shops at Klong Ong Ang</b>	142
Utumporn Sompong	
<b>Comparison of Time Series Techniques for Predicting Gold and Oil Prices</b>	154
Vibol Nhek and Jaree Thongkam	



## A Watering Controller System in Mixed Garden Based on Temperature and Moisture by Case Base Reasoning Technique via Wireless Network

Thammakorn Krongtripop<sup>1\*</sup> Putthiphong Kirdpipat<sup>2</sup> and Witaya Srigul<sup>1</sup>

Received: June, 2017; Accepted: September, 2017

### Abstract

The purpose of research is to construct paper watering controller system in mixed garden based on temperature and moisture by Case Base Reasoning (CBR) technique via wireless network. The hardware design is an embedded system under Arduino Uno R3 microcontroller which interfaces with sensor and transducer. This microcontroller is able to control temperature and supply the water to vegetable if all information from sensor and transducer are corresponding to the type of vegetable and other parameters in CBR system. The theory of CBR is capable of classifying all data and sequence of all data such as type of vegetable, the appropriate temperature and soil moisture in order to control the watering system. Our system has also communication between all sensor nodes and server computer via Xbee wireless modules which may reduce wire installation. As the experiments, we tested our watering system with Chinese morning glory thereby comparing with the watering systems by using the timer and worker respectively. The results show that CBR method can enhance the growth of Chinese morning glory more than those of other methods. We observe that average height of Chinese morning glory in CBR method is greater than the watering

<sup>1</sup> Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

<sup>2</sup> Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok

\* Corresponding Author E - mail Address: Thammakorn@rmuti.ac.th

systems by using the timer and worker approximately 16.51 percents and 20.82 percents respectively. This CBR method may also support all gardeners due to their flexibility and convenience to various mixed vegetable gardeners.

**Keywords:** Arduino Uno R3; Sensor Node; Watering System; Case Base Reasoning; Chinese Morning Glory

## Introduction

Nowadays, water shortage in the north-eastern part of Thailand is becoming a national issue saw many years ago [1]. This is because in summer season the weather is so hot and the rain doesn't fall which causes the rivers to dry out the water. Farmers and gardener grow rice and some vegetables but they get low agricultural outputs. The produce is usually not enough for consumers and there are also high prices. Previously, gardeners used workers to water all vegetables in the mixed garden. After the electronic technology was developed gardener use timer system to control watering system. It has been observed that those of watering systems may not be suitable and there are some restrictions. For example, the watering systems by worker and timer may not consider the requirement of each vegetable in mixed garden. This means that the worker or timer system will supply the water according to the function or time period only. Sometimes the vegetables may not require the water but worker or timer system will control and supply the water to vegetables. This is also a cause of water shortage in summer season. In agriculture research, several articles have proposed various scenarios such as [2] - [3] the monitoring systems (soil moisture and temperature). Those applications are under microcontrollers which apply Xbee wireless modules to communicate between sensor nodes and master nodes. The objectives of those papers have been proposed for data acquisitions. However, those methods may not peruse the watering systems. Mahamai, P. et al. [4] have proposed automatic watering using solar PV tracking to the longan. This application is suitable for areas without electricity system. The research in [5] proposed an automatic watering system via wireless network based on Arduino Uno R3 microcontroller and Xbee wireless module. The concept of this work proposed the measurement of soil moisture to control the watering of vegetable. In addition, the satisfaction of user and maximum transmission range of wireless communication are also considered. Some researchers have proposed microcontrollers based irrigation systems for solving a serious problem of food in India [6] - [7]. Nevertheless, those of previous researches [4] - [7] did not peruse all factors such as

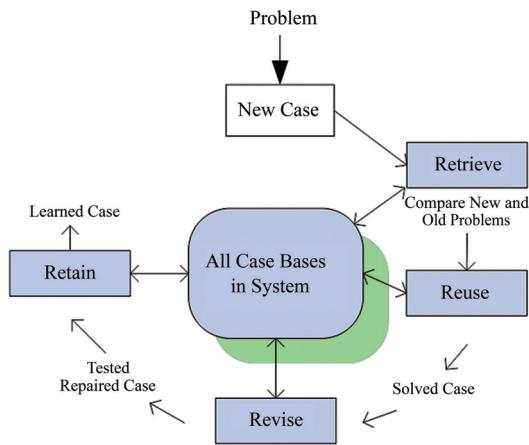
type of vegetable, temperature and soil moisture. Those methods might not be flexible for mixed gardens if there are various vegetables. We consider that those of all factors may also improve the growing up of vegetables and provide more agricultural outputs. A watering system of various vegetables in mixed garden should be modified. This is because each vegetable may require a different soil moisture and temperature for improving the growing up. A watering system may depend on all those factors.

In this paper, we present a watering controller system in mixed garden based on temperature and moisture by Case Base Reasoning (CBR) technique via wireless network. The Case Base Reasoning is a method which may apply to several researches. However, a watering system in crap production based on Case Based Reasoning may not be found but there is in fish farming [8]. Our research, applies the sensor and transducer thereby interfacing with Arduino Uno R3 microcontroller which sends all information to server computer via wireless network. The decision of Case Base Reasoning in server computer will classify all data such as type of vegetable, temperature and soil moisture. The result of decision will be replying to sensor node in order to control the solenoid valve, cooling pad and heating if the humidity and temperature of vegetable are not suitable. By this reason, the growing up of vegetable may be improved.

## **Case Based Reasoning**

Case Base Reasoning (CBR) [9] - [10] is an expert system that uses old knowledge in the past to solve a new problem. This concept looks like the idea of human. The first step of CBR method investigates the problem in the system thereby comparing new problem and old problem as shown in Figure 1. This first step is called retrieve process. The similarity of those problems will be reused to solve problems. Otherwise, the system will revise for testing and repairing the case. Then, the retain process will be learned case. Normally, it comprised of retrieve, reuse, revise and retrain processes. The advantage of CBR method may apply in the medical, engineering, finance and education.

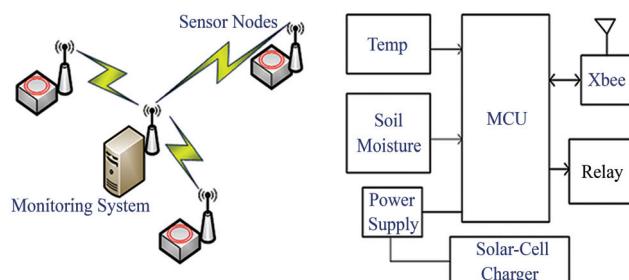
Our work is a watering system in mixed garden which consists of several vegetables and there are various parameters to control in each vegetable such as soil moisture and temperature. So that, this research is able to apply CBR technique in mixed garden because each vegetable may require different parameters in order to control the watering system to many vegetables in mixed garden. The database of this concept may require all case bases that contain more old cases or old problems for retrieving and solving based on various conditions of each vegetable in the watering system.



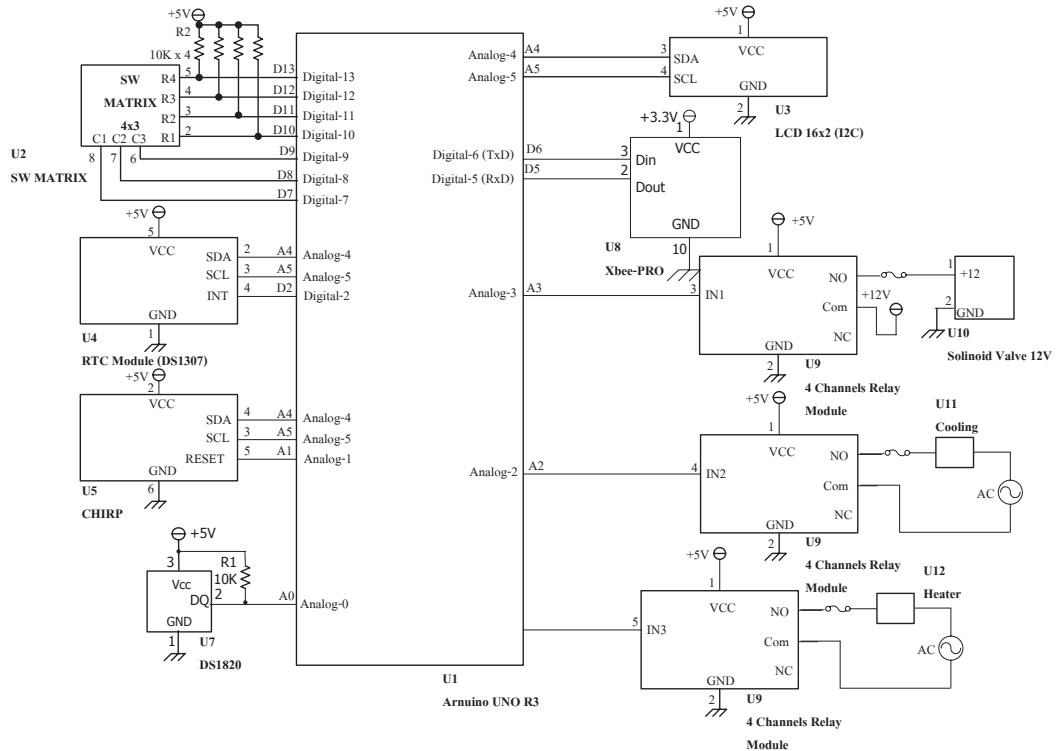
**Figure 1** Case Base Reasoning

## Hardware Design

The system design is based on star topology that composes of several sensor nodes and one server computer as shown in Figure 2. Each sensor node is a Micro-Controller Unit (MCU) which gets several inputs from temperature sensor and soil moisture sensor. It also interfaces via Xbee wireless module which reduces wire installation to server computer. The relay module is used for controlling soil moisture, heating and cooling pad. The solar cell charger supports the power system if the main electricity system has a problem.



**Figure 2** The structure of the watering system in mixed garden



**Figure 3** Sensor node

Figure 3 depicts a more detail hardware circuit. Arduino Uno R3 [11] is a microcontroller that interfaces with matrix switch for data entry. The DS1307 [12] is a real time clock which is displayed on LCD. The chirp module is soil moisture sensor and DS1820 [13] is a temperature sensor. There are four channels of relay in order to control many outputs. The first output is a solenoid valve which supplies the water to the soil. The other relays are used for controlling temperature by heating and cooling. The Xbee module [14] is a wireless communicator to server computer.

## The Necessary Parameter in Agriculture

Many parameters may be important to the growing up of all vegetables in the agriculture. All gardeners should know and control those of parameters like temperature and soil moisture in the agriculture. Because each vegetable may require a different appropriate value. The gardeners may get more agricultural outputs if they control those of appropriate parameters. We have some examples of those parameters in each vegetable [15] as shown in Table 1.

**Table 1** Appropriate of each parameter in agriculture

Type of Vegetable	Temperature	Soil Moisture
Chinese Morning Glory	25 - 35 °C	Much
Chinese Kale	25 - 30 °C	Moderate
Chinese Cabbage	20 - 25 °C	Much
Asparagus	20 - 30 °C	Moderate

All parameters of Case Base Reasoning may be related to hardware control i.e., the status of solenoid vale to control soil moisture and temperature (Cooling pad and Heating). We have some examples in our system as shown in Table 2.

**Table 2** All parameters which are related to the status of hardware

Type of Vegetable	Moisture	Temp (Min)	Temp (Max)	Solenoid Valve	Status
Chinese					
Morning Glory	Little	0 °C	24 °C	On	Heating-On
	Quite a little	25 °C	35 °C	On	-
	Moderate	36 °C	50 °C	On	Cooling-On
	Rather	-	-	On	-
	Much	-	-	Off	-
Chinese Kale	Little	0 °C	24 °C	On	Heating-On
	Quite a little	25 °C	30 °C	On	-
	Moderate	31 °C	50 °C	Off	Cooling-On
	Rather	-	-	Off	-
	Much	-	-	Off	-
Chinese Cabbage	Little	0 °C	19 °C	On	Heating-On
	Quite a little	20 °C	25 °C	On	-
	Moderate	26 °C	50 °C	On	Cooling-On
	Rather	-	-	On	-
	Much	-	-	Off	-
Asparagus	Little	0 °C	19 °C	On	Heating-On
	Quite a little	20 °C	30 °C	On	-
	Moderate	31 °C	50 °C	Off	Cooling-On
	Rather	-	-	Off	-
	Much	-	-	Off	-

## Software Development

We also develop all software by using Visual C# [16] which has several functions in the main program such as plant function, writing function, reading function, status function and connecting function. The plant function is used for adding, editing and erasing the type of vegetable. The writing function is able to send all information to control the sensor node i.e., operation mode, type of plant and the values of temperature and humidity. The reading function can check the operation of sensor node like the values of temperature and humidity, operation mode and plant. The status function shows the operation status of sensor node such as control mode, temperature, humidity, soil moisture, the increasing and decreasing of temperatures. The connecting function connects the wireless module which can assign the port and speed of communication. However, algorithm of Case Base Reasoning has more significant than the others. The basic concept of solution for a new problem is comparing the similarity between new problem and old problem in CBR system such as type of vegetable, temperature and soil moisture. The example of searching is shown as follows:

If the type of vegetable is correct then...

If the temp is low, then increase temp (Heating)

If the temp is high, then decrease temp (Cooling pad)

If the soil moisture is low, then start solenoid valve

If the soil moisture is high, then no action

In this article, we find the similarity of problem under Euclidian equation [17]. This method is to consider the distance between the present problem and old problem. If distance is nearly that means those problems are similarity. This distance can be expressed as in

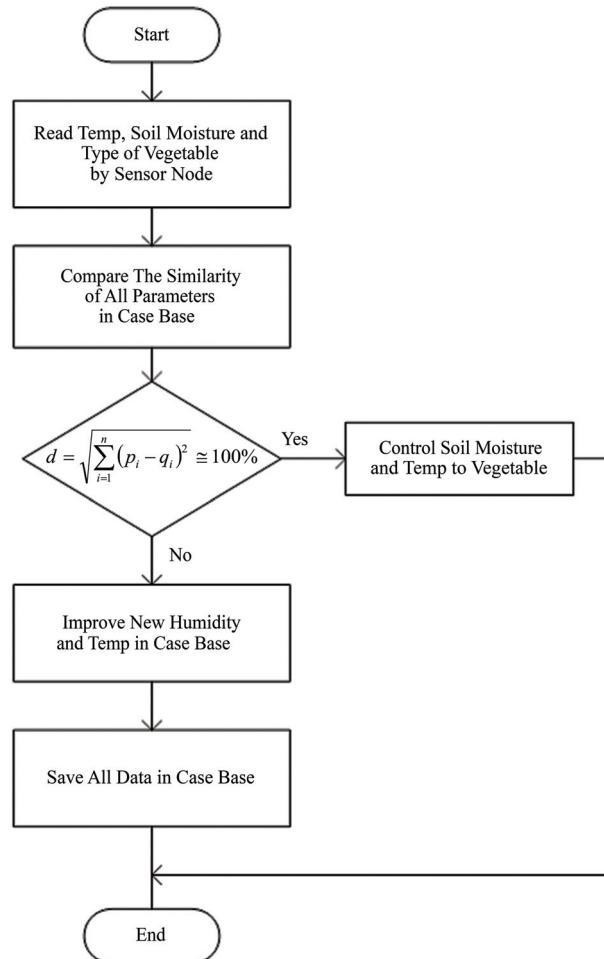
$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (1)$$

Where  $d$  is the distance between the present problem and old problem

$p_i$  is the value of each present problem

$q_i$  is the value of each old problem

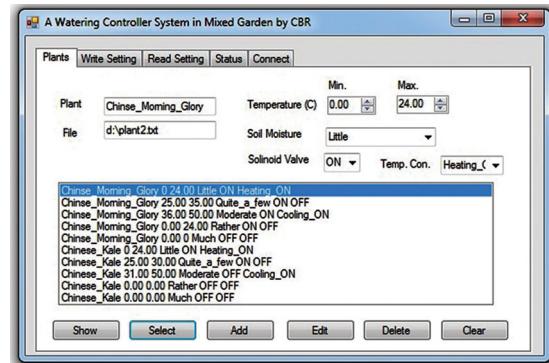
$n$  is the maximum of number sequence



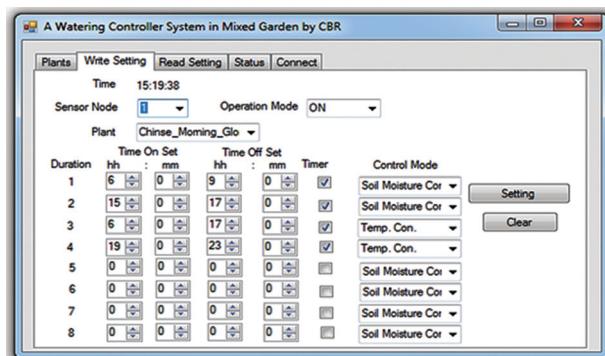
**Figure 4** Algorithm of main program

Figure 4 shows the algorithm of the main program, we start at the sensor node which gets temperature, soil moisture from both sensors and type of vegetable. Then, the similarity comparison of all factors will be perused based on equation (1). The controlling of soil moisture and temperature of vegetables will be obtained if the distance in equation (1) is approximately 100 percent. Otherwise, the system will improve new humidity and temperature in the case base before saving all data according to the retain process.

Figure 5 and Figure 6 describes more details of some functions. The plant function consists of many types of plants such as Chinese morning glory, Chinese kale, Chinese cabbage and Asparagus.



**Figure 5** All cases in Chinese morning glory



**Figure 6** All parameters for controlling sensor node

This function assigns the soil moisture into 5 levels like little, quite a little, moderate, rather and much. The temperature control sets the value between 0 °C and 100 °C. The temperature control is capable of controlling the status of heating, cooling and off respectively. The status of solenoid sets on and off. The writing function defines the maximum number of sensor nodes equal to 10 nodes. The operation mode of the sensor node is able to set on and off. There are 5 control modes i.e., the mode of watering control on the time, the mode of watering control based on soil moisture, the temperature control mode on the time, the mode of increasing and decreasing temperatures.

## Experiments

We implement our work by means of measuring the growth of Chinese morning glory based on watering by comparing with the timer system and worker. This experiment may not be fair with timer system and worker. However, this is the first experiment in the mixed garden where there was no one to implement the hardware. We need to know

the result under basic methods of gardening. Therefore, the timer system and worker may be considered. Although there are many vegetables in mixed garden, we perused only Chinese morning glory for first case study. Typically, the Chinese morning glory requires temperature approximately 25 °C to 35 °C and much soil moisture. We randomized the number of Chinese morning glories to 5 lines per each day for measuring average high. We have also recorded all results until 14 days of this experiment. We studied more parameters in our experiment as shown in Table 3.

**Table 3** All parameters for experiment

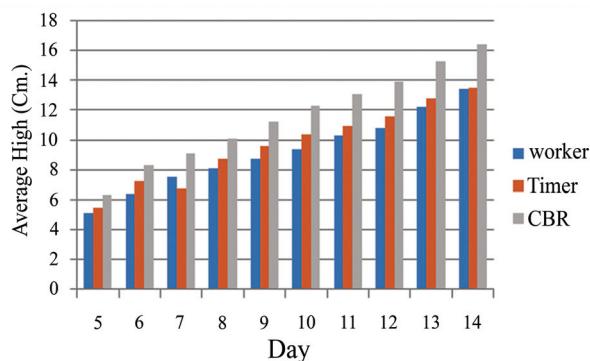
Parameter	CBR	Timer System	Worker
Type of Vegetable	Chinese Morning Glory	Chinese Morning Glory	Chinese Morning Glory
Total Number of Vegetables	15 Lines	15 Lines	15 Lines
Method of Agriculture	Flowerpot	Flowerpot	Flowerpot
Total Days of Experiment	14 Days	14 Days	14 Days
Number of Flowerpots	1	1	1
Size of Flowerpot	25 x 12 Cm.	25 x 12 Cm.	25 x 12 Cm.
Temperature	$\geq 25^{\circ}\text{C}$	Nature	Nature
Soil Moisture	Much	Nature	Nature
Number of Times of Watering per Day	2 Times (Morning and Evening)	2 Times (Morning and Evening)	2 Times (Morning and Evening)
Volume of Water per Day	280.42 ml.	661.78 ml.	661.78 ml.
Type of Soil	Sandy Loam	Sandy Loam	Sandy Loam
Ratio of Soil	1 : 1	1 : 1	1 : 1

## Results and Discussion

Table 4 persents all results between 5<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup> days of period, the growing up of Chinese morning glory of each method may be different. We recorded the average high of Chinese morning glories for each day; they were measured randomly. All results in terms of graph are shown in Figure 7.

**Table 4** Result of all experiments

Day	Worker (Cm.)	Timer System (Cm.)	CBR (Cm.)
5	5.06	5.46	6.32
6	6.36	6.78	8.30
7	7.52	7.74	9.10
8	8.08	8.70	10.06
9	8.72	9.58	11.20
10	9.34	10.38	12.26
11	10.30	10.96	13.10
12	10.82	11.56	13.90
13	12.24	12.76	15.28
14	13.42	13.46	16.42

**Figure 7** Average high versus various days

Our results in Figure 7 illustrates the growth of Chinese morning glory on 5<sup>th</sup> to 14<sup>th</sup> days of period. We can see that CBR technique may provide average height more than those of the timer system and worker. This is because CBR technique controls the appropriate temperature and soil moisture. The Chinese morning glory may grow up continuously in the suitable environment. Nevertheless, the result of the time system is better than worker since the timer system may supply the water on the time every day but the watering by worker to vegetable may delay. By this reason, the growth of the Chinese morning glory of worker may not be continuous. Moreover, those of both methods may not control the temperature and soil moisture in the appropriate environment.

## Conclusions

We have proposed a watering controller system in mixed garden based on temperature and moisture by Case Base Reasoning (CBR) technique via wireless network. Arduino Uno R3 microcontroller has applied interfacing to temperature sensor and soil moisture sensor at the sensor node. This sensor node can send all information to the computer server via wireless communication module in order to process according to each type of vegetable, temperature and soil moisture based on CBR method. We have also tested our watering system under CBR technique to Chinese morning glory by comparing with the watering systems by timer and worker. As the results, showed that our method can provide an average height of Chinese morning glory greater than those of timer system and worker approximately 16.51 percents and 20.82 percents respectively. This system is also convenient and suitable for various vegetables in the mixed garden because it can reduce the complexity of wire installation and it's easy to apply even if the user is not a gardener.

## Acknowledgements

We would like to thank Rajamangala University of Technology Isan (Nakhon Ratchasima), Thailand in order to support all budgets of this research project and computer engineering department, faculty of engineering and architecture of our university which provides experiment place until this research has finished successfully.

## References

- [1] Thanopanuwat, S. (2017). **Sustainable Solution for Northeast Thailand Water Shortage and Drough Mitigation**. Access (19 April 2017). Available (<http://www.iwhr.com/zgskyww/rootfiles/2010/07/14/1276836877854933-1278667382022907.pdf>)
- [2] Chavan, C. H. and Karande, P. V. (2014). Wireless Monitoring of Soil Moisture, Temperature & Humidity using Zigbee in Agriculture. **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)**. Vol. 11, Number 10, pp. 493-497
- [3] Gaikwad, S. V. and Galande, S. G. (2015). Measurement of NPK, Temperature, Moisture, Humidity using WSN. **International Journal of Engineering Research and Applications**. Vol. 5, Issue. 8, (Part - 3). pp. 84-89
- [4] Mahamai, P., Panyoyai, N., and Wacharadumrongsak, P. (2014). Automatic Watering System using Solar PV Tracking. **RMUTP Research Journal**. Vol. 8, No. 2, pp. 15-26

- [5] Thongpan, N. and Thaingpak, T. (2016). Automatic Watering Systems via Wireless Sensor Network. **The 2<sup>nd</sup> National Conference on Technology and Innovation Management NCTIM 2016**. Rajabhat Maha Sarakham University, 30-31 March 2016. pp. 77-84
- [6] Kumbhar, S. R. and Ghatule, A. P. (2013). Microcontroller Based Controlled Irrigation System for Plantation. **Microcontroller based Controlled Irrigation System for Plantation, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists**. Vol II, IMECS 2013, March 13 - 15, 2013, Hong Kong.
- [7] Singh, S., Upreti, S., Sarkar, P., and Jain, Y. (2015). Arduino Based Automate Watering System. **International Journal of Innovative Research in Technology**. Vol. 2, Issue 6, pp. 419-420
- [8] Tidemann, A., BjØrnson, F. O., and Aamodt, A. (2011). **Case-Based Reasoning in System Architecture for Intelligent Fish Farming**. Access (19 April 2017). Available (<http://www.idi.ntnu.no/~agnar/publications/scai2011-tidemann.pdf>)
- [9] Eremeev, A. and Varshavskiy, P. (2008). Case-Based Reasoning Method for Real-Time Expert Diagnostics System. **International Journal “Information Theories and Applications”**. Vol. 15, Number 2, pp. 119-125
- [10] Aamodt, A. and Plaza, E. (1994). Case Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. **AI Communications**. Vol. 7, No. 1, pp. 39-59
- [11] Evans, B. (2017). **Beginning Arduino Programming (Writing Code for the Most Popular Microcontroller Board in the World)**. Access (19 April 2017). Available (<http://www.hfremote.us/files/Arduino.pdf>)
- [12] Ghatte, N., Pereira, V., Dattaprasad, M., and Surwadkar, T. (2014). Real-Time Clock Implementation using I<sup>2</sup>C Protocol Check. **International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering**. Vol. 3, Issue 1, pp. 6511-6516
- [13] Lbrahim, D. (2009). **Design of a Multichannel Temperature Data Logger with SD Card Storage**. Electronics World, Data Logging. pp. 26-32
- [14] Maqbool, S., Chandra, N., and Dagadi, S. (2013). ERPWS: An Energy Efficiency Routing Protocol for Conductive Sensor based Water Level Monitoring and Control System using Zigbee and 7HC14 Inverter. **IJMECS**. Vol. 5, No. 6, pp. 31-41. DOI: 10.5815/ijmeecs.2013.06.05
- [15] Bureau of Agricultural Commodities Promotion and Management. (2008). **Planting Guide**. Access (11 January 2017). Available (<http://www.agriman.doe.go.th/home/t.n/t.n1/11th.html>)
- [16] Sharp, J. (2013). **Microsoft Visual C#**. Access (24 November 2016). Available (<https://mitseu.wordpress.com/c-net/>)
- [17] pbarrett.net. Advanced Projects R&D. (2005). **EUCLIDEAN DISTANCE pbarrett.net**. Access (14 May 2017). Available (<http://www.pbarrett.net/techpapers/euclid.pdf>)



## Lower Density Solvent-Based Dispersive Liquid-Liquid Microextraction for the Determination of Benzoic Acid

Panida Surawongtakoon<sup>1</sup> Plaichumpon Paha<sup>1</sup> and Worapan Pormsila<sup>1\*</sup>

Received: October, 2016; Accepted: October, 2017

### Abstract

A lower density solvent-based dispersive liquid-liquid microextraction (DLLME) was optimized for the determination of benzoic acid in fruit juices by HPLC-UV method. The type and volume of lower density of extraction and dispersive solvents were investigated. A 0.5 mL octanol was found to be an optimal extraction solvent, and a 2.0 mL acetonitrile was suitable as dispersive solvent. An extraction procedure was applied for extraction of benzoic acid from three orange juice samples, which was purchased from the local market. An optimal HPLC condition was achieved under a mixture condition of methanol and 1 % acetic acid (97 and 3) was found as an optimal mobile phase. The method was validated under the optimized conditions of the extraction and the determination. The good linearity with  $R^2$  0.9939 was obtained in the concentration range of 25 - 1000 mg/L. The relative standard deviations (%RSD) of retention time and peak area were acceptable. The LOD was 2.2 mg/L and the recovery was satisfied ( $104\pm7\%$ ). The results show that the extraction and the determination were efficient for determining of benzoic acid.

**Keywords:** DLLME; Benzoic Acid; Fruit Juices; HPLC

<sup>1</sup> Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok

\* Corresponding Author E - mail Address: worapan.p@mail.rmutk.ac.th

## Introduction

Benzoic acid, a chemical preservative, has always been of great importance for inhibiting various bacteria, yeasts and fungi growths. It is widely used as a food preservative where it is most active in foods or drinks of low pH value. For humans, the WHO's International Programme on Chemical Safety (IPCS) suggests that a provisional tolerable intake would be 5 mg/kg body weight per day. Even though the acute toxicity of benzoic acid is low, the monitoring of benzoic acid in beverages has great importance with respect to estimation of the risks of customers. Benzoic acid derivatives are known to cause non-immunological contact reactions (pseudoallergy). Moreover, the maximum concentrations reported for preservation purposes have been limited in the range of 2000 mg/kg of food [1].

There are several methods available for the determination of benzoic acid in foods and beverages. Spectroscopic methods have been performed for determining, however, the methods are not specific and need extensive extraction process. Chromatographic methods (GC and HPLC) are sensitive and specific; they are frequently applied to determine benzoic acid [2] - [5]. The determinations of benzoic acid in various foods have been commonly employed by HPLC technique because it offers high specificity with minimal preparation and does not require derivatization as same as GC method. Many extraction procedures of benzoic acid from various samples have been presented with minimal preparation. Liquid-liquid extraction (LLE) methods have been mostly reported with ethanol or/and methanol as optimal extraction solvents [6] - [7]. Using ethanol or/and methanol for extraction, an emulsion was however obtained in some food stuff samples (fats or sauces) [8] which affects to extraction efficiency. The defatting processes can be applied to remove oil from liquid-containing samples using hexane [9]. An ultrasonic extraction was also presented for extraction of benzoic acid in soft drinks [10], and it also helps to reduce the consumption of reagents compared to LLE. However, the efficiency of an ultrasonic extraction is depended on many parameters such as solvent composition, extraction time, or sample load. A very sensitive and effective method as solid phase extraction (SPE) was presented for separation of benzoic acid in wines and distillates as Ref. 3.

One of the attractive extraction methods is dispersive liquid-liquid microextraction (DLLME), which was explored in 2006 by Rezaee and co-workers [11]. An extraction is a simple and fast microextraction method, which is based on the use of a few volumes of reagents. A method is obtained under two systems of organic solvent; one is extraction solvent and the other is dispersive solvent. The extraction of organic solvents with high density such as chloroform, dichloromethane or carbontetrachloride have been

commonly used but their toxicity must be realized. The lower density of extraction solvent was studied in this work. The dispersive solvents with high miscibility in both organic and aqueous phases such as methanol or acetonitrile have been mostly obtained. The mixture of extraction and dispersive solvents is rapidly injected into sample solution, the very small droplets as cloudy are obtained. A cloudy solution appears on the surface area between the organic phase and aqueous sample, which become large and achieve the equilibrium state in short period. A solution is then centrifuged, and a phase separation later occurs.

An organic phase is collected for determination. The advantages of DLLME include simplicity of preparation, rapidity, low cost, high recovery, high enrichment factor and environmental benignity [12]. Following the advantages of DLLME method, it is achieved for extraction of benzoic acid in milk using Carrez solutions [13] and in beverage samples using ethanol and chloroform conditions, and they were later quantified by GC-FID [14]. In water samples, a mixture of acetonitrile and 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate [ $C_4MIM][PF_6]$ ] is optimal for extracting benzoic acid via ionic liquid cold-induced aggregation dispersive LLME (IL-CIA-DLLME) procedure [15].

To explore our knowledge, we decided to take the advantages of DLLME method combined with HPLC methods for determination of some preservatives. We optimized the extraction parameters using the lower density and lower toxicity than water and chlorinated solvent, respectively. A method was then applied for determination of benzoic acid in aqueous media of fruit juices.

## Materials and Methods

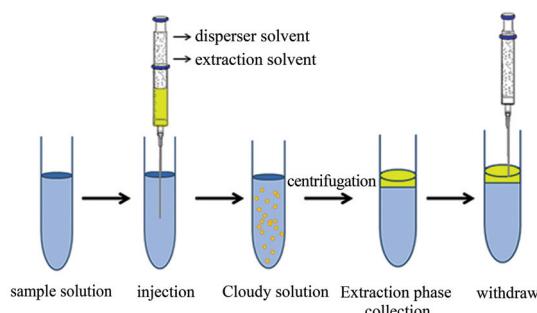
### 1. Chemicals and Reagents

Most of the chemicals were of analytical grade. Chloroform, acetone and sodium chloride were purchased from Ajax Finechem (Australia). Diethylether was from BDO Laboratory supplies (United Kingdom). Ethanol, carbon tetrachloride and acetic acid were obtained from Merck (Germany). Octanol was from APS Chemical Limited, Laboratory (Australia). The HPLC grade of methanol and acetonitrile were purchased from RCL Laboratory Limited (Thailand).

### 2. DLLME procedure

DLLME was performed under the optimal conditions as follows: 5.0 ml of fruit juice sample was pipetted into a 10 mL centrifuge tube. A mixture of 0.5 mL octanol as an extraction solvent and 2.0 mL acetonitrile as a dispersive solvent was rapidly injected into the tube of sample. The cloudy solution from tiny dispersed droplets of solvent (water/

octanol/acetonitrile) was formed after injection. The solution was shaken and then centrifuged for 6 min. The phase separation between aqueous and organic was obtained. Octanol is lighter than aqueous sample, the top layer of organic solvent was presented. The upper layer of organic solvent was later collected before injecting to HPLC system. A DLLME steps is shown in Figure 1.



**Figure 1** DLLME steps

### 3. Instrumentation

Chromatographic determination was performed by HPLC system (Waters w6007172424) equipped with UV-V is detection (Waters 2489) at 254 nm. The HPLC conditions were carried out under proper conditions using RP-HPLC column (C18 Waters, 150 mm × 4.6 mm I.D., 5 µm). An optimal mobile phase of methanol : 1 % acetic acid (97 : 3) was run using an isocratic elution with a 1.0 mL/min flow rate. All standard solutions and juice samples were injected to HPLC system at 20 µL. The retention time of benzoic acid was less than 4 min, presented under these conditions.

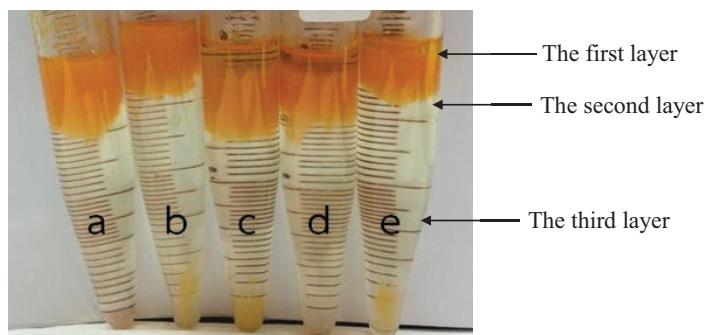
## Results and Discussion

### 1. DLLME optimization

#### 1.1 Effect of extraction solvent

The efficiency of DLLME is involves various parameters, including type and volume of both extraction solvents and dispersive solvents, while the extraction time is also impacted by the separation capability. Selection of a suitable optimal extraction solvent is significance for optimizing DLLME method. For the extraction solvent, it should have high extraction capability of analyzed compounds, different density to water and low solubility in aqueous sample [5]. Using the simple solvents, the less toxic solvents and lighter density in aqueous sample as methanol, diethylether and octanol were mainly

studied, and the common extraction solvents with higher density in aqueous sample such as carbontetrachloride and chloroform were also tested. An acetonitrile (2.0 mL) was used as dispersive solvent for this study. After the extraction process, the 3 layers were represented; the upper one was the organic phase, the middle one was the suspended phase (orange color), and the bottom one was the aqueous phase. The upper layer was considered for further determination. From our result, methanol and diethylether were eliminated because phase separations between aqueous and organic were both poor, as shown in Figure 2. It was due to high solubility of those organic solvents. Then, organic phase could not be collected for these two solvents. Carbon tetrachloride, chloroform and octanol were better than those two where phase separation cloud was observed and collected. According to the result, octanol is a lighter density solvent than aqueous sample, we found the upper layer of organic phase. Moreover, it is less toxic and inexpensive than carbon tetrachloride and chloroform. Where the toxicity must be realized, we considered to use octanol as a proper extraction solvent in further study. Compare the peak area.

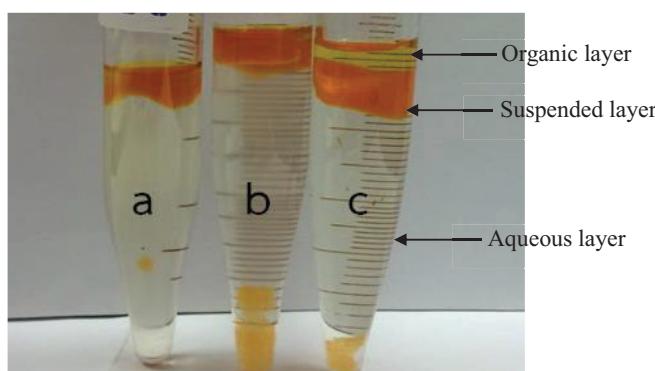


**Figure 2** Effect of the extraction solvent types (a) methanol (b) diethyl ether (c) carbontetrachloride (d) chloroform (e) octanol

### 1.2 Effect of dispersive solvent

The key point for selection of disperser miscibility in both the extraction solvent and the aqueous sample is that the dispersive solvent functions to take extraction solvent through the aqueous sample phase. Thus, the density and solubility of extraction and dispersive solvents were considered. Dispersive solvent is soluble in extraction solvent and should be miscible in aqueous sample, thus enabling the extraction solvent to be dispersed as fine particles in aqueous phase to form a cloudy solution. The surface area between extraction solvent and aqueous sample can be large, thus increasing the extraction efficiency [16]. The dispersive solvents miscible in water (acetone, ethanol and acetonitrile)

were studied, where the densities of these dispersive solvents were lighter than octanol (density of octanol is 0.824 g/mL). Thus, the solubility of extraction and dispersive solvents could be possible where a 0.5 mL octanol was used as an extraction solvent in this study. We found the good phase separation between a mixture of octanol and acetonitrile solvents as shown in Figure 3. The good phase separation provides a facile collection of sample for injection, and a large volume of sample mostly gave the high efficiency separation. However, acetonitrile was chosen as an optimal dispersive solvent.



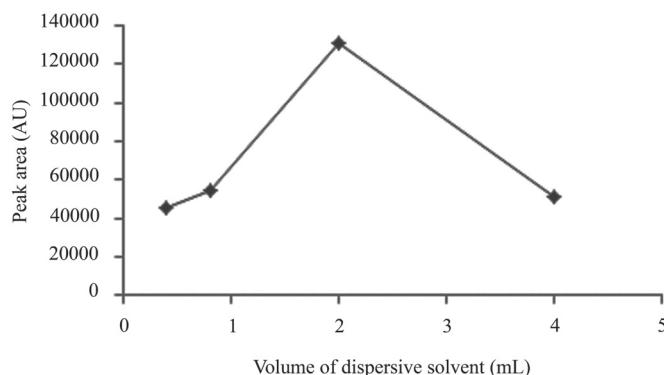
**Figure 3** Effect of the dispersive solvent types (a) acetone (b) ethanol (c) acetonitrile

### 1.3 Effect of volume of dispersive solvent

The different volumes of dispersive solvent were compared with change in the collected phase. To determine the best extraction conditions, the peak area of interest was used to evaluate the extraction efficiency. The results under different dispersive solvent are in Table 1. A 2.0 mL of dispersive solvent (acetonitrile), giving the highest peak area (Figure 4), was chosen in the subsequent experiments

**Table 1** Effect of volumes of dispersive solvent

Volume of dispersive solvent (mL)	Volume of extraction solvent (mL)	Ratio of dispersive solvent : extraction solvent	Peak area (AU)
0.4	2.0	2:1	45745
0.8	2.0	4:1	54364
2.0	2.0	10:1	131265
4.0	2.0	20:1	50850

**Figure 4** Effect of the dispersive solvent volumes (mL)

#### 1.4 Effect of volume of extraction solvent

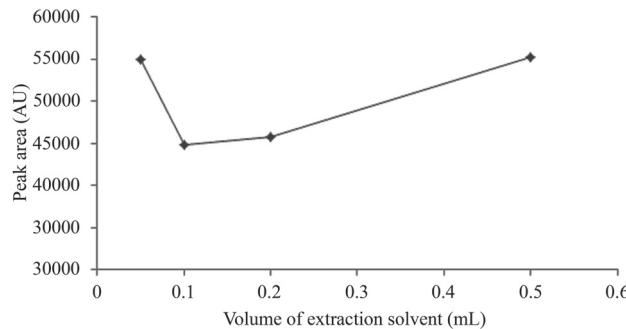
The volume of extraction solvent is also a parameter which may affect the detection of the method. A series of sample solutions were performed by using octanol and acetonitrile (2.0 mL). The volumes of octanol were changed in the range of 0.05 - 0.50 mL. The highest of peak area was obtained with octanol volume for 0.50 mL (compared to other volume) where the ratio of dispersive and extraction solvents was 4 : 1 (The results are shown in Table 2 and Figure 5). The increasing of the extraction solvent volume provided the increasing of the final organic phase obtained after centrifugation. Thus, a 0.5 mL of extraction solvent (octanol) was chosen as a proper volume in further experiments.

**Table 2** Effect of volumes of extraction solvent

Volume of extraction solvent (mL)	Volume of dispersive solvent (mL)	Ratio of dispersive solvent : extraction solvent	Peak area (AU)
0.05	2.0	40:1	54997
0.10	2.0	20:1	44866
0.20	2.0	10:1	45702
0.50	2.0	4:1	55181

#### 2. HPLC optimization

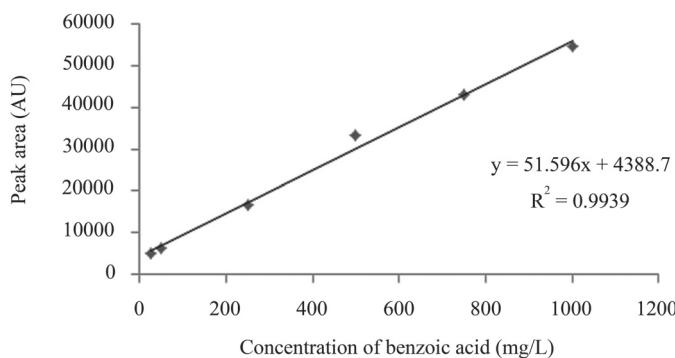
The reversed phase HPLC condition was investigated with the different ratios of methanol: 1 % acetic acid (97:3, 95:5, 90:10 and 85:15). We accomplished the determination using methanol : 1 % acetic acid at a ratio of 97:3 at pH 3.0, giving the highest peak and area than others, at a flow rate of 1 mL/min and UV detection at 254 nm. The retention time of benzoic acid was less than 4 min.



**Figure 5** Effect of the extraction solvent volumes (mL)

### 3. Method validation

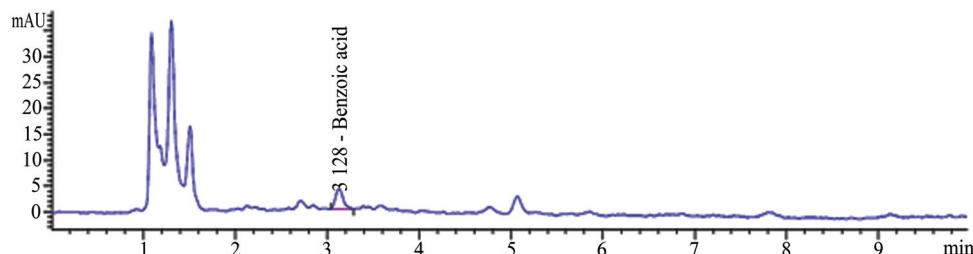
A good linearity between the concentrations of benzoic acid was obtained over the various concentrations in the wide range of 25 - 1000 mg/L ( $n = 3$ ). The regression equation was  $y = 51.596x + 4388.7$  with the correlation coefficient 0.9939 as shown in Figure 6. The LOD, was 3 times the standard deviation (SD) of reagent blank ( $n = 7$ ). Under the operation, a high value of SD of reagent blank was obtained. Then, the calculated LOD was 2.2 mg/L. The LOQ, calculated from 10 times standard deviation to slope was 7.5 mg/L. Precision of method was presented as within day ( $n = 7$ ) and day to day (2 days) variations in term of %RSD. The variations were calculated for 3 concentrations (50, 300 and 1000 mg/L) of benzoic acid. The “within day” variations of retention time and peak area were less than 1.0 % and 3.0 %, respectively. The reproducibility (day to day variation) of retention time and peak area were less than 5 % and 15 %, respectively. Under the optimal extraction condition, the enrichment factor, the ratio of concentration of benzoic acid in the upper layer of organic phase to that in the initial sample, was 25 fold. The method was successfully applied for determination of benzoic acid in orange juice samples.



**Figure 6** Standard calibration curve of benzoic acid 25 - 1000 mg/L

#### 4. Analysis of orange juice samples

Under the extraction conditions, the 0.5 mL of extraction solvent (octanol) and 2.0 mL of dispersive solvent (acetonitrile) were employed for sample determination. The three commercial available orange juices were purchased from a local supermarket. The obtained results are shown in Table 3. We found the amounts of benzoic in samples are less than the permitted level from the General Standard for Food Additives: GSFA 2014 (FDA 2014) [17]; chromatogram is shown in Figure 7. In order to verify the accuracy of the method, the recovery study was carried out by spiking selected sample with standard. The % recovery was calculated from the difference between spiked and un-spiked samples. The result is shown in Table 4 where the recovery was satisfied.



**Figure 7** Chromatogram of sample 1

**Table 3** Benzoic acid levels in fruit juice samples ( $n = 3$ )

Sample	Maximum permitted level in fruit juice (mg/L)	Benzoic acid level (mg/L)
1	1000	985±50
2		1145±49
3		1089±81

**Table 4** Percentage recovery result ( $n = 3$ )

Sample	Founded in sample (mg/L)	Spiked concentration (mg/L)	Determined amount (mg/L)	% Recovery
1	985	50	1037	104±7

## Conclusion

A method based on the DLLME coupled with HPLC-UV was optimized for determination of benzoic acid in fruit juices. We achieved the extraction of benzoic under an optimal mixture of octanol and acetonitrile as extraction and dispersive solvents. The good linearity

was obtained. The LOD was 2.2 mg/L. The accuracy of method in terms of percentage recovery was in the range 104±7 %, which was acceptable. The precision as percentage relative standard deviations were satisfied. The DLLME method provides a simple, low cost, short time and high efficiency for determining preservatives in various aqueous samples.

## Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the Division of Chemistry, Department of Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep for providing the finance and equipment throughout this work. The authors also thank to Ms.Rattapon Hongkengkai for his contribution to this work.

## References

- [1] World Health Organization. (2000). **Concise International Chemical Assessment Document 26: Benzoic and sodium benzoate.** WHO, Geneva, Switzerland. Access (1 July 2016). Available ([http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/cicad26\\_rev\\_1.pdf](http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/cicad26_rev_1.pdf))
- [2] Zaifa Pan, Lili Wang, Weimin Mo, Chen Wang, Wei Hu, and Juanjuan Zhang (2005). Determination of Benzoic Acid in Soft Drinks by Gas Chromatography with On-Line Pyrolytic Methylation Technique. **Analytica Chimica Acta.** Vol. 545, Issue 2, pp. 218-223. DOI: 10.1016/j.aca.2005.04.072
- [3] Techakriengkrai, I. and Surakarnkul, R. (2007). Analysis of Benzoic Acid and Sorbic Acid in Thai Rice Wines and Distillates by Solid-Phase Sorbent Extraction and High-Performance Liquid Chromatography. **Journal of Food Composition and Analysis.** Vol. 20, Issues 3-4, pp. 220-225. DOI: 10.1016/j.jfca.2006.10.003
- [4] Knoblauch, J. M., Scott, D. K., Smith, L. D., and Garg, U. (2010). Determination of Benzoic Acid in Serum or Plasma by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC/MS). **Methods in molecular biology (Clifton, N.J.).** Vol. 603, Number 8, pp. 121-128. DOI: 10.1007/978-1-60761-459-3\_11
- [5] T. A. Kokya, K. Farhadi, and A. A. Kalhor,. (2012). Optimized Dispersive Liquid-Liquid Microextraction and Determination of Sorbic Acid Benzoic Acid in Beverage Samples by Gas Chromatography. **Food Analytical Methods.** Vol. 5, Issue 3, pp.351-358. DOI: 10.1007/s12161-011-9245-x.
- [6] Ferreira, I. M. P. L. V. O., Mendes, E., Brito, P., and Ferreira, M. A. (2000). Simultaneous Determination of Benzoic and Sorbic Acids in Quince Jam by HPLC. **Food Research International.** Vol. 33, No. 2, pp.113-117. DOI: 10.1016/S0963-9969(00)00014-4.

- [7] Burana-osot, J., Arunsingkharat, L., Naksuk, M., Naungnamjai, S., and Saetun, T. (2014). Validation of a HPLC Method for the Determination of Benzoic Acid and Sorbic Acid in Noodles. **Chiang Mai Journal of Science**. Vol. 41, Number 2, pp. 370-382
- [8] Mota, F. J. M., Ferreira, I. M. P. L. V., Cunha, S. C., Beatriz, M., and Oliveira, P. P. (2003). Optimisation of Extraction Procedures for Analysis of Benzoic and Sorbic Acids in Food Stuff. **Food Chemistry**. Vol. 82, pp. 469-473
- [9] Khoddami, A., Wilkes, M. A., and Roberts, T. H. (2013). Techniques for Analysis of Plant Phenolic Compounds. **Molecules**. Vol. 18, pp. 2328-2375. DOI: 10.3390/molecules18022328
- [10] S. A. VTfouni, and M. C. F. Toledo. (2002). Determination of Benzoic Acid and Sorbic Acids in Brazilian Food. **Food Control**. Vol. 13, Issue 2, pp. 117-123. DOI: 10.1016/S0956-7135(01)00084-6
- [11] Rezaee, M., Assadi, Y., Milani Hosseini, M. R., Aghaei, E., Ahmadi, F., and Berijani, S. (2006). Determination of Organic Compounds in Water Using Dispersive Liquid-Liquid Microextraction. **Journal of Chromatography A**. Vol. 1116, Issue 1-2, pp. 1-9. DOI: 10.1016/j.chroma.2006.03.007
- [12] Rezaee, M., Yamini, Y., and Faraji, M. (2010). Evolution of Dispersive Liquid-Liquid Microextraction Method. **Journal of Chromatography A**. Vol. 1217, Issue 16, pp. 2342-2357. DOI: 10.1016/j.chroma.2009.11.088
- [13] Abedi, A. S., Mohammadi, A., Azadniya, E., Mortazavian, A. M., and Khaksar, R. (2014). Simultaneous Determination of Sorbic and Benzoic Acids in Milk Products Using Optimized Microextraction Technique Followed by Gas Chromatography. **Food Additives & Contaminants: Part A**. Vol. 31, Issue 1, pp. 21-28. DOI: 10.1080/19440049.2013.859742
- [14] Kokya, T. A., K. Farhadi, and A. Kalhori. (2012). Optimized Dispersive Liquid-Liquid Microextraction and Determination of Sorbic Acid and Benzoic Acid in Beverage Samples by Gas Chromatography. **Food Analytical Methods**. Vol. 5, Issue 3, pp. 351-358. DOI: 10.1007/s12161-011-9245-x
- [15] Hui, Z., Minmin, C., and Xinyu, J. (2010). Determination of Benzoic Acid in Water Samples by Ionic Cold-Induced Aggregation Dispersive LLME Coupling with LC. **Chromatographia**. Vol. 72, Issue 11-12, pp. 1195-1199. DOI: 10.1365/s10337-010-1791-7
- [16] Mohd, M. S., Mokhtar, S. U., Miskam, M. A., and Ibrahim, W. A. W. (2011). Determination of Organophosphorus Pesticides by Dispersive Liquid-Liquid Microextraction Coupled with Gas Chromatography-Electron Capture Detection. **The Malaysian Journal of Analytical Sciences**. Vol. 15, No. 2, pp. 232-239
- [17] Food and Drug Administration. (2014). **General Standard for Food Additives: GSFA 2014, Ministry of Public Health, Thailand**. Access (1 July 2016). Available (<http://www.foodfti.com/Files/Name/CONTENT1066259098564.pdf>)



เทคนิคการใช้ sUAV ในการเก็บข้อมูลเพื่อการวางแผนและผังพัฒนาพื้นที่  
กรณีศึกษา ถนนจอมพล จังหวัดนครราชสีมา

### Using sUAV for Data Collection in Planning A Case Study of Jompol Road, Nakhon Ratchasima

อภินันท์ สีม่วงงาม<sup>1\*</sup>

Received: December, 2016; Accepted: December, 2017

#### บทคัดย่อ

การใช้ข้อมูลภาพแผนที่ถ่ายทางอากาศเพื่อวางแผนพัฒนาพื้นที่ การเรียนการสอนในสาขาวิชาการจัดการผังเมือง และสาขาที่เกี่ยวข้อง โดยทั่วไปใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์กรมหาชน) และข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยกรรมแผนที่ทหาร ในขณะที่มีขั้นตอนและค่าใช้จ่ายในการขอข้อมูล ในปัจจุบันมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีสารสนเทศอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้ง่าย โดยเฉพาะการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากโปรแกรม Google Earth อย่างไรก็ตาม พบว่าข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศยังไม่เป็นปัจจุบันและครอบคลุมทุกพื้นที่ ขณะเดียวกันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีได้พัฒนาลิ้งประดิษฐ์เพื่อการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ เช่น อากาศยานไร้นักบินขนาดเล็ก หรือ sUAV (Small Unmanned Aerial Vehicles) ซึ่งเป็นเครื่องบินขนาดเล็ก ติดกล้องถ่ายภาพที่สามารถบันทึกข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) ลงในภาพถ่ายดิจิตอล และควบคุมอุปกรณ์ได้จากระบบควบคุมระยะไกล คอมพิวเตอร์ หรือโปรแกรมประยุกต์บนโทรศัพท์มือถืออัจฉริยะ

บทความนี้ได้เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจากการใช้เทคนิค sUAV กับข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมของ Google Earth และข้อมูลสามมิติจากการใช้ 3D Laser Scanner พบว่าเทคนิคการใช้ sUAV สร้างผลให้ข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้เป็นปัจจุบัน มีความละเอียดของจุดภาพ และมีความยืดหยุ่นในการเก็บข้อมูล

คำสำคัญ : อากาศยานไร้นักบินขนาดเล็ก; UAV; แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ; โฟโตแกรมเมตري; แบบจำลองสามมิติ แบบพ้อยท์คลาวด์

<sup>1</sup> Faculty of Fine Art and Industrial Design, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

\* Corresponding Author E - mail Address: apinan.se@rmuti.ac.th

## Abstract

The aerial photographs for planning development used to Urban Planning department and related fields. Generally, this data was using the satellite imagery from the Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization) and the aerial photographs from the Royal Thai Survey Department. While the procedures and overhead costs to get information. In present, the information technology is continuing development. There is easy access to the Internet. Especially, the use of satellite imagery from the Google Earth program. However, the aerial imagery data not updating and covering all areas. At the same time, technological development has an invention for aerial photographs collection, such as small unmanned aerial vehicles (sUAV). This device installed with cameras and record geographic position coordinates (GPS) into digital aerial photos. That control system from the remote control, computer or application on the smartphone.

This article compares the data obtained from aerial photographs processing from sUAV technology with satellite imagery by Google Earth and 3D data from 3D Laser Scanner. The result from using sUAV technique provide current aerial photographs, high-resolution and flexible use of data collection.

**Keywords:** Small Unmanned Aerial Vehicle; UAV; Aerial Map; Photogrammetry; 3d Point Cloud

## บทนำ

การสำรวจข้อมูลเพื่อการวางแผนพัฒนาด้าน ๆ จะไม่เป็นเรื่องยากอีกต่อไป เมื่อปัจจุบันมีอาชีวศึกษาในรั้วมหาวิทยาลัยที่สามารถควบคุมได้จากระยะไกลหรือที่คนทั่วไปเรียกว่า “โดรน” สามารถบินขึ้นสู่อากาศเพื่อยกย่องภาพจากบนท้องฟ้าได้ ช่วยให้เราสามารถมองเห็นภาพรวมทั้งหมดของพื้นที่ที่ต้องการเก็บข้อมูลได้อย่างง่าย และสามารถนำมาประกอบการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมจากการสำรวจภาคพื้นดิน ในการเก็บข้อมูลสภาพปัจจุบัน (Existing Data) ของพื้นที่เพื่อนำวิเคราะห์พื้นที่ (Site Analysis) สำหรับการวางแผนพัฒนาในด้านต่าง ๆ ที่มีขนาดครอบคลุมพื้นที่กว้างมาก ๆ วิธีการที่สะดวกรวดเร็วที่สุดในการสำรวจขั้นตอนคือการใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่นั้น ๆ

ในยุคแรกของการถ่ายภาพอากาศได้มาจากเครื่องบิน เจ้าหน้าที่ต้องลงมาสำรวจและเขียนแบบที่ทางต่อมาได้มีการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์กรมหาชน) (GISTDA) ในส่วนของการใช้งานจะแตกต่างกันไปตามแต่วิธีการหรือระดับความต้องการของข้อมูลบางครั้งอาจใช้เพียงภาพถ่ายทางอากาศเพื่อตรวจสอบสภาพปัจจุบันของพื้นที่ บางครั้งจำเป็นต้องใช้ภาพถ่ายօร์โกรافีความละเอียดสูง ที่มีการปรับพิกัดที่ถูกต้องเพื่อใช้งานในระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS)

ปัจจุบันเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กได้ถูกพัฒนาขึ้นและสามารถติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลเฉพาะทางขึ้นไปกับอากาศยานเพื่อการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การสำรวจ – สื่อสารมวลชน การสำรวจพื้นที่ทางโบราณคดี การสำรวจพื้นที่การเกษตร โดยเฉพาะในด้านการวางแผนพัฒนาเมือง ซึ่งมีรูปแบบชุมชนแตกต่างไปจากในอดีต ทั้งในด้านกายภาพ เศรษฐกิจและสังคม ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเมือง มีความซับซ้อนในหลากหลายมิติ ดังนั้นการวางแผนเพื่อการพัฒนาจึงมีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลเพิ่มมากขึ้น มีความหลากหลาย และเป็นปัจจุบันอยู่เสมอ

อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กแบบ 4 ใบพัด (Small Unmanned Aerial Vehicle) ในที่นี้เรียกว่า sUAV ที่สามารถควบคุมได้ในระยะใกล้ผ่านรีโมทคอนโทรลเพื่อใช้ในการถ่ายภาพทางอากาศ เพื่อการวิเคราะห์สภาพพื้นที่จากภาพถ่ายทางอากาศ บทความนี้ผู้เขียนได้เล่นอrenaทางในการสร้างข้อมูลสภาพพื้นที่ปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา ในรูปแบบของภาพดิจิทัลสามมิติที่ประมวลผลจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยอุปกรณ์ sUAV ผ่านเทคนิคโฟโตแกรมเมตري (Photogrammetry) เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการวางแผนพัฒนาด้านต่าง ๆ ตลอดจนประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอนทางด้านการสำรวจข้อมูล เชิงพื้นที่และการเปรียบเทียบข้อมูลเชิงพื้นที่จากแหล่งข้อมูลที่ต่างกัน

## 1. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.1 แนวทางการสร้างแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก
- 1.2 แผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาตรฐาน 1:100 – 1:500 ประกอบด้วย ข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ และแผนที่ความสูงของภูมิประเทศที่มีลิ้งปักคลุม (DSM) และไร้ลิ้งปักคลุม (DTM)
- 1.3 การเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศจากผู้ให้บริการบนอินเตอร์เน็ตกับแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นและข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ที่หน่วยงานราชการสร้างขึ้น

## 2. ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้ sUAV ถ่ายภาพทางอากาศเหนือพื้นที่ศึกษา ส่องช้าง ของถนนจอมพลหลังอนุสาวรีย์ท้าวสุรนารี ช่วงที่ 1 ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 9 ไร่ หรือ 14,400 ตารางเมตร

## พัฒนาการในการสำรวจด้วยภาพถ่าย

ในช่วงก่อนปี 1860 โดยประมาณถือเป็นยุคแรกเริ่มที่มีการถ่ายภาพทางอากาศ ได้เริ่มต้นโดยการใช้กล้องถ่ายภาพชนิดธรรมชาติผูกติดไปกับabolutionหรือว่าวเพื่อทำการถ่ายภาพทางอากาศ ต่อมาเมื่อมีการประดิษฐ์เครื่องบินขึ้นมาในโลกทำให้ศักยภาพในการถ่ายภาพทางอากาศเพิ่มขึ้น และเปลี่ยนแปลงข้อมูลด้วยสายตา เนื่องจากในยุคแรก ๆ ยังมิได้นำเอาความรู้ทางสาขาวิชาการมาใช้ดังเช่นในปัจจุบัน เทคโนโลยีได้ถูกพัฒนาต่อมาเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้มีการปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศและเริ่มมีการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมที่โคจรอยู่รอบโลกในอวกาศ ที่ระดับความสูงที่แตกต่างกัน ทำให้ได้ชนิดของข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปอย่างกว้างขวาง

การสำรวจด้วยภาพถ่ายนั้นเป็นองค์ความรู้ที่ถือกำเนิดขึ้นมาในคริสต์ศตวรรษที่ 18 หลังจากที่ Aime' Luassedat ได้ทดลองรังวัดด้วยภาพเป็นผลสำเร็จ การสำรวจรังวัดด้วยภาพพ้องจะแบ่งพัฒนาการออกเป็น 4 ยุค [1] คือ ยุคเริ่มต้นได้มีการเอาเทคนิคโฟโตแกรมเมตري หรือการรังวัดด้วยภาพ เป็นการรังวัด

ที่ใช้ภาพที่บันทึกไว้ในการวัดลึกล้ำที่ปราบภัยทางอากาศ โดยที่ผู้ว่าด้วยต้องไปล้มผ้าสั่ง แต่สามารถวัดระยะครอบคลุมพื้นที่กว้างได้ มาใช้ในการสำรวจระยะใกล้ [2] โดยเฉพาะงานสำรวจวัดเก็บข้อมูลในงานสถาปัตยกรรม ยุคต่อมาเริ่มมีการถ่ายภาพทางอากาศโดยการติดตั้งกล้องถ่ายภาพบนเครื่องบิน หรือบนลูนารายกได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นการสำรวจระยะไกล มีขอบเขตในการสำรวจที่กว้างขึ้น ประจำกับช่วงเวลาที่ได้เกิดสิ่งครุภัยโอลิครั้งที่ 2 งานสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างแผนที่ทางทหาร แผนที่ภูมิศาสตร์ แผนที่ภูมิประเทคโนโลยี แล้วแผนที่เส้นทาง และในยุคที่มีการสร้างเครื่องจักรกลในการเขียนแผนที่ขึ้นมาอีกด้วย ยุคที่สามราปี ค.ศ. 1970 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเข้ามามีบทบาทร่วมกับงานสำรวจวัดด้วยเทคนิคไฟฟ้าและแม่เหล็ก ด้านการประมวลผลข้อมูล และการถือกำเนิดกล้องถ่ายภาพดิจิทัลถือเป็นจุดเปลี่ยนที่ทำให้การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าขึ้นทำให้การสำรวจได้ภาพถ่ายสามารถประมวลผลอุปกรณ์ได้หลากหลายรูปแบบข้อมูลอีกทั้งกล้องถ่ายภาพดิจิทัลมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว มีขนาดที่เล็กลง คุณภาพของภาพถ่ายที่สูงขึ้น พร้อมทั้งมีการบันทึกข้อมูลวันที่ พร้อมทั้งข้อมูลทางภูมิศาสตร์ลงไปในภาพถ่ายโดยอัตโนมัติ ศักยภาพของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่พัฒนาขึ้น ทำร่วมกับเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพทางอากาศขนาดเล็ก มีราคาไม่แพง ให้ความสามารถในการใช้เทคนิคไฟฟ้าและแม่เหล็กเพื่อดำเนินการเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่สามารถดำเนินการได้ในทุกที่ทุกเวลา

ในประเทศไทยได้เริ่มมีการใช้ภาพถ่ายทางอากาศครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2491 รัฐบาลสหราชอาณาจักรได้ให้ความช่วยเหลือประเทศไทย โดยส่งหน่วยงานจัดทำแผนที่ทำการสำรวจและถ่ายภาพทางอากาศเพื่อทำแผนที่ภูมิประเทศ ขนาดมาตราส่วน 1:50,000 ทั่วประเทศไทย โดยที่ทางฝ่ายไทยจะเป็นผู้ดำเนินการภาคพื้นดินทั้งหมด ต่อมาในปี พ.ศ. 2514 มีการแต่งตั้งคณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการประสานงานการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมและหอดูปฏิบัติการลอยฟ้า ในปี พ.ศ. 2524 ประเทศไทยได้จัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมสำรวจภาคพื้นดินเป็นแห่งแรกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งอยู่ในเขตลาดกระบัง มีรัศมีขอบข่ายการรับสัญญาณประมาณ 2,800 กม. ซึ่งครอบคลุม 17 ประเทศและในปี พ.ศ. 2530 สถานีรับสัญญาณดาวเทียมภาคพื้นดินได้รับการพัฒนาปรับปรุงให้สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมรายละเอียดสูง ในปัจจุบันแหล่งข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศนั้นมีมากหลายหลากรูปแบบ แต่แหล่งข้อมูลที่ได้รับความนิยมที่สุดคือ โปรแกรม Google Earth หรือการใช้งานผ่านเว็บไซต์ <http://maps.google.com/> นับเป็นแหล่งที่มีข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมครอบคลุมเกือบทั่วโลก มีความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียมแตกต่างกันไปตามพื้นที่ฐานข้อมูลของแต่ละประเทศ และสามารถเข้าถึงข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพถ่ายดาวเทียมผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

## การใช้งานภาพถ่ายทางอากาศเพื่อการวางแผนพัฒนาพื้นที่

การใช้งานภาพถ่ายทางอากาศสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวางแผนพัฒนาหรือการตรวจสอบในด้านต่าง ๆ อาทิ การใช้งานร่วมกับระบบ Ground Penetrating Radar (GPR) หรือการสำรวจใต้พื้นดิน เพื่อศึกษาทางด้านประวัติศาสตร์การตั้งถิ่นฐานของเมือง [3] การตรวจสอบการพังทลายของดินโดยการอาศัยการเปรียบเทียบกับภาพถ่ายทางอากาศในแต่ละช่วงเวลา [4] การตรวจสอบการขยายตัวของชุมชนจากภาพถ่ายทางอากาศ [5] Unmanned Aerial Vehicle เข้ามามีบทบาทสำคัญในการบินสำรวจพื้นที่ที่ได้รับ

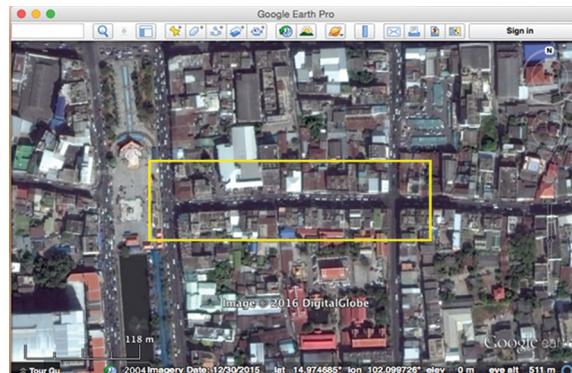
ผลกระทบจากปัญหาอุทกภัย เนื่องจากสามารถเข้าถึงพื้นที่ได้รวดเร็ว การสำรวจสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้เป็นบริเวณกว้าง ช่วยให้การประเมินสถานการณ์ทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และภาพถ่ายทางอากาศและพิกัดที่ได้รับการบันทึกจะถูกนำมาผ่านขั้นตอน Geo-Referencing สำหรับจัดวางภาพถ่ายให้มีความถูกต้องและจัดทำภาพແเนเพที่น้ำท่วม เพื่อเปรียบเทียบของเขตพื้นที่น้ำท่วมในแต่ละช่วงเวลา และใช้เป็นข้อมูลประกอบในการประเมินสถานการณ์ และสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำ ในยามเกิดอุทกภัย [6] รวมถึงการสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมทางด้านผังเมืองด้วยการใช้ภาพถ่าย มุมมองต่าง ๆ ในการสร้างความเข้าใจให้กับผู้มีส่วนได้เสียภายในพื้นที่ [7] จากความต้องการใช้งาน ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อการวางแผนในการพัฒนาที่เพิ่มมากขึ้น จึงเกิดการพัฒนาการสร้างภาพถ่ายทางอากาศดันทุนต่ำเรื่อยมา อาทิเช่น การติดตั้งกล้องถ่ายรูปบนวัวชนิดใหญ่ การติดตั้งกล้องบนบลลุนที่บรรจุด้วยอากาศไอโอดรเจน การติดตั้งกล้องบนเครื่องบินเล็ก [8]

## การใช้งาน sUAV เก็บข้อมูลเชิงพื้นที่

เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 สาขาวิชาการจัดการผังเมือง มทร.อีสาน ดำเนินโครงการบริการวิชาการเรื่อง “จอมพลถนนประวัติศาสตร์” ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่างสาขาวิชาการจัดการผังเมือง มทร.อีสาน เทคบานลคร นครราชสีมา และประชาชนในพื้นที่ โดยการจัดทำต้นแบบตัวอย่างการพัฒนาพื้นที่โดยการสร้างแบบจำลอง ข้อมูลของพื้นที่เพื่อสร้างความเข้าใจกับประชาชนในพื้นที่ เพื่อรับฟังความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ ในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง กระบวนการนี้ได้เพิ่มความร่วมมือเป็นอย่างดีของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องอย่างแท้จริง ทำให้เกิดผลดีต่อการทำงานในพื้นที่ในภาพรวม โดยพื้นที่โครงการตั้งอยู่บนถนนจอมพล ในเขตเมืองเก่า ของอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ขนาดพื้นที่ 50 x 250 เมตร นับจากด้านหลังของประตูชุมพล ไปจนถึง 4 แยกที่ตัดกับถนนจักรีตามรูปที่ 1

ในกระบวนการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่จากภาพถ่ายทางอากาศมี 3 ขั้นตอนหลักในการทำงานคือ

- การวางแผนการถ่ายภาพ ในการกำหนดพื้นที่และการวางแผนการบินโดยการใช้ sUAV ในการสร้างแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศเป็นศาสตร์และคิลิปที่มีส่วนผสมระหว่างการถ่ายภาพและ การประมวลผลทางคณิตศาสตร์ของภาพถ่ายทางอากาศ ในการกำหนดแนวบิน (Flight Plan) สามารถกำหนดได้ 2 วิธีคือ 1) การบินถ่ายภาพแบบบังคับด้วยมือ (Manual Flight) 2) การบินถ่ายภาพตามเส้นทาง การบินที่กำหนดไว้และควบคุมโดยการระบุตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของ sUAV ภาพถ่ายที่สามารถนำมาใช้ในการประมวลผลด้วยเทคนิคโพโตแกรมเมตรี ภาพถ่ายทางอากาศจะต้องมีระยะหักกันไม่น้อยกว่า ร้อยละ 75 การวางแผนทางบินเพื่อถ่ายรูปจะต้องกำหนดให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษาตามรูปที่ 2 และ อุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการถ่ายภาพครั้งนี้คือ อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กบังคับด้วยสัญญาณวิทยุ และ iPad mini พร้อมติดตั้ง Application DJI Vision<sup>1</sup> และ Capture P2V<sup>2</sup> ภาพถ่ายมีความละเอียดของกล้อง 12 ล้านพิกเซล พร้อมบันทึกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (x,y) ลงในแต่ละรูป ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth แสดงพื้นที่ถนนจอมพล อําเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา



รูปที่ 2 การวางแผนเส้นทางการบินพื้นที่ศึกษาถนนจอมพล อําเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

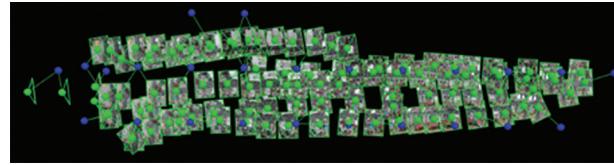


รูปที่ 3 sUAV และอุปกรณ์ iPad mini เพื่อช่วยในการควบคุมอุปกรณ์ sUAV

2. การดำเนินการภาคสนาม เป็นการถ่ายภาพจากทางอากาศพื้นที่ถนนจอมพล ผู้เขียนใช้วิธีการบังคับการบินแบบปกติ โดยใช้วิธีถ่ายทีลีฟภาพจากแพร่ความคุณจาก iPad mini ที่เชื่อมต่อสัญญาณกับ sUAV ผ่านสัญญาณ WIFI ทำให้สามารถควบคุมการถ่ายภาพจากภาคพื้นดินได้ ในการกำหนดจุดชี้ลงของ sUAV ผู้เขียนเลือกใช้พื้นที่ลานว่างด้านข้างอนุสรณ์ท้าวสุรนารี ซึ่งปราสาทจากลิ่งกีดขวางการบินขึ้นในแนวตั้ง ในการถ่ายภาพจาก sUAV เพื่อนำมาใช้ในการกระบวนการสร้างภาพสามมิตินั้น ภาพถ่ายต้องมีการซ้อนทับกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ทั้ง 4 ด้าน ครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษาจากการวางแผนในขั้นตอนที่ 1 ดังรูปที่ 4 จึงนำภาพถ่ายที่ได้ประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอนต่อไปดังรูปที่ 5

<sup>1</sup> DJI Vision เป็น Application จากผู้ผลิต ทำให้สามารถถ่ายภาพ หรือดูข้อมูลต่าง ๆ ในขณะที่ทำการบินได้ ผ่านระบบ WIFI และสามารถติดตั้งได้ทั้งระบบ iOS และ android

<sup>2</sup> Capture P2V เป็น Application สำหรับวางแผนการบินเพื่อถ่ายภาพทางอากาศให้กับอุปกรณ์ sUAV สามารถติดตั้งได้ทั้งระบบ iOS และ android



รูปที่ 4 ตำแหน่งในแนวราบของกล้องถ่ายรูปบนอุปกรณ์ UAV (โดยการบินแบบบังคับด้วยมือ)



รูปที่ 5 ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ UAV จากทั้งหมด 99 ภาพ

3. การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ มาประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ที่สำคัญคือ คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลทางอากาศ โดยคอมพิวเตอร์ที่ผู้เขียนใช้คือ Macbook Pro ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Windows10 และโปรแกรม Pix4Dmapper ใน การประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัล มีขั้นตอนการประมวลผล 3 ขั้นตอนคือ

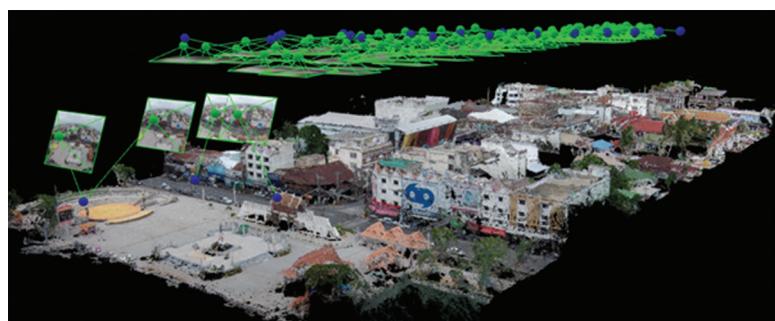
3.1 Initial Processing เป็นการประมวลผลเบื้องต้น เป็นขั้นตอนการกำหนดจุด Tile Point หรือการสร้างจุดอ้างอิงแบบสามมิติ (x, y, z) ภาพถ่ายทางอากาศจุดละไม่น้อยกว่า 2 ภาพ และพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) ในแต่ละรูปถ่าย ขั้นตอนนี้จะได้เป็นข้อมูลแบบจำลองสามมิติเบื้องต้นแบบ Point Cloud

3.2 Point Cloud Densification เป็นการเพิ่มความหนาแน่นของ Point Cloud ในแบบจำลองสามมิติจากขั้นตอนแรก พร้อมทั้งกระบวนการสร้างพื้นผิวและภาพพื้นผิว (Surface and Texture)

3.3 DSM and Orthomosaic Generation เป็นการสร้างแผนที่ความสูงทางภูมิศาสตร์ (DSM) และแผนที่ภาพถ่ายออร์โธ โดยอาศัยการปรับแก้พิกัดเชิงเลขของภาพถ่าย (Orthorectification) โดยอ้างอิงจากตำแหน่งทั้งสามมิติของ Point Cloud ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2



รูปที่ 6 ภาพถ่ายทางอากาศพื้นที่โครงการฯ



รูปที่ 7 ภาพสามมิติ Point Cloud ประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อใช้ในการสำรวจพื้นที่ระยะใกล้และ การแปลงด้วยสายตา (รูปที่ 6) ข้อมูลสามมิติ Point Cloud ที่ได้มาจากการประมวลผลด้วยเทคนิคโพโตแกรมเมตريด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผลลัพธ์ที่ได้คือ ข้อมูล Point Cloud สามมิติรูปที่ 7 - 8 และแผนที่ภาพถ่ายของอร์โธหรือแผนที่ภาพถ่ายมุมจากที่มีระบบพิกัดที่สามารถนำเข้าไปใช้งานกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ได้ (รูปที่ 9)



รูปที่ 8 แบบจำลองสามมิติของพื้นที่โครงการฯ



รูปที่ 9 แผนที่ภาพถ่ายทางօร์บิทมีความละเอียดสูงของพื้นที่โครงการฯ

### การใช้งานข้อมูลเชิงพื้นที่รูปแบบต่าง ๆ

ในการลงเก็บข้อมูลของพื้นที่ศึกษาเพื่อบริการทางวิชาการฯ ในครั้งนี้ ทางสาขาวิชาฯ ใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่มาประกอบการวางแผนร่วมกับข้อมูลจาก sUAV จำนวน 3 แหล่งข้อมูลคือ

1. แผนที่พื้นฐานจากฐานข้อมูล GIS (ข้อมูลมือ 2) ของพื้นที่ โดยสำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมาได้จัดทำไว้ (ไม่ทราบปีที่จัดทำ) ดังรูปที่ 10
2. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth ดังรูปที่ 11
3. ข้อมูลจากการสแกนแบบสามมิติ (3D Laser Scanner) ดังรูปที่ 12

เป็นการเก็บข้อมูลภาคพื้นดิน จากการสแกนด้วยแสงข้อมูลสามมิติแบบ Point Cloud มีมาตราส่วนเท่าจริง รายละเอียดของข้อมูลและมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับไมโครเมตร ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลช่วงระยะเวลา 200 เมตร เป็นเวลา 8 ชั่วโมง (รูปที่ 12)

### การเปรียบเทียบข้อมูลเชิงพื้นที่

การใช้งานข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จาก Google Earth พื้นที่ศึกษาถนนจอมพล บริเวณด้านหลังของอนุสรณ์ท้าวสุรนารี และประตูชุมพลนั้น สามารถนำข้อมูลมาใช้เพื่อการวางแผนสำหรับการวิเคราะห์พื้นที่ภาระรวม โดยภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth ประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ อาทิ พิกัดระบุตำแหน่งของพื้นที่ วันเวลาที่ถ่ายภาพ ระดับความสูงของมุมมอง ความลุյด์จากระดับน้ำทะเล แหล่งข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อใช้ในการอ้างอิง แต่เมื่อจำกัดในบางพื้นที่ที่ยังไม่มีภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูง ครอบคลุมในทุกพื้นที่ของประเทศไทย บางพื้นที่ไม่มีข้อมูลภาพถ่ายที่ชัดเจนจึงจำเป็นต้องหาข้อมูลจากแหล่งอื่น หรือดำเนินการจัดทำขึ้นมาเอง

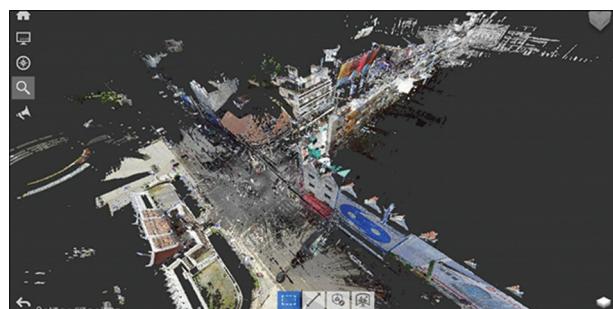
เมื่อเทียบกับภาพทางอากาศในปัจจุบันสามารถดำเนินการเองได้ง่าย จากราคาของอุปกรณ์ sUAV ที่มีราคาไม่สูงนัก พร้อมศักยภาพในการทำงานของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นโดยตลอด ทำให้การสำรวจข้อมูลทางอากาศสามารถทำได้ตลอดเวลา อีกทั้งยังเป็นข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่มีความละเอียดสูงสามารถนำมาใช้ในการรับวัดด้วยภาพถ่ายดิจิทัลได้



รูปที่ 10 ข้อมูลพื้นที่เมืองเก่าจากฐานข้อมูล GIS



รูปที่ 11 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่เมืองเก่าจากฐานข้อมูล Google Earth



รูปที่ 12 แบบจำลอง 3 มิติ ที่เก็บข้อมูลด้วยเครื่อง Faro 3D Scanner



(ก) ภาพถ่ายจาก Google Earth

รูปที่ 13 เปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศที่มាតราส่วน 1 : 4,000

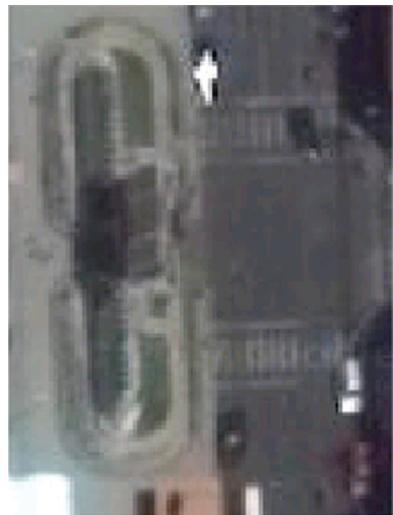


(ข) ภาพถ่ายจากอุปกรณ์ sUAV

รูปที่ 13 เปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศที่มีมาตราส่วน 1 : 4,000



(ก) ภาพถ่ายจากอุปกรณ์ sUAV



(ข) ภาพถ่ายจาก Google Earth

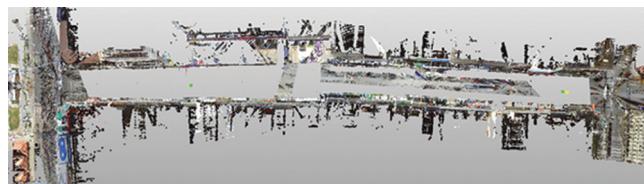
รูปที่ 14 เปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศที่มีมาตราส่วน 1 : 500

จากรูปที่ 13 และ 14 จะเห็นว่าภาพถ่ายที่ได้จากอุปกรณ์ sUAV มีรายละเอียดมากกว่าภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth แต่ทั้งนี้ยังมีข้อด้อยในเรื่องของความบิดเบี้ยวของภาพที่เกิดจากการถ่ายภาพโดยเลนส์มุมกว้าง และเมื่อพิจารณาด้านความละเอียดของจุดภาพพบว่า แผนที่ภาพถ่ายจาก sUAV มีรายละเอียดของจุดภาพขนาด 2.5 เซนติเมตรต่อพิกเซล ขณะที่แผนที่ภาพจากดาวเทียมจะมีรายละเอียดของจุดภาพ 50 เซนติเมตรต่อพิกเซล และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของข้อมูลระหว่างข้อมูลจากการประมาณผลภาพถ่ายทางอากาศ sUAV กับข้อมูลสามมิติจากการสแกนพื้นที่ด้วยแสง (3d Laser Scanner) พบว่า ข้อมูลที่ได้จากการสแกนพื้นที่นั้นมีรายละเอียด และความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าระดับมิลลิเมตร (รูปที่ 15)

ข้อจำกัดในการวางแผนเก็บข้อมูลพื้นที่ด้วยการสแกนคือ 1) ขนาดของพื้นที่ เนื่องจากในการสแกนแต่ละตำแหน่งใช้เวลาประมาณ 30 นาที และมีระยะในการสแกนประมาณ 20 เมตร 2) พื้นที่เก็บข้อมูลจะต้องโล่งและปราศจากลิ้งกีดขวางระหว่างพื้นที่หรืออาคารที่ต้องการเก็บข้อมูลและตัวเครื่องสแกนฯ และตัวเครื่องสามารถเก็บข้อมูลได้เฉพาะที่ที่มองเห็นได้เท่านั้น (รูปที่ 16 - 17) ทำให้เห็นเพียงข้อมูลผิวอาคารที่อยู่ส่องฟ้างของถนนจอมพลเท่านั้น ในขณะที่ข้อมูลจาก sUAV จะสามารถเก็บข้อมูลจากด้านบนได้



รูปที่ 15 รูปด้านข้างที่ได้จากแบบจำลอง 3 มิติโดยเครื่อง Faro 3D Scanner



(ก) ภาพถ่าย Faro 3D Scanner



(ข) ภาพถ่ายจากอุปกรณ์ sUAV

รูปที่ 16 เปรียบเทียบผังบริเวณระหว่างข้อมูลจาก Faro 3D Scanner และข้อมูลจากอุปกรณ์ sUAV



(ก) ภาพถ่าย Faro 3D Scanner

รูปที่ 17 เปรียบเทียบระหว่างภาพจาก Faro 3D Scanner (บน) และภาพจากอุปกรณ์ sUAV (ล่าง)



(ข) ภาพถ่ายจากอุปกรณ์ sUAV

รูปที่ 17 เปรียบเทียบระหว่างภาพจาก Faro 3D Scanner และภาพจากอุปกรณ์ sUAV (ต่อ)

### สรุปและเสนอแนะ

การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากอุปกรณ์ sUAV ของพื้นที่ศึกษานำไปสู่การเป็นข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง และแบบจำลอง 3 มิติ ขนาดเท่าจริงที่สามารถใช้งานกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ในรูปแบบสามมิติ เพิ่มศักยภาพในการวิเคราะห์ข้อมูล ประชาชนในพื้นที่สามารถทำความเข้าใจกับพื้นที่ของตนมากขึ้น สร้างความเข้มแข็งในกระบวนการมีส่วนร่วม การสร้างความเข้าใจในชุมชนด้วยข้อมูลเชิงประจำชีวะ ทำให้ประชาชนสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย ช่วยลดความขัดแย้งจากความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (รูปที่ 18 – 19)



รูปที่ 18 การใช้ภาพถ่ายทางอากาศสร้างการมีส่วนร่วมภาคประชาชนบนถนนจอมพล



รูปที่ 19 การใช้ภาพถ่ายทางอากาศสร้างการมีส่วนร่วมภาคประชาชนบนถนนจอมพล

แม้ข้อมูลจาก sUAV จะมีความละเอียดของจุดภาพน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการสแกน แต่ทั้งนี้ sUAV สามารถสร้างข้อมูลให้มีรายละเอียดสูงขึ้นได้ โดยการกำหนดระยะห่างระหว่างกล้องกับพื้นที่ที่ต้องการเก็บข้อมูลที่สามารถให้ความละเอียดของจุดภาพภาคพื้นดิน (Ground Sampling Distance : GSD) ได้เล็กกว่า 2.5 เซนติเมตร และใช้การอ้างอิงตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) ใน การกำหนดจุดควบคุมบนพื้นดิน วัตถุ หรืออาคาร โดยการใช้เทคนิค Ground Control Point (GCP) เพื่อทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของพิกัดทางภูมิศาสตร์ของข้อมูล แต่เชื่อว่าการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีในการถ่ายภาพและประมวลผลจะช่วยลดข้อจำกัดนี้ให้ลดน้อยลงไปได้

โอกาสในการนำข้อมูลไปต่อยอด เนื่องจากข้อมูลแบบจำลองสามมิติแบบ Point Cloud เป็นการเก็บข้อมูลทางกายภาพให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัลสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานระดับต่าง ๆ อาทิ การเก็บบันทึกข้อมูลเชิงพื้นที่ทางประวัติศาสตร์ การสำรวจการใช้พื้นที่รูปแบบต่าง ๆ การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในแต่ละช่วงเวลา ตลอดจนการสำรวจพื้นที่ประสบภัยเพื่อวางแผนการช่วยเหลือ การสร้างแบบจำลองสารสนเทศระดับอาคาร (Building Information Model : BIM) จากแบบจำลองสามมิติ Point Cloud ที่มีความละเอียดในระดับอาคารและแบบจำลองสารสนเทศของเมือง (City Information Model : CIM) [9] เพื่อใช้เป็นพื้นฐานข้อมูลในการวางแผนพื้นที่ หรือการบริหารจัดการเมืองในรูปแบบเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ในโอกาสต่อไปได้

## References

- [1] Srisuwan, C. (2013). **Photogrammetry in Architecture Conservation : Literature Review and Possible Applications for Thai Traditional**. Najua : History of Architectural and Thai Architectural. Bangkok
- [2] Santitamnont, P. (2003). **Digital Photogrammetry**. Department of Survey Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University. Bangkok
- [3] Malfitana, D., Leucci, G., Fragalà, G., Masini, N., Scardozzi, G., Cacciaguerra, G., Santagati, C., and Shehi, E. (2015). The Potential of Integrated GPR Survey and Aerial Photographic Analysis of Historic Urban Areas: A Case Study and Digital Reconstruction of a Late Roman villa in Durrës (Albania). **Journal of Archaeological Science: Reports**. Vol. 4, pp. 276-284. DOI: 10.1016/j.jasrep.2015.09.018
- [4] Li, Z., Shi, W., Myint, S. W., Lu, P., and Wang, Q. (2016). Semi-Automated Landslide Inventory Mapping from Bitemporal Aerial Photographs Using Change Detection and Level Set Method. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 175, Number 16, pp. 215-230. DOI: 10.1016/j.rse.2016.01.003
- [5] Conrad, C., Rudloff, M., Abdullaev, I., Thiel, M., Löw, F., and Lamers, J. P. A. (2015). Measuring Rural Settlement Expansion in Uzbekistan Using Remote Sensing to Support Spatial Planning. **Applied Geography**. Vol. 62, pp. 29-43. DOI: 10.1016/j.apgeog.2015.03.017

- [6] Saetea, V., Kanyawaralak, C., Srisompong, P., and Boonyaarunnate, S. (2014). Development of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Aerial Surveying and Photography for the Assessment of Flood in the Eastern Part of Thailand 2013. **The 19<sup>th</sup> National Convention on Civil Engineering**, 14-16 May 2014, Khon Kaen, THAILAND. pp. 2974-2980
- [7] Boonyanusith, N. and Tiyawongsuwan, S. (2016). Change Agent Transformation Pattern of Urban Revitalization in Chom Phon Community. **The 5<sup>th</sup> Urban and Regional Planning Academic Symposium 2016 on Topic in Partnership for New Urbanization**. Faculty of Architecture, Khon Khon University.
- [8] Kreimer, B. and Waite, M. (2003). The Feasibility of Using Small Unmanned Aerial Vehicles for Mapping News Events. **Drone Journalism Lab University of Nebraska-Lincoln**, pp. 2-5
- [9] Antova, G., Kunchev, I., and Mickrenksa-Cherneva, C. (2016). Point Clouds in BIM. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. Vol. 44, DOI: 10.1088/1755-1315/44/4/042034



การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเทคนิคనิรວอนเน็ตเวิร์ค ชั้พพอร์ตเวกเตอร์แมชีน และนิวโรฟิชชี กับการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว เพื่อวิเคราะห์และแยกแยะสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า

## Efficiency Comparison of Neural Networks, Support Vector Machine and Neuro-Fuzzy with Fast Fourier Transform for Waveform Analysis and Classification

อดิสราณ กำลังเพชร<sup>1\*</sup> และประจวบ อินระวังค์<sup>1</sup>

Received: June, 2017; Accepted: October, 2017

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบทั้งสามวิธี คือ ตัวแบบที่ใช้เทคนิคจากโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ตัวแบบชั้พพอร์ตเวกเตอร์แมชีน (SMOreg) และตัวแบบนิวโรฟิชชีโดยใช้เทคนิคแบบ ANFIS ในรูปแบบของการจดจำเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และแยกแยะข้อมูลสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า ระหว่างชุดข้อมูลสัญญาณดีกับชุดข้อมูลสัญญาณเสียง โดยหลักการในการสร้างตัวแบบที่นำเสนอนั้นอยู่ทั้งสามตัวแบบ จะใช้ข้อมูลที่ผ่านกระบวนการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว เพื่อใช้หาตัวแปรข้อมูลสำหรับกระบวนการเรียนรู้หรือฝึกหัดและทดสอบ จากการทดลองทั้งสามตัวแบบมี ANN, SMOreg และ ANFIS โดยผลลัพธ์จากการฝึกหัดค่า MSE คือ 1.45E-08, 5.60E-08, 3.32E-09 ค่า MAE คือ 8.28E-05, 4.31E-05, 3.20E-05 และค่า MAPE คือ 2.99636, 0.69080, 0.83541 ตามลำดับ และผลลัพธ์จากการทดสอบค่า MSE คือ 8.30E-09, 2.66E-07, 3.21E-09 ค่า MAE คือ 8.61E-05, 3.32E-04, 3.38E-05 และค่าร้อยละที่ได้จากการทดสอบ พบว่าตัวแบบนิวโรฟิชชีโดยใช้เทคนิคแบบ ANFIS มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยมีค่า

<sup>1</sup> Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

\* Corresponding Author E - mail Address: einstein.ict@gmail.com

ความผิดพลาดโดยรวมน้อยที่สุดกว่าตัวแบบอื่น และค่าของ EI เท่ากับ 99.999993 % สูงที่สุด และผลจากการทดสอบทุกชุดข้อมูลลัญญาณสามารถแยกแยะระหว่างชุดข้อมูลลัญญาณดีกับชุดข้อมูลลัญญาณเลี้ยงได้อย่างถูกต้อง

**คำสำคัญ :** โครงข่ายประสาทเทียม; นิวโรฟิชชี; ชัพพอร์ตเวกเตอร์เมชีน; การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว; ลัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า

## Abstract

This research presents a comparison of the efficiency of three models, namely, the model using Artificial Neural Networks technique (ANN), Support Vector Machine models (SMOreg) and Neuro-Fuzzy using ANFIS technique models in form of pattern recognition for waveform analysis and classification between good signals and bad signals data set. In principle, the three models are proposed. It used Fast Fourier Transform data for learning and testing process for finding the best model. The three experiments were ANN, SMOreg and ANFIS. Results from the MSE training were 1.45E-08, 5.60E-08, 3.32E-09, the MAE were 8.28E-05, 4.31E-05, 3.20E-05, the MAPE were 2.99636, 0.69080, 0.83541, respectively, and the MSE test results were 8.30E-09, 2.66E-07, 3.21E-09, the MAE were 8.61E-05, 3.32E-04, 3.38E-05, and the percentage obtained from MAPE were 2.5807, 10.9384 and 0.8061, respectively. It was found that the ANFIS technique was the best. With the smallest overall error value than the other models, which provides the highest percentage of Efficiency Index (EI) in the testing process were 99.999993 %. The experimental result of testing showed that all data sets can distinguish between good and bad data sets correctly.

**Keywords:** Artificial Neural Networks; Neuro-Fuzzy; Support Vector Machine; Fast Fourier Transform; Waveform Analysis;

## บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ ได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว รวมทั้งได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั้งในด้านงานวิจัยและงานด้านภาคอุตสาหกรรม โดยอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานในด้านภาคอุตสาหกรรม เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในล่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องจักรกล อุปกรณ์สำหรับทดสอบขั้นงาน อุปกรณ์สำหรับประกอบขั้นงาน อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการหยิบจับขั้นงาน เป็นต้น ในขั้นล่วงของอุปกรณ์ต่าง ๆ จะมีแรงงานที่ทำหน้าที่ในการล็อกงานเครื่อง ซึ่งจากการล็อกงานนั้นโดยล้วนใหญ่แล้ว จะติดต่อสื่อสารกันด้วยรูปแบบลัญญาณไฟฟ้า และเนื่องจากการติดต่อสื่อสารล็อกงานด้วยรูปแบบลัญญาณไฟฟ้า ปัญหาที่ตามมาคือ เมื่อลัญญาณเกิดการสื่อสารผิดพลาด หรือลัญญาณมีปัญหา

อันเนื่องจากชุดของ pengwong หรือสัญญาณที่ทำงานผิดพลาดอันเนื่องมาจากการสัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งจะทำให้การสั่งงานนั้นเกิดการทำงานที่ผิดพลาดได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีวิธีการหรือตัวแบบสำหรับตรวจสอบอุปกรณ์ที่สั่งงานด้วยรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าให้คงสภาพการทำงานที่ดีปกติเสมอ

การวิเคราะห์ลักษณะรูปคลื่นไฟฟ้ามีหลากหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ลักษณะรูปคลื่นไฟฟ้าด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบฟูเรียร์ (Fourier Analysis) วิธีการจำลองทางเวลา (Time Domain Simulation) หรือการจำลองทางความถี่ (Frequency Domain Simulation) เป็นต้น [1] โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำเสนอตัวแบบสำหรับวิเคราะห์และแยกแยะข้อมูลสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าที่ดีและที่มีปัญหาหรือเสียด้วยวิธีที่นำเสนอนั้น 3 วิธี แล้วนำแต่ละวิธีมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพว่าวิธีไหนที่ดีที่สุดโดยมีการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลของสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าของขั้นงานที่ใช้ชิปประมวลผลสัญญาณดิจิทัลหรือชิปเซ็ตดีเอสพี (Digital Signal Processor: DSP) ของเครื่องจักรกล โดยเริ่มต้นจากการนำข้อมูลสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าที่ได้มาทำการหาค่าตัวแปรด้วยวิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) สำหรับใช้เป็นข้อมูลเรียนรู้และทดสอบร่วมกับวิธีที่นำเสนอนั้น 3 วิธี คือ 1) วิธีการของเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมหรือนิวرونเน็ตเวิร์ก (Artificial Neural Network: ANN) ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) [1] - [4] และ 2) วิธีการของเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟูซีหรือนิวโรฟัชซี (Neuro-Fuzzy) ด้วยวิธีการแบบปรับตัวได้ (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System: ANFIS) [5] และ 3) วิธีการของชั้พพร็อกเตอร์แมชีนสำหรับการลดด้อย (Support Vector Machine for Regression) โดยเลือกใช้เทคนิคแบบอเลสเอ็มโอดสำหรับสมการลดด้อย (Sequence Minimal Optimization for Regression: SMOreg)

งานวิจัยเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และแยกแยะสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าที่ดีและเสีย เพื่อให้เห็นความแตกต่างในการวิเคราะห์ระหว่างสัญญาณดีกับสัญญาณเสีย โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสร้างตัวแบบโดยใช้เทคนิคทั้งสามวิธี สำหรับการวิเคราะห์และแยกแยะสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า 2) เพื่อวิเคราะห์และแยกแยะความแตกต่างระหว่างสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าสัญญาณดีกับสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าสัญญาณเสีย 3) เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของประสิทธิภาพระหว่างทั้งสามวิธีที่นำเสนอนั้นว่าวิธีไหนดีที่สุด และ 4) เพื่อเป็นแนวทางวิธีคิดในการประยุกต์ใช้วิธีที่นำเสนอร่วมกับวิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วในการวิเคราะห์และแยกแยะสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ผู้สนใจในการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าสามารถนำขั้นตอนวิธีที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้และเป็นแนวทางในการสร้างตัวแบบ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และแยกแยะระหว่างข้อมูลสัญญาณดีและข้อมูลสัญญาณเสียของสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ได้

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 1. ชิปประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processor: DSP)

ชิป DSP เป็นชิปประมวลผลสัญญาณ คือ ไมโครโปรดเซลเซอร์ที่ถูกออกแบบมาสำหรับงานประมวลผลสัญญาณแบบเวลาจริงโดยเฉพาะ โดยไมโครโปรดเซลเซอร์ประเภทนี้ จะมีสถาปัตยกรรมที่เอื้ออำนวยต่อการคำนวณ การโอนถ่ายข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ และความเร็วสูง เช่น การมีค่าลั่งพิเศษ

ในการคุณ การบวกสะสม หรือการอ้างข้อมูลแบบ Circular Buffer เป็นต้น บางชนิดยังสามารถทำการประมวลผลหลาย ๆ ส่วนได้พร้อมกันในตัวเดียว (Multi-Processing) อีกด้วย ชิ้นซิพ DSP นี้มีทั้งประเภทที่เป็นการประมวลผลข้อมูลแบบจำนวนเต็ม (Fixed-Point) และประเภทที่ประมวลผลข้อมูลแบบเลขอิ่งครรชัน (Floating-Point) ส่วนการใช้งานทำได้โดยเขียนเป็นโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี หรือภาษาซีแล้วใช้คอมไพล์เลอร์แปลงเป็นภาษาแอสเซมบลีอีกที [6]

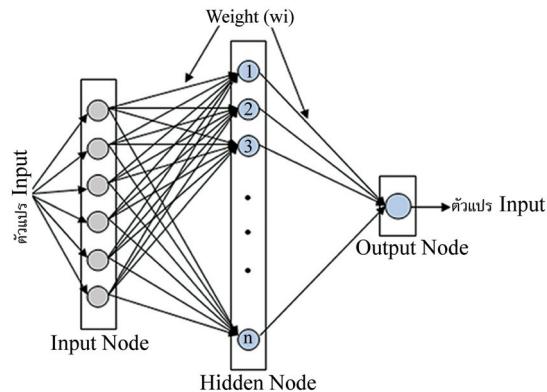
## 2. การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT)

การวิเคราะห์ฟูเรียร์เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปคลื่นสัญญาณทางเวลาไปเป็นส่วนประกอบกันทางความถี่หรือสเปกตรัมของสัญญาณนั้น ๆ โดยสัญญาณที่มีลักษณะเป็นรายคาบ จะสามารถวิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์ฟูเรียร์ และสัญญาณที่มีลักษณะไม่เป็นรายคาบจะใช้การแปลงด้วยฟูเรียร์ทرانฟอร์ม [1], [7] และจากปัญหาของ Discrete Fourier Transform (DFT) คือ การคำนวณตามนิยามของ DFT นั้น ประมาณ  $N^2$  ดังนั้นถ้าไม่มีวิธีการคำนวณ DFT ให้เร็วพอที่จะคำนวณ DFT ที่  $N$  มีค่าสูง ๆ ได้ภายในเวลาอันสมควรแล้ว DFT ก็ไม่มีประโยชน์ วิธีการที่คำนวณ DFT ให้เร็ว ซึ่งวิธีนั้นก็คือใช้อัลกอริทึมชื่อ FFT ในการคำนวณจากสมการที่ (1) [1] เราสามารถลดจำนวนการคุณกันของสมการเมटริกได้ด้วยการแปลงทางฟูเรียร์แบบเร็ว โดยการจัดกลุ่มของเมटริก  $W^{kn}$  ใหม่ ซึ่งทำให้การคุณกันของสมการลดลงเหลือเพียง  $N \log_2 N$  ครั้ง [1]

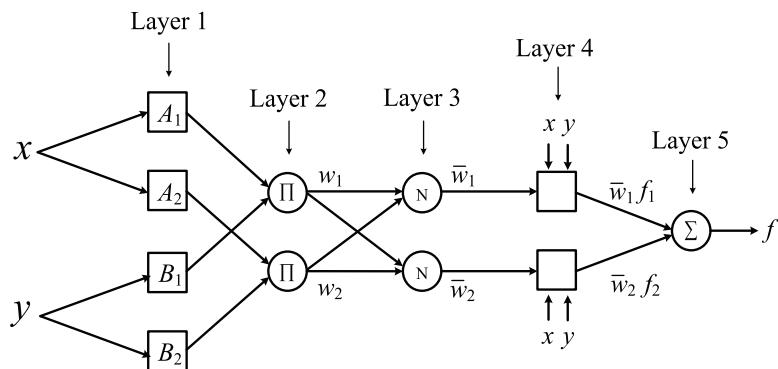
$$[X(f_k)] = \frac{1}{N} [W^{kn}] [x(t_n)] \quad (1)$$

## 3. โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์หรือโมเดลทางคอมพิวเตอร์ โดยจุดมุ่งหมายของโครงข่ายประสาทเทียมคือ ต้องการให้คอมพิวเตอร์มีความชำนาญฉลาดในการเรียนรู้และนำมายังนิยามที่มนุษย์ มีการเรียนรู้ สามารถฝึกหัดได้ และสามารถนำความรู้และทักษะไปประยุกต์ใช้ได้ดี [8] สำหรับการประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนกชันนิสต์ (Connectionist) ที่มีการรวมกลุ่มแบบขนาดของหน่วยประมวลผลอยู่อย่างเดียว โดยทั่วไปโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย โหนดชั้นตัวแปรนำเข้า (Input Node) โหนดในชั้นช่อง (Hidden Node) และโหนดชั้นตัวแปรผลลัพธ์ (Output Node) ซึ่งโหนดทั้งหมดเหล่านี้จะมีการเชื่อมต่อ กันในรูปแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron: MLP) มีการส่งข้อมูลจากชั้นสู่ชั้นจนถึง Output Node และมีกระบวนการฝึกหัดเป็นแบบมีผู้สอน โดยส่งค่า้อนกลับหรือเรียกว่า การเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Back Propagation) [9] - [12] ในโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นแบบป้อนไปข้างหน้า เริ่มจากการป้อนข้อมูลเข้าจากชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer) และมีการเชื่อมต่อส่วนของโหนดในชั้นช่อง (Hidden Layer) ซึ่งอาจมีมากกว่าหนึ่งชั้น เพื่อทำการปรับระบบตามพฤติกรรมของข้อมูล และสามารถอธิบายข้อมูลที่มีความซับซ้อนได้เพิ่มมากขึ้น [5], [13] ดังรูปที่ 1 ซึ่งวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหางานในระดับง่ายไปจนถึงงานระดับยากขับชั้นช่องขึ้นอยู่กับงานที่นำไปประยุกต์ใช้



รูปที่ 1 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 2 โครงสร้างของ ANFIS

#### 4. นิวโรฟิชซี (Neuro-Fuzzy: NF)

ปัจจุบันเทคโนโลยีเชิงอัจฉริยะได้มีบทบาทในหลายด้าน โดยแต่ละตัวจะมีคุณสมบัติในการคำนวณ และแก้ปัญหาได้เฉพาะบางอย่างไม่สามารถแก้ได้ทั้งหมด เช่น นิวรอลเน็ตเวิร์กมีคุณสมบัติในการเรียนรู้ แต่ไม่สามารถใช้สำหรับการอธิบายถึงการได้มาซึ่งสิ่งที่ตัดสินใจ ในขณะที่ระบบฟิชซีสามารถให้เหตุผล ด้วยข้อมูลที่คลุมเครือและมีคุณสมบัติของการใช้งานด้านการอธิบายการตัดสินใจที่สามารถตีความให้อยู่ในรูป If-Then ซึ่งสอดคล้องกับตรรกะความคิดของมนุษย์ โดยช่วยสร้างกฎฟิชซีจากการเรียนรู้จากกลุ่มข้อมูลอุปกรณ์และเอกสารพุต ช่วยในการตัดสินใจที่คลุมเครือ แต่ระบบฟิชซีเองก็ไม่มีความสามารถในการเรียนรู้จากข้อมูลอุปกรณ์และเอกสารพุต ข้อจำกัดต่อไปนี้ ทำให้มันกว้างจัยให้ความสนใจคิดค้นวิธีการ พัฒนาระบบทลายระบบเข้าด้วยกัน เมื่อนำสองศาสตร์นี้รวมกันกล้ายเป็นระบบประสานแบบอัจฉริยะ (Hybrid Intelligent System: HIS) ขึ้นมาเป็นจำนวนมาก เช่น ระบบฟิชซีสมมูลกับโครงข่ายประสาทเทียม จึงได้ขอใหม่เป็นระบบนิวโรฟิชซี ทั้งนี้ก็เพื่อแก้ปัญหาจากข้อจำกัดของแต่ละวิธี ระบบพัฒนานิวโรฟิชซีที่มีข้อเสียเป็นที่รู้จักกันมาก ได้แก่ ANFIS เป็นระบบอนุมานฟิชซีบนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทเทียม จากรูปที่ 2 โครงสร้างของ ANFIS ประกอบด้วย 2 อินพุตคือ  $x$  และ  $y$  แต่ละอินพุตแบ่งเป็น 2 ฟิชซีเซต และ 1 เอ้าต์พุต [14] - [15]

## 5. ชั้พพอร์ตเวกเตอร์เมชีนสำหรับการถดถอย (Support Vector Machine for Regression)

ชัพพอร์ตเวกเตอร์เมชีน หรือ SVM เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีการหารนาทางการตัดลินใจ (Decision Hyperplane) หรือไฮเปอร์เพลนที่เหมาะสมสำหรับการแบ่งข้อมูล 2 ส่วนจากกัน SVM ยังถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสมการในประมาณการค่าฟังก์ชันเชิงเส้น  $F(x)$  แทนระนาบตัดลินใจ ชัพพอร์ตเวกเตอร์เมชีนสำหรับการถดถอย หรือ SVR จะเป็นการนำข้อมูลปัจจุบันและข้อมูลในอดีตจำนวนหนึ่งมาทำการเรียนรู้ (Training) เพื่อให้ระบบลีนรูปแบบสำหรับคาดการณ์ผลซึ่งจะเกิดขึ้นในอนาคต ชิ่งชัพพอร์ตเวกเตอร์เมชีนสำหรับการถดถอยเป็นอีกเทคนิคนึงที่สามารถนำมาพยากรณ์ได้ งานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีสร้างสมการในประมาณการค่าฟังก์ชันเชิงเส้นด้วยวิธี Sequential Minimal Optimization for SVM Regression (SMOreg) [16]

วิธีการอัลกอริทึมสำหรับสมการถดถอย (Sequence Minimal Optimization for Regression: SMOreg) เป็นอัลกอริทึมสำหรับการแก้สมการการเขียนโปรแกรมกำลังสอง (Quadratic Programming: QP) เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการการฝึกหัดของ Sequence Minimal Optimization (SMO) [16]

### วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัยโดยรวมสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

#### 1. การเริ่มต้นวิจัย

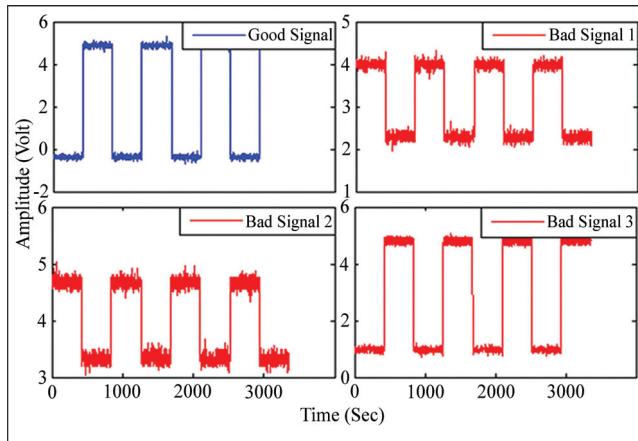
การเริ่มต้นการวิจัย เป็นขั้นตอนแรกของงานวิจัยโดยกำหนดค่าต้นแบบลงก่อน วางแผนและประเมินที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย จากนั้นเริ่มทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วางแผนขั้นตอนการดำเนินการวิจัย และเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าที่ต้องการนำมาใช้ในงานวิจัยดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย		
การเริ่มต้นการวิจัย	การจัดเตรียมข้อมูล	การสร้างตัวแบบและการทดสอบ
1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1) ขั้นตอนการแปลงไฟฟ้าเรียบแบบเร็วสำหรับค่าตัวแปรข้อมูลเพื่อใช้สำหรับทดลอง	1) กำหนดโครงสร้างของแต่ละวิธีที่น่าสนใจและกำหนดค่าต่าง ๆ
2) วางแผนขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย	2) จัดการข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ใช้สำหรับทดลอง	2) ทำการฝึกหัดข้อมูลและเตรียมตัวแบบที่ได้สำหรับทดสอบข้อมูล
3) เก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าที่ใช้สำหรับทดลอง	3) เตรียมชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้กับทดลอง	3) ทดสอบกับทุกชุดข้อมูลด้วยตัวแบบที่ได้

จากการตรวจเชิงงานของสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าด้วยเครื่องออกซิลโลสโคปจำนวนหลายชิ้น ๆ ละ 1 สัญญาณ และเลือกนำมาใช้ทดลองจำนวนหนึ่ง เป็นกลุ่มชุดสัญญาณคิจำนวน 21 สัญญาณ และกลุ่มชุดสัญญาณเลี้ยงจำนวน 7 สัญญาณ แต่ละสัญญาณมีจำนวนข้อมูล 3,360 เรคคอร์ด และ

ลิ่งที่แตกต่างกันระหว่างสัญญาณดีกับสัญญาณเสีย คือค่าของ Phase, ค่าสูงต่ำของ Amplitude และค่าอ้างอิงที่จุดเริ่มต้นของสัญญาณ จากรูปที่ 3 สัญญาณดีก่อนที่จะผ่านขั้นตอนของ FFT ค่าของ Amplitude โดยค่าต่ำสูงจะอยู่ที่ 0 โวลต์ กับ 5 โวลต์ (Good Signal) ส่วนสัญญาณเสียค่าจะแตกต่าง (Bad Signal 3) หรือค่าของ Phase จะกลับค่า (Bad Signal 1, Bad Signal 2) เมื่อเทียบกับสัญญาณดี

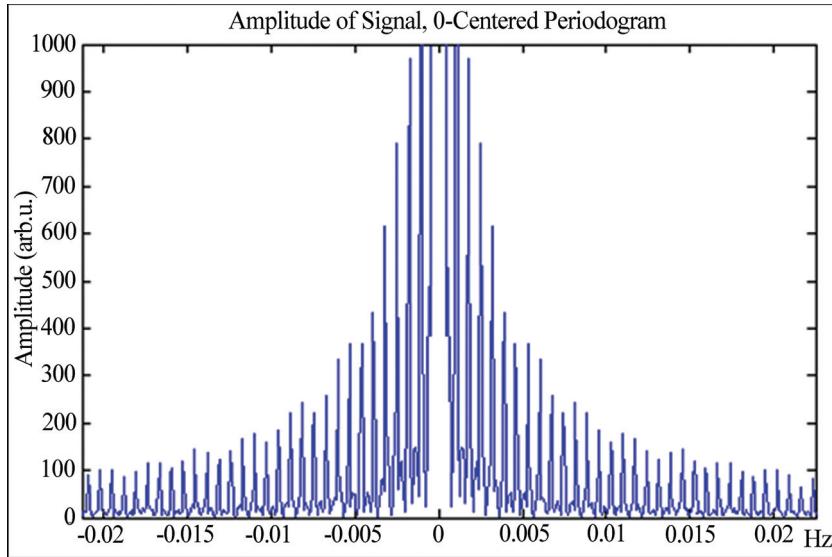


รูปที่ 3 รูปแบบข้อมูลสัญญาณระหว่างดีและเสีย

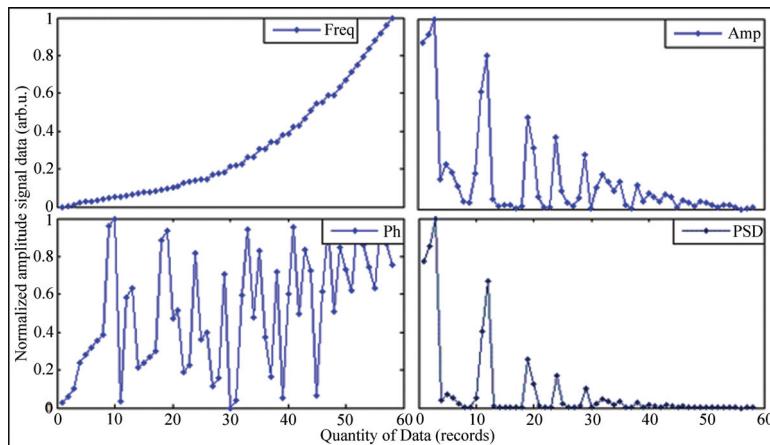
## 2. การจัดเตรียมข้อมูล

การจัดเตรียมข้อมูลสัญญาณ เป็นขั้นตอนกระบวนการเตรียมข้อมูลสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการเรียนรู้หรือฝึกหัดและทดสอบของตัวแบบที่นำเสนอด้วยขั้นตอนดังนี้

2.1 ชุดข้อมูลสำหรับการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว เป็นข้อมูลสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจด้วยเครื่องออสซิลโลสโคปของชิ้นงาน และนำข้อมูลสัญญาณในแต่ละสัญญาณที่ได้มาทำการแปลงข้อมูลสัญญาณด้วยฟังก์ชัน FFT ค่าที่ได้จะเป็นเลขเชิงซ้อน จานวนทำการหาค่าแอมเพลจูด และเลือกช่วงของแอมเพลจูดที่เหมาะสมกับการทดลอง ซึ่งช่วงที่ได้จะอยู่ระหว่างค่า 100 - 2,000 ทำให้ได้ตัวแปรแอมเพลจูด (Amplitude: Amp) ที่มีจำนวนข้อมูล 58 เรคคอร์ดต่อหนึ่งสัญญาณ จานวนใช้ชุดข้อมูลเดียวกันกับที่ใช้หาค่าในตัวแปรแอมเพลจูดมาทำการหาค่าเฟสและค่าสเปกตรัมกำลัง ทำให้ได้ตัวแปรเฟส (Phase: Ph) และตัวแปรสเปกตรัมกำลัง (PSD) ที่มีจำนวนข้อมูลสัญญาณละ 58 เรคคอร์ด ส่วนชุดข้อมูลในตัวแปรความถี่ (Frequency: Freq) ได้จากการนำค่าความถี่ที่ตรงกับตำแหน่งในแต่ละค่าของตัวแปรแอมเพลจูด ซึ่งตัวแปรทุกตัวที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นชุดข้อมูลสำหรับทดลองกับวิธีที่นำเสนอ ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5



รูปที่ 4 ค่าแอมเพิลจูดของข้อมูลใน 1 ลัญญาณ



รูปที่ 5 ชุดข้อมูลลัญญาณสำหรับทดลองใน 1 ลัญญาณ

$$Y = fft(data, n); \quad (2)$$

$$Freq = (0 : n-1) * (fs / n); \quad (3)$$

$$Amp = abs(Y); \quad (4)$$

$$PSD = Y.* conj(Y) / n; \quad (5)$$

$$Ph = a \tan 2(y1, x1) * 180 / pi; \quad (6)$$

เมื่อ

data คือ ข้อมูลลัญญาณ

n คือ จำนวนข้อมูลของ data

Y คือ ข้อมูลที่ได้จากการแปลงด้วย FFT

<i>fs</i>	คือ	ช่วงค่าความถี่ของ <i>data</i>
<i>Freq</i>	คือ	ค่าความถี่ในแต่ละเรคคอร์ด
<i>Amp</i>	คือ	ค่าแอมเพลจูดของ <i>Y</i>
<i>PSD</i>	คือ	ค่าスペกตรัมกำลังของ <i>Y</i>
<i>Ph</i>	คือ	ค่าเฟสของ <i>Y</i>

Signal	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	B1-B7
Training Set	58x8=464 records														
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7*
Testing Set	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7*

■ Training Set = 464 records ( Input = Freq, Amp, Ph, Target = PSD )

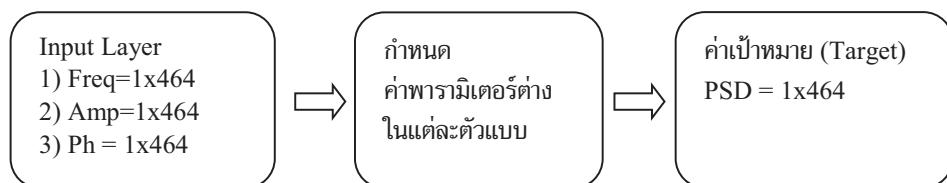
■ \* Testing Set = 58 records , \* = 1 Signal , 7\* = Signal Bad 7 signals

รูปที่ 6 ชุดข้อมูลลักษณะสำหรับฝึกหัดและทดสอบ

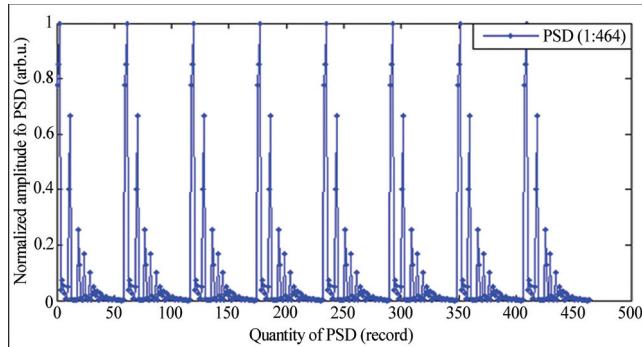
จากรูปที่ 6 แสดงการแบ่งชุดข้อมูลลักษณะสำหรับฝึกหัดและทดสอบ โดยชุดข้อมูลสำหรับฝึกหัดทั้งหมดเท่ากับ 464 เรคคอร์ด คือ ใช้ชุดข้อมูลลักษณะตั้งแต่ G1 ถึง G8 และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ ซึ่งจะทดสอบทุกช้อมูลลักษณะ ๆ ละ 58 เรคคอร์ด คือ ช้อมูลลักษณะตั้งแต่ G1 ถึง G14 และ B1 ถึง B7 (G1 หมายถึง ข้อมูลลักษณะเดิลักษณะที่ 1, B1 หมายถึง ข้อมูลลักษณะที่มีปัญหาหรือเสียลักษณะที่ 1)

## 2.2 ชุดข้อมูลสำหรับฝึกหัดและชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ ประกอบด้วย

1) ชุดข้อมูลสำหรับฝึกหัด (Training Set) คือ ชุดข้อมูลนำเข้า (Input Set) ประกอบด้วยจำนวน 3 ตัวแปร คือ Freq, Amp, Ph ซึ่งในแต่ละตัวแปรจะเลือกใช้ข้อมูลลักษณะตีทั้งหมด 8 ลักษณะรวมกัน จะได้เท่ากับ 464 เรคคอร์ด และชุดข้อมูลค่าเป้าหมาย (Target Set) มีจำนวน 1 ตัวแปร คือ PSD โดยเลือกใช้ชุดข้อมูลของลักษณะตี 1 ลักษณะ แล้วทำข้อมูลค่าเป้าหมายที่มีจำนวนเรคคอร์ดเท่ากับชุดข้อมูลนำเข้า ด้วยวิธีนำมาร่วมกัน 8 ครั้ง เป็นดังรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 ลักษณะโครงสร้างที่ใช้สำหรับฝึกหัด



รูปที่ 8 ชุดข้อมูลค่าเป้าหมายของ PSD สำหรับฝึกหัด

2) ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Testing Set) คือ เป็นชุดข้อมูลนำเข้าในแต่ละลัญญาณ ๆ ละ 58 เรคคอร์ด ประกอบด้วยจำนวน 3 ตัวแปร คือ Freq, Amp และ Ph ดังรูปที่ 5 และ 6

### 2.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

เนื่องจากข้อมูลนำเข้าต้องมีความสัมพันธ์กับข้อมูลผลลัพธ์ซึ่งเป็นสเปกตรัมกำลังของข้อมูลลัญญาณ โดยความสัมพันธ์ของข้อมูลนี้ได้จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมากในทิศทางเดียวกัน ถ้าค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมากในทิศทางแปรผกผัน และถ้ามีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันน้อย

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ 2 ตัวแปร ซึ่งสามารถหาค่าของ  $r$  ได้ ดังสมการที่ (7) [13] เมื่อนำข้อมูลนำเข้าทั้ง 3 ตัวแปร คือ Freq, Amp, Ph มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งค่าที่ได้เท่ากับ 0.3556, 0.9686 และ -0.2916 ตามลำดับ

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

เมื่อ

- |     |     |                           |
|-----|-----|---------------------------|
| $r$ | คือ | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ |
| $n$ | คือ | จำนวนข้อมูล               |
| $x$ | คือ | ค่าข้อมูลนำเข้า           |
| $y$ | คือ | ค่าข้อมูลเป้าหมาย         |

### 2.4 การแปลงข้อมูล (Data Transformation)

เป็นขั้นตอนการปรับขอบเขตของข้อมูลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับฟังก์ชันที่เลือกใช้ เพื่อนำไปใช้งานในการฝึกหัดให้เกิดกระบวนการเรียนรู้ โดยแปลงค่าข้อมูลลัญญาณด้วยวิธีการnomalizel (Normalization) และการแปลงค่าข้อมูลในลักษณะเชิงเส้น (Min-Max Normalization) โดยงานวิจัยนี้

จะแปลงข้อมูลให้อยู่ระหว่างค่า 0 - 1 ก่อนนำข้อมูลไปใช้สำหรับฝึกหัดและการทดสอบ ดังรูปที่ 5 และดังสมการที่ (8) [5], [13]

$$V_{new} = \frac{V - \min}{\max - \min} (\max_{new} - \min_{new}) + \min_{new} \quad (8)$$

เมื่อ

$V_{new}$	คือ	ค่าหลังจากการแปลงค่า
$V$	คือ	ค่าก่อนการแปลงค่า
$\max$	คือ	ค่าสูงสุดของข้อมูลก่อนแปลงค่า
$\min$	คือ	ค่าต่ำสุดของข้อมูลก่อนแปลงค่า
$\max_{new}$	คือ	ค่าสูงสุดของข้อมูลหลังแปลงค่า
$\min_{new}$	คือ	ค่าต่ำสุดของข้อมูลหลังแปลงค่า

### 3. การสร้างตัวแบบและการทดสอบ

การสร้างตัวแบบและการทดสอบ เป็นขั้นตอนกระบวนการสร้างตัวแบบโดยกำหนดค่าต่าง ๆ ในตัวแบบที่นำเสนอ เพื่อหาตัวแบบที่ดีที่สุดในแต่ละวิธี และนำตัวแบบที่ได้ไปทดสอบกับข้อมูลสำหรับทดสอบ มีขั้นตอนดังนี้

3.1 ตัวแบบที่ได้จากการฝึกหัดโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า ทลายชั้น (ANN) โดยใช้ระบบการเรียนรู้แบบแพรวร่ายบอนกลับ เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่สามารถเรียนรู้ได้โดยการปรับค่าน้ำหนัก เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าข้อมูลผลลัพธ์กับค่าเป้าหมาย [5], [13] และประกอบด้วย จำนวนโนนุ่ดในชั้นข้อมูลนำเข้ามีจำนวน 3 โนนุ่ด จำนวนโนนุ่ดในชั้นช่องได้จากการทดลองโดยเลือกจำนวนโนนุ่ดที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดมาเป็นตัวแบบ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้คือ 40 โนนุ่ด จำนวนโนนุ่ดในชั้นผลลัพธ์มีจำนวน 1 โนนุ่ด โดยตัวแบบที่ได้กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ 1) เลือกใช้ฟังก์ชันการฝึกหัดแบบ TrainLM เนื่องจากสามารถประมวลผลได้ก่อนข้างเร็วและมีประสิทธิภาพ [5], [13] 2) เลือกใช้ฟังก์ชันการเรียนรู้แบบ LearnGDM 3) กำหนดให้มีชั้นช่อง 1 ชั้น 4) เลือกใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Binary Sigmoid (logsig) ในชั้นช่อง และแบบ Linear (purelin) ในชั้นผลลัพธ์ เนื่องจากข้อมูลที่ใช้กำหนดค่าให้อยู่ในช่วง 0 - 1 และ 5) เลือกใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นคำนวนในรูปของค่า MSE, MAE, MAPE และค่าประสิทธิภาพของตัวแบบคำนวนในรูปของค่า EI ดังสมการที่ (9) - (12)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - O_i)^2 \quad (9)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |T_i - O_i| \quad (10)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{T_i - O_i}{T_i} \right| \times 100 \quad (11)$$

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2 - \sum_{i=1}^n (T_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2} \times 100\% \quad (12)$$

เมื่อ

$MSE$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error)
$MAE$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error)
$MAPE$	คือ	ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error)
$EI$	คือ	ค่าดัชนีประสิทธิภาพ (Efficiency Index)
$T_i$	คือ	ค่าเป้าหมายสำหรับฝึกหัดลำดับที่ $i$
$O_i$	คือ	ค่าผลลัพธ์จากการทดสอบลำดับที่ $i$
$\bar{T}$	คือ	ค่าเฉลี่ยของค่าเป้าหมายสำหรับการฝึกหัด
$n$	คือ	จำนวนข้อมูลของผลลัพธ์

3.2 ตัวแบบที่ได้จากการฝึกหัดโดยใช้เทคนิคในรูปชี้แบบปรับตัวได้ (ANFIS) จากการทดลองจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต 8 ชนิดคือ ฟังก์ชัน trimf, trapmf, gbellmf, gaussmf, gauss2mf, pimf, dsigmf และ psigmf โดยพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของการเรียนรู้ที่มีค่าต่ำสุด ซึ่งจากการทดลองทำให้ได้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตชนิด gbellmf สำหรับสร้างเป็นตัวแบบครั้งนี้ โครงสร้างของตัวแบบ ANFIS ประกอบด้วย จำนวนโหนดในชั้นอินพุตมีจำนวน 3 โหนด จำนวนโหนดในชั้นที่ 1 ที่ได้จากการทดลองคือ (7 7 7) และจำนวนโหนดในชั้นผลลัพธ์มีจำนวน 1 โหนด โดยตัวแบบที่ได้กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ 1) เลือกใช้การเรียนรู้ในรูปแบบของอัลกอริทึมแบบไฮบริด (Hybrid) 2) การจัดกลุ่มข้อมูลใช้แบบตระแกรง (Grid Partition) 3) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านอินพุตใช้ฟังก์ชัน gbellmf ซึ่งได้จากการทดลอง 4) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านเอาด็อพติกใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น 5) จำนวนรอบสำหรับฝึกหัดตัวแบบ 100 รอบ กับชุดข้อมูลฝึกหัดของทุกฟังก์ชัน กระทิ้งมีค่าความคลาดเคลื่อนคงที่ และ 6) เลือกใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นคำนวนในรูปของค่า MSE และวัดค่าประสิทธิภาพของตัวแบบคำนวนในรูปของค่า EI

3.3 ตัวแบบที่ได้จากการฝึกหัดโดยใช้เทคนิคชัฟฟอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการลดถอย (SMOreg) จากการทดลองกำหนดค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรม Weka แล้วเลือกตัวแบบที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยตัวแบบที่ได้กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ 1) กำหนดค่า Complexity parameter C คือ 1.0 2) กำหนดค่า Kernel โดยค่า omega เป็น 0.1 และค่า sigma เป็น 1.0 3) เลือกกำหนดค่าขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ (Learning Algorithm) โดยกำหนดค่า epsilon เท่ากับ 1.0E-12 ค่า epsilonParameter เท่ากับ 1.0E-5 ค่า tolerance เท่ากับ 1.0E-5 และค่า seed คือ 1

3.4 การทดสอบใช้ตัวแบบที่ได้จากวิธีที่นำเสนอทั้งสามตัวแบบมาทำการทดสอบกับชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ โดยทำการแปลงค่าข้อมูลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม และนำชุดข้อมูลสำหรับทดสอบเข้าสู่กระบวนการการทดสอบด้วยตัวแบบที่ได้นำเสนอ โดยทำการทดสอบในแต่ละชุดข้อมูลสัญญาณแล้วทำการบันทึกผลลัพธ์ที่ได้เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์อีกที

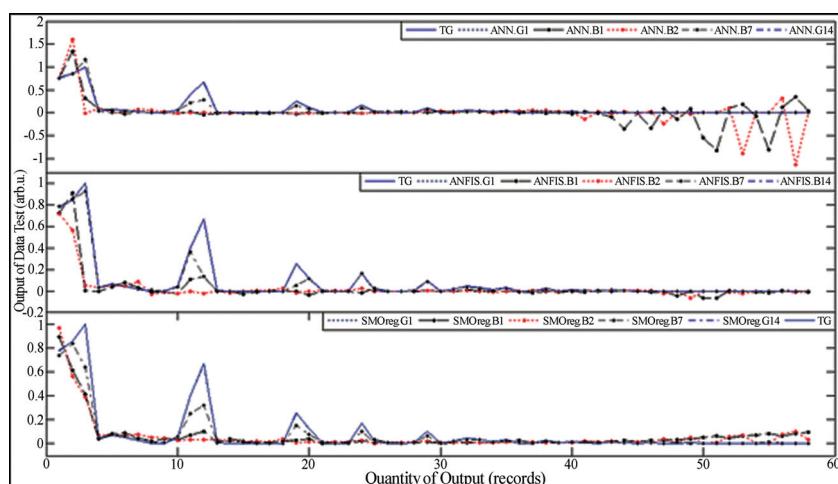
จากแนวคิดด้วยวิธีการเรียนรู้ในรูปแบบนี้ ทำให้ตัวแบบที่นำเสนอนั้นสามารถทดแทนทักษะทางเทคนิคจากการเรียนรู้และจำจำรูปแบบของข้อมูลลักษณะข้อมูลลักษณะ และในกระบวนการทดสอบจะทำให้ตัวแบบสามารถแยกแยะได้ระหว่างข้อมูลลักษณะเดียวกันข้อมูลลักษณะอื่นโดยวัดจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดสอบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด 1 ข้อมูลลักษณะ ฯ ละ 58 เรคคอร์ด ในแต่ละตัวแบบที่ใช้สำหรับทดสอบ

## ผลการวิจัย

จากการทดลองดังตารางที่ 2 เป็นตัวแบบที่ดีที่สุดในแต่ละวิธีในการทดลองครั้งนี้ เมื่อนำมาทดสอบทักษะทางเทคนิคที่มีความต่อเนื่องกับการทดสอบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดในรูปแบบต่างๆ ทั้งสามตัวแบบมี ANN, SMOreg และ ANFIS โดยผลลัพธ์จากการฝึกหัดค่า MSE คือ 1.45E-08, 5.60E-08, 3.32E-09 ตามลำดับ และผลลัพธ์จากการทดสอบค่า MAE คือ 8.30E-09, 2.66E-07, 3.21E-09 และค่าร้อยละที่ได้จากการทดสอบค่า MAPE คือ 2.5807, 10.9384, 0.8061 ตามลำดับ เมื่อนำตัวแบบทั้งสามวิธีมาเปรียบเทียบผลลัพธ์พบว่าตัวแบบ ANFIS มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีค่าความผิดพลาดโดยรวมที่น้อยกว่าตัวแบบอื่นๆ และค่าร้อยละของ EI สูงที่สุด

ตารางที่ 2 ค่า MSE, MAE, MAPE และค่า EI ที่ได้จากการฝึกหัดทั้ง 3 ตัวแบบที่นำเสนอนั้น

Algorithm	Training Data Set			Testing Data Set			
	MSE	MAE	MAPE	MSE	MAE	MAPE	EI (%)
ANN	1.45E-08	8.28E-05	2.99636	8.30E-09	8.61E-05	2.5807	99.999971
SMOreg	5.60E-08	4.31E-05	0.69080	2.66E-07	3.32E-04	10.9384	99.999419
ANFIS	3.32E-09	3.20E-05	0.83541	3.21E-09	3.38E-05	0.8061	99.999993



รูปที่ 9 ผลลัพธ์ของข้อมูลทดสอบที่ได้จากการทดสอบทั้งสามตัวแบบ

จากรูปที่ 9 แสดงกราฟที่ได้จากผลการทดสอบในแต่ละข้อมูลสัญญาณเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับค่าเป้าหมายจริง (TG) จากกราฟข้อมูลสัญญาณดี เช่น ANN.G14 (คือตัวแบบ ANN ของข้อมูลสัญญาณที่ 14) จากทั้งสามตัวแบบจุดเลียนกราฟที่ได้จะทันกับเส้นกราฟค่าเป้าหมายไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนเส้นกราฟสัญญาณที่มีปัญหาหรือเสีย เช่น ANN.B1 (คือตัวแบบ ANN ของข้อมูลสัญญาณเสียที่ 1) จากทั้งสามตัวแบบจุดเลียนกราฟที่ได้จะแตกต่างจากค่าเป้าหมายจริงมาก และผลจากการทดสอบดังตารางที่ 3 แสดงผลลัพธ์ที่ได้โดยวัดจากค่าความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ซึ่งจากการพิจารณาเปรียบเทียบตัวแบบห้องสม验 โดยตัวแบบ ANFIS จะมีค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมน้อยที่สุด และค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) ของตัวแบบ ANFIS เมื่อพิจารณาจากชุดข้อมูลสัญญาณเสียสัญญาณที่ B5 กับ B7 เมื่อเทียบกับค่าของชุดสัญญาณดี (Gx) เป็นจำนวนเท่า ตัวแบบของ ANFIS ให้ค่าจำนวนเท่าต่างกันระหว่างข้อมูลสัญญาณเสียกับสัญญาณดีมากกว่าตัวแบบอื่น

ตารางที่ 3 ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากชุดข้อมูลทดสอบ ด้วยวิธีที่นำเสนอทั้ง 3 ตัวแบบ

Signal	ANN			ANFIS			SMOreg		
	MSE	MAE	MAPE	MSE	MAE	MAPE	MSE	MAE	MAPE
G1	8.30E-09	8.61E-05	2.5807	3.21E-09	3.38E-05	0.8061	2.66E-07	3.32E-04	10.9384
G2	9.04E-09	8.22E-05	3.6663	4.30E-09	3.45E-05	0.5021	9.12E-08	2.63E-04	10.9306
G3	7.07E-09	8.95E-05	2.8684	2.56E-09	3.05E-05	0.8849	9.11E-08	2.63E-04	10.9264
G4	7.55E-09	8.38E-05	2.9524	1.96E-09	2.76E-05	0.6402	1.11E-07	2.81E-04	10.9325
B1	6.38E-01	1.34E-01	4515.0338	2.60E-02	5.74E-02	337.0390	1.71E-02	6.25E-02	1167.4661
B2	7.40E-01	1.22E-01	4546.8742	2.99E-02	6.19E-02	270.7685	2.03E-02	6.44E-02	915.7077
B3	8.80E-01	1.30E-01	2931.1516	2.80E-02	5.85E-02	312.8957	2.02E-02	6.39E-02	873.4389
B4	5.54E-01	1.52E-01	5445.1132	2.57E-02	6.09E-02	364.4101	1.85E-02	6.38E-02	1211.6929
B5	6.49E-03	2.18E-02	53.9360	5.88E-03	1.70E-02	26.1026	5.40E-03	2.44E-02	93.9928
B6	7.95E-01	1.09E-01	4156.5641	4.00E-02	7.27E-02	267.5068	2.04E-02	6.45E-02	988.2082
B7	6.01E-03	2.07E-02	50.8847	5.64E-03	1.66E-02	25.6074	5.18E-03	2.38E-02	95.5285
G5	8.73E-09	8.43E-05	3.4033	3.97E-09	3.35E-05	1.4353	9.14E-08	2.63E-04	10.9319
G6	8.10E-09	7.01E-05	2.6451	2.75E-09	3.00E-05	0.5015	9.14E-08	2.63E-04	10.9330
G7	7.92E-09	8.38E-05	2.3637	2.04E-09	2.79E-05	0.8456	1.04E-07	2.76E-04	10.9292
G8	6.41E-09	8.29E-05	3.4909	4.77E-09	3.81E-05	1.0676	1.37E-07	3.09E-04	10.9374
G9	3.88E-08	1.40E-04	5.8569	4.41E-09	4.31E-05	1.3980	1.71E-07	3.28E-04	12.8331
G10	1.31E-07	1.95E-04	4.2932	1.62E-07	1.03E-04	1.5257	1.27E-06	3.28E-04	12.1389
G11	7.73E-09	1.14E-04	4.9224	3.84E-09	3.65E-05	1.1939	1.12E-07	2.84E-04	10.9312
G12	6.83E-08	1.32E-04	4.5826	9.31E-08	7.65E-05	1.0704	9.73E-07	4.81E-04	12.3673
G13	6.10E-08	1.47E-04	4.2078	6.01E-09	4.26E-05	1.4467	3.22E-07	3.61E-04	15.5093
G14	1.61E-07	2.65E-04	10.8271	1.65E-08	6.26E-05	0.8600	6.64E-07	4.94E-04	13.5705

## อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบทั้งสามวิธี คือ ตัวแบบจากโครงข่ายประสาทเทียม ตัวแบบนิวโรฟิชซ์โดยใช้เทคนิคแบบ ANFIS และตัวแบบชั้พพร์ตเวกเตอร์แม่ขีนสำหรับการลดคลื่น ในรูปแบบการจดจำที่ใช้สำหรับในการวิเคราะห์และแยกแยะระหว่างข้อมูลลักษณะรูปคลื่นไฟฟ้า ลักษณะเดียวกันลักษณะเดียวกัน โดยหลักการในการสร้างตัวแบบที่นำเสนอด้วยตัวในครั้งนี้ จะใช้ข้อมูลที่ผ่านกระบวนการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในกระบวนการฝึกหัดและทดสอบของตัวแบบทั้งสามวิธี เพื่อการหาตัวแบบที่ดีที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ถึงแม้ว่า ทั้งสามตัวแบบจะสามารถวิเคราะห์และแยกแยะระหว่างข้อมูลลักษณะเดียวกับข้อมูลลักษณะเดียวกันได้ทุกตัวอย่างถูกต้อง แต่เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ พบร่วมกันที่ตัวแบบที่ใช้เทคนิค ANFIS ให้ประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุด และแสดงถึงความสามารถในการเรียนรู้ถึงความล้มเหลวระหว่าง ข้อมูลน้ำเข้ากับผลลัพธ์ได้เป็นอย่างดี และผลการทดสอบสามารถแยกแยะระหว่างลักษณะเดียวกันได้ถูกต้อง ทุกข้อมูลลักษณะ

อย่างไรก็ตามกรณีที่นำขั้นตอนวิธีที่นำเสนอบาบวิเคราะห์ลักษณะไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ อาจจะต้องกำหนดค่า หรือปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของข้อมูลลักษณะที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ในแต่ละงาน

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ท่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในงานวิจัย

## References

- [1] Kitti, A., Monthon, L., and Somchat, J. (2008). An Artificial Neural Networks Application for Harmonics Measurement in Power Systems. **The Journal of KMUTNB**. Vol. 18, No. 1, pp. 16-23
- [2] Pecharanin, N., Sone, M., and Mitsui, H. (1994). An Application of Neural Network for Harmonic Detection in Active Filter. **Proceedings of 1994 IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN'94)**. Vol. 6, pp. 3756-3760. DOI: 10.1109/ICNN.1994.374807
- [3] Kittisak, K. and Somchat, J. (2010). The Use of Power Quality to Forecast Reliability in the PEA's Distribution System Using Artificial Neural Networks. **The Journal of KMUTNB**. Vol. 20, No. 1, pp. 55-63
- [4] Porramate, I. and Somchat, J. (2008). Application of Artificial Neural Network in Optimal Power Flow. **The Journal of KMUTNB**. Vol. 18, No. 2, pp. 14-23
- [5] Adisorn, K., Prajuab, I., and Wutthichai, S. (8-10 March 2017). Application of Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System with Fast Fourier Transform for Waveform Analysis and Classification. **2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON)**. 8-10 March 2017, Pattaya, Thailand. DOI: 10.1109/IEECON.2017.8075886

- [6] Apichit, K., Jirasak, C., and Surapan, Y. (2006). **Real Time ECG Compression/Decompression System with Multirate Digital Signal Processing.** Thesis of King Mongkut's University of Technology North Bangkok (Medical Instrumentation). pp. 6-7
- [7] Jos Arrillaga, Bruce C. Smith, Neville R. Watson, and Alan R. Wood. (1997). **Power System Harmonic Analysis.** John Wiley and Sons. pp. 7-31
- [8] Dech, T. and Phayung, M. (2011). Ensemble Data Classification Based on Decision Tree, Artificial Neuron Network and Support Vector Machine Optimized by Genetic Algorithm. **The Journal of KMUTNB.** Vol. 21, No. 2, pp. 293-303
- [9] Lin, H. C. (2004). Intelligent Neural Network Based Dynamic Power System Harmonic Analysis. **International Conference on Power System Technology, 2004. PowerCon 2004.** Vol. 1, pp. 244-248. DOI: 10.1109/ICPST.2004.1460000
- [10] R. Rojas. (1996). **Neural Network: A Systematic Introduction.** Springer. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [11] Narimol, S. and Somechat, J. (2006). Short-term Load Forecast using Artificial Neural Networks. **The Journal of KMUTNB.** Vol. 16, No. 2, pp. 37-42
- [12] Chanwit, T. and Sirivit, T. (2013). Fault Detection and Protection of Induction Motor Using Artificial Neural Network. **The Journal of KMUTNB.** Vol. 23, No. 1, pp. 42-51
- [13] Adisorn, K., Panida, L., and Ariya, N. (2015). An Artificial Neural Network with Technical Indicators for Stock Investment: Application to the Stock Exchange of Thailand. **Information Technology Journal.** Vol. 11, No. 1, pp. 53-63
- [14] J.-S.R. Jang and Chuen-Tsai Sun. (1995). Neuro-Fuzzy Modeling and Control. **Proceedings of the IEEE.** Vol. 83, Issue 3, pp. 378-406. DOI: 10.1109/5.364486
- [15] Nunthakorn, C., Panida, L., and Ariya, N. (2015). A Neuro-Fuzzy with DCA and VA for Stock Investment: Application to the Stock Exchange of Thailand. **Information Technology Journal.** Vol. 11, No. 1, pp. 64-73
- [16] Shevada, S. K., Keerthi, S. S., Bhattacharyya, C., and Murthy, K. R. K. (2000). Improvements to the SMO Algorithm for SVM regression. **IEEE Transactions on Neural Networks.** Vol. 11, NO. 5, pp. 1188-1193. DOI: 10.1109/72.870050



การใช้ตะกอนที่ได้จากการขุดลอกทะเลเป็นวัสดุทดแทนในงานทาง

## Dredged Marine Sediment used for Pavement Material Substitution

วรรณวราภรณ์ รัตนานิคม<sup>1</sup> และสยาม ยิมศิริ<sup>1\*</sup>

Received: September, 2017; Accepted: January, 2018

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกจากท่าเรือพานิชย์แหลมฉบัง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี เป็นวัสดุทดแทนเพื่อผสมกับทรายในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นวัสดุในงานทาง โดยทรายจะถูกแทนที่ด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วน ทราย:ดินตะกอนทะเล โดยน้ำหนักเท็งต่าง ๆ ได้แก่ 100:0 95:5 90:10 85:15 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 และ 0:100 จากนั้นส่วนผสม จะถูกทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านนี้ ได้แก่ ขนาดคละ พิกัดอัตเตอร์เบร็ก และความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติทางวิศวกรรม คือ การบดอัด และ ซี บี อาร์ และเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับมาตรฐาน โครงสร้างชั้นทางของกรมทางหลวง โดยผลการศึกษาพบว่าสามารถแทนที่ทรายด้วยดินตะกอนทะเลได้ถึงร้อยละ 5 ของน้ำหนักเท็งรวม โดยไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติใด ๆ ของทราย นอกจากนี้ยังสามารถแทนที่ทรายด้วยดินตะกอนทะเลได้ถึงร้อยละ 15 ของน้ำหนักเท็งรวม เพื่อใช้เป็นชั้นรองพื้นทางร้อยละ 20 ของน้ำหนักเท็งรวมเพื่อใช้เป็นชั้นวัสดุคัดเลือก ก และ ข ชั้นทรายมีคันทาง และชั้นดินกมคันทาง และร้อยละ 30 ของน้ำหนักเท็งรวมเพื่อใช้เป็นชั้นวัสดุคัดเลือก ข และชั้นดินกมคันทางได้

คำสำคัญ : ดินตะกอนทะเล; ทราย; วัสดุงานทาง; ชั้นทาง; คุณสมบัติทางวิศวกรรม

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Burapha University, Chon Buri

\* Corresponding Author E - mail Address: ysiam@buu.ac.th

## Abstract

This research studies a possibility of using dredged marine sediment for pavement material substitution. The dredged marine sediment is obtained from Laem Chabang Port, Thailand. Sand is replaced by dredged marine sediment at various sand:sediment ratios are 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, and 0:100 by dry weight. The mixtures are undergone several tests to determine: (i) index properties, i.e. grain size distribution, Atterberg limits, and specific gravity and (ii) engineering properties, i.e. compaction and CBR. The obtained results are compared with standard specifications for highway materials of the Department of Highway, Thailand. The study shows that the sand can be replaced by the dredged marine sediment of up to 5 % of total dry weight without any significant alteration to the properties of sand. Moreover, the sand can be replaced by the dredged marine sediment of up to 15 % of total dry weight for being used as subbase, 20 % of total dry weight for being used as selected material A and B and sand embankment, and 30 % of total dry weight for being used as selected material B and soil embankment.

**Keywords:** Marine Sediment; Sand; Highway Material; Pavement; Engineering Properties

## บทนำ

การขันล่งลินค้าทางน้ำเป็นการขันล่งที่ประทัยด้วยเป็นมิตรกับลิ่งแวดล้อมโดยมีท่าเรือเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญ ท่าเรือต้องมีการขุดลอกอย่างสม่ำเสมอ (Maintenance Dredging) เพื่อรักษาระดับความลึกของท่าเทียบและร่องน้ำให้เรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่สามารถเข้าจอดเทียบท่าได้ โดยวัสดุที่ถูกขุดลอก (Dredged Material) เกิดจากการสะสมของวัตถุตันกำเนิด (การลającyตัวของหินและแร่ธาตุ) บริเวณชายฝั่งที่ทับถมกันเนื่องจากอิทธิพลของกระแสน้ำและระดับน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง วัสดุนี้มีปริมาณความชื้นสูง มีคุณสมบัติด้านกำลังตัว และอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก จึงอาจเรียกว่าเป็น “ขยะทางลิ่งแวดล้อม” เนื่องจากปริมาณวัสดุที่ถูกขุดลอกมีจำนวนมากจึงก่อให้เกิดปัญหาทางลิ่งแวดล้อมตามมาเนื่องจากต้องกำจัดอย่างเหมาะสม ปัจจุบันวิธีการกำจัดขยะดังกล่าวแบบดั้งเดิม เช่น การทิ้งในทะเลลึก มีข้อจำกัดทางกฎหมายทั้งในและระหว่างประเทศ นอกจากนี้วิธีการกำจัดแบบอื่น เช่น การทิ้งบนบก ก็มีข้อจำกัดด้านค่าดำเนินการตลอดจนปัญหาการขาดแคลนพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อรับปริมาณขยะจำนวนมาก [1] เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุที่ถูกขุดลอกเพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานทางโดยนำวัสดุที่ได้จากการขุดลอกจากท่าเรือพานิชย์แหลมฉบัง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี แทนที่ทรายในสัดส่วนต่าง ๆ และทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมที่ได้ คือ 1) คุณสมบัติทางด้านน้ำ คือ ขนาดคละพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก และความถ่วงจำเพาะ และ 2) คุณสมบัติทางวิศวกรรม คือ การบดอัด และ ซี บี อาร์ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถช่วยในการออกแบบชั้นโครงสร้างทางที่ใช้วัสดุที่ถูกขุดลอกเป็นวัสดุทดแทนในการก่อสร้างได้

## การใช้ประโยชน์จากวัสดุที่ถูกขุดลอก

วัสดุที่ถูกขุดลอก คือ ดินตะกอนเนื้อละเอียด (อาจเป็นทรัพย์สินที่ห้ามนำเข้าประเทศ) ที่เกิดจากการสะล่มบริเวณชายฝั่งของวัตถุตันกำเนิดจากอิทธิพลของกระแสลมและระดับน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องเป็นสาเหตุให้ชายฝั่งตื้นเขินส่งผลกระทบต่อการเข้าเทียบท่าของเรือบรรทุกสินค้าและมีความจำเป็นต้องขุดลอกออกเป็นระยะ ๆ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว มีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ศึกษาการนำวัสดุที่ถูกขุดลอกจากชายฝั่งทะเลมาใช้ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมโยธา เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมเพื่อลดปัญหาการจำกัดทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของทางสิ่งแวดล้อมและประหยัดแหล่งทรัพยากรธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมด้วย หากพิจารณาการใช้ประโยชน์จากวัสดุที่ถูกขุดลอกจากชายฝั่งในงานทางวิศวกรรมโยธาพบว่าประเทศไทยมีการใช้สูงสุดเป็นอันดับ 1 โดยปริมาณดินที่ถูกขุดลอกมากถึงร้อยละ 90 จะถูกปรับปรุงคุณภาพโดยซีเมนต์และนำมาใช้ในการก่อสร้างถนนบินและงานป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งอันดับสองคือ ประเทศไทยเป็น โดยร้อยละ 76 ของดินที่ถูกขุดลอกถูกนำมาใช้ในงานป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งและงานถนน อันดับสาม ลี' และท้าวคือ ประเทศไทย (ร้อยละ 20 - 30) ประเทศไทยเนื่อร์แลนด์ (ร้อยละ 23) และประเทศไทย (ร้อยละ 20) ตามลำดับ [2]

จากการบททวนวรรณกรรมเกี่ยวกับแนวทางการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากดินที่ถูกขุดลอกจากชายฝั่งพบว่าสามารถจำแนกตามประเภทของงานได้ 4 ประเภทดังนี้

- การใช้งานทางวิศวกรรม (Engineering Uses) คือการใช้เป็นวัสดุมีเพื่อการก่อสร้างทางวิศวกรรมโยธา (Land Reclamation) เช่น โครงการ Changi East Reclamation Project ในประเทศไทย [3] ใช้ดินตะกอนทรายที่ถูกขุดลอกประมาณ 200 ล้านลูกบาศก์เมตร เพื่อถอนทะเลพื้นที่ 30 ตารางกิโลเมตร [3] เป็นต้น

- การใช้งานด้านลิงแวดล้อม (Environmental Enhancement) ได้แก่ (ก) การสร้างหาดทรายเพื่อป้องกันการกัดเซาะของชายฝั่งทะเลและลดพลังงานของคลื่นที่มากระทบ (Coastal Protection) [4] Van der Wal, D., et al. [5] พบร่วมกับการนำดินที่ถูกขุดลอกมาถมบริเวณปากน้ำชีน - น้ำลัง ส่งผลดีอย่างมากต่อการลดการกัดเซาะของหาดโคลน (Mudflats) และ (ข) การใช้เป็นวัสดุเพื่อบรรจุใน Geotube เพื่อการป้องกันการกัดเซาะของชายฝั่งทะเล [6]

- การใช้งานด้านเกษตรกรรม (Agricultural Uses) ดินที่ถูกขุดลอกสามารถนำมาใช้เป็นดินชั้นบนเพื่อการปลูกพืชโดยการผสมกับชัยอินทรีในสัดส่วนที่เหมาะสม Sheehan, C., et al. [7] ได้นำดินตะกอนที่ถูกขุดลอกจาก Port of Waterford ผสมกับชัยอินทรีและพบว่าดินที่ได้มีคุณสมบัติที่ดี คือ ระยะน้ำได้ดี มีความสามารถในการเก็บกักสารอาหารและน้ำที่เพียงพอ และมีปริมาณสารอาหารที่สูงกว่ามาตรฐานดินชั้นบน

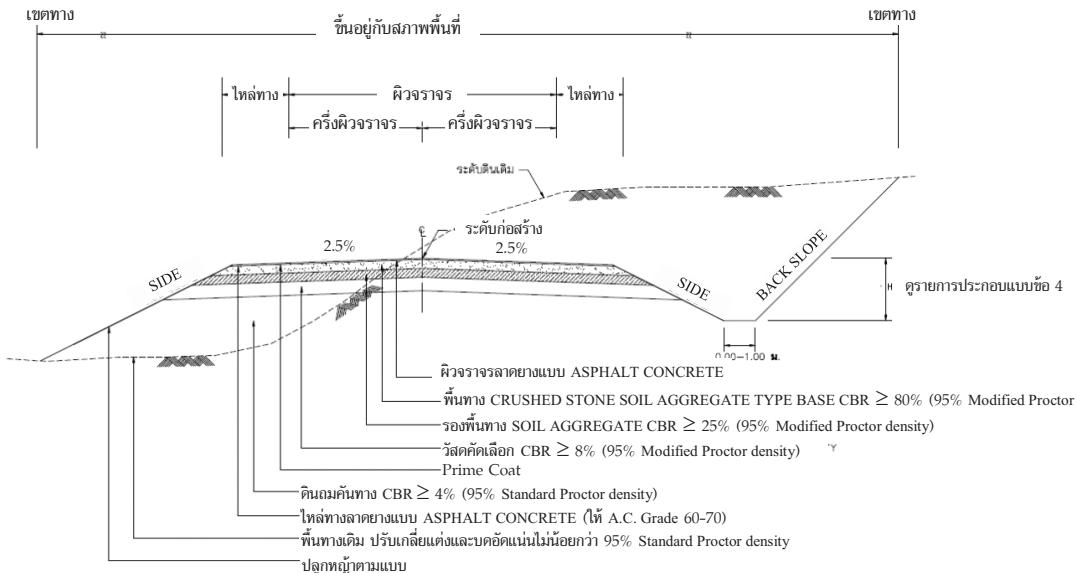
- การใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานก่อสร้าง (Substituted Product Uses) ได้แก่ (ก) การใช้เพื่อเป็นวัสดุทดแทนในงานทาง เช่น การปรับปรุงดินที่ถูกขุดลอกจากท่าเรือ Dunkirk ประเทศไทยรั่งเศส โดยวิธีต่าง ๆ คือ การผสมทรายเพื่อเพิ่มคุณสมบัติขนาดคละและความแข็งแรง และการปรับปรุงคุณสมบัติด้านกำลังโดยการผสมซีเมนต์ ปูนขาว และวัสดุปูชโซลัน เพื่อใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทาง [1], [8] - [10] (ข) การใช้เป็นวัสดุในงานอุตสาหกรรมการผลิตอิฐและเซรามิก Hamer, K. and Karius, V. [11] พบร่วมกับหินก้อนและสารอินทรีย์ที่ป่นเปื้อนในดินที่ถูกขุดลอกจะถูกทำลายด้วยความร้อนสูงในกระบวนการผลิตอิฐและเซรามิก ซึ่งเป็นข้อดีอย่างยิ่งสำหรับการใช้ประโยชน์จากดินที่ป่นเปื้อนโลหะหิน (ค) การใช้เป็นวัสดุในงานคอนกรีต Limeira, J., et al. [12] และ Wang, H. Y. [13] พบร่วมกันเนื้อละเอียดที่ได้จากการ

ชุดลอกมีศักยภาพเป็นวัตถุดีบในการผลิตคอนกรีตหัวไป ค่อนกรีตมวลเบา และค่อนกรีตสมรรถนะสูง และยังพบว่าคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่ทรายทินปูนบด (Crushed Limestone Raw Sand) ด้วยดินเนื้อละเอียดที่ถูกชุดลอกจาก Port of Barcelona มีลักษณะเข้มเดียวกับ คอนกรีตมาตรฐาน และ (g) การใช้เป็นวัสดุกันชื้นในบ่อฝังกลบขยะ ดินเนื้อละเอียดที่ถูกชุดลอกสามารถนำมามาใช้ เป็นวัสดุกันชื้นในบ่อฝังกลบขยะ (Landfill Liner) [14] – [17] นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นวัสดุปิดทับหน้า ขยะมูลฝอยในแต่ละวัน (Daily Capping Layer) หรือวัสดุชั้นปิดทับหน้าชั้นสุดท้ายในบ่อฝังกลบขยะ (Landfill Final Cover) [18]

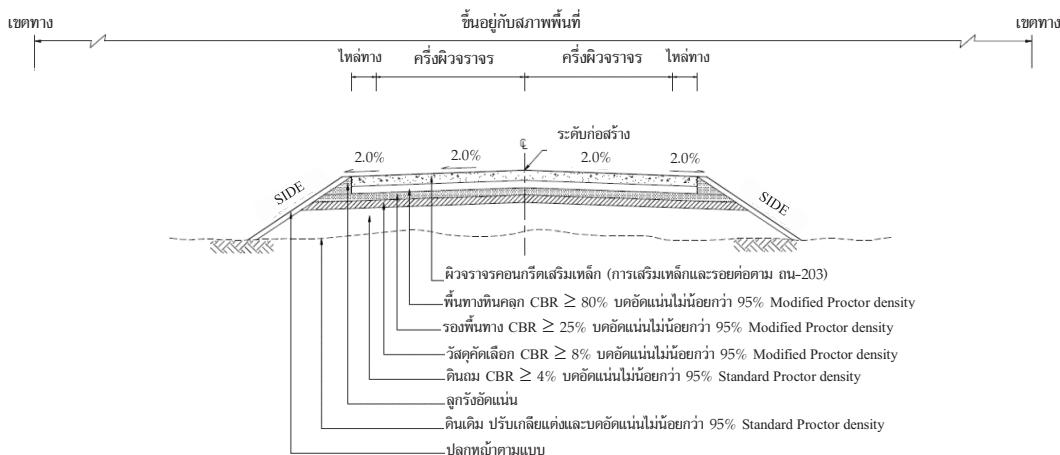
แม้ในต่างประเทศจะมีการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากดินตะกอนที่ถูกชุดลอก จากชายฝั่งทะเลเป็นวัสดุทางเลือกในงานต่าง ๆ อย่างกว้างขวางแต่ลับยังไม่มีการศึกษาเรื่องดังกล่าว ในประเทศไทย จากข้อจำกัดของลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันรวมทั้งข้อกำหนดและมาตรฐานในการ ก่อสร้างต่าง ๆ ที่ไม่เหมือนกัน เช่น โครงการสร้างชั้นทาง งานดินก่อ และการก่อสร้าง ทำให้ไม่สามารถ คาดเดาผลหรือความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากดินที่ถูกชุดลอกจากชายฝั่งทะเลของไทย ในงานประเภทต่าง ๆ ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ ดินตะกอนทะเลที่ถูกชุดลอกจากท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี เพื่อใช้เป็นวัสดุ ทดแทนในงานทาง โดยพิจารณาคุณสมบัติตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

## โครงสร้างชั้นทาง

การออกแบบชนิดของถนนชั้นนอกกับปัจจัยหลายประการ เช่น ลักษณะการใช้งาน ปริมาณการจราจร น้ำหนักบรรทุก อายุการใช้งาน และกำลังแบกท่านของคินคันทาง โดยนิยมออกแบบผิวจราจร 2 ประเภท คือ พิวทางจราจรแบบหยุ่นตัว (Flexible Pavement) หรือที่เรียกว่า ถนนแอสฟัลติกคอนกรีต (Asphalt Concrete) (รูปที่ 1) และพิวทางจราจรแบบแข็ง (Rigid Pavement) หรือที่เรียกว่า ถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก (รูปที่ 2) โครงสร้างถนนทั้งสองประเภทมีล้วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ชั้นพื้นทาง (Base Course) ชั้นรองพื้นทาง (Subbase Course) ชั้นวัสดุคัดเลือก (Selected Material) และชั้นดินก่อ (Subgrade) วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมตามความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ของแต่ละชั้นดังแสดงในตารางที่ 1 โดยในการก่อสร้างถนนต้องมีการคัดเลือกวัสดุที่มีค่าซี บี อาร์ (CBR) และดำเนินการบดอัดให้มีค่าร้อยละการบดอัด (Percent Compaction) หรือความหนาแน่นล้มพัทธ์ (Relative Density) เป็นไปตามข้อกำหนดในแบบรูปและรายการ นอกจากนี้ต้องพิจารณาคุณสมบัติทาง กายภาพและดัชนีอื่น ๆ เพิ่มเติม ได้แก่ ขนาดคละ (ตารางที่ 2) ค่าความลีกหรือของ Coarse Aggregate (LAA) ค่าความคงทน (Soundness) ค่าพิภัตเหลว (Liquid Limit, LL) และดัชนีพลาสติก (Plasticity Index, PI)



รูปที่ 1 โครงสร้างถนนผิวจราจร Asphalt Concrete [19]



รูปที่ 2 โครงสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก (ชั้นพื้นทางทินคลุก) [19]

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดของคุณสมบัติของวัสดุสำหรับโครงสร้างทางทิ่มมาตรฐานของกรมทางหลวง

โครงสร้างทาง	LL (%)	PI (%)	CBR (%)	การบวมด้วย (%)	การบดอัด	LAA (%)	Soundness (%)
พื้นทางทินคลุก [20]	≤ 25	≤ 6	≥ 80	-	95 % Modified Proctor	≤ 40	≤ 9
รองพื้นทาง [21]	≤ 35	≤ 11	≥ 25	-	95 % Modified Proctor	≤ 60	-
วัสดุคัดเลือก ก [22]			≥ 10				
วัสดุคัดเลือก ข [23]	≤ 40	≤ 20	≥ 6	≤ 3	95 % Modified Proctor	-	-
ดินดัดด้านทาง [24]	-	-	≥ 4 [25]	≤ 4	95 % Standard Proctor	-	-

## ตารางที่ 2 ข้อกำหนดของขนาดคละของชั้นพื้นทางทินคลุกและชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

ขนาดตะแกรง (มม.)	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก							
	ชั้นพื้นทางทินคลุก [20]				ชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม [21]			
	A	B	A	B	C	D	E	
50 (2 นิ้ว)	100	100	100	100	-	-	-	
25 (1 นิ้ว)	-	75 - 95	-	-	100	100	100	
9.5 (3/8 นิ้ว)	30 - 65	40 - 75	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-	
4.75 (เบอร์ 4)	25 - 55	30 - 60	-	-	-	-	-	
2 (เบอร์ 10)	15 - 40	20 - 45	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	
0.425 (เบอร์ 40)	8 - 20	15 - 30	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	
0.075 (เบอร์ 200)	2 - 8	5 - 20	2 - 8	5 - 20	5 - 15	5 - 20	6 - 20	

## ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ X-Ray Fluorescence Spectrometer ของตินตะกอนทางเล

ธาตุ	ปริมาณ (ร้อยละ)
SiO <sub>2</sub>	63.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.67
K <sub>2</sub> O	3.04
Na <sub>2</sub> O	2.07
Cl	1.68
MgO	1.34
CaO	1.02

## วัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุที่ถูกขุดลอกที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากท่าเรือพานิชย์แหลมฉบัง บริเวณเฟส 3 ดังรูปที่ 3 โดยท่าเรือพานิชย์แหลมฉบังเป็นท่าเรือหลักของประเทศไทยในการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ตั้งอยู่ช่ายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยที่ ตำบลทุ่งลุขลา อําเภอครีรacha และอําเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ประมาณ 120 กิโลเมตรทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของกรุงเทพฯ ท่าเรือมีพื้นที่ประมาณ 6,340 ไร่ และมีความลึกของพื้นน้ำ 18 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง เริ่มเปิดใช้เมื่อ พ.ศ. 2534 ปัจจุบันได้พัฒนาไป 2 เฟส และสามารถรองรับปริมาณคุ้ลินค้าได้ 10 - 11 ล้าน TEU/ปี (54 % ของการส่งออกและนำเข้าของประเทศไทย) ซึ่งถือเป็นอันดับที่ 23 ของโลก และมีแผนการก่อสร้างเฟส 3 โดยตั้งเป้าหมายให้ท่าเรือแหลมฉบังติดอันดับท่าเรือที่ทันสมัย 1 ใน 10 ของโลก

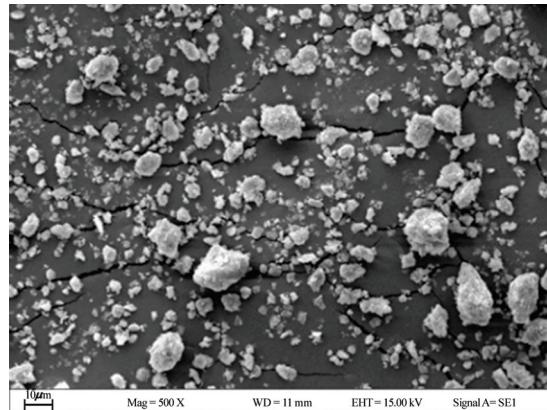
วัสดุที่ถูกขุดลอกมีเนื้อละเอียด จากการทดสอบตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท. 102/2515 [26] และ ทล.-ท. 103/2515 [27] พบว่าค่าพิกัดเหลว ค่าพิกัดพลาสติก และค่าดัชนีพลาสติกมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 53 ร้อยละ 32 และร้อยละ 21 ตามลำดับ โดยการจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification System (USCS) ได้เป็นดินตะกอนที่มีสีภาพความเป็นพลาสติกสูง (High Plasticity Silt, MH) [28] วัสดุที่ถูกขุดลอกมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.69 [29] และมีปริมาณอินทรีย์ต่ำร้อยละ 5.0 (เพาท์อุณหภูมิ 440°C [30]) มีส่วนประกอบทางเคมีจากการทดสอบ X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) ตามตารางที่ 3 รูปด้านล่างวัสดุที่ถูกขุดลอกแสดงในรูปที่ 4 และลักษณะโครงสร้างจุลภาคจากการทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM) และคงในรูปที่ 5 ดังนั้นจะเรียกวัสดุที่ถูกขุดลอกที่ใช้ในการศึกษานี้ว่าดินตะกอนทะเล



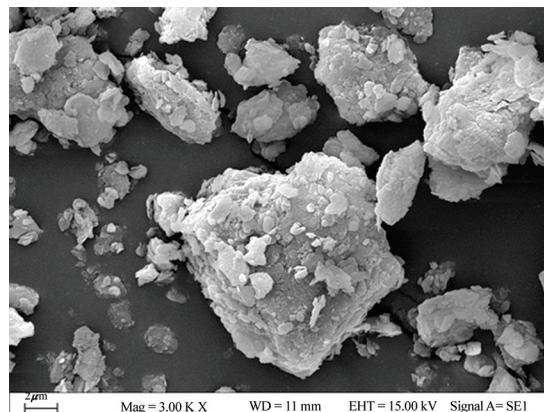
รูปที่ 3 ตัวอย่างเก็บตัวอย่างดินตะกอนทะเล



รูปที่ 4 ตัวอย่างดินตะกอนทะเล



(ก) ขยาย 500 เท่า



(ข) ขยาย 3,000 เท่า

รูปที่ 5 ผลการทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM) ของดินตะกอนทะเล

ดินตะกอนทะเลมีความเป็นพลาสติกสูงจึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุงานทางโดยตรง งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ดินตะกอนทะเลเป็นวัสดุทดแทนเพื่อสมดับทรายในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุในงานทาง โดยทรายจะถูกแทนที่ด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนโดยน้ำหนักแห้งต่าง ๆ ได้แก่ 100:0 95:5 90:10 85:15 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 และ 0:100 (ทราย:ดินตะกอนทะเล) โดยทรายที่ใช้ในการทดสอบนี้มีการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินดังรูปที่ 6 (ทราย:ดินตะกอนทะเล 100:0) มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.62 [27]  $C_u = 9.5$   $C_c = 1.4$   $D_{50} = 0.6$  มิลลิเมตร และจำแนกตามระบบ USCS ได้เป็น Well-Graded Medium Sand with Silt (SW-SM) [28] ส่วนผสมของทรายและดินตะกอนทะเลจะถูกทดสอบหากคุณสมบัติทางด้านนี้ คือ ขนาดคละพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก และความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติทางวิศวกรรม คือ การบดอัด และ ซี บี อาร์ และเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับมาตรฐานโครงสร้างชั้นทางของกรมทางหลวง ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ สามารถช่วยในการออกแบบชั้นโครงสร้างทางที่ประยุกต์ใช้ดินตะกอนทะเลเป็นวัสดุทดแทนในการก่อสร้างได้

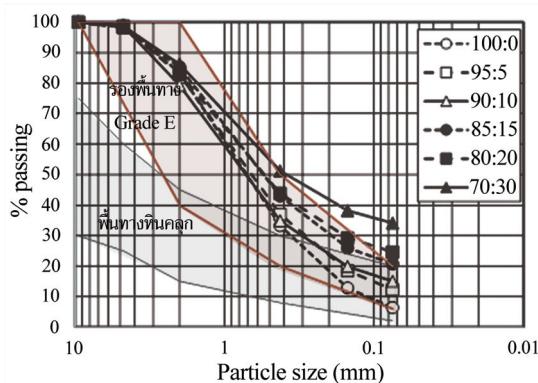
ตารางที่ 4 ขนาดคละของตัวอย่างทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

ตะแกรง	ขนาดช่องเปิด (มม.)	ร้อยละผ่านตะแกรง (ทราย:ดินตะกอนทะเล)							
		100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30	0:100	
3/8"	9.51	100	100	100	100	100	100	100	
#4	4.75	98.8	98.7	98.8	98.5	98.2	98.8	100	
#10	2.00	83.4	82.9	79.3	85.2	83.3	86.2	100	
#40	0.425	33.3	37.0	34.9	42.9	43.8	51.2	100	
#100	0.150	12.8	18.4	19.9	26.0	29.3	38.3	100	
#200	0.075	6.3	12.3	15.0	20.7	24.6	34.1	100	

## ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

### 1. คุณสมบัติทางดัชนี

1.1 ขนาดคละ ผลการทดสอบทางขนาดคละของตัวอย่างทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยผ่านตะแกรงแบบลังกาและแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 6 โดยพบว่าตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างทรายและดินตะกอนทะเลเท่ากับ 100:0 95:5 90:10 และ 85:15 จดอยู่ในมาตรฐานชั้นรองพื้นทากวัสดุมวลรวม เกรด E คือมีขนาดคละที่ดีและมีร้อยละที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยน้ำหนักกรวยละ 6 - 20 แต่ไม่มีอัตราส่วนผสมใดอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดของมาตรฐานชั้นพื้นทากhincluk



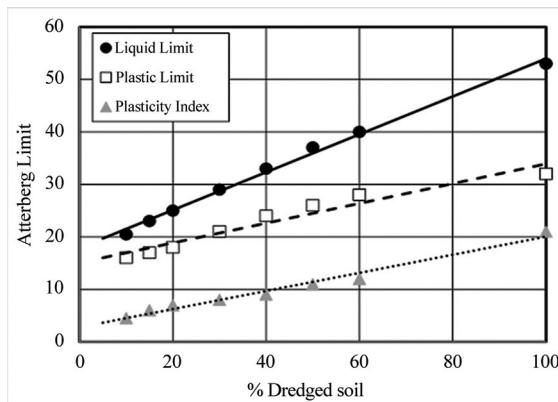
รูปที่ 6 กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน

1.2 ค่าพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก (Atterberg Limit) ผลการทดสอบค่าพิกัดอัตเตอร์เบิร์กของตัวอย่างทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 7 โดยพบว่า เมื่ออัตราส่วนผสมของดินตะกอนทะเลเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพิกัดเหลว ค่าพิกัดพลาสติก และค่าดัชนีพลาสติกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เพราะค่าพิกัดอัตเตอร์เบิร์กเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของดินเม็ดละเอียด (Fine-Grained Soil) เมื่อเพิ่มปริมาณดินตะกอนทะเลเข้าไปเป็นดินเม็ดละเอียดย่อมส่งผลให้ค่าพิกัดเหลว ค่าพิกัดพลาสติก และค่าดัชนีพลาสติกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 5 ค่าพิกัดอัตเตอร์เบิร์กของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล	LL (%)	PL (%)	PI (%)
100:0	NP	NP	NP
95:5	NP	NP	NP
90:10	21	16	5
85:15	23	17	6
80:20	25	18	7
70:30	29	21	8
60:40	33	24	9
50:50	37	26	11
40:60	40	28	12
0:100	53	32	21

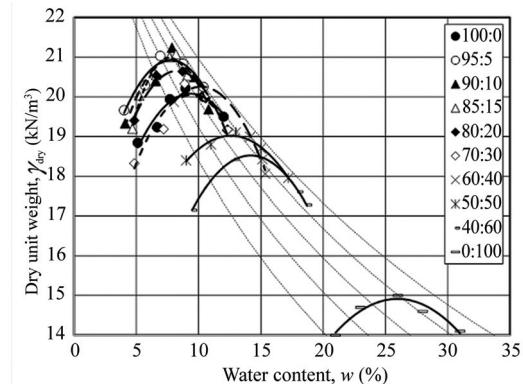
NP = non-plastic



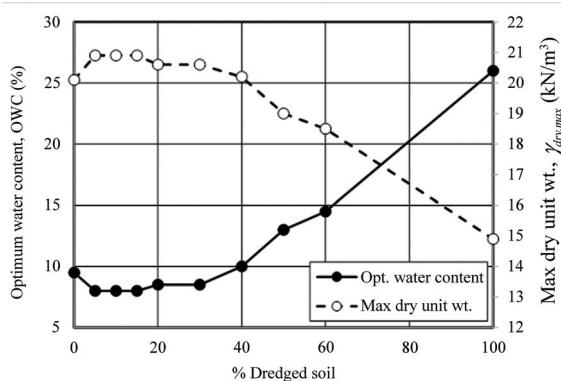
รูปที่ 7 ค่าพิกัดอัตเตอร์เบิร์กของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

## 2. คุณสมบัติทางวิศวกรรม

2.1 การทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Compaction Test) ผลการทดสอบการทดสอบดินแบบสูงกว่ามาตรฐานของทรายผสมดินตะกอนทะเลในสัดส่วนต่าง ๆ ได้แสดงในรูปที่ 8 ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการทดสอบ (OWC) และค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดได้สรุปในตารางที่ 6 และรูปที่ 9 โดยพบว่าเมื่อผสมดินตะกอนทะเลในปริมาณไม่เกินร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้งรวมจะไม่ทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมลดลงแต่เมื่อเพิ่มปริมาณดินตะกอนทะเลในตัวอย่างมากกว่าร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้งรวมจะทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเพิ่มขึ้น และค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของส่วนผสมลดลง ทั้งนี้ เพราะเมื่อปริมาณดินตะกอนทะเลมีจำนวนน้อยจะไม่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมของมวลดินรวม ซึ่งถูกควบคุมด้วยมวลดินส่วนใหญ่คือ ดินทราย (ดินมวลหยาบ) ค่าว้อยละ 40 นี้ทดสอบล้องกับมาตรฐาน AASHTO ที่แบ่งสัดส่วนของดินมวลหยาบและมวลละเอียดออกจากกันที่ร้อยละ 35



รูปที่ 8 ผลการทดสอบการบดอัดทรัพย์สมดุลตามต่อไปนี้



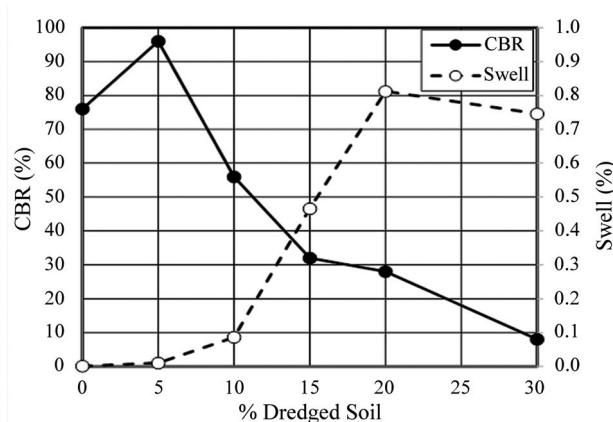
รูปที่ 9 ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของทรัพย์สมดุลตามต่อไปนี้

ตารางที่ 6 ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของทรัพย์สมดุลตามต่อไปนี้

อัตราส่วนทรัพย์สมดุลตามต่อไปนี้	Optimum water content (%)	Max dry unit weight ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
100:0	9.5	20.1
95:5	8.0	20.9
90:10	8.0	20.9
85:15	8.0	20.9
80:20	8.5	20.6
70:30	8.5	20.6
60:40	10.0	20.2
50:50	13.0	19.0
40:60	14.5	18.5
0:100	26.0	14.9

### ตารางที่ 7 ค่าซี บี อาร์ และการบวมตัวของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล	CBR (Soaked) (%)	Swell (%)
100:0	76	0
95:5	96	0.01
90:10	56	0.09
85:15	32	0.47
80:20	28	0.81
70:30	8	0.75



### รูปที่ 10 ค่าซี บี อาร์ และการบวมตัวของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

2.2 ค่าซี บี อาร์ ผลการทดสอบหากค่าซี บี อาร์ แบบแข็งน้ำและการบวมตัวของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 7 และรูปที่ 10 โดยพบว่าเมื่อผสมดินตะกอนทะเลในปริมาณไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนักแห้งรวมจะไม่ทำให้ค่าซี บี อาร์ และการบวมตัวเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อปริมาณดินตะกอนทะเลมากขึ้น คุณสมบัติความตัวของดินตะกอนทะเลซึ่งเป็นคุณสมบัติที่แทนที่ทรายน้ำจะทำให้ตัวอย่างดินมีการบวมตัวสูงขึ้น และล่งผลทำให้ค่าซี บี อาร์ ลดลง อย่างไรก็ตามทุกอัตราส่วนของทรายผสมดินตะกอนมีค่าการบวมตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 0 - 0.81 ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด

ค่าคุณสมบัติทางด้านน้ำคงทนที่สำคัญที่สุดคือค่าซี บี อาร์ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการรับน้ำของทรายผสมดินตะกอนทะเลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบข้างต้น จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานโครงสร้างชั้นทางต่าง ๆ ของกรมทางหลวงดังสรุปไว้ในตารางที่ 8 (ชั้นรองพื้น) ตารางที่ 9 (ชั้นวัสดุคัดเลือก ก และ ข) ตารางที่ 10 (ชั้นทรายผสมคันทาง) และตารางที่ 11 (ชั้นดินผสมคันทาง) จากผลการทดสอบที่กล่าวมาแล้วและผลการเปรียบเทียบพบว่า

- ทรายผสมดินตะกอนทะเลในทุก ๆ อัตราส่วนผสมไม่สามารถใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางทิ่นคลุกได้ เพราะมีการกระจายของขนาดคละไม่เป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนด

- การทดสอบรายด้วยคินตะกอนหะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้งรวมจะไม่ทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและค่าท่าน้ำหนักแห้งสูงสุดของส่วนผสมเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อมีปริมาณคินตะกอนมากขึ้นจะทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นและค่าท่าน้ำหนักแห้งสูงสุดลดลง
- การทดสอบรายด้วยคินตะกอนหะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 5 จะไม่มีผลกระทบต่อค่าซี บี อาร์ และการบวมตัว แต่เมื่อปริมาณคินตะกอนหะเลมากขึ้นจะทำให้ค่าซี บี อาร์ ลดลงและค่าการบวมตัวเพิ่มขึ้น
- การทดสอบรายด้วยคินตะกอนหะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 15 สามารถใช้เป็นวัสดุมวลรวมขั้นรองพื้นทางได้
- การทดสอบรายด้วยคินตะกอนหะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 20 สามารถใช้เป็นขั้นวัสดุคัดเลือก ก และ ข ขั้นรายคัมคันทาง และขั้นคัมคันทางได้
- การทดสอบรายด้วยคินตะกอนหะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 30 สามารถใช้เป็นขั้นวัสดุคัดเลือก ข และขั้นคัมคันทางได้

**ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของรายผสมคินตะกอนหะเลกับมาตรฐานขั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม**

ลำดับ	การทดสอบ	หน่วย	อัตราส่วนราย:คินตะกอนหะเล							[21]
			100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30		
1	การทดสอบค่าความลึกหรือของ coarse aggregate [31]	%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	< 60	
2	การทดสอบขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบลัง [32]		E	E	E	E			เกรด A-E	
3	การทดสอบค่าพิกัดเหลว [26]	%	NP	NP	21	23	25	29	< 35	
4	การทดสอบค่าดัชนีพลาสติก [27]	%	NP	NP	5	6	7	8	< 11	
5	การทดสอบค่าซีบีอาร์ [33]	%	76	96	56	32	28	8*	> 25	

NA = ไม่สามารถหาค่าได้, NP = non-plastic, \* ไม่ผ่านมาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

### สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้คินตะกอนหะเลที่ถูกขุดลอกจากท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี เป็นวัสดุทดสอบเพื่อผสมกับทรายในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุในงานทาง โดยทรายจะถูกแทนที่ด้วยคินตะกอนหะเลในอัตราส่วนทราย : คินตะกอนหะเล โดยน้ำหนักแห้งต่าง ๆ ได้แก่ 100:0 95:5 90:10 85:15 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 และ 0:100 แล้วทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านนี้ คือ ขนาดคละ พิกัดอัตเตอร์เบร็ก และความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติทางวิเคราะห์ คือ การบดอัด และ ซี บี อาร์ และเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับมาตรฐานโครงสร้าง

### ขั้นทางของกรรมทางหลวง โดยผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

- trajectory ลดลงตามระดับความสูงในทุก ๆ อัตราส่วนผลไม่สามารถใช้เป็นวัสดุขั้นพื้นทางทิ่นคลุกได้ เพราะมีการกระจายของขนาดคละไม่เป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนด
- การทดสอบ trajectory ด้วยคินตะกอนทะเบียนอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 5 จะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติได้ ของ trajectory อย่างมีนัยสำคัญ
- การทดสอบ trajectory ด้วยคินตะกอนทะเบียนอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 15 สามารถใช้เป็นวัสดุมวลรวมขั้นรองพื้นทางได้
- การทดสอบ trajectory ด้วยคินตะกอนทะเบียนอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 20 สามารถใช้เป็นขั้นวัสดุคัดเลือก ก และ ข ขั้น trajectory คันทาง และขั้นคันทางสำเร็จได้
- การทดสอบ trajectory ด้วยคินตะกอนทะเบียนอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 30 สามารถใช้เป็นขั้นวัสดุคัดเลือก ข และขั้นคันทางสำเร็จได้

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของ trajectory ผลิตภัณฑ์ต่อมา ที่ได้รับการทดสอบ trajectory ด้วยคินตะกอนทะเบียน

ลำดับ	การทดสอบ	หน่วย	อัตราส่วน trajectory: คินตะกอนทะเบียน							[22] - [23]	
			100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30	วัสดุคัดเลือก ก	วัสดุคัดเลือก ข	
1	การทดสอบ trajectory ด้วยคินตะกอนทะเบียนแบบล้าง [32]	%	6.3	12.3	15.0	20.7	24.6	34.1	ผ่าน #200 < 30%	ผ่าน #200 < 35%	
2	การทดสอบ trajectory ด้วยคินตะกอนทะเบียนแบบล้าง [26]	%	NP	NP	21	23	25	29	< 40	-	
3	การทดสอบ trajectory ด้วยคินตะกอนทะเบียนแบบล้าง [27]	%	NP	NP	5	6	7	8	< 20	-	
4	การทดสอบ trajectory ด้วยคินตะกอนทะเบียนแบบล้าง [33]	%	76	96	56	32	28	8*	> 10	> 6	
			0	0.01	0.09	0.47	0.81	0.75	swelling < 3%		

NP = non-plastic, \* ไม่ผ่านมาตรฐานขั้นวัสดุคัดเลือก ก แต่ผ่านมาตรฐานขั้นวัสดุคัดเลือก ข

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของ trajectory ผลิตภัณฑ์ต่อมา ที่ได้รับการทดสอบ trajectory ด้วยคินตะกอนทะเบียน

ลำดับ	การทดสอบ	หน่วย	อัตราส่วน trajectory: คินตะกอนทะเบียน							[34]
			100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30	trajectory คันทาง	
1	การทดสอบ trajectory ด้วยคินตะกอนทะเบียนแบบล้าง [32]	มม.	2	2	2	2	2	2	ผ่าน #200 < 9.5 มม.	ผ่าน #200 < 25%
		%	6.3	12.3	15.0	20.7	24.6	34.1	ผ่าน #200 < 25%	
2	การทดสอบ trajectory ด้วยคินตะกอนทะเบียนแบบล้าง [33]	%	76	96	56	32	28	8*	> 10	

\* ไม่ผ่านมาตรฐานขั้น trajectory คันทาง

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของทรัพย์ผลมดินตะกอนทะเลกับมาตรฐานขั้นตินคณคันทาง

ลำดับ	การทดสอบ	หน่วย	อัตราส่วนทรัพย์คินตะกอนทะเล							[24]
			100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30	คินคณคันทาง	
1	การทดสอบบนขนาดเม็ดของหัวศูนย์โดยผ่านตะแกรงแบบลักษณะ [32]	มม.	2	2	2	2	2	2	เม็ดหัวศูนย์ < 50 มม.	
2	การทดสอบค่าซีบีอาร์* [35]	%	36 0.01	50 0.02	32 0.12	20 0.74	15 0.98	5 1.25	> ตามแบบ (> 4) Swelling < 4%	

\* ผลการทดสอบซีบีอาร์ที่การบดอัดแบบมาตรฐาน

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนาของคณวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ วจพ. 5/2560 และทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเบินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ 48/2561

## References

- [1] Dubois, V., Abriak, N. E., Zentar, R., and Ballivy, G. (2009). The used of Marine Sediments as a Pavement Base Material. **Waste Management**. Vol. 29, Issue 2, pp. 774-782. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.05.004
- [2] Sheehan, C., Harrington, J., and Murphy, J. D. (2009). An Overview of Dredging and Dredged Material Beneficial Use in Ireland. **Terra et Aqua**. No. 115, Issue 2009, pp. 3-14
- [3] Arulrajah, A., Nikraz, H., Chu, J., and Bo, M. W. (2009). Instrumentation at Changi Land Reclamation project, Singapore. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering**. Vol. 162, Issue 1, pp. 30-40. DOI: 10.1680/geng.2009.162.1.33
- [4] Hanson, H., Brampton, A., Capobianco, M., Dette, H. H., Hamm, L., Lastrup, C., Lechuga, A., and Spanhoff, R. (2002). Beac Nourishment Projects, Practices and Objectives - a European Overview. **Coastal Engineering**. Vol. 47, Issue 2, pp. 81-111. DOI: 10.1016/S0378-3839(02)00122-9
- [5] Van der Wal, D., Forster, R. M., Hummel, H., Ysebaert, T., Roose, F., and Herman P. M. (2011). Ecological Evaluation of an Experimental Beneficial use Scheme for Dredged Sediment Disposal in Shallow Tidal Waters. **Mar Pollut Bull**. Vol. 62, Issue 1, pp. 99-108. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.09.005
- [6] Sheehan, C. (2012). **An Analysis of Dredged Material Reuse Techniques for Ireland**. Ph.D. Dissertation, Cork Instituted of Technology.

- [7] Sheehan, C., Harrington, J., and Murphy, J. D. (2010). An Environmental and Economic Assessment of Topsoil Production from Dredge Material. **Resources, Conservation and Recycling**. Vol. 55, Issue 2, pp. 209-220. DOI: 10.1016/j.resconrec.2010.09.011
- [8] Zentar, R., Dubois, V., and Abriak, A. (2008). Mechanical Behaviour and Environmental Impacts of the Test Road Built with Marine Dredged Sediments. **Resources, Conservation and Recycling**. Vol. 52, Issue 6, pp. 947-954. DOI: 10.1016/j.resconrec.2008.02.002
- [9] Siham, K., Fabrice, B., and Edine, A. N. (2008). Marine Dredge Sediments as New Material Resource for Road Construction. **Waste Management**. Vol. 28, Issue 5, pp. 919-928. DOI: 10.1016/j.wasman.2007.03.027
- [10] Wang, D., Abroak, N. E., and Zentar, R. (2017). Dredge Marine Sediments Used as Novel Supply of Filling Materials for Road Construction. **Marine Georesources & Geotechnology**. Vol. 35, Issue 4, pp. 472-480. DOI: 10.1080/1064119X.2016.1198945
- [11] Hamer, K. and Karius, V. (2002). Brick Production with Dredged Harbor Sediments. An industrial-Scale Experiment. **Waste Management**. Vol. 22, Issue 5, pp. 521-530. DOI: 10.1016/S0956-053X(01)00048-4
- [12] Limeira, J., Agullo, L., and Etxeberir, M. (2010). Dredged Marine Sand in Concrete: An Experimental Section of a Harbor Pavement. **Construction Build Material**. Vol. 24, Issue 6, pp. 863-870. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.12.011
- [13] Wang, H. Y. (2008). Durability of Self-Consolidating Lightweight Aggregate Concrete Using Dredged Silt. **Construction and Building Materials**. Vol. 23, Issue 6, pp. 2332-2337. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2008.11.006
- [14] Giroud, J. P., Badu-Tweneboah, K., and Soderman, K. L. (1997). Comparison of Leachate Flow Through Compacted Clay Liners in Landfill Liner Systems. **Geosynthetics International**. Vol. 4, Issue 3-4, pp. 391-431. DOI: 10.1680/gein.4.0100
- [15] Zhang, P. and Wu, Z. (2005). Municipal Sludges as Landfill Barrier Material. **Asian Journal of Water, Environment and Pollution**. Vol. 2, No. 1, pp. 27-32
- [16] Riordan, J. (2008). **Feasibility of Utilizing Construction and Demolition Waste and Dredged Material as Landfill Liner**. M.Eng. Dissertation, Cork Institute of Technology.
- [17] Stefan, C. and Fokke, S. (2013). Investigation of Dredged Materials in Combination with Geosynthetics Used in Dike Construction. **Procedia Engineering**. Vol. 57, pp. 213-221. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.04.030
- [18] Nolan, C. (2009). **Cover at Landfills**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.epa.ie/pubs/reports/other/events/oee/epawasteworkshop2009/2.CaoimhinNolan-EPA.pdf>)
- [19] Department of Rural Roads. (2013). **Standard Drawing**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.drr.go.th/>)
- [20] Department of Highways. (2001). **Standard No. DH-S 201/2544**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs201-44.pdf>)

- [21] Department of Highways. (1989). **Standard No. DH-S 205/2532.** Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs205-32.pdf>)
- [22] Department of Highways. (1989). **Standard No. DH-S 208/2532.** Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs208-32.pdf>)
- [23] Department of Highways. (1989). **Standard No. DH-S 209/2532.** Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs209-32.pdf>)
- [24] Department of Highways. (1989). **Standard No. DH-S 102/2532.** Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs102-32.pdf>)
- [25] Department of Public Works and Town and Country Planning. (2014). **Standard No. 2203-57.** Access (15 June 2017). Available ([http://subsites.dpt.go.th/edocument/images/pdf/sd\\_work/std2100.pdf](http://subsites.dpt.go.th/edocument/images/pdf/sd_work/std2100.pdf))
- [26] Department of Highways. (1972). **Test Number DH-T 102/1972.** Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht102-15.pdf>)
- [27] Department of Highways. (1972). **Test Number DH-T 103/1972.** Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht103-15.pdf>)
- [28] ASTM. (2004). **Standard No. D2487-00 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).** In Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, Soil and Rock (I). pp. 249-260. West Conshohocken PA
- [29] ASTM. (2004). **Standard No. D854-2 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.** In Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, Soil and Rock (I). pp. 96-102. West Conshohocken PA
- [30] ASTM. (2004). **Standard No. D2974 Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils.** In Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, Soil and Rock (I). pp. 331-334. West Conshohocken PA
- [31] Department of Highways. (1972). **Test Number DH-T 202/1972.** Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht202-15.pdf>)
- [32] Department of Highways. (1974). **Test Number DH-T 205/1974.** Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht205-17.pdf>)
- [33] Department of Highways. (1974). **Test Number DH-T 109/1974.** Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht109-17.pdf>)
- [34] Department of Highways. (1989). **Standard No. DH-S 103/2532.** Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs103-32.pdf>)
- [35] Department of Highways. (1972). **Test Number DH-T 107/1972.** Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht107-17.pdf>)



การประเมินสภาพธารน้ำพุร้อนด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

## Geological Evaluation of Hot Springs by Electrical Resistivity Measurement Techniques

ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง<sup>1\*</sup> ชนะรบ วิชาลัย<sup>1</sup> และอรุวรรณ จันทสุทธิ์<sup>1</sup>

Received: September, 2017; Accepted: December, 2017

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอรูปแบบการสำรวจทางแหล่งน้ำพุร้อนด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 3 มิติ จากการวางชุดไฟฟ้าแบบออฟเซ็ทโพล - ไดโพล (Offset Pole-Dipole) ณ บ้านพูนาร้อน อำเภอต้านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยติดตั้งชุดวัดกระแสไฟฟ้าและกำหนดจุดปล่อยกระแสไฟฟ้าครอบคลุมพื้นที่ขนาด  $1.60 \times 1.60$  ตารางกิโลเมตร กำหนดให้แนวชั้วปัลอยกระถางไฟฟ้าและแนวชั้วค่าไฟฟ้ามีระยะห่างเท่ากับ 100 เมตร ภายในพื้นที่การสำรวจและระยะห่างของชั้วปัลอยกระถางไฟฟ้าภายนอกพื้นที่การสำรวจมีระยะห่างเท่ากับ 200 เมตร

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงสภาพธารน้ำพุร้อน 3 มิติ ของพื้นที่ที่ทำการสำรวจพบว่าจุดที่อยู่บริเวณแนวภูเขา มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่า 3,500 โอห์ม-เมตร ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของพื้นที่ที่พบบนเนินเขา คือ พื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพื้นที่ ที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 30 - 500 โอห์ม-เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของน้ำได้ดีใน ดินตะกอน รอยเลื่อน และชั้นหินผุ

จากการศึกษาพบว่า ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาซึ่งเป็นที่ตั้งของแหล่งน้ำพุร้อนแห่งนี้ มีลักษณะที่สอดคล้องกับแบบจำลองน้ำพุร้อนแบบที่ 2 ที่ถูกค้นพบในประเทศไทย กล่าวคือน้ำร้อนจะไหลขึ้นตามloyline ผ่านพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและถูกกักเก็บไว้อยู่ในชั้นหิน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางธรณีวิทยาและขนาดของบ่อน้ำพุร้อนในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสภาพทางธรณีวิทยาโดยรวมได้อย่างชัดเจนกว่าการสำรวจด้วยวิธีการปกติ

คำสำคัญ : น้ำพุร้อน; ความต้านทานไฟฟ้า; ชุดไฟฟ้าแบบออฟเซ็ทโพล-ไดโพล

<sup>1</sup> Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

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

## Abstract

This research is to present the model to explore the hot spring by measuring the electrical resistivity of geological 3D model with offset Pole - Dipole array at Ban-Punamron, Dan-Chang district, Suphan-Buri province, Thailand. This survey was covered area of 1.60 x 1.60 square kilometer with current electrode and potential electrode, and the distance between them are 100 -m, inside survey area. The outside survey area has source line between them are 200 -m.

The result showed that the 3D geological structures of the survey area which found at mountains have high resistivity zones which more than 3,500 ohm•m as corresponding to granite, quartz and feldspar outcrop at that location. At middle of the survey area has resistivity of 30 - 500 ohm•m. They are represented to the position of groundwater, sludge, faults and weathered layer.

Study result indicate geological structure of this hot spring is identified as hot spring type 2 which classified based on general hot spring model that found in Thailand. The hot fluid uprise along faults, mixed with cool ground water and become equilibrium with host rock. However, these interpretation results indicated that the 3D modeling of hot-spring which are accurate and reflect geological conditions better than the traditional survey.

**Keywords:** Hot Spring; Electrical Resistivity; Offset Pole - Dipole Array

## บทนำ

ลึบเนื่องจากปัญหาภิกฤตพลังงานในปัจจุบันส่งผลให้หน่วยงานหลายภาคส่วนได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการวิจัยพัฒนาในการนำพลังทกดแทนมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง [1] - [2] ซึ่งจะสามารถช่วยให้ประเทศเกิดความมั่นคงและความยั่งยืนด้านพลังงานมากยิ่งขึ้น ดังนั้นพลังงานความร้อนใต้พิภพ นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการรับมือกับการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมที่รวดเร็วลงผลให้มีการดำเนินการสำรวจหาแหล่งพลังงานใหม่ให้สอดคล้องตามนโยบายของภาครัฐจึงเกิดขึ้น

สุพรรณบุรีเป็นอีกจังหวัดหนึ่งในเขตภาคกลางที่มีน้ำพุร้อนเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติในปริมาณที่มากพอต่อการนำมาใช้ประโยชน์ได้ ปัจจุบันบ่อน้ำพุร้อนเหล่านี้ยังไม่ได้รับการพัฒนาอย่างจริงจังเพื่อการท่องเที่ยวหรือเกษตรอุตสาหกรรมแต่อย่างใด สาเหตุจากปริมาณน้ำพุร้อนตลอดทั้งปียังมีจำนวนไม่สูงมากพอต่อการนำมาใช้ประโยชน์ จากการศึกษาข้อมูลในเบื้องต้นของแหล่งน้ำพุร้อนในประเทศไทยโดยข้อมูลของกรมทรัพยากรธรรมชาติ [3] พบว่าแหล่งน้ำพุร้อน อำเภอค่ายช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี (SP1) มีอุณหภูมิประมาณ 38 องศาเซลเซียส ซึ่งในระดับช่วงอุณหภูมนี้มีความสามารถนำไปพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวในการอาบน้ำพุร้อนได้ แต่เนื่องจากปัจจุบันยังมีข้อมูลการสำรวจไม่เพียงพอต่อการวางแผนลงทุนของภาครัฐที่จะเปิดเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีคุณภาพ รวมทั้งแผนการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรหรือแหล่งพลังงานทดแทนได้

เมื่อปี ค.ศ. 2012 Badmus, B. et al. [4] ได้นำเสนอโครงสร้างทางธรณีวิทยา ณ Abeokuta Terrain of Southwestern Nigeria จากการสำรวจด้วยความต้านทานไฟฟ้า แบบ 1 2 และ 3 มิติ โดยแบ่งออกเป็น 7 แนวสำรวจแบบลี่เทลี่ยมจัตุรัส (Square Grids) ใช้การวางข้อไฟฟ้าแบบ Pole - Pole Array กับระยะห่างข้อไฟฟ้าเท่ากัน 1 3 และ 5 เมตร ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์และจำลองข้อมูลด้วยโปรแกรม RES3DINV [5] ผลการสำรวจแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น บริเวณที่เป็นดินทินผุ รวมถึงตำแหน่งของน้ำใต้ดิน ณ พิกัดความลึกการสำรวจเท่ากับ 39 เมตร

สำหรับประเทศไทย ในปี ค.ศ. 2007 Giao, P. H., et al. [6] ได้ทำการศึกษาแหล่งน้ำพุร้อน 2 แห่ง ซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่ จังหวัดกาญจนบุรี ด้วยการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ พบร่องน้ำพุร้อนทั้งสองแห่งได้ ตลอดจนเป็นข้อมูลที่จำเป็นในการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำพุร้อน หลังจากนั้น ได้มีการศึกษาแหล่งน้ำพุร้อนไปอีก จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อปี ค.ศ. 2010 โดย Neawsuparp, K., et al. [7] ได้ทำการสำรวจบ่อน้ำพุร้อนด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ โดยวางข้อไฟฟ้าแบบ Dipole-Dipole การสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือนแบบหักเห (Refraction Seismic) และการสำรวจด้วยการวัดค่าสนามแม่เหล็กธรรมชาติ (Magnetic) แบบ 2 มิติ จากผลการศึกษาพบว่า การสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าครบพน ค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ อันเป็นตัวแหน่งของแหล่งน้ำพุร้อน ที่ความลึก 80 เมตร ผลการสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือนพบขั้นทินฐานในระดับดินและแนวรอยเลื่อนใกล้กับตัวแทนของบ่อน้ำพุร้อน ผลการสำรวจด้วยการวัดค่าสนามแม่เหล็กธรรมชาติ พบร่องน้ำพุร้อน แม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) ต่ำเป็นแนว ซึ่งอาจเป็นแนวที่น้ำร้อนใต้ดินไหลผ่านเข้ามาได้

การศึกษาแหล่งน้ำพุร้อน โดย Suanburi, D. ในปี ค.ศ. 2014 [8] ณ แหล่งน้ำพุร้อนโปงช้าง อำเภอหนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี ด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 3 มิติ ใช้รูปแบบการวางข้อไฟฟ้าแบบ Offset Pole - Dipole ที่ระดับความลึก 250 เมตร ผลการสำรวจสามารถแสดงลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งน้ำพุร้อนได้เป็นอย่างดี และในปี ค.ศ. 2016 Spencer, H. W., et al. [9] ได้ทำการสำรวจทางธรณีวิทยาและธรณีฟิลิกส์ ในปี พ.ศ. 2558 - 2559 ที่แหล่งน้ำพุร้อนฝาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ พบร่องน้ำพุร้อน ที่ระดับความลึก 250 เมตร ผลการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 1 มิติ และวิธีการวัดค่ากระแสแม่เหล็กธรรมชาติ (Magnetotelluric) ตรวจพบค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่า 60 โอม์ม-เมตร ในระดับความลึก 50 - 100 เมตร เท่านั้น ไม่สามารถตรวจพบความต้านทานไฟฟ้าต่ำในขั้นทินในระดับลึก ที่เป็นแนวการไหลของน้ำที่เป็นต้นกำเนิดของบ่อน้ำพุร้อน

โดยปกติแล้วการสำรวจน้ำพุร้อนในประเทศไทย นอกจากการเจาะสำรวจโดยตรงแล้ว มักจะใช้วิธีการสำรวจโดยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในดินแบบ 1 มิติ (Electrical Resistivity Sounding) โดยจะแสดงผลการสำรวจเป็นกราฟเขิงเส้น หรือการสำรวจแบบ 2 มิติ (Electrical Resistivity Imaging) ที่แสดงผลการสำรวจเป็นภาพตัดแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ซึ่งทั้งการสำรวจและวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 1 หรือ 2 มิติ นั้น มักจะใช้การวางข้อไฟฟ้าแบบไดโพล - ไดโพล (Dipole - Dipole Array) โดยลักษณะการวางข้อไฟฟ้าแบบดังกล่าว จะแสดงผลการสำรวจได้ดีในลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีการเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งเท่านั้น [10] สำหรับวิธีการสำรวจทางธรณีวิทยาโดยใช้วิธีการวางข้อไฟฟ้าแบบอฟเซ็ตโพล - ไดโพล (Offset Pole - Dipole) จะสามารถแสดงผลลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในแนวตั้งและในแนวราบไดดี [11]

เนื่องด้วยขีดจำกัดทางด้านกำลังส่งของเครื่องมือสำรวจ พนับว่าการสำรวจแหล่งน้ำพุร้อนในประเทศไทยมีความลึกในการสำรวจไม่เกิน 250 เมตร เท่านั้น ดังนั้นการสำรวจในระดับที่ลึกขึ้นจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาแหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นได้ การศึกษานี้เป็นการสำรวจเพื่อประเมินสภาพธรณีวิทยาแหล่งน้ำพุร้อนด้วยเทคนิคการวัดค่าความด้านท่านไฟฟ้าได้ดิน ณ บ้านน้ำพุร้อน อ่าเภอค่ายช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยการนำเสนอรูปแบบการสำรวจด้วยการจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบ Offset Pole - Dipole ครอบคลุมพื้นที่ 2.56 ตารางกิโลเมตร (กว้าง 1.60 กิโลเมตร ยาว 1.60 กิโลเมตร) ทำการวิเคราะห์และจำลองข้อมูลด้วยโปรแกรม RES3DINV [12] โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 100 เมตร และระยะห่างของแนวขั้วตัวไฟฟ้า 200 เมตร พิกัดความลึกของการสำรวจประมาณ 50 เมตร สามารถแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อนได้ดีในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ซึ่งแสดงให้เห็นภาพที่ชัดเจนกว่าการสำรวจแบบ 1 หรือ 2 มิติ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเบื้องต้น

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาคือ การแสดงให้เห็นถึงลักษณะทางธรณีวิทยาและขนาดของบ่อน้ำพุร้อนในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาพื้นที่บริเวณดังกล่าว สามารถอ้างอิงผลการศึกษานี้เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการของบประมาณ การลงทุนจากภาครัฐหรือเอกชนที่จะตัดสินใจให้ทุนสนับสนุนโครงการ วัตถุประสงค์การปรับปรุงแหล่งน้ำพุร้อนนี้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวแห่งใหม่ของจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งจะส่งผลให้เกิดประโยชน์โดยรวมแก่ชุมชนและลังคมที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ได้ในอนาคต

## วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอน อธิบายได้ดังนี้

### 1. ศึกษารวบรวมข้อมูล

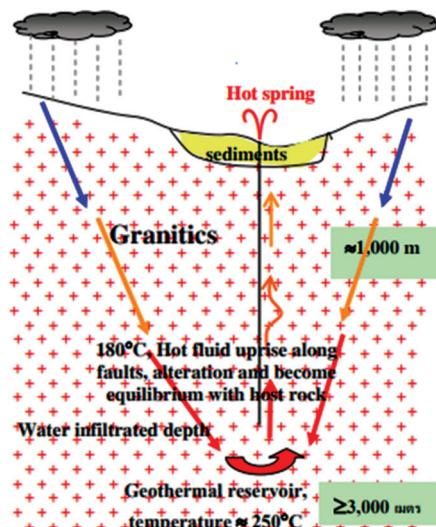
ผู้เขียนได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา ที่จำเป็นในการวางแผนการปฏิบัติการสำรวจภาคสนาม การจำลองผลการสำรวจและการวิเคราะห์ผลย้อนกลับ เพื่อสร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยาของพื้นที่ทำการสำรวจ ตลอดจนเป็นการวางแผนและป้องกันเมื่อเกิดปัญหาและผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในภาคสนาม ขั้นตอนการศึกษารวบรวมข้อมูลนี้ จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งในสำนักงานและลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลในสถานที่ซึ่งทำการสำรวจศึกษาจริง

### 2. สร้างแบบจำลองเพื่อการสำรวจ

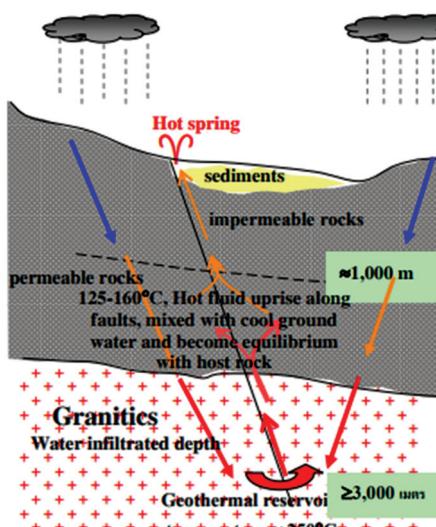
#### 2.1 การจำลองผลการสำรวจ

วิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์เป็นการศึกษาในความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุต่าง ๆ ได้ดิน โดยการวัดค่าด้วยเทคนิคต่าง ๆ ที่นับผู้ดิน การจำลองผลการสำรวจโดยทั่วไปจะทำการสร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยาหลายรูปแบบ แล้วทำการคำนวณหาค่าตัวแปรของแบบจำลองตามหลักทฤษฎีและผลที่ได้จากการจำลองผลการสำรวจนี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบคุณลักษณะต่าง ๆ ในการสำรวจภาคสนามเพื่อให้ได้ผลการสำรวจที่ดีที่สุด [13] สำหรับการจำลองผลการสำรวจ (Forward Analysis) ที่ใช้วิธีการวัดค่าความด้านท่านไฟฟ้าโดยการจำลองผลการสำรวจจะต้องสร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยาของพื้นที่ที่ต้องการศึกษาที่มีค่าตัวแปรเป็นค่าความด้านท่านไฟฟ้าของดินและทินชินิดต่าง ๆ ตลอดจนรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้า

เมื่อปี ค.ศ. 2008 Raksaskulwong, M. [14] ได้นำเสนอแบบจำลองทางธรณีวิทยาแสดงให้เห็นถึงประเภทของแหล่งกำเนิดความร้อนใต้พิภพและการไหลเวียนของน้ำพุร้อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 น้ำร้อนไหลขึ้นตามรอยเลื่อนของชั้นหิน (รูปที่ 1 (ก)) และประเภทที่ 2 น้ำบาดาลผสมกับน้ำร้อนและเกิดการปรับสภาพสมดุลย์ทางเคมี (รูปที่ 1 (ข)) การจำลองผลการสำรวจ (Simulation/Forward Analysis) ได้ทำการกำหนดค่าความด้านทานไฟฟ้าของแต่ละชนิดของวัสดุที่อยู่ในแบบจำลองของ Raksaskulwong, M. [14] โดยค่าตัวแปรความด้านทานไฟฟ้าของวัสดุทางธรณีวิทยาเพื่อใช้ในการจำลองผลการสำรวจแบบจำลองที่ 1 [15]



(ก) แบบจำลองน้ำพุร้อน ประเภทที่ 1 กรณีน้ำร้อนไหลขึ้นตามรอยเลื่อนของชั้นหิน



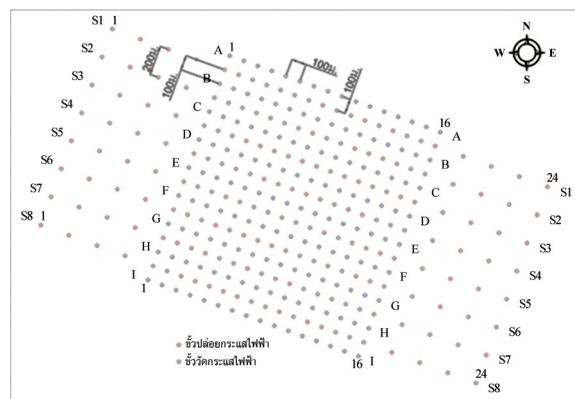
(ข) แบบจำลองน้ำพุร้อน ประเภทที่ 2 กรณีน้ำบาดาลผสมกับน้ำร้อนและเกิดการปรับสภาพสมดุลย์ทางเคมี  
รูปที่ 1 แบบจำลองทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อนที่พบได้ในประเทศไทย [14]

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุทางธรณีวิทยาเพื่อใช้ในการจำลองผลการสำรวจ [15]

วัสดุ	ค่าความต้านทานไฟฟ้า ( $\Omega \cdot \text{m}$ )
หินอัคนี	2,500
หินเนื้อดัน	1,500
ดิน/ตะกอนดิน	75
น้ำร้อน	10
รอยเลื่อน/หินผุ	500

## 2.2 การประมวลผลย้อนกลับ

การประมวลผลย้อนกลับหรือ Inverse Analysis เป็นการประมวลผลในทิศทางตรงข้าม กับการจำลองผลการสำรวจ โดยจะทำการคำนวนค่าคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ที่วัดได้ในภาคสนาม ให้ย้อนกลับมาเป็นแบบจำลองทางธรณีวิทยา ดังนั้นการศึกษาแบบจำลองเพื่อการสำรวจครั้งนี้จะทำการสร้างแบบจำลองที่ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการศึกษาขนาด  $1.60 \times 1.60$  ตารางกิโลเมตร โดยมีระยะห่างระหว่างชั้นไฟฟ้า 100 เมตร และระยะห่างของแนวชั้นไฟฟ้า 200 เมตร ตามแผนผังของการติดตั้งชั้นไฟฟ้าในสนาม ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังของการติดตั้งชั้นไฟฟ้าในสนาม

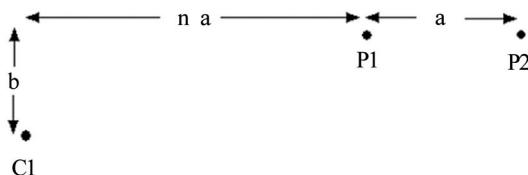
สำหรับรูปแบบการวางชั้นไฟฟ้าแบบ Offset Pole - Dipole ที่ออกแบบโดย White, R. et al. [11] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพใช้ในการวัดค่าการสำรวจแบบ 3 มิติ (รูปที่ 3) โดย P1 และ P2 เป็นชั้นไฟฟ้า C1 เป็นชั้นล่ออย่างกระแสไฟฟ้า โดยค่าความลึกในการสำรวจจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของแท่งปลอยและดักกระแสไฟฟ้า (b และ na) ด้วยรูปแบบการวางชั้นไฟฟ้าแบบ Offset Pole - Dipole มีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น ในระยะห่างระหว่างชั้นไฟฟ้าที่เท่ากัน การวางชั้นไฟฟ้าแบบนี้ให้ลัญญาณที่ดีกว่าและให้ความลึกในการสำรวจสูงกว่ารูปแบบการวางชั้นแบบอื่น ๆ

## 3. สำรวจภาคสนาม

การสำรวจภาคสนาม ตามแผนผังของการติดตั้งชั้นไฟฟ้าในสนาม (รูปที่ 2) ประกอบด้วย จุดปล่อยกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 8 แนว ซึ่งระยะห่างได้มีการปรับให้สอดคล้องในการสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงพื้นที่ อุปสรรค โดยจุดปล่อยกระแสไฟฟ้าจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่งกระแสไฟฟ้า Zonge GTT-10 ดังรูปที่ 4 (ก)

และจุดวัดกระแสไฟฟ้า จำนวน 9 แนว ซึ่งจะวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่อง Resistivity Receiver (ScintrexIPR-12) ดังรูปที่ 4 (ข) ทั้งนี้แนวจุดปล่อยกระแสไฟฟ้ากำหนดให้ครอบคลุมพื้นที่การสำรวจขนาด 2.56 ตารางกิโลเมตร

การสำรวจเริ่มต้นด้วยการปักหมุดกำหนดตำแหน่งของจุดปล่อยกระแสไฟฟ้าและจุดวัดกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องมือ RTK GPS และดำเนินการติดตั้งขั้ววัดไฟฟ้า (Non-Polarized Electrode) และติดตั้งแท่นเทลล์กิที่เป็นชั้บปล่อยกระแสไฟฟ้าในสนาม อย่างใกล้เคียง เนื่องจากพื้นที่ในการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลมีขนาดใหญ่และเป็นเขตชุมชน ทำให้เป็นอุปสรรคขวางกั้นแนวการสำรวจ ดังนั้นตำแหน่งจริงที่ทำการติดตั้งขั้วไฟฟ้า ได้มีการปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมในภาคสนาม โดยยึดหลักความปลอดภัยและความถูกต้องของข้อมูลเป็นอันดับแรก



รูปที่ 3 รูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าในสนามแบบ Offset Pole-Dipole



(ก) เครื่องปล่อยกระแสไฟฟ้า Zonge GTT-10 (ข) เครื่องวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า Scintrex IPR-12  
รูปที่ 4 อุปกรณ์วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในสนามทดสอบ

#### 4. การประมวลผลการสำรวจ

ค่าความต่างศักย์และค่ากระแสไฟฟ้าติดต่อจนค่าพิกัด GPS ที่ได้จากการเก็บข้อมูลในภาคสนาม จะถูกตรวจสอบอีกครั้งก่อนการประมวลผลการสำรวจ เมื่อทำการตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว จะนำข้อมูลมาแปลงย้อนกลับหารูปลักษณะทางธรณีวิทยา (Invert Model) ในขั้นตอนนี้จะต้องเตรียมข้อมูลให้เป็นไปตามรูปแบบที่โปรแกรมประมวลผลได้กำหนดรูปแบบไว้ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ย (Apparent Resistivity) จำนวนได้จากการสัมพันธ์ดังสมการที่ (1)

$$\rho = 2\pi a R \quad (1)$$

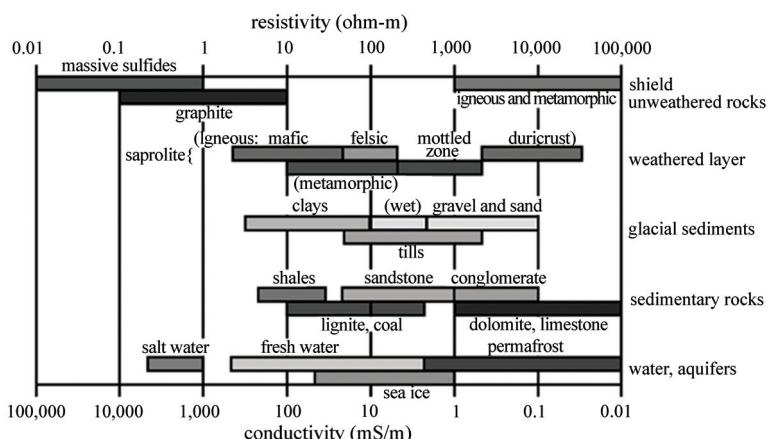
เมื่อ

- $\rho$  คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้า apparent resistivity
- $a$  คือ ระยะห่างขั้วไฟฟ้า electrode spacing
- $R$  คือ ค่าความต้านทาน resistance value

### 5. สร้างแบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 3 มิติ

ค่าที่ได้จากการสำรวจจะถูกนำมาประมาณผลด้วยโปรแกรม RES3DINV [5] เสร็จแล้วจะได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของตำแหน่งและระดับความลึกต่าง ๆ ที่สามารถนำไปแสดงผลด้วยโปรแกรมที่ใช้สร้างแบบจำลอง 3 มิติ เมื่อข้อมูลที่ได้รับการประมาณผลถูกแสดงในโปรแกรมสร้างแบบจำลองแล้ว ผลลัพธ์คือแบบจำลองของค่าความต้านทานไฟฟ้า apparent resistivity แบบ 3 มิติ

จำแนกแบบจำลองขั้งต้น สามารถเปลี่ยนความหมายผลการสำรวจจาก 3 มิติ โดยใช้หลักการแปลความหมายด้วยลีที่แสดงถึงค่าความต้านทานไฟฟ้า เช่นเดียวกับการจำแนกแบบ 2 มิติ [16] การแสดงผลด้วยลีที่มีความแตกต่างกันนั้นจะสามารถจำแนกสภาพทางธรณีวิทยาของจุดที่ทำการสำรวจได้โดยใช้คุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าที่แตกต่างกันของวัสดุทางธรณีวิทยาแต่ละชนิด กำหนดโดย Palacky, G. J. [15] ดังรูปที่ 5 ดังนั้น การสร้างแบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าในแต่ละช่วงของข้อมูลที่สอดคล้องกับค่าความต้านทานไฟฟ้าของกลุ่มวัสดุได้ดี จึงมีความสำคัญต่อการแปลผลข้อมูล



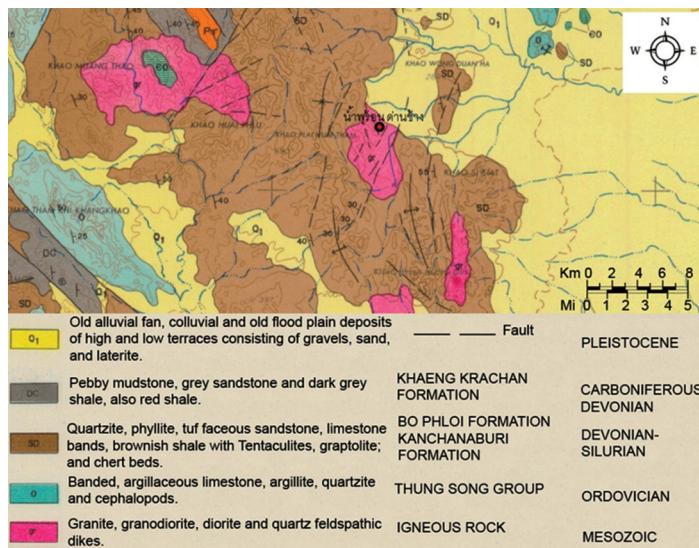
รูปที่ 5 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุทางธรณีวิทยา [15]

### ผลการศึกษา

#### 1. การศึกษาร่วมข้อมูลและสำรวจภาคสนามเบื้องต้น

จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของประชากรในพื้นที่พบว่า อำเภอค่ายด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ตั้งอยู่บนที่傍หุบเขาและแม่น้ำท่าจีน ในส่วนที่เป็นพื้นที่ดอน แห้งแล้ง และพื้นที่ภูเขา ประชาชนในอำเภอค่ายด่านช้าง ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมและอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรด้านต่าง ๆ สำหรับลักษณะทางธรณีวิทยา น้ำพุร้อนแห่งนี้ตั้งอยู่บนพื้นที่ของควอทซ์และเฟลสปาร์ ที่มีดินตะกอน

ปิดทับด้านบน อันเกิดจากการกัดเซาะพุพังของหินในบริเวณนั้นและสะสมตัวอยู่ในบริเวณเชิงเขาไม่ไกลจากตัวภูเข้าซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของน้ำพุร้อนมากนัก จัดเป็นตะกอนยุคควอเทอร์นารีซึ่งประกอบไปด้วยทรัพยากรูปแบบแปรผลลัพธ์ที่มีรายเป็นชั้นหนา การเรียกชื่อกลุ่มตะกอนเรียกตามลักษณะลักษณะหินหรือวิทยาที่สะสมตัว เช่น ตะกอนเศษหินเชิงเขา (Colluvium) บริเวณโดยรอบพื้นที่น้ำพุร้อนประกอบไปด้วย หินแกรนิตแกรนิตไนโตรต์ ไนโตรต์ พนังแร่ควอทซ์และเฟลล์ปาร์ทิไนโตรต์ ยุคเมโซโซอิก (Mesozoic) ที่สามารถพบได้ง่ายบริเวณเนินเขาด้านทิศตะวันตกและตะวันออกเฉียงใต้ของบ่อน้ำพุร้อน [17]



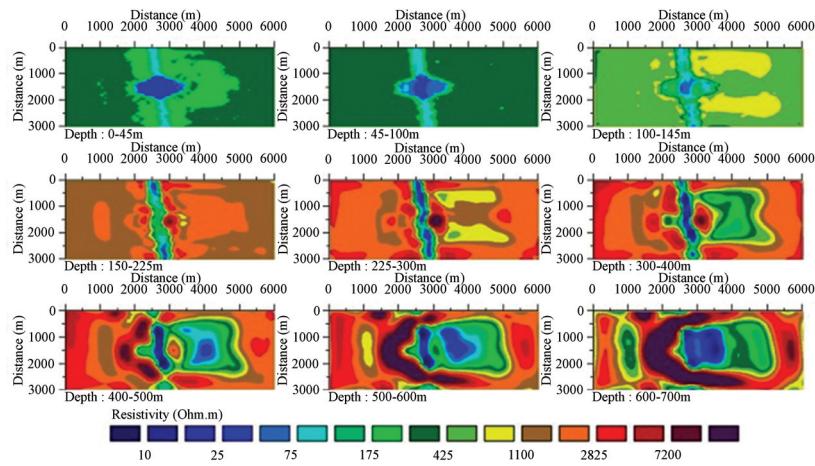
รูปที่ 6 แผนที่ธรณีวิทยาของแหล่งที่ตั้งน้ำพุร้อน อำเภอค่านข้าง จังหวัดสุพรรณบุรี [17]

จากรูปที่ 6 แสดงแผนที่ทางธรณีวิทยาและตำแหน่งที่ตั้งของน้ำพุร้อน บ้านน้ำพุร้อน หมู่ 5 ตำบลค่านข้าง อำเภอค่านข้าง จังหวัดสุพรรณบุรี บนแผนที่ธรณีวิทยา จะพบว่าน้ำพุร้อนนั้นอยู่ในบริเวณที่เป็นหินแกรนิตและแนวล้ำร่องโดยล้วนใหญ่จะอยู่บนพื้นที่หินแกรนิต อีกทั้งยังมีแนวรอยเลื่อนบนพื้นที่การสำรวจจำนวน 4 ถึง 5 แนวรอยเลื่อน

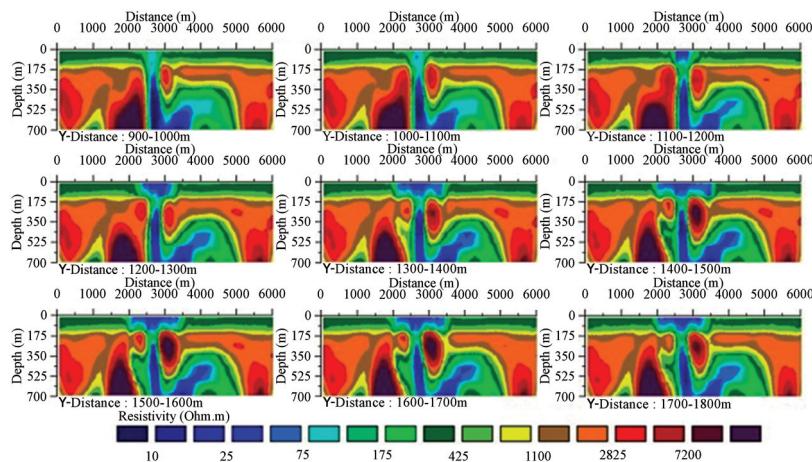
## 2. การจำลองการสำรวจ

ผลการจำลองแบบ 3 มิติ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 7 สามารถแสดงให้เห็นถึงภาพตัดแนวราบ (Horizontal Section) และแนวตั้ง (Vertical Section) ของบ่อน้ำพุร้อน ซึ่งแนวการไหลของน้ำพุร้อน จะมีค่าความต้านทานไฟฟ้า 10 - 25 โอห์ม-เมตร ตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบจำลอง และค่าตัวแปรความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุทางธรณีวิทยาเพื่อใช้ในการจำลองผลการสำรวจ ดังตารางที่ 1

การจำลองการสำรวจที่ได้จัดทำขึ้นนั้น สามารถทราบได้ถึงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เป็นไปได้ถึงแหล่งน้ำพุร้อนได้ดีนและการแสดงผลลัพธ์ที่เป็นประโยชน์ในขั้นตอนการวางแผนการสำรวจ ก่อนการสำรวจจริงในภาคสนาม

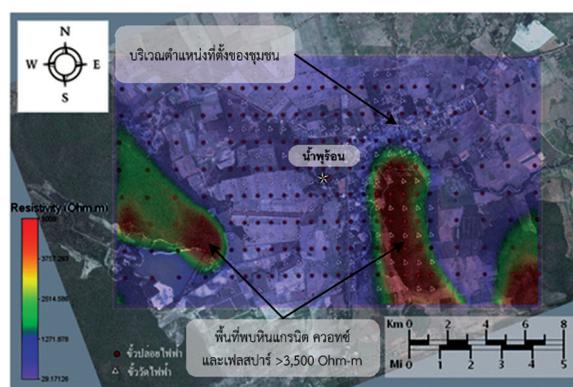


(ก) ภาพตัดแนวน้ำพุร้อนแบบจำลอง



(ข) ภาพตัดแนวน้ำพุร้อนแบบจำลอง

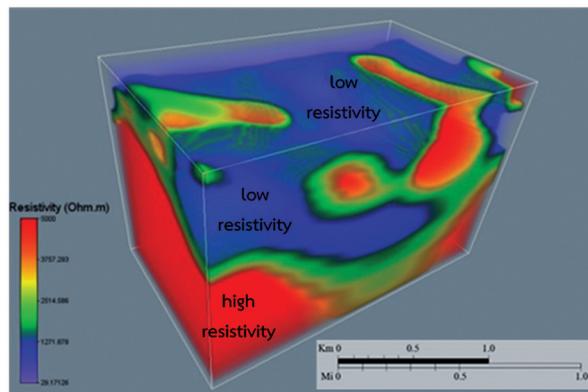
รูปที่ 7 ภาพตัดแนวน้ำพุร้อนแบบจำลอง ประภากที่ 2 จากภาพ 3 มิติ



รูปที่ 8 ผลการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าประกอบกับภาพถ่ายดาวเทียม

## อภิปรายผลการศึกษา

จากรูปที่ 8 แสดงผลการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าประกอบกับภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งเป็นภาพเชิงช้อนที่แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของชุมชนจากภาพถ่ายทางอากาศกับแผนที่ความต้านทานไฟฟ้าที่สำรวจได้ เมื่อเปรียบเทียบแผนที่ความต้านทานไฟฟ้ากับแผนที่ทางธรณีวิทยาจะพบว่าบริเวณพื้นที่เป็นเนินเขา คือ จุดที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สูงมากกว่า 3,500 โอห์ม-เมตร (พิจารณาในร่วมกับตารางที่ 1 และรูปที่ 6) แสดงให้เห็นถึงแนวทินเกรนนิต พนังแร่ควอทซ์และเฟลสปาร์ [17] สำรวจตอนกลางของพื้นที่ พนค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำกว่า คือมีค่าอยู่ระหว่าง 30 - 500 โอห์ม-เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวการไหลซึมของน้ำได้ดินสู่ผิวดินในตำแหน่งที่ตั้งของบ่อน้ำพุร้อน อีกทั้งค่าความต้านทานไฟฟ้าดังกล่าวยังสามารถแปลความหมายที่แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของดินตะกอนและรอยเลื่อนหรือชั้นทินผุได้อีกด้วย

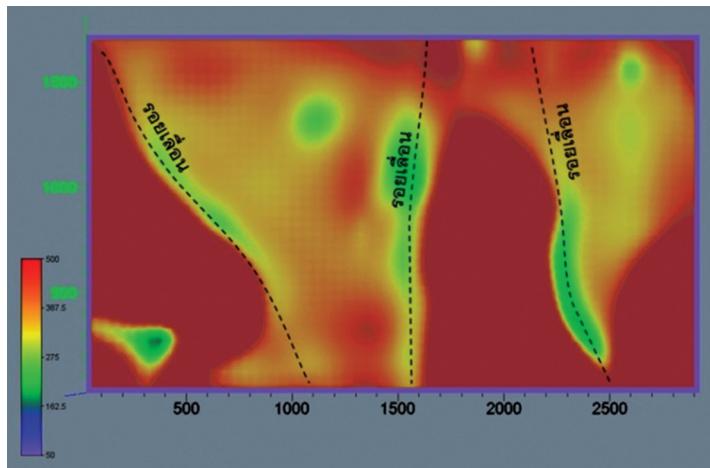


รูปที่ 9 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาบ่อน้ำพุร้อนแบบ 3 มิติ

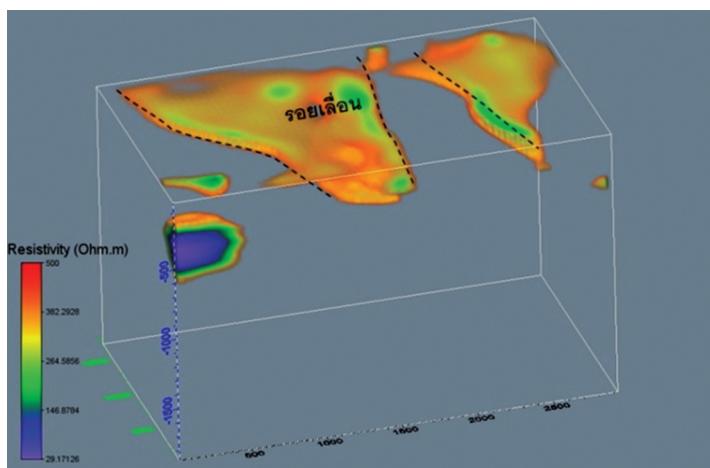
จากการแสดงผลค่าความต้านทานไฟฟ้าแล้วมีอยู่ในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยา สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงให้เห็นสภาพทางธรณีวิทยาได้ชัดเจนมากกว่า การแสดงผลแบบ 2 มิติ โดยพื้นที่ลึ่นเงิน คือบริเวณที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุที่ช่วยให้กระแสไฟฟ้าไหลเวียนได้ง่าย เช่น น้ำ เป็นต้น สำรวจพื้นที่ลึ่นเงิน คือบริเวณที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูง แสดงให้เห็นว่าเป็นตำแหน่งของทินหรือพนังแร่ ทันนี้เมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วนของผลการสำรวจที่มีความต้านทานไฟฟ้าไม่เกิน 500 โอห์ม-เมตร (ไม่แสดงผลตำแหน่งทิน) ณ ความลึก 50 เมตร สามารถแสดงให้เห็นถึงแนวรอยเลื่อนของชั้นทินเป็นแนว เหนือ - ใต้ พาดผ่านกลางพื้นที่สำรวจ น้ำพุร้อนจะแทรกอยู่ระหว่างแนวรอยเลื่อนของชั้นทินได้ดิน ดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ทั้งหมดนี้สอดคล้องกับแผนที่ธรณีวิทยาของแหล่งน้ำพุร้อน อำเภอค่ายช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ตามข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี [17] ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 12 คือรูปตัดที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาโดยรวมของบ่อน้ำพุร้อน เช่น มุมมองทิศตะวันตกเฉียงใต้ (W-S) และมุมมองทิศตะวันออกเฉียงใต้ (E-S) ซึ่งทำให้ผู้สนใจศึกษาสามารถเข้าใจและมองเห็นลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาได้ชัดเจนมากขึ้น

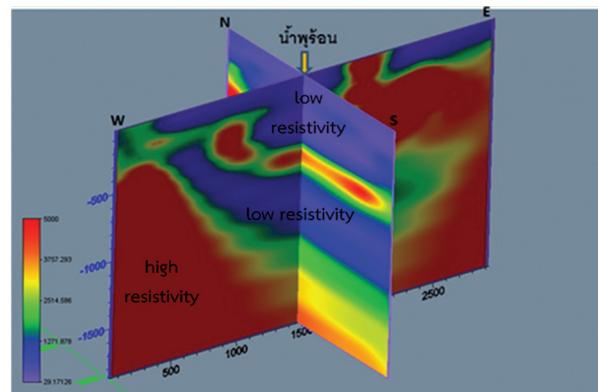
ทิศทางการไหลของน้ำพุร้อนแสดงให้เห็นได้จากรูปตัดในรูปที่ 13 จุดที่แสดงตำแหน่งของน้ำพุร้อนและรอยเลื่อนของชั้นหินไดคิโน ซึ่งสมมติฐานได้ว่าลักษณะน้ำพุร้อนด้านข้างเกิดขึ้นจากแหล่งความร้อนที่อยู่ลึกในระดับที่มากกว่า 2,000 เมตร โดยเกิดขึ้นจากน้ำไดคิโนจะไหลไปตามแนวรอยเลื่อนและรอยแตกของชั้นหิน เมื่อไดรับพลังงานความร้อนจากแหล่งความร้อนด้านใต้แล้วน้ำร้อนจะไหลย้อนกลับขึ้นมาตามแนวรอยเลื่อนและรอยแตกของชั้นหินเพื่อไหลเก็บกักสะสมในชั้นน้ำไดคิโนที่อยู่ในระดับความลึกประมาณ 1,250 เมตร แล้วค่อย ๆ ไหลซึมขึ้นมาบนผิวดิน



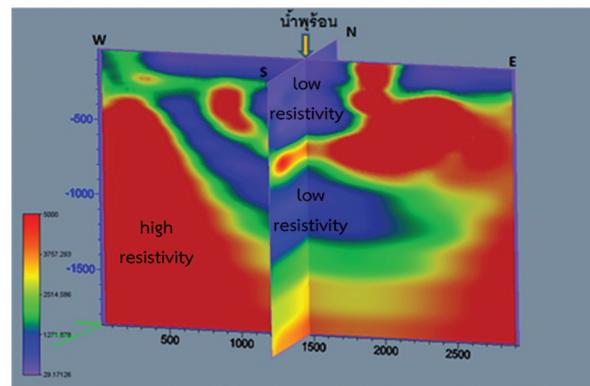
รูปที่ 10 รูปตัดที่ความลึก 50 เมตร จำกัดการแสดงผลความต้านทานไฟฟ้าไม่เกิน 500 โอห์ม-เมตร



รูปที่ 11 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยา 3 มิติ จำกัดการแสดงผลความต้านทานไฟฟ้าไม่เกิน 500 โอห์ม-เมตร

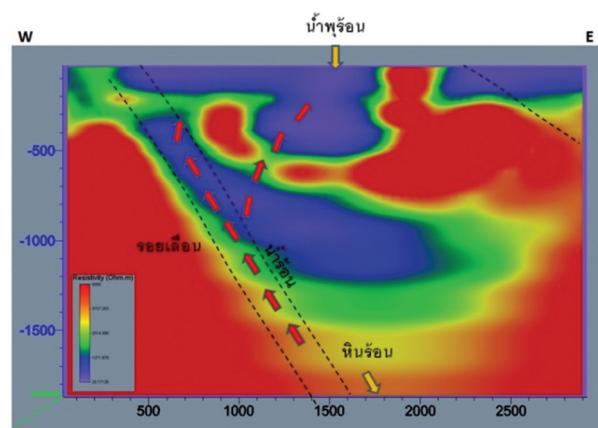


(ก) มุมมองทิศตะวันตกเฉียงใต้ (W - S)



(ข) มุมมองทิศตะวันออกเฉียงใต้ (E - S)

รูปที่ 12 รูปตัดแสดงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อน



รูปที่ 13 รูปตัดแสดงทิศทางการไหลของน้ำพุร้อน

## สรุปผลการศึกษา

ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อน อำเภอต่านช้าง มีลักษณะสอดคล้องกับแบบจำลองน้ำพุร้อน ประเภทที่ 2 ดังรูปที่ 1 (ข) โดยเกิดขึ้นจากน้ำฝนและน้ำผิวดิน ให้ผลลัพธ์ได้ดีในผ่านรอยเลื่อน รอยแตก และรูพรุนของหิน จนถึงความลึกระดับหนึ่ง หลังจากได้รับการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งพลังงานใต้พิภพ จนกลายเป็นน้ำร้อนแล้ว จากการกดทับของชั้นหินหรือพนังแร่ น้ำร้อนดังกล่าวจะไหลกลับชั้นผิวดิน ด้วยแรงดันสูง ให้ผ่านตามรอยเลื่อน รอยแตกของหิน เมื่อผสมกับน้ำได้ดีในชั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่า เกิดเป็นน้ำพุร้อนหรือบ่อน้ำอุ่น ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำพุร้อนชนิดนี้จึงไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส แหล่งน้ำพุร้อนแห่งนี้มีคักยกภาพที่สามารถพัฒนาไปใช้ในด้านการท่องเที่ยวและการสร้างห้องอบแห้งเพื่อประโยชน์ในด้านการเกษตร ตลอดจนการพัฒนาเป็นแหล่งสันทานการและการท่องเที่ยวได้ในอนาคต ทั้งนี้ การขออนุญาตดังนี้จะมาจากทางราชการหรือการสนับสนุนเงินลงทุนจากภาครัฐเพื่อพัฒนาแหล่งทรัพยากรธรรมชาติให้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวนั้น หน่วยงานที่รับผิดชอบจะต้องมีข้อมูลการสำรวจที่น่าเชื่อถือได้ การศึกษานี้เป็นข้อมูลทางวิชาการที่ช่วยสนับสนุนให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดทำแผนงบประมาณได้

สำหรับปัญหาและข้อเสนอแนะนั้นพบว่า อุปสรรคของการสำรวจในพื้นที่กว้างมากจะเกิดปัญหาด้วยประชาชนที่อยู่ในพื้นที่เสมอ เช่น การทำความสะอาดเข้าใจกับประชาชนถึงวัตถุประสงค์ของการศึกษา การขออนุญาตเข้าไปในพื้นที่เขตพักอาศัย รวมทั้งพื้นที่ทำการเกษตรของประชาชนเพื่อวางแผนนำลัญญาณ ตลอดจนการลดผลกระทบจากกิจกรรมการสำรวจต่อการใช้ชีวิตประจำวันของประชาชนในเขตพื้นที่ของการสำรวจจากปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมด ผู้ดำเนินการศึกษาได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการทำความเข้าใจและพูดคุยกับผู้นำชุมชน ตลอดจนการให้ข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ เมื่อมีข้อสงสัยและสอบถามจากประชาชนในพื้นที่จะสามารถทำงานได้ลำเร็ว快捷ถ้วนตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

## References

- [1] Pan-Aram, R. Wongwises, P., Pimonsree, S., Zhang, M., and Pimonsree, S. (2010). Preliminary Assessment of Wind Energy Resource Over Thailand. **KMUTT Research and Development Journal.** Vol. 33, No. 2, pp. 75-88 (in Thai)
- [2] Raksaskulwong, M. (1999). Geothermal Energy Development and Utilization in Thailand; in NEDO (ed.). **Proceedings of Asia Geothermal Symposium.** New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO). Tokyo, Japan. pp. 70-86
- [3] Department of Mineral Resources of Thailand. (2011). **Hot Springs Resources.** Access (10 May 2017). Available (<http://www.dmr.go.th>)
- [4] Badmus, B., Akinyemi, O., Olowofela, J., and Folarin, G. (2012). 3D Electrical Resistivity Tomography Survey for the Basement of the Abeokuta Terrain of Southwestern Nigeria. **Journal of the Geological Society of India.** Vol. 80, Issue 6, pp. 845-854. DOI: 10.1007/s12594-012-0213-x

- [5] Loke, M. H. (2014). **RES3DINV Program**. Access (30 July 2017). Available (<http://www.geoelectrical.com>)
- [6] Giao, P. H., Putthapiban, P., and Vichalai, C. (2007). Geophysical Investigation of Hot Spring sites in Kanchanaburi with Reference to Local Tourism Development. **GEOTHAI'07 International Conference on Geology of Thailand: Towards Sustainable Development and Sufficiency Economy**. pp. 104-108
- [7] Neawsuparp, K. Soisa, T., and Charusiri, P. (2010). Physical Characteristic of Pong-Kum Hot Spring, Chiang Mai, Thailand, Using Ground Geophysical Investigation. **Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, 25-29 April 2010**. pp. 1-5
- [8] Suanburi, D. (2014). The Application of 3D Resistivity Measurements to Study Subsurface Geological Structure of Pong - Chang Hot Spring Situated at Ban Pongchang, Nongprue District, Kanchanaburi. **Proceedings of DMR Conference 2014. 9-10 September 2014, Bangkok, Thailand.** (in Thai)
- [9] Spencer, H. W., Kaewsomwang, P., Suvagonda, F., and Warapan, S. (2016). Fang Hot Springs Geothermal Area, Chiangmai Province, Northern Thailand. **Proceedings of Geological and Geophysical Exploration in 2014-2015**. The 11<sup>th</sup> Asian Geothermal Symposium 18-20 November, 2016, Chiangmai, Thailand.
- [10] Loke, M. H. (2010). **Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys**. Access (23 July 2017). Available (<http://www.geoelectrical.com>).
- [11] White, R., Collins, S., Denne, R., Hee, R., and Brown, P. (2001). A New Survey Design for 3D IP Inversion Modelling at Copper Hill. **Exploration Geophysics**. Vol. 32, No. 3-4, pp. 152-155
- [12] Loke, M. H. (2001). **RES3DMOD V2.13f Program**. Access (30 July 2017). Available (<http://www.geoelectrical.com>).
- [13] Zhdanov, M. S. (2002). **Geophysical Inverse Theory and Regularization Problems**. (1<sup>st</sup> Edition). Elsevier. New York. pp. 628-630
- [14] Raksaskulwong, M. (2008). Thailand Geothermal Energy: Development History and Current status. **Proceedings of the 8<sup>th</sup> Asian Geothermal Symposium**. Department of Mineral Resources of Thailand. pp. 39-46
- [15] Palacky, G. J. (1987). Resistivity Characteristics of Geologic Targets, in Nabighian, M.N., ed., Electromagnetic methods in applied geophysics theory: Tulsa, Okla., **Society of Exploration Geophysicists**. Vol. 1, pp. 53-129
- [16] Wiwattanachang, N., Vichalai, C., and Jantasuto, O. (2016). Dam Stability Analysis by Electrical Resistivity Imaging and Natural Electric Potential Technique. **RMUTI Journal Science and Technology**. Vol. 10, No. 1, pp. 35-48. (in Thai)
- [17] Department of Mineral Resources of Thailand. (2007). **Geological Map Suphan-Buri Province**. Access (25 July 2017). Available ([www.dmr.goq.th](http://www.dmr.goq.th))



ปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงจากเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิเดช์เบด

## Energy Yields of Fuel Gas from Cassava Rhizome in a Fluidised-Bed Reactor

วิริยะ แดรง敦<sup>1\*</sup> และเกยุร ดวงอุปมา<sup>1</sup>

Received: October, 2017; Accepted: January, 2018

### บทคัดย่อ

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงของเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิเดช์เบดเป็นการศึกษาที่ปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์และปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิปฏิกรณ์ 5 ระดับ คือ 500 600 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส ต่อบริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์และปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งแก๊สแลกพิจีคือแหล่งพลังงานความร้อนสำหรับอุ่นเครื่องก่อนทำการทดลองและระหว่างทดลองและอากาศถูกใช้เป็นแก๊สพา ปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์ได้จากการสมดุลมวลก่อนและหลังการทดลอง โดยมีเครื่องวิเคราะห์แก๊ส GC 8A สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊ส ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิปฏิกรณ์ 900 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลได้ของแก๊สสูงสุดร้อยละ 90.9 โดยน้ำหนัก แต่แก๊สที่ได้มีค่าความร้อนต่ำสุดเป็น 12 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ขณะที่อุณหภูมิปฏิกรณ์ 800 องศาเซลเซียส คืออุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เพราะมีปริมาณผลได้ของแก๊สและปริมาณพลังงานของแก๊สร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ : ปริมาณพลังงาน; การผลิตแก๊สเชื้อเพลิง; แก๊สเชื้อเพลิง; เหง้ามันสำปะหลัง; ฟลูอิเดช์เบด

<sup>1</sup> Faculty of Agro Industrial Technology, Kalasin University

\* Corresponding Author E - mail Address: [wiriyadangton@gmail.com](mailto:wiriyadangton@gmail.com)

## Abstract

Gasification of cassava rhizomes in a fluidised-bed reactor is studied for investigate of product yields and energy yields of biomass gasification in different temperatures. The aim of this study is find the influence of temperature in five levels were 500, 600, 700, 800 and 900 °C on product yields and energy yields of biomass gasification in the fluidised - bed method. The liquefied petroleum gas (LPG) was used for the heating system before the experiment and air as a carrier gas during the experiment. The product yield was obtained by mass balance before and after the experiment. The gas chromatography (GC 8A) analysis method was used for analyze gas composition. The results show that maximum fuel gas yields from cassava rhizomes of 90.9 wt% at 900 °C. However, the gas with the lowest heating value were 12 MJ/kg. While the reaction temperature at 800 °C has gas yields and energy yields of 85 wt%, it is the ideal temperature for producing fuel gas.

**Keywords:** Energy Yield; Gasification; Fuel Gas; Cassava Rhizomes; Fluidised - Bed

## บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกต่างพัฒนาพัฒนาเทคโนโลยีรูปแบบต่าง ๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานชีวมวล เพื่อรับปัญหาภัยคุกคามของโลก เช่น พลังงานชีวมวลถือว่าเป็นพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพ เพราะพลังงานความร้อนที่ได้จากชีวมวลสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับอุตสาหกรรมโรงงานไฟฟ้า และอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ชีวมวลคือเศษวัสดุที่เหลือใช้จากการแปรรูปพืชให้เป็นผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้พลังงานชีวมวลจึงทำให้เกิดการสมดุลของแก๊สการอน dioxygen ที่ถูกปล่อยออกมายังชั้นตอนการสังเคราะห์แสงของพืช สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมซึ่งมีชีวมวลในปริมาณมาก โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้รายงานว่า สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี พ.ศ. 2559 มีผลผลิตหัวมันสำปะหลังสำหรับโรงงานอันดับ 2 ของโลก และเป็นอันดับ 1 ของอาเซียน ประมาณ 30 ล้านตัน หรือคิดเป็นเหง้ามันสำปะหลังประมาณ 14.7 ล้านตัน เมื่อคุณด้วยอัตราส่วนของเหง้ามันสำปะหลังต่อหัวมันสำปะหลัง 0.49 [1] วิธีการจัดเหง้ามันสำปะหลังนี้ เกษตรนิยมเพาะเจริญไม่ก่อให้เกิดคุณค่าทางพลังงาน หากนำเหง้ามันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ เช่น กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับโรงงานไฟฟ้า [2] - [5] กระบวนการไฟฟ้าโซลาร์เซลล์แบบเร็วสำหรับผลิตเชื้อเพลิงเหลว [6] - [11] และกระบวนการทอริแฟคชันสำหรับผลิตถ่านชาร์ [12] - [16] จะทำให้ชีวมวลมีคุณค่าทางพลังงานได้ โดยการแปรรูปชีวมวลด้วยกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนั้นได้รับความนิยมในการทำวิจัยอย่างมาก เพราะเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการดำเนินการ

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงหมายถึงกระบวนการทางเคมีความร้อนที่มีอุณหภูมิปฏิกิริยาประมาณ 500 - 1000 องศาเซลเซียส [17] โดยผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งปัจจัยหลักของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงคือเครื่องปฏิกรณ์ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้ แบบแก๊สไฟหลลง (Downdraft) แบบแก๊สไฟเข็น

(Updraft) แบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidised - Bed) แบบแก๊สหมุนวน (Rotating Cone) และแบบตอกอิสระ (Entrained - Flow) เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดมีอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสูง เพราะมีตัวกลางถ่ายโอนความร้อน จึงช่วยในการย่อยสลายทางเคมีความร้อนของชีวมวลให้กลายเป็นแก๊สได้สมบูรณ์ อีกทั้ง การเข้มต่อเครื่องปฏิกรณ์นี้กับไฮโคลน ชุดกรองไออก้อน และชุดควบแน่น ยังทำให้แก๊สเชื้อเพลิงสะอาดขึ้น เพราะถ่านชาร์จะถูกแยกออกจากแก๊สด้วยไฮโคลนแล้วเก็บในถังเก็บถ่านชาร์ ส่วนถ่านชาร์ขนาดเล็ก จะถูกดักจับด้วยชุดกรองไออก้อน ขณะที่ทาร์ถูกควบแน่นด้วยชุดควบแน่นแต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าหากนำเหวมันสำปะหลังมาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดจะส่งผลอย่างไรต่อปริมาณพลังได้ และองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง เพราะงานวิจัยที่ศึกษาการไฟโรไลซ์แบบเร็วของเหวมันสำปะหลัง ในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดเพื่อผลิตใบโอ้อยล์ที่อุณหภูมิปฏิกรณ์ 510 องศาเซลเซียส [18] พบว่า ปริมาณพลังได้ของใบโอ้อยล์สูงถึงร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไฟโรไลซ์ขึ้นเป็น 537 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณพลังได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 11 เป็น 14 โดยน้ำหนัก

ดังนั้นโครงการนี้จึงมุ่งเน้นการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงของเหวมันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิปฏิกรณ์ 5 ระดับ คือ 500 600 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส ที่มีต่อปริมาณพลังได้ของผลิตภัณฑ์ องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง และปริมาณ พลังงานที่ได้จากแก๊สเชื้อเพลิงวัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย

### 1. ชีวมวล

ชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือเหวมันสำปะหลัง เป็นเศษวัสดุทางการเกษตรที่ได้จากไร่พะปลูก จึงมีขนาดใหญ่และมีติดมากด้วย ดังนั้นการเตรียมเหวมันสำปะหลังจึงจำเป็นต้องบดละเอียดให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำไปคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 0.6 – 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปตากแดดและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นในชีวมวล

### 2. ตัวกลางถ่ายโอนความร้อน

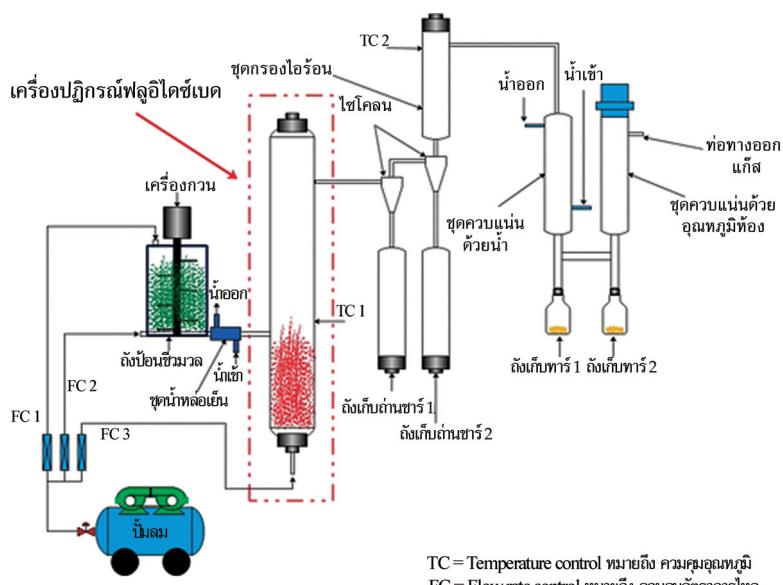
ทรัพยากรากที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้มาจากร้านขายวัสดุคู่กับสร้างจึงมีน้ำผลมน้ำด้วย เพราะการเก็บรักษา ทรัพยากรากในร้านดังกล่าวคือเก็บในที่โล่งแจ้ง ดังนั้นการนำทรัพยากรากไปใช้ในกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง จึงจำเป็นต้องกำจัดน้ำที่มากับทรัพยากรากก่อน เพราะน้ำจะล榄ผลต่อตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง อีกทั้งทรัพยากรากที่ชื้อมามา ยังมีขนาดที่ไม่เท่ากันและมีลักษณะเป็นมากับทรัพยากราก ดังนั้นการเตรียมทรัพยากรากจึงจำเป็นต้องนำทรัพยากรากมาตากแดดให้แห้ง จากนั้นคัดขนาดอนุภาคร 0.4 – 0.6 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมกับการเป็นตัวกลาง ถ่ายโอนความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์ของงานวิจัยนี้ เพราะทรัพยากรากที่เล็กกว่าขนาดนี้มีน้ำมากใช้ในการทดลอง ไม่สามารถรักษาอุณหภูมิได้ตามที่กำหนด เนื่องจากความสามารถในการจุความร้อนต่ำ จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดเส้าหรือเศษวัสดุที่ปนเปื้อนทรัพยากราก หลังจากนั้นนำทรัพยากรากที่ผ่านการเผาไหม้มาคัดขนาด 0.4 – 0.6 มิลลิเมตร อีกครั้งก่อนนำไปใช้เป็นตัวกลาง ถ่ายโอนความร้อน

### 3. วิธีการทดลอง

ก่อนการทดลองต้องซึ่งน้ำหนักของอุปกรณ์แต่ละชิ้น เริ่มจากการซึ่งน้ำหนักของชีวมวล ตัวกลางถ่ายโอนความร้อน เครื่องปฏิกรณ์ ชุดกรองไออก้อน ไยกัว (5 กรัม) ชุดควบแน่น และถังเก็บثار์ หลังจากนั้นต่อสายลมผ่านเกจวัดความดันผ่านเข้าชุดควบคุมอัตราการไหล (FC) ทั้ง 3 ตัว โดย (FC 1) เข้าฝาบนของถังชีวมวล (FC 2) เข้าท่อลำเลียงด้านข้างของถังป้อนชีวมวล และ (FC 3) เข้าด้านล่าง เครื่องปฏิกรณ์ในตำแหน่งฟลูอิไดซ์เบด จากนั้นต่อสายยางของน้ำหล่อเย็นจากปั๊มน้ำไปยังชุดหล่อเย็น

ของท่อลำเลียงชีวมวลและชุดกรองไออกอน ตามลำดับ ขั้นตอนต่อไปคือ ต่อเทอร์โมคันเปลจจากชุดควบคุมเข้า (TC 1) ในตำแหน่งไฟโรไลซ์ลักษณะเครื่องปฏิกรณ์ และ (TC 2) ในตำแหน่งภายในของชุดกรองไออกอน และสุดท้ายนำตัวกลางถ่ายโอนความร้อน (ทราย) ผสมกับชีวมวลบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์แล้วเพาชีวมวลที่ผสมทราบด้วยแก๊สแอลพีจี (LPG) เป็นเวลาประมาณ 30 นาที สังเกตุที่อุณหภูมิปฏิกรณ์ (TC 1) จะแนใจว่าตัวกลางถ่ายโอนความร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 500 600 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส ตามเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งขนาดอนุภาคของทราย 0.4 - 0.6 มิลลิเมตร คือขนาดที่ผ่านการทดสอบในเครื่องปฏิกรณ์นี้แล้วว่าสามารถถูกความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิในแต่ละระดับได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการ

เริ่มการทดลองโดยปรับอัตราการไหลของตำแหน่งฟลูอิเดช์เบด (FC 3) 20 ลิตรต่อนาที จากนั้นป้อนชีวมวลผ่านท่อลำเลียงโดยควบคุมอัตราการไหล (FC 1) 5 ลิตรต่อนาที และ (FC 2) 10 ลิตรต่อนาที เพื่อให้ได้อัตราการป้อนชีวมวล 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิไฟโรไลซ์ต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดโดยอุณหภูมิอาจเปลี่ยนแปลงได้อยู่ในช่วงประมาณ  $\pm 15$  องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนดให้ลดอัตราการไหล (FC 1) บนฝาถังป้อนชีวมวลและเพิ่มอัตราการไหล (FC 2) เพื่อให้ชีวมวลลงท่อลำเลียงในปริมาณลดลง ซึ่งต้องควบคุมอัตราการไหลรวมระหว่าง (FC 1) และ (FC 2) ให้อยู่ที่ 15 ลิตรต่อนาที เพื่อควบคุมอัตราการป้อนของชีวมวลให้อยู่ที่ 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อแนใจว่าอุณหภูมิไฟโรไลซ์และการป้อนชีวมวลเรียบร้อยดีให้ทำการทดลองประมาณ 20 นาที แล้วรีเมิ่งเก็บแก๊สระหว่างการทดลองในตำแหน่งท่อทางออกแก๊สทุก ๆ 10 นาที เพื่อให้ได้แก๊สที่มีความเข้มข้นและเพียงพอสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สต่อไป หลังจากทดลองครบ 1 ชั่วโมง ให้หยุดป้อนชีวมวลโดยปิดอัตราการไหล (FC 1) แต่ยังคงเปิด (FC 2) และ (FC 3) เป็นเวลาประมาณ 5 นาที เพื่อให้แนใจว่าไม่มีชีวมวลตกค้างอยู่ในระบบ ซึ่งสังเกตุได้จากควันที่อยู่ในถังเก็บทาร์ทั้ง 2 ตำแหน่งต้องไม่มีควันออกมาก จากนั้นปิดอัตราการไหล (FC 2) และ (FC 3)



รูปที่ 1 แผนภาพหน่วยผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิเดช์เบด

#### 4. การสมดุลมวล

เมื่อทดลองครบ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เครื่องปฏิกรณ์และบริเวณที่ได้รับความร้อนเย็นตัวลงด้วยอุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที จากนั้นสมดุลมวลโดยชั้นน้ำหนักของชีวมวล ตัวกลางถ่ายโอนความร้อนถ่านชาร์ ไยแก้ว และทาร์ โดยน้ำหนักของชีวมวลที่ลดลง คือ ปริมาณชีวมวลที่ใช้ในการทดลองขณะที่น้ำหนักของตัวกลางถ่ายโอนความร้อนที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักของถ่านชาร์จากถังเก็บ และน้ำหนักของไยแก้วที่เพิ่มขึ้น คือปริมาณผลได้ของถ่านชาร์ และน้ำหนักของทาร์จากถังเก็บ คือปริมาณผลได้ของทาร์สำหรับปริมาณผลได้ของแก๊สเชื้อเพลิงได้จากการนำน้ำหนักของถ่านชาร์และทาร์รวมกันแล้วลบออกจาก 100

#### 5. การวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊ส

องค์ประกอบแก๊สวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Shimadzu GC-8A ที่ติดตั้งกับเครื่องตรวจจับการนำความร้อน (Thermal Conductivity Detector, TCD) โดยมีคอลัมน์ คือ Porapak N (80/100 SS 2.3 mm I.D. × 1 m) และ Unibeads C (60/80 SS Col. 3 mm. I.D. × 2 m) และอาร์กอนที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.995 เป็นแก๊สพา ซึ่งแก๊สที่วิเคราะห์ได้ประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ในไตรเจน (N<sub>2</sub>) มีเทน (CH<sub>4</sub>) เอทิลิน (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) และเอ็ทเทน (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)

#### 6. การคำนวณค่าความร้อนของแก๊ส

องค์ประกอบแก๊ส ประกอบด้วย ไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน (CH<sub>4</sub>) เอทิลีน (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) และอีเทน (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) ซึ่งแก๊สนี้สามารถคำนวณได้ด้วยการนำสัดส่วนขององค์ประกอบแก๊สแต่ละชนิดคูณด้วยค่าความร้อนและความหนาแน่นของแก๊สแต่ละชนิดตามข้อมูลในตารางที่ 1 และคำนวณค่าความร้อนตามสมการที่ (1) - (2)

ตารางที่ 1 สมบัติพื้นฐานของแก๊สเชื้อเพลิง

ชนิดแก๊ส	ค่าความร้อนแก๊สเชื้อเพลิงภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดันบรรยายกาศ (เมกะปูลต่อกรัม) [19]		$\rho_i$ [20]
	$HHV_i$	$LHV_i$	
ไฮโดรเจน (H <sub>2</sub> )	142	120	0.081
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	10	10	0.717
มีเทน (CH <sub>4</sub> )	55	50	1.178
เอทิลีน (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	51	48	1.145
อีเทน (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	52	47	1.360

$$HHV \left( \frac{MJ}{kg} \right) = \sum_i (y_i) (HHV_i) (\rho_i) \quad (1)$$

$$LHV \left( \frac{MJ}{kg} \right) = \sum_i (y_i) (LHV_i) (\rho_i) \quad (2)$$

เมื่อ

- $y_i$  = สัดส่วนขององค์ประกอบแก๊สแต่ละชนิด (ร้อยละโดยปริมาตร)  
 $HHV_i$  = ค่าความร้อนสูง (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)  
 $LHV_i$  = ค่าความร้อนต่ำ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)  
 $\rho_i$  = ค่าความหนาแน่นแก๊ส (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

## 7. การคำนวณปริมาณพลังงานของแก๊ส

ปริมาณพลังงานของแก๊สที่ได้ คำนวณจากปริมาณพลังได้ของแก๊สคูณด้วยค่าความร้อนต่ำของแก๊สซึ่งเกิดจากการนำสัดล่วงขององค์ประกอบแก๊สแต่ละชนิดคูณด้วยค่าความร้อนมาตรฐาน จากนั้นนำมาหารด้วยค่าความร้อนต่ำของชีมวลดังสมการที่ (3)

$$EY(\text{wt}\%) = Y_{\text{Gas}} \left( \frac{LHV_{\text{Gas}}}{LHV_{\text{BM}}} \right) \quad (3)$$

เมื่อ

- $EY$  = Energy Yield คือ ปริมาณพลังงาน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)  
 $Y_{\text{Gas}}$  = Yield of gas คือ ปริมาณพลังได้ของแก๊ส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)  
 $LHV_{\text{Gas}}$  = ค่าความร้อนต่ำของแก๊ส (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)  
 $LHV_{\text{BM}}$  = ค่าความร้อนต่ำของชีมวล (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)

## ผลการทดลองและอภิปราย

### 1. สมบัติของเหง้ามันสำปะหลัง

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เหง้ามันสำปะหลังหลังอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส มีความชื้นร้อยละ 10.1 โดยน้ำหนัก และสารระเหยร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก โดยมีความชื้นที่สูงกว่าและสารระเหยต่ำกว่าเหง้ามันสำปะหลังในงานวิจัยของ Pattiya, A. [18] เล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการเหง้ามันสำปะหลังในงานวิจัยนี้มีปริมาณถ้าสูงถึงร้อยละ 13.2 โดยน้ำหนัก เพราะเป็นที่ทราบดีว่าถ้าเกิดจากสารอนินทรีย์ที่ไม่สามารถระเหยตัวได้ ดังนั้นชีมวลที่มีปริมาณถ้าสูงจึงมีปริมาณสารระเหยต่ำ

### ตารางที่ 2 สมบัติของเหง้ามันสำปะหลัง

การวิเคราะห์	เหง้ามันสำปะหลัง งานวิจัยนี้	Pattiya, A. [18]
<b>การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, ฐานแท้)</b>		
ความชื้น <sup>๑</sup>	10.1	8.3
สารระเหย	75	77.7
คาร์บอนคงที่ <sup>๒</sup>	11.8	18.2

## ตารางที่ 2 สมบัติของเหงวัมันสำปะหลัง (ต่อ)

การวิเคราะห์	เหงวัมันสำปะหลัง งานวิจัยนี้ Pattiya, A. [18]	
การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, ฐานแท้)		
ถ้า	13.2	4.1
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, ฐานแท้ไม่คิดถ้า)		
คาร์บอน	48.4	51.6
ไฮโดรเจน	7.6	6.7
ไนโตรเจน	1.2	1.3
กำมะถัน	0.2	< 0.1
ออกซิเจน <sup>a</sup>	42.6	40.5
ความหนาแน่นรวม (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	263	N/A
ความหนาแน่นอนุภาค (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	1,025	N/A
ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม, ฐานแท้)		
ค่าความร้อนสูง (HHV)	15.5	23.7
ค่าความร้อนค่า (LHV)	13.8	18.5

<sup>a</sup>ฐานเปียก<sup>b</sup>คำนวณจาก 100 - สารระเหย - ถ้า<sup>c</sup>คำนวณจาก 100 - คาร์บอน - ไฮโดรเจน - ไนโตรเจน - กำมะถัน

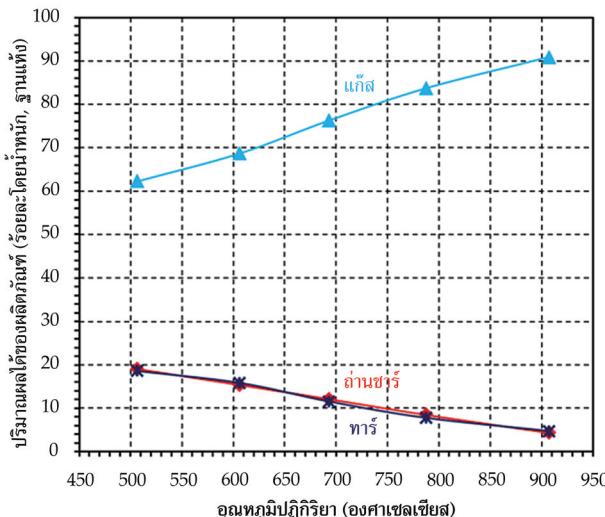
ผลวิเคราะห์สมบัติแบบแยกธาตุในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เหงวัมันสำปะหลังของงานวิจัยนี้ มีปริมาณคาร์บอนต่ำและปริมาณออกซิเจนสูง เมื่อนำไปวิเคราะห์หากค่าความร้อนจึงทำให้มีค่าความร้อนต่ำ นอกเหนือไปจากที่ทำให้มีค่าความร้อนต่ำนั้นเป็นผลมาจากการชีวมวลมีปริมาณถ้าสูง ซึ่งจะเห็นได้ว่า เหงวัมันสำปะหลังของงานวิจัยนี้มีปริมาณถ้ามากกว่าร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก

## 2. ปริมาณพลได้ของผลิตภัณฑ์

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจาก 506 เป็น 907 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณพลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจาก 68.7 เป็น 90.9 โดยน้ำหนัก ขณะที่ปริมาณพลได้ของถ่านchar และทาร์ลดลงอย่างต่อเนื่องจากปริมาณร้อยละ 19 เป็น 4 โดยน้ำหนัก บริมาณแก๊สที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิไฟโรไลซิสที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจากการสลายตัวทางเคมีความร้อนของชีวมวลได้สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Lanza, R. et al. [21] ที่รายงานว่า อุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 700 เป็น 900 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณพลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 65 เป็น 95 โดยน้ำหนัก

อย่างไรก็ตาม ปริมาณพลได้ของแก๊สเชื้อเพลิงจากเหงวัมันสำปะหลังในงานวิจัยครั้นี้ก็สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Billaud, J. et al. [22] ที่รายงานว่า การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากขี้เลือยขนาดอนุภาค 0.315 - 0.450 มิลลิเมตร ที่มีปริมาณถ้าร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกลิ่กระยะ

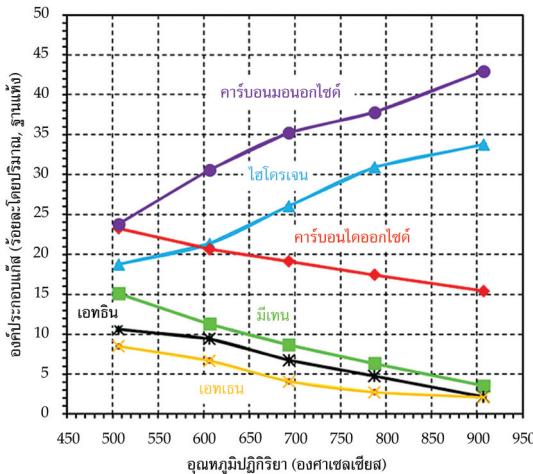
ที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 900 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลได้ของแก๊สร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิเดซึ่งเบดสำหรับงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการสลายตัวทางเคมีความร้อนสูงกว่า เครื่องปฏิกรณ์แบบท่ออิสระอย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าเท่านั้นลำพังในงานวิจัยนี้จะมีปริมาณถ้าสูงถึงร้อยละ 13.2 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์

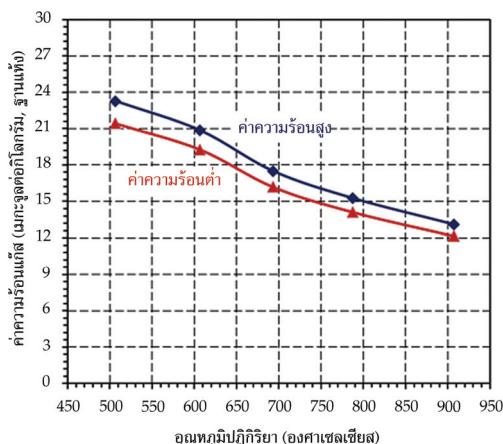
องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และ ไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 506 เป็น 907 องศาเซลเซียส ขณะที่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน เอทธิน และเอทเทน ลดลงอย่างชัดเจนตามอุณหภูมิปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวทางเคมีความร้อนของโครงสร้างแก๊สเชื้อเพลิงในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน เอทธิน และเอทเทน ทำให้โครงสร้างของไฮโดรเจนที่อยู่ในแก๊สเหล่านี้หลุดออกกลายเป็นแก๊สไฮโดรเจน ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งการผลิตแก๊สเป็นกระบวนการที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ( $2C + O_2 = 2CO$ ) จึงทำให้ปริมาณ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Chutichai, B. et al. [23] ที่รายงานว่า การผลิต แก๊สเชื้อเพลิงจากขี้อ้อยในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิเดซึ่งเบดแบบหมุนเวียนที่อุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 900 องศาเซลเซียส องค์ประกอบของแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 43 เป็น 60 โดยปริมาตร และ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็น 25 โดยปริมาตร ขณะที่องค์ประกอบของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจากร้อยละ 35 เป็น 15 โดยปริมาตร และแก๊สมีเทนลดลงจากร้อยละ 18 เป็น 0 โดยปริมาตร

เมื่อนำองค์ประกอบของแก๊สจากรูปที่ 3 มาคำนวณค่าความร้อนของแก๊สตามสมการที่ (1) และ (2) จะได้ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงดังรูปที่ 4 ที่แสดงให้เห็นว่า ค่าความร้อนของแก๊สลดลงอย่างชัดเจน เมื่ออุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 506 เป็น 907 องศาเซลเซียส เพราะว่าองค์ประกอบของแก๊สในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน เอทธิน และเอทเทน มีปริมาณลดลงจึงลุ่งผลให้ค่าความร้อนของแก๊สลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นที่ทราบว่าแก๊สเหล่านี้มีค่าความร้อนและความหนาแน่นสูง เมื่อแก๊สเหล่านี้มีปริมาณลดลงจึงลุ่งผล ให้ค่าความร้อนของแก๊สลดลง



รูปที่ 3 ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง (ไม่คิดแก๊สพaicในระบบ)

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากเท้ามันสำปะหลัง ในงานวิจัยครั้งนี้กับงานวิจัยของ Chutichai, B. et al. [23] ที่ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากข้าวเลี้ยงในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบคแบบหมุนเวียน พบว่าค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากการวิจัยนี้สูงกว่า ขึ้นคาดว่าเป็นผลมาจากการวิจัยนี้ได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของเอธอิน และเอทเทน ขณะที่งานวิจัยของ Chutichai, B. et al. [23] ตรวจไม่พบองค์ประกอบแก๊สเหล่านี้ เพราะว่าเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบค แบบหมุนเวียนมีระบบเผาไหม้ถ่านชาร์ทที่เคลื่อนบนตัวกลางถ่ายโอนความร้อน จึงอาจเป็นไปได้ว่าแก๊สเอธอิน และเอทเทนถูกเผาไหม้ในระบบนี้จึงทำให้องค์ประกอบแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากการวิจัยของ Chutichai, B. et al. [23] สูงกว่าแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากการวิจัยนี้อย่างชัดเจน

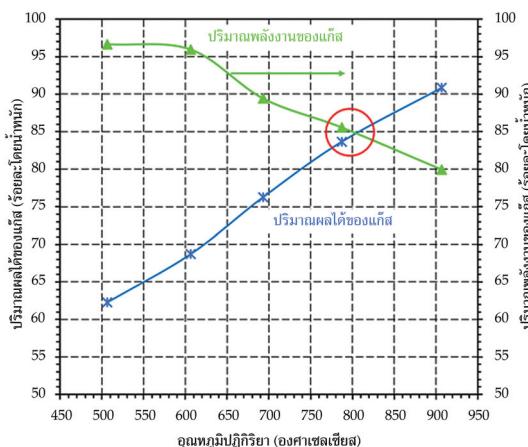


รูปที่ 4 ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง

รูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 900 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงลดลงอย่างชัดเจนจากร้อยละ 96.7 เป็น 80 โดยน้ำหนัก ซึ่งตรงข้ามกับ

ปริมาณผลได้ของแก๊สที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 62.3 เป็น 90.9 โดยน้ำหนัก โดยจะเห็นว่าปริมาณพลังงานที่ได้มีผลกระทบโดยตรงมาจากค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง ดังนั้นค่าความร้อนของแก๊สลดลงจึงทำให้ปริมาณพลังงานลดลงเข่นกัน

เมื่อพิจารณาความล้มเหลวระหว่างปริมาณผลได้ของแก๊สเชื้อเพลิงกับปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงในรูปที่ 5 จะเห็นว่า อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิปฏิกิริยาที่เหมาะสมทั้งปริมาณผลได้ของแก๊สเชื้อเพลิงและปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเท้ามันลำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบด เพราะมีปริมาณผลได้ของแก๊สร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก และปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก จึงเป็นอุณหภูมิปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดที่อัตราการป้อนชีวนมวล 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



รูปที่ 5 ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อปริมาณผลได้และปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิง

## สรุปผลการทดลอง

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเท้ามันลำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 900 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลได้ของแก๊สสูงสุดร้อยละ 90.9 โดยน้ำหนัก แต่ผลิตรว่างท่อคงประสิทธิภาพของแก๊สพบว่า แก๊สในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน คือ มเทน เอทิลิน และเอทีโนน มีปริมาณลดลงส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำลดลงต่ำสุดเป็น 12 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่ออุณหภูมิปฏิกิริยาที่เหมาะสมพบว่า อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส คือ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ เพราะมีปริมาณผลได้ของแก๊สและปริมาณพลังงานของแก๊สร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายกิตติวัฒน์ จันทรประทักษ์ นางสาววรฤทัย เสตสิงห์ และนายสุวอรรถ นำบันทึกที่ช่วยเก็บข้อมูลงานวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณบุคลากรในสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ทุกท่านที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงาน

## References

- [1] Pattiya, A. (2011). Thermochemical Characterization of Agricultural Wastes from Thai Cassava Plantations. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.** Vol. 33, Issue 8, pp. 691-701. DOI: 10.1080/15567030903228922
- [2] Arvidsson, M., Morandin, M., and Harvey, S. (2015). Biomass Gasification-Based Syngas Production for a Conventional Oxo Synthesis Plant-Greenhouse Gas Emission Balances and Economic Evaluation. **Journal of Cleaner Production.** Vol. 99, pp. 192-205. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.03.005
- [3] Huijun, G., Laihong, S., Fei, F., and Shouxi, J. (2015). Experiments on Biomass Gasification Using Chemical Looping with Nickel-Based Oxygen Carrier in a 25 kW<sub>th</sub> Reactor. **Applied Thermal Engineering.** Vol. 85, pp. 52-60. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2015.03.082
- [4] Lanza, R., Dalle Nogare, D., and Canu, P. (2008). Gas Phase Chemistry in Cellulose Fast Pyrolysis. **Industrial & Engineering Chemistry Research.** Vol. 48, Issue 3, pp. 1391-1399. DOI: 10.1021/ie801280g
- [5] Wang, Z., He, T., Qin, J., Wu, J., Li, J., and Zi, Z. (2015). Gasification of Biomass with Oxygen-Enriched Air in a Pilot Scale Two-Stage Gasifier. **Fuel.** Vol. 150, pp. 386-393. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.02.056
- [6] Ateş, F. and Erginel, N. (2012). The Regression Analysis of Fast Pyrolysis Product Yields and Determination of Product Quality. **Fuel.** Vol. 102, pp. 681-690. DOI: 10.1016/j.fuel.2012.05.051
- [7] Kim, J. W., Lee, H. W., Lee, I. -G., Jeon, J. -K., Ryu, C., and Park, S. H. (2014). Influence of Reaction Conditions on Bio-Oil Production from Pyrolysis of Construction Waste Wood. **Renewable Energy.** Vol. 65, pp. 41-48. DOI: 10.1016/j.renene.2013.07.009
- [8] Koo, W. -M., Jung, S. -H., and Kim, J. -S. (2014). Production of Bio-Oil with Low Contents of Copper and Chlorine by Fast Pyrolysis of Alkaline Copper Quaternary-Treated Wood in a Fluidized Bed Reactor. **Energy.** Vol. 68, pp. 555-561. DOI: 10.1016/j.energy.2014.02.020
- [9] Yang, E., Jun, M., Haijun, H., and Wenfu, C. (2015). Chemical Composition and Potential Bioactivity of Volatile from Fast Pyrolysis of Rice Husk. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.** Vol. 112, pp. 394-400. DOI: 10.1016/j.jaat.2015.02.021
- [10] Yildiz, G., Ronsse, F., Venderbosch, R., Duren, R. V., Kersten, S. R. A., and Prins, W. (2015). Effect of Biomass Ash in Catalytic Fast Pyrolysis of Pine Wood. **Applied Catalysis B: Environmental.** Vol. 168-169, pp. 203-11. DOI: 10.1016/j.apcatb.2014.12.044
- [11] Zhang, L., Li, T., Quyn, D., Dong, L., Qiu, P., and Li, C. -Z. (2015). Formation of Nascent Char Structure During the Fast Pyrolysis of Mallee Wood and Low-Rank Coals. **Fuel.** Vol. 150, pp. 486-492. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.02.066

- [12] Funke, A. and Ziegler, F. (2011). Heat of Reaction Measurements for Hydrothermal Carbonization of Biomass. **Bioresource Technology**. Vol. 102, Issue 16, pp. 7595-7598. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.05.016
- [13] McDonald-Wharry, J., Manley-Harris, M., and Pickering, K. (2013). Carbonisation of Biomass-Derived Chars and the Thermal Reduction of a Graphene Oxide Sample Studied Using Raman Spectroscopy. **Carbon**. Vol. 59, pp. 383-405. DOI: 10.1016/j.carbon.2013.03.033
- [14] Du, S. -W., Chen, W. -H., and Lucas, J. A. (2014). Pretreatment of Biomass by Torrefaction and Carbonization for Coal Blend used in Pulverized Coal Injection. **Bioresource Technology**. Vol. 161, pp. 333-339. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.03.090
- [15] Sermyagina, E., Saari, J., Kaikko, J., and Vakkilainen, E. (2015). Hydrothermal Carbonization of Coniferous Biomass: Effect of Process Parameters on Mass and Energy Yields. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. Vol. 113, pp. 551-556
- [16] Wu, Q., Zhang, S., Hou, B., Zheng, H., Deng, W., and Liu, D. (2015). Study on the Preparation of Wood Vinegar from Biomass Residues by Carbonization Process. **Bioresource Technology**. Vol. 179, pp. 98-103. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.12.026
- [17] Bridgwater, A. V., Toft, A. J., and Brammer, J. G. (2002). A Techno-Economic Comparison of Power Production by Biomass Fast Pyrolysis with Gasification and Combustion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Vol. 6, Issue 3, pp. 181-246. DOI: 10.1016/S1364-0321(01)00010-7
- [18] Pattiya, A. (2011). Bio-Oil Production Via Fast Pyrolysis of Biomass Residues from Cassava Plants in a Fluidised-Bed Reactor. **Bioresource Technology**. Vol. 102, Issue 2, pp. 1959-67. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.08.117
- [19] Theengineeringtoolbox. (2017). **Fuel Gases and Heating Values**. Access (19 October 2017). Available ([https://www.engineeringtoolbox.com/heating-values-fuel-gases-d\\_823.html](https://www.engineeringtoolbox.com/heating-values-fuel-gases-d_823.html))
- [20] Çengel, Y. A. and Boles, M. A. (2006). **Thermodynamics: An Engineering Approach 5<sup>th</sup> edition**. The McGraw-Hill Companies. pp. 883-973.
- [21] Lanza, R., Dalle Nogare, D., and Canu, P. (2009). Gas Phase Chemistry in Cellulose Fast Pyrolysis. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. Vol. 48, Issue 3, pp. 1391-1399. DOI: 10.1021/ie801280g
- [22] Billaud, J., Valin, S., Peyrot, M., and Salvador, S. (2016). Influence of H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> Addition on Biomass Gasification in Entrained Flow Reactor Conditions: Experiments and Modelling. **Fuel**. Vol. 166, pp. 166-178. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.10.046
- [23] Chutichai, B., Patcharavorachot, Y., Assabumrungrat, S., and Arpornwichanop, A. (2015). Parametric Analysis of a Circulating Fluidized Bed Biomass Gasifier for Hydrogen Production. **Energy**. Vol. 82, pp. 406-13. DOI: 10.1016/j.energy.2015.01.051



การศึกษาคุณสมบัติความแข็งและความทนต่อแรงกระแทกของพื้นอิพ็อกซีนาโนคอมโพลิตจากวัสดุทางเลือก

## Hardness and Impact Resistance Study of Flooring Epoxy Nanocomposites from Alternative Materials

เขมจิต เสนา<sup>1\*</sup> ชัยภพ เครือหงส์<sup>1</sup> และสายฝน เครือหงส์<sup>1</sup>

Received: December, 2017; Accepted: February, 2018

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาของการเติมสารทึร์อวัสดุเสริมแรงลงในอิพ็อกซี ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเชคติกที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นงานไฟเบอร์กลาสเพื่อเป็นชั้นล้วนอุปกรณ์ต่าง ๆ ชั้นล้วนยานยนต์ ข้าวอิเลคโทรดไฟฟ้า หรือใช้เคลือบพื้นผิว อีกทั้งใช้สำหรับปูพื้นโรงงานและสถานที่ต่าง ๆ ทำให้มีความสวยงาม สะอาดและคงทน โดยวัสดุที่ใช้เติมลงไปมีสองชนิดคือ เถ้าโลย ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือเป็นปริมาณมากจากการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหิน และวัสดุอีกชนิดหนึ่งคือ นาโนคาร์บอนรูปหัวหอม ต่อกันคล้ายโซ่ ซึ่งเป็นรูปหนึ่งของนาโนคาร์บอนที่สามารถลังเคราะห์ได้จากวิธีอาศัยเปลวไฟจากการเผาไหม้โดยใช้ข้อดีของถ้าโลยคือ ใช้เป็นสารเพิ่มปริมาตรและเพิ่มความแข็งตึง เนื่องจากมีล้วนผสมของชิลก้าและอลูมิน่า และนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ซึ่งมีความแข็งของคาร์บอนและมีลักษณะใหม่เป็นโซ่ ทำให้คุณสมบัติทางกลเป็นที่น่าสนใจเมื่อเปรียบเทียบกับสารตัวเติมและเส้นใยเสริมแรงชนิดอื่น ๆ

คำสำคัญ : การทดสอบคุณสมบัติทางกล; อิพ็อกซีเรซิน; เถ้าโลย; นาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่; นาโนคอมโพลิต;

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Khon Kaen University

\* Corresponding Author E - mail Address: skhema@kku.ac.th

## Abstract

This article aims to present the study of effects of two additive materials to reinforce materials an epoxy resin matrix, a widely used thermosetting polymer. Epoxy is used in many applications nowadays, such as in fiber glass works, automotive parts, electrical electrodes, coating of surfaces and flooring materials. The first additive material is fly ash, a coal combustion by-products from power plants. The second material comprises Chain-like Carbon Nano-Onions (CLCNOs) which are synthesized from a flame burning process. Using strengthening advantages of fly ash (silica and alumina) and hardness from CLCNOs, the bulk volume, stiffness and hardness of the resin can be increased. These CLCNOs are new chain-structure Nano carbons with interesting mechanical properties in comparison with other additives or reinforced fibers.

**Keywords:** Mechanical Properties Tests; Epoxy Resin; Fly Ash; Chain-Like Carbon Nano-Onions; Nanocomposites;

## บทนำ

ในปัจจุบันพลาสติกมีบทบาทสำคัญในชีวิตของเรามากขึ้นไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ เครื่องใช้ต่าง ๆ ล้วนมีส่วนประกอบของพลาสติกทั้งสิ้น [1] แต่สำหรับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูงพลาสติกกลับมีข้อด้อย เพราะมีความแข็งแรงน้อยเมื่อเทียบกับโลหะจำพวกเหล็ก ในการแก้ปัญหานี้ได้มีการพัฒนาพลาสติกผสมเข้ามา คือ การนำอนุภาคหรือเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงมาผสานกับพลาสติก ทำให้พลาสติกมีความแข็งแรงด้านต่าง ๆ สูงขึ้น และยังคงมีน้ำหนักเบา แต่ปัญหาที่ยังมีอยู่คือเมื่อเทียบกับโลหะจำพวกเหล็ก วัสดุผสมยังมีความแข็งแรง และความคงทนต่อการขีดข่วนต้องยกเว้น ด้วยเหตุผลนี้จึงมีแนวคิดที่จะวิจัยพัฒนาให้วัสดุผสมมีความแข็งแรงมากขึ้น

คอมโพลิคหรือวัสดุผสม (Composite) เป็นวัสดุที่มีทลายเฟล ผลิตจากวัสดุที่เป็นองค์ประกอบสองชนิดหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน ประกอบด้วย วัสดุที่เป็นเนื้อพื้นเรียกว่าแมทริกซ์ และวัสดุที่เป็นส่วนเสริมแรงซึ่งกระจายตัวอยู่ในเนื้อพื้นโดยทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของเนื้อพื้นให้สูงขึ้น [2] พลาสติกผสม (Polymer Composite) หรือพลาสติกชนิดเสริมแรง มีโพลิเมอร์เป็นแมทริกซ์ ผสมกับวัสดุเสริมแรง การเสริมแรงจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเรื่องความแข็ง ความแข็งแรง ความแข็งดึง หรือความสามารถในการยึดหยัด โพลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็นได้ทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซ็ตติค [3] พลาสติกที่เสริมแรงด้วยเส้นใย เส้นใยอาจมีความยาวต่อเนื่องตลอดความยาวของเมทริกซ์ หรือกรณีเส้นใยลับมีความยาวไม่ต่อเนื่อง เส้นใยอาจกระจายตัวอย่างเป็นระเบียงหรือไม่เป็นระเบียงอยู่ในเมทริกซ์ ความแข็งแรงของวัสดุจะถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของเส้นใย สัดส่วนโดยปริมาตรของเส้นใย การเรียงตัว ความยาวและภาระกระจายตัวของเส้นใย ความแข็งแรงของพันธะซึ่งจะต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้แรงกระแทกจากภายนอกสามารถแยกเส้นใยและเมทริกซ์ออกจากกัน นอกจากนี้ยังสามารถเติมสารต่าง ๆ เข้าไปในเมทริกซ์ เพื่อเพิ่มเนื้อวัสดุและทำให้คุณสมบัติต้านทานต่าง ๆ ดีขึ้นอีกด้วย

อิพ็อกซี (Epoxy) จัดอยู่ในกลุ่มเทอร์โมเซตติ้งโพลิเมอร์ (Thermosetting Polymer) คือ เมื่อผ่านกระบวนการผลิตในครั้งแรกแล้วจะมีความแข็งแรงทนทานเป็นอย่างมาก ไม่คืนรูป และไม่สามารถรีไซเคิลหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อิพ็อกซีเป็นโคลิโพลิเมอร์ (Copolymer) หมายความว่าเป็นโพลิเมอร์ชนิดที่ประกอบด้วย โนโนเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยทั่วไปอิพ็อกซีได้จากการทำปฏิกิริยาของบิฟีนอลเอ (Bisphenol A) กับอิพิคลอโรไฮดรินโนโนเมอร์ (Epichlorohydrin Monomer) และสารเพิ่มความแข็ง (Hardener) ซึ่งเป็นสารประเภทโพลิอะมีน (Polyamine) โดยในการทำปฏิกิริยาอาจมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้าไปเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาด้วยได้ [4] ประโยชน์และการนำไปใช้ของอิพ็อกซีเรชินคือ ใช้เป็นการและสารยึดติด อิพ็อกซีเรชินสามารถใช้ยึดติดกับวัสดุได้หลากหลายประเภท เช่น ไม้ เหล็ก ไฟเบอร์ แก้ว พลาสติก คอนกรีต เป็นต้น นิยมใช้เป็นสารเคลือบผิว ในการเคลือบผิวของอาคารพื้นอาคาร พื้นโรงงาน เนื่องจากอิพ็อกซีมีคุณสมบัติทนต่อแรงกระแทก การขูดขีด เสียดสี ทนกรดและเบส ทนความร้อนได้ดี แต่ไม่ทนต่อ UV จึงมักถูกประยุกต์ใช้ภายในอาคาร นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ในด้านอื่น ๆ เช่น เป็นสารเคลือบภายในถังบรรจุสารเคมี ใช้เป็นแบบห่อสำหรับผลิตเครื่องมือต่าง ๆ ในทางอุตสาหกรรม อิพ็อกซียังถูกนำไปใช้ในระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าต่าง ๆ ใช้ในการผลิตมอเตอร์ หม้อแปลง เป็นต้น

ถ้าโลย หรือถ้าลิว (Fly Ash) คือชั้นหิมะที่หล่อจากกระบวนการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ มีขนาดเล็กและละเอียดมากประกอบด้วยสารหลักคือซิลิคัทหรือซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) และอلومิน่า หรืออلومิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) และออกไซด์ของธาตุอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบ เป็นผลผลิตได้จากการกระบวนการเผาถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจำนวนมาก และถือเป็นขยะอันตรายที่มักกลับผลการทดสอบต่อปัญหาทั้งทางด้านลักษณะและสุขภาพของมนุษย์โดยเฉพาะบริเวณใกล้เคียง ถ้าโลยมีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมขนาดเล็กผ่านคุณย์กลางขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ไปจนถึง 200 ไมครอน ถ้าโลยก็จะใช้เป็นสารตัวเติมที่เป็นทรงกลมมานานหลายปี โดยส่วนใหญ่ใช้ในการศึกษาของงานทางวิศวกรรมโยธา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีความแข็งแรงสูง [5] ในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์ปอร์ടแลนด์และกระบวนการผลิตคอนกรีตต่าง ๆ

นาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ (Chain-Like Carbon Nano-Onions, CLCNOs) เป็นวัสดุขนาดนาโน คันพบโดยบังเอิญมีลักษณะคล้ายนาโนคาร์บอนทรงกลมภายในเป็นชั้น ๆ และจับตัวกันเป็นลูกโซ่ เป็นวัสดุที่ใหม่และล้ำสมัยที่ได้รับความสนใจ ราคาถูก จึงเป็นนาโนคาร์บอนหลักที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวิธีการลังเคราะห์สองวิธีการด้วยกันคือ วิธีตกสะสมไอเคมี (CVD) และวิธีอาศัยเปลวไฟจากการเผาไหม้ [6]

ด้วยคุณสมบัติที่ดีในด้านต่าง ๆ ทั้งถ้าโลยและนาโนคาร์บอนจึงถูกนำมาผสมกับวัสดุชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะโพลิเมอร์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกล ทางไฟฟ้า และทางความร้อน ในอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติของโพลิเอลเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (โพลิเอลเตอร์เรชิน) ผสมกับถ้าโลย พบร่องรอยความเสียหายเพิ่มค่าความแข็งตึงหรือค่ามอดูลัสการดึงของเรชินทุกช่วงอุณหภูมิ ในขณะที่ความแข็งแรงการดึงสูงสุดจะมีค่าลดลง สืบเนื่องมาจากการขาดของความล้มเหลวของเนื้อวัสดุ โดยถ้าโลย อีกทั้งความลักษณะของถ้าโลยที่มากเกินไปทำให้การกระจายตัวของถ้าโลยต่ำ และมีการเกาะกลุ่มกันเองของถ้าโลย โดยได้มีการเติมถ้าโลยเป็นปริมาณสูง (10 - 40 %) ลงในโพลิเอลเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัวที่ผ่านการปรับปรุงผิว [5] การเติมถ้าโลยที่ปริมาณมาก ๆ จะทำให้คอมโพลิเมอร์ความแข็งตึงมากขึ้น

แอลด์ตัวน้อยลง (Stiffer) และมีเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดลคลง เช่นเดียวกับการเติม แคลเซียมคาร์บอนเนตเป็นวัสดุเพลที่สามลงไปในโพลิเอลสเทอร์ [7] นอกจากนั้นยังได้มีการศึกษาถึงพฤติกรรม การขัดลื่นของโพลิเอลสเทอร์คอมโพลิตที่ผสมถ้าลอยและไฟเบอร์กลาส ความเสียหายที่ขึ้นกับแรงขัดลีและ ระยะทางการลื่นไอลอของแรงนั้น จากการศึกษาพบว่าค่าความเสียหายจากการขัดลี (Wear Loss) จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อใช้แรงต่ำที่สุดกระทำบนวัสดุที่ผสมถ้าลอยเป็นปริมาณสูงที่สุด [5]

โพลิเมอร์ชนิดนี้นิยมนำไปผสมกับถ้าลอยเพื่อเป็นคอมโพลิตเพื่อใช้งานได้อีกครั้ง เช่น โพลิเอทธิลีน ความหนาแน่นต่ำผสมกับถ้าลอยที่ปริมาณสูง 10 - 50 % โดยน้ำหนัก พบว่าความต้านทานแรงดึงของ วัสดุผสมมีค่าสูงสุดที่ปริมาณถ้าลอยเท่ากัน 20 % โดยน้ำหนัก [8] หรือในการผสมโพลิเอทธิลีนเทอเรพทาเรท กับถ้าลอยสามารถลดการหดตัวและเพิ่มสมบัติความต้านทานแรงกดได้สูงถึง 53 % [9] นอกจากนั้น ยังได้ศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบการเติมแคลเซียมคาร์บอนเนตลงในโพลิเอทธิลีนจะทำให้ความสามารถในการขึ้นรูปได้น้อยกว่าถ้าลอยในปริมาณเท่ากัน ทั้งนี้ค่าต่ำกว่าเนื่องจากพลอยของรูปร่างถ้าลอย ซึ่งมีลักษณะกลม [10] ได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ของการเพิ่มปริมาณการใช้ถ้าลอยเป็นสารตัวเติม ของผลิตภัณฑ์โพลิเอทธิลีนที่ขึ้นรูปจากกระบวนการแม่พิมพ์ทั้งหมดเที่ยง ซึ่งผสมกันทั้งแบบแห้งและ แบบเปียก โดยใช้ปริมาณถ้าลอยที่ 20 - 40 % โดยน้ำหนัก พบว่าการผสมแบบเปียก (Melt Blending) สามารถขึ้นรูปได้ดีกว่าแบบแห้ง (Dry Blending) ที่ปริมาณการผสมสูง ๆ แต่สมบัติเชิงกลโดยรวม มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากโพลิเอทธิลีนได้รับความเค็นเฉือนมากทั้งการผสมทั้งแบบแห้งและแบบเปียก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเลื่อนสภาพของโมเลกุลและทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดต่ำลง และความไม่สามารถเข้ากันได้ ระหว่างโพลิเอทธิลีนและถ้าลอย ทำให้เนื้อวัสดุคอมโพลิตมีความไม่ต่อเนื่องและมีจุดกพร่องเกิดขึ้น [11]

วัสดุคอมโพลิตระหว่างอิพ็อกซีเรซินและถ้าลอยได้มีผู้ศึกษาในมากนัก แต่ก็ได้มีผลการศึกษา คล้ายกับโพลิเมอร์ชนิดอื่นคือ เมื่อเพิ่มปริมาณถ้าลอยในอิพ็อกซี จะทำให้ความต้านทานแรงดึงลดลง ค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น [5] ในขณะที่มีผลการศึกษาพุ่งต่ำความหนาแน่นต่อแรงกระแทกของ อิพ็อกซี/ถ้าลอยคอมโพลิต โดยการปรับปรุงผิวถ้าลอยด้วยสารต่าง ๆ พบว่าทำให้พลังงานในการคูดชัน และการรับแรงกระแทกมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากมีพลังงานในการยึดเกาะสูงขึ้น เมื่อเทียบกับคอมโพลิต ที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวถ้าลอย [12] นอกจากนั้นยังมีการศึกษาในส่วนของเทคนิคการเชื่อมโดยใช้โซลฟ์ โดยการให้ความร้อนโดยตรงและการใช้คลื่นไมโครเวฟแก้อิพ็อกซีเรซินและถ้าลอยที่ 20 และ 80 phr พบว่าการใช้คลื่นไมโครเวฟทำให้ระยะเวลาในการเชื่อมสายโซ่ลั้นกว่า ความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์ การยึดตัว ณ จุดขาดมีค่าสูงกว่า ขณะที่ค่ามอดูลัสแรงดึงและแรงดัดมีค่าต่ำกว่าการให้ความร้อนโดยตรง และยังพบว่าความหนาแน่นต่อแรงกระแทกเมื่อผสมถ้าลอยที่ 20 phr จะมีค่ามากกว่าเมื่อผสมถ้าลอย 80 phr [13]

ในส่วนของนาโนการบอน/โพลิเมอร์คอมโพลิตนั้น ได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่องทั้งคุณสมบัติ ทางกล ทางไฟฟ้าหรือทางความร้อน อีกทั้งโครงสร้างของนาโนการบอนที่ต่างกันไป เช่น ท่อนาโนการบอน พนังหลายชั้น (MWNTs: Multi-Wall Carbon Nanotubes) และท่อการบอนพนังชั้นเดียว (SWNTs: Single-Wall Carbon Nanotubes) ซึ่งสมัยก่อนสามารถถังเคราะห์ได้ช้าและมีราคาแพง เมื่อนำมาทำเป็น วัสดุผสมและขึ้นรูปในลักษณะต่าง ๆ จะเห็นว่าการเติมนากอนการบอนลงไปทำให้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น หรือความแข็งตึงยืดหยุ่น (Elastic Stiffness) ของโพลิเมอร์สูงขึ้น ตัวอย่างเช่น การทดสอบคุณสมบัติ ทางกลของโพลิสไตรีนกับท่อนาโนการบอนพนังหลายชั้น (MWNTs) ที่ลังเคราะห์ด้วยขนาดการทางไฟฟ้า โดยมีความยาวท่อการบอนสองขนาดคือ 15 และ 50 ไมโครเมตร ใส่เป็นปริมาณเพียง 1 %w ทำให้ค่ามอดูลัส

ความยึดหยุ่นของโพลิเมอร์เพิ่มขึ้น 36 % และ 42 % นอกจากนั้นยังพบว่าทึ้งสองกรณีให้ความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นประมาณ 25% อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงและอัตราส่วนของท่อนในการบอนจะมีความขับช้อนมาก โดยพบว่าเมื่อมีอัตราส่วนของท่อนในการบอนน้อยกว่า 10 %v ความต้านทานแรงดึงจะลดลง แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณท่อนในการบอนเกินกว่า 15 %v จนถึง 25 %v [14] สำหรับอิพ็อกซีในการบอนคอนพอลิสิตได้มีผู้ศึกษาคุณสมบัติทางกลของอิพ็อกซีผสมกับท่อนในการบอน พนังทรายขั้น และพบว่าค่ามอคูลัสความยึดหยุ่นของการคอมมีมากกว่าการดึง ซึ่งอธิบายได้โดยใช้หลักการถ่ายโอนการหรือการกระจายความเค้นไปยังท่อนในการบอนของการดึงซึ่งดีกว่าการดึง [15] นอกจากนั้น ยังได้มีการทดสอบอิพ็อกซีผสมกับท่อนในการบอนและซิลิกอนคาร์บิดที่ปริมาณท่อนในการบอน 0.1 % ถึง 1 % พบร่วมกับอิพ็อกซีเพิ่มขึ้น มีอัตราการลีกหรือลดลง สำหรับประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ [16]

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าการผสมถ้าลอยและนาโนการบอนปริมาณมาก ๆ จะทำให้ความต้านทานแรงดึงและความทานต่อแรงกระแทกลดลง แต่จะเพิ่มความต้านทานแรงดึง ค่าความแข็งดึงตึ่งหรือมอคูลัสความยึดหยุ่นทำให้วัสดุไม่แอนตัว นอกจากนั้นยังช่วยให้วัสดุผสมลดการหดตัว และสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้นได้

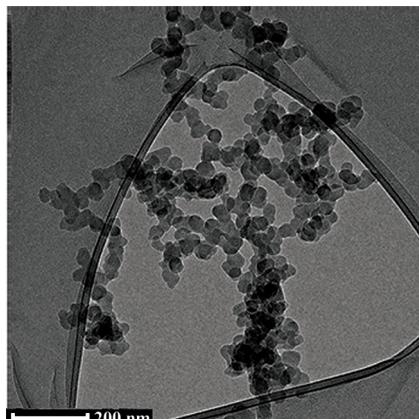
ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาวัสดุผสมชนิดสามเฟสหรือวัสดุที่ประกอบไปด้วย อนุภาคสามส่วนอยู่ด้วยกันคือ อิพ็อกซี เถ้าลอย และนาโนการบอนรูปหัวหมุดกับกล้ายโซ่ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผสมสารตัวเติม เพื่อเพิ่มความทานต่อการขีดข่วนและความแข็งดึง โดยใช้ถ้าลอยซึ่งมีชิลิก้าเป็นส่วนผสม ผสมกับอิพ็อกซีเรซินเมตริกซ์ นอกจากนั้นยังผสมนาโนการบอนเข้าไปอีกเพื่อให้มีความแข็งมากยิ่งขึ้น มีความทานทานต่ออุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น อีกทั้งเป็นสารเพิ่มปริมาณและเป็นการนำวัสดุเหลือใช้นำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติความแข็งและความทานต่อแรงกระแทกที่แปรผันไปตามอัตราส่วนหรือปริมาณส่วนผสมของสารตัวเติมทั้งสองชนิดที่ปริมาณน้อย ๆ (ไม่เกิน 15 %) โดยให้ตัวแปรอื่นคงที่ อีกทั้งทำการล่อองกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูโครงสร้างทางสันฐานวิทยาของอิพ็อกซีคอนพอลิสิตดังกล่าว จากการศึกษาทำให้ทราบถึงปริมาณของสารตัวเติม เพื่อช่วยทำให้คุณสมบัติทางกลบางด้านของอิพ็อกซีดีขึ้นโดยใช้ตัวเติมทั้งสองชนิดที่ปริมาณไม่มากนัก ได้วัสดุที่มีความแข็ง มีน้ำหนักเบา ทนต่อการขีดข่วน จึงเป็นการช่วยให้สามารถเลือกวัสดุได้อย่างเหมาะสมกับงานชนิดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นงานหล่อ เคลือบผิว หรือปูพื้น ได้เป็นอย่างดี

## วิธีดำเนินการวิจัย

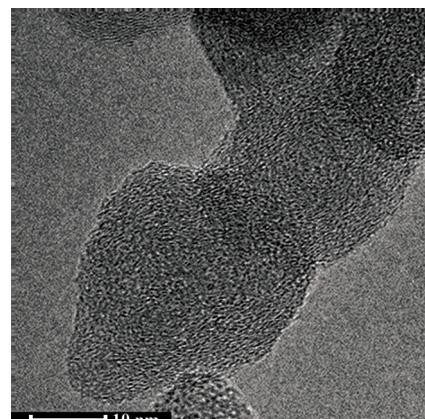
### 1. วัสดุที่ใช้

อิพ็อกซีเรซิน (Epoxy Resin) ชื่อทางการค้า Yb-128 จากบริษัท C-Society ประเทศไทย มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีค่าความหนาแน่น 1.16 g/mL เถ้าลอย (Fly Ash) จากโรงไฟฟ้ากำลัง แม่เมาะ จังหวัดลำปาง ประเทศไทย มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลม ขนาดต่ำกว่า 5 ไมครอน และนาโนการบอนรูปหัวหมุดกับกล้ายโซ่ (Chain-Like Carbon Nano-Onions, CLCNOs) นาโนการบอนโครงสร้างหนึ่ง ที่ลังเคราะห์ได้เองโดยใช้วิธีอาศัยเปลวไฟจากการเผาไหม้

การลังเคราะห์น้าในкар์บอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่ เริ่มจากการตัดแผ่นสแตนเลส 304 ขนาด  $4 \times 4 \text{ cm}^2$  มาทำความสะอาดด้วยน้ำแล้วเช็ดด้วยสารละลายเอทานอลแล้ววางในอ่างอัลตราโซนิก ที่อุณหภูมิท้องเป็นเวลา 5 นาที ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิท้องแล้วนำไปเก็บในโดดดความชื้นเพื่อรอการใช้งาน สำหรับเป็นตัวรองรับและตัวเรืองประกายในการลังเคราะห์น้าในкар์บอน ใช้เทียนไขทั่วไป (Candle Light Pratheep, Thailand) ขนาดเล็กผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ไส้เทียนขนาด 0.5 เซนติเมตร เป็นแหล่งกำเนิดการร้อนและความร้อน โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นสแตนเลสกับไส้เทียนประมาณ 3 เซนติเมตร เพื่อให้ได้อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการเกิดน้าในкар์บอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่ ตามที่ต้องการ โดยใช้เวลาในการลังเคราะห์ 5 นาที [6] นานาการ์บอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่ที่ลังเคราะห์ได้สามารถเห็นโครงสร้างได้จากรูปที่ 1 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคทรอนนิคส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM)



(ก) ภาพถ่าย TEM ที่กำลังขยาย 10000 เท่า  
รูปที่ 1 ลักษณะและคุณสมบัติของ CLCNOs ที่ลังเคราะห์ได้บนแผ่นสแตนเลส 304 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีอัศัยเปลวไฟจากการเผาไหม้ของเทียนไข



(ข) ภาพถ่าย TEM ที่กำลังขยายสูง

## 2. การเตรียมขั้นงานเพื่อการทดสอบทางกลและทางสัมฐานวิทยา

การเตรียมขั้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบสามารถเตรียมได้โดยใช้แม่พิมพ์ชิลิโคน ตามขนาด และจำนวนที่เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกแบบชาร์ป ASTM D6110 และ มาตรฐานการทดสอบความแข็ง ASTM D785 ผสมอิพ็อกซี่เรซินและเกลอลอยโดยใช้วิธีการคงด้วยบิกเกอร์ และขึ้นน้ำหนักด้วยเครื่องขึ้นน้ำหนักแบบดิจิทัล จากนั้น คนให้เข้ากันใช้เวลาประมาณ 4 นาที จึงค่อยเติม ตัวทำแข็งลงไป จนกว่าจะเข้ากันอีกประมาณ 4 นาที เทลงในแม่พิมพ์ชิลิโคน ทิ้งไว้ให้เย็นภายใต้อุณหภูมิท้อง และคุณลักษณะของอากาศออกโดยใช้ปืนสูญญากาศประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง การผสมอิพ็อกซี่เรซินกับเกลอลอย จะใช้อัตราส่วนผสม 1 2 3 5 10 และ 15 % โดยปริมาตร และจึงนำไปทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง ทั้งด้านบนและด้านล่างขั้นงาน จากนั้นนำอัตราส่วนผสมที่ให้ค่าการทดสอบทางกลดีที่สุดมาใช้เพื่อทดสอบ การผสมแบบสามเหลี่ยม (อิพ็อกซี่ เกลอลอย และนาโนการ์บอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่) โดยการผสมอิพ็อกซี่/

ถ้าลอยคอมโพลิตด้วยนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่ลงไปอีกที่ อัตราส่วนผสม 1 : 1.5 : 2 : 2.5 และ 3 % โดยปริมาตร ใช้วิธีการผสมและการขึ้นรูปเช่นเดียวกับอิพ็อกซี/ถ้าลอยคอมโพลิต แล้วนำไปทดสอบความแข็ง ส่วนการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกใช้วิธีการเตรียมชิ้นงานแบบเดียวกันเพียงแต่ขนาดชิ้นงานมีขนาดต่างกัน

### 3. อุปกรณ์และสภาวะในการทดสอบ

3.1 การทดสอบทางกล การทดสอบความแข็งจะใช้เครื่องทดสอบความแข็ง ยี่ห้อ Instron Wolpert รุ่น Testor 930 และใช้ Rockwell Hardness Scale R (HRR) Major Load 60 กิโลกรัม Minor Load 10 กิโลกรัม Diameter of Indentor 0.5 นิ้ว ในขณะที่เครื่องทดสอบการกระแทกเป็นแบบชาร์ป ยี่ห้อ CEAST รุ่น Resil Impactor โดยต้องมีการทำรอยบางเล็กน้อยก่อนด้วยเครื่องทำรอยบาง (Charpy Cutting Machine) ยี่ห้อ BLACKS จากนั้นนำมาทำการวัดความกว้างของฐานถึงรอยบาง และความหนาของชิ้นงานด้วยไมโครมิเตอร์บันทึกข้อมูลไว้ ค้อนเหวี่ยงจะใช้ค้อนเหวี่ยงขนาด 2.75 จูล ซึ่งมีความเร็วในขณะกระบวนการ 3.46 เมตรต่อวินาที โดยการทดลองทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ( $23^{\circ}\text{C}$ )

3.2 การทดสอบทางสัณฐานวิทยา เป็นการทดสอบเพื่อคุณภาพและกระบวนการระบายตัวของถ้าลอยและอนุภาคนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่โดยนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกมาพิจารณาอย่างเดียวกับลักษณะของทรัคซ์อิเลคตรอนแบบล่องกราด (SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น 1450 ซึ่งก่อนทำการทดสอบต้องทำการเคลือบฉาบผิวด้วยทอง ด้วยเครื่องฉาบผิวด้วยทอง (Sputter Coater) ภายใต้ภาวะสูญญากาศและให้กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

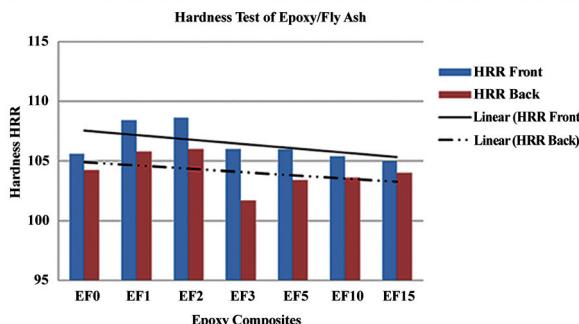
## ผลการทดลอง

### 1. ผลการทดสอบค่าความแข็งแบบเบร็คเวลล์ของอิพ็อกซี/ถ้าลอยและนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่คอมโพลิต

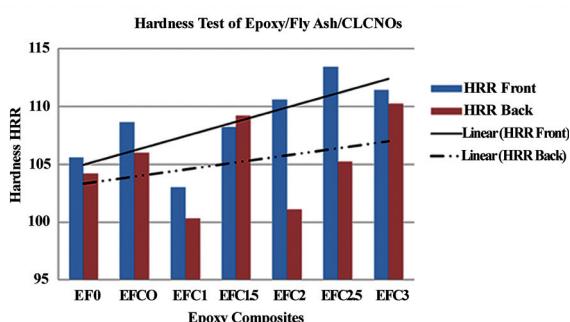
การทดสอบเริ่มจากการทดสอบความแข็งแบบเบร็คเวลล์ของชิ้นงานอิพ็อกซีคอมโพลิตผสมกับถ้าลอยก่อน โดยอัตราส่วนการผสมอยู่ที่ 0 - 15 % โดยปริมาตร (EF0 - EF15) โดยใช้จำนวนชิ้นงานหนึ่งชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง นำมาดูบริเวณต่าง ๆ 5 จุด ด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน ระยะห่างระหว่างจุดคงที่ต่อกันอย่างน้อย 3 เท่าของขนาดหัวกด ในที่นี้ใช้หัวบลอกขนาด  $\frac{1}{2}$  นิ้ว แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่าความแข็งแบบเบร็คเวลล์สเกล R (HRR) จากนั้นคำนวณที่มีความแข็งสูงที่สุด (ในที่นี้คืออัตราส่วนผสมถ้าลอย 2 % โดยปริมาตร) ไปสมกับนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่ที่อัตราส่วนผสม 0 - 3 % โดยปริมาตร (EFC0 - EFC3 โดยที่ EF0 คือ อิพ็อกซีเรซินที่ไม่มีสารตัวเติมใด ๆ) แล้วทำการทดสอบหาค่าความแข็งด้านบนและด้านล่างเพื่อศึกษาการแตกตะกอนของอนุภาคอีกรัง (รูปที่ 2)

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งของอิพ็อกซี/ถ้าลอยคอมโพลิตสูงสุดอยู่ที่การผสมถ้าลอย 2 % แต่โดยรวมแล้วมีแนวโน้มที่จะลดลงทั้งทางด้านบนและด้านล่างของชิ้นงานตามอัตราส่วนการผสมถ้าลอยที่เพิ่มมากขึ้น สาเหตุน่าจะเกิดจากลักษณะของถ้าลอยที่มีลักษณะกลมจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคเพิ่มมากขึ้น หรือการจับตัวที่ไม่ค่อยดีนักของถ้าลอยและอิพ็อกซี ส่วนด้านล่างที่ความแข็งน้อยกว่าด้านบนอาจเป็นเพราะความชรุของพื้นผิวด้านล่างของพื้นที่เทอิพ็อกซีลงไปร่วมด้วย และภัยหลัง

จากที่นำส่วนผสมนี้ไปผสมกับนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่แล้วจะเห็นว่าความแข็งมีการแก่วงตัวแต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งด้านบนและด้านล่างตามปริมาณนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่มีลักษณะเป็นสายโซ่จับตัวกันอิพ็อกซี่ได้ดีกว่าเล้าโลยและมีความแข็งกว่าเล้าโลยมาก ทำให้คอมโพลิตมีความแข็งขึ้นทั้งด้านบนและด้านล่าง



(ก) อิพ็อกซี่/เล้าโลย



(ข) อิพ็อกซี่/เล้าโลย/นาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่

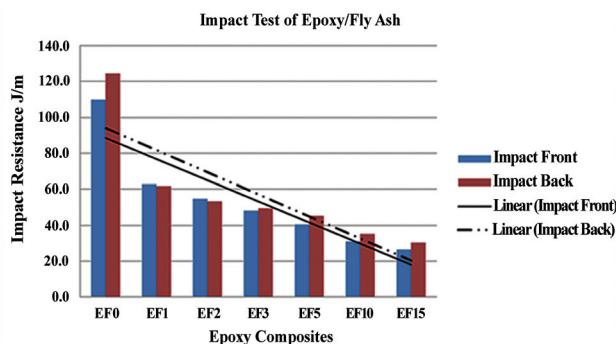
รูปที่ 2 ค่าความแข็งร้อยละเกลล์สเกล R ของคอมโพลิตสองเฟสและสามเฟสด้านบนและด้านล่างขึ้นงาน

## 2. ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทกของอิพ็อกซี่/เล้าโลยและนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่คอมโพลิต

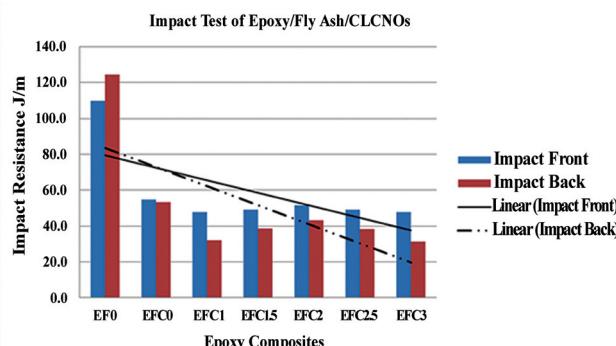
การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกแบบชาร์ปของอิพ็อกซี่คอมโพลิตกระทำเช่นเดียวกันโดยทดสอบกับอัตราส่วนผสมต่าง ๆ กันของเล้าโลยก่อน ทั้งลักษณะวงເອາດ้านบนขยายขึ้นและด้านล่างขยายขึ้น (เพื่อศึกษาความแตกต่างที่เกิดจากการตกตะกอนและความชุรุยะของพื้นผิว) และจึงทดสอบการผสมกับนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ต่อไป

ผลจากการทดสอบ (รูปที่ 3) จะเห็นว่าค่าพลังงานที่ทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานวัสดุคอมโพลิต หรือค่าการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพลิต จะมีค่าน้อยกว่าอิพ็อกซี่ที่ไม่ผสมสารใด ๆ ค่อนข้างมาก และมีแนวโน้มว่าจะลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมของเล้าโลยและนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการผสมสารตัวเติมทำให้การกระจายตัวของแรงภายนอกผ่านไปยังเล้าโลยหรือนาโนคาร์บอนต้องผ่านรอยต่อระหว่างอนุภาคเล้าโลย นาโนคาร์บอนและโพลิเมอร์

ทำให้คอมโพลิตรับแรงได้ไม่ดีนัก โดยผลของการทดสอบจะแสดงถึงความต้านทานต่อแรงกระแทกในกรณีของเก้าโลย แต่จะมีผลเมื่อไส้ในครั้งบอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่เข้าไปโดยค่าความทนต่อแรงกระแทกเมื่อเวลาด้านบนของการหล่อขึ้นรูปขึ้นในการทดสอบแบบชาร์ปจะมีค่ามากกว่าเมื่อเวลาด้านล่างที่เกิดการทดสอบและมีพื้นผิวที่ชรุกรากว่าทางเดินท่อส่วน



(ก) อิพ็อกซี/เก้าโลย

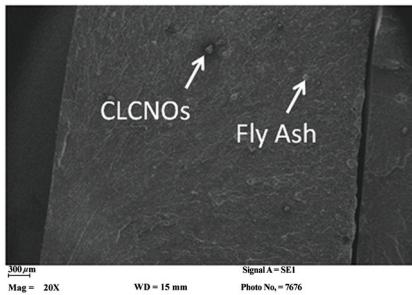


(ข) อิพ็อกซี/เก้าโลย/นาโนคราบอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่

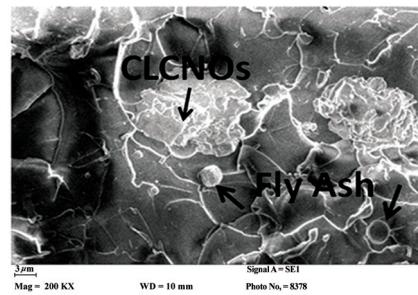
รูปที่ 3 ค่าการทนต่อแรงกระแทกของคอมโพลิตสองเฟลสและสามเฟลสด้านบนและด้านล่างขึ้นงาน

### 3. ผลของการศึกษาทางลักษณะวิทยา

จากการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคทรอนแบบส่องการดู (SEM) จะทำให้เห็นลักษณะผิวของรอยแตกภายหลังการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก โดยพฤติกรรมการแตกหักเป็นแบบเปรระ มีผิวแตกหักค่อนข้างชุ่มชื้น จากการล่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นช่องว่างระหว่างเฟลสเก้าโลย นาโนคราบอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่ และอิพ็อกซี ซึ่งช่องว่างระหว่างเฟลสนี้เป็นเหตุทำให้การส่งผ่านแรง เป็นไปได้ยากและเกิดการแตกหักที่จุดนี้ (รูปที่ 4) ซึ่งจะเห็นอนุภาชนะเก้าโลยหรือหลุ่มของเก้าโลยที่มีลักษณะกลมติดอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของรอยแตก ในขณะที่นาโนคราบอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่จะเป็นลักษณะสั้น ๆ ตอกันหรือจับกันเป็นกลุ่มตามรูปที่ 4



(ก) กำลังขยาย 20 เท่า



(ข) กำลังขยาย 2000 เท่า

รูปที่ 4 ลักษณะของรอยแตกเมื่อทำการทดสอบความหนต่อแรงกระแทกและรูปร่างของอนุภาคสารตัวเติม

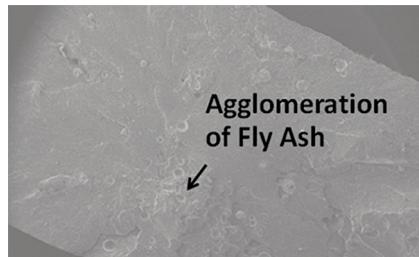
จากการทดลองจะเห็นได้ว่าทั้งอนุภาคถ้าลอยและนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ มีแนวโน้มที่จะเกาะกลุ่มกันเอง (Self Agglomeration) เกิดการกระจายตัวในอิพ็อกซี่ได้มีเดนัก อีกทั้งในการผสมกันระหว่างโพลิเมอร์และสารตัวเติม ในขณะที่ผสมโพลิเมอร์ได้รับความคืบแล้วและความร้อนในปริมาณสูง จึงทำให้มีเกลุ่มเลื่อมสภาพ เนื้อวัสดุผสมมีความไม่ต่อเนื่องและมีจุดบกพร่อง นอกจากนั้นยังมีฟองอากาศที่เกิดจากความชื้นที่มีอยู่ภายในเมทิริกซ์และรอยต่อระหว่างเฟสถ้าลอยหรือ nano นาโนคาร์บอน กับโพลิเมอร์เมทิริกซ์ ที่ไม่สามารถแพร่กระจายร่วมกันผิวของชิ้นงานได้ เนื่องจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากปฏิกิริยาเชื่อมโยงสายโซ่ระหว่างอิพ็อกซี่เรซินกับสารเชื่อมโยง (Hardener) ล่งผลให้ชิ้นงานเกิดการแตกหัก ก่อนเวลาอันสมควร

## อภิปรายผลการศึกษา

นาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่เป็นวัสดุใหม่ที่มีโครงสร้างเป็นชั้น ๆ ต่อกันเป็นลูกโซ่ที่ลังเคราะห์ได้ช้า และยังไม่มีการศึกษาคุณสมบัติทางกลที่ขึ้นกับทิศทางการเรียงตัวของสายโซ่เมื่อเปรียบเทียบกับนาโนคาร์บอนชนิดอื่น ๆ การลังเคราะห์นาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่จะคล้ายกับการลังเคราะห์ที่ท่อนนาโนคาร์บอนอื่น ๆ แต่จะเป็นการลังเคราะห์ในสภาวะที่มีออกซิเจน กระทำที่อุณหภูมิต่ำหรือปานกลาง (600 - 900 องศาเซลเซียส) เมื่อเทียบกับการลังเคราะห์ท่อนนาโนคาร์บอนชนิดอื่น นอกจากการใช้เทียนไขแล้ว เชื้อเพลิงอื่น ๆ ที่นิยมใช้ในการลังเคราะห์ เช่น เอทิลีน ( $C_2H_4$ ) เอทิลเบนزن ( $C_6H_5CH_2CH_3$ ) และเอทิลแอลกอฮอล์ ( $C_2H_5OH$ ) [17] บนตัวรองรับและตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น สแตนเลส 304 นิกเกิล เหล็ก เป็นต้น ข้อเสียของการใช้เทียนไขเป็นแหล่งพลังกำเนิดควรบันทึกไว้ นาโนคาร์บอนที่ลังเคราะห์ได้มีความบริสุทธิ์ต่ำและมีความบกพร่องของโครงสร้างสูง เป็นเพราะสารเติมแต่งสีและกลิ่นในเทียนไข อุณหภูมิและการไห้แล้วของอากาศที่ไม่แน่นอน [18] ทำให้โครงสร้างที่เป็นนาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ไม่สม่ำเสมอ เพราะปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตหรือการเกิดนาโนคาร์บอนคือ เวลา อุณหภูมิตัวเร่งปฏิกิริยา และแหล่งของคาร์บอน [19] อย่างไรก็ได้การลังเคราะห์นาโนคาร์บอนโดยอาศัยเปลวไฟ จากระบวนการเผาไหม้เป็นวิธีการที่น่าสนใจ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำ สะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการดำเนินการผลิตในระดับอุตสาหกรรม [20]

ปริมาณของสารตัวเติมที่นำไปใช้จริงจะขึ้นอยู่กับวิธีการขึ้นรูปหรือขบวนการผลิต ความต้องการความแข็งแรงด้านต่าง ๆ ของชิ้นงาน หรือลักษณะของการนำไปใช้งานของวัสดุคอมโพลิต ซึ่งถ้าเติมวัสดุคอมโพลิตด้วยอนุภาคต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะทำให้คุณสมบัติทางกลหลายด้านลดลง แต่จะมีบางด้านเพิ่มขึ้น แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการเติมสารตัวเติมสองอย่างผสมกัน และเป็นปริมาณไม่มากนัก (ถ้าถอดน้อยกว่า 15 % และนาในครั้งนี้จะเป็นการเติมสองอย่างผสมกัน และเป็นปริมาณไม่มากนัก) เพื่อดูคุณสมบัติด้านความแข็งและความทนต่อแรงกระแทก

ในการศึกษาครั้งนี้จึงนำเสนอเฉพาะคุณสมบัติทางด้านความแข็งและความทนต่อแรงกระแทกของอิฐอ็อกชีเรชิน ซึ่งนิยมใช้ในการหล่อเทเป็นพื้นภายในอาคาร เช่น พื้นโรงงานต่าง ๆ ที่ต้องการความแข็งและความทนต่อแรงกระแทกเมื่อมีของหล่นใส่หรือการกระแทกับพื้นเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ประกอบด้วย เช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงกด ความต้านทานแรงดัด เป็นต้น อีกทั้งจะเห็นได้ว่าความแข็งและความทนต่อแรงกระแทกมีความแตกต่างกันระหว่างด้านบนและด้านล่างของการเทหล่อ จึงสมควรทำให้พื้นผิวที่จะทำการเทมีความเรียบมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อีกทั้งการตกตะกอนของถ้าถอดน้ำเหลืองที่มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าอิฐอ็อกชี ในขณะที่นาในครั้งนี้จะเป็นรูปหัวหอมต่อกันคล้าย似จะมีความหนาแน่นต่ำกว่าอิฐอ็อกชีจึงกระจายตัวได้กว้างไม่ตัดตะกอนและทำให้คอมโพลิต มีความแข็งเพิ่มขึ้นทั้งด้านบนและล่างดังรูปที่ 5 เมื่อทำการเทพื้นจึงควรทำให้พื้นเรียบและให้อิฐอ็อกชีเรชิน แห้งเร็วไม่เกิดการตกตะกอนเท่าที่จะเป็นไปได้



รูปที่ 5 ภาพถ่าย SEM ของการรวมตัวและตกตะกอนของถ้าถอดอยู่ในคอมโพลิต

คุณสมบัติของโพลิเมอร์คอมโพลิตนอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารตัวเติมแล้วยังขึ้นอยู่กับทิศทางการเรียงตัวของสารตัวเติมนั้น ๆ เช่นเดียวกับเลี้นไบที่มีการเติมเข้าไปเพื่อการเสริมแรงทึบชนิดเลี้นไบสันและเยาว์ ที่แสดงคุณสมบัติทางกลแตกต่างไปตามทิศทางของการเรียงตัวของเลี้นไบ อีกทั้งขบวนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการหล่อ การฉีด หรือการขึ้นรูปเป็นชิ้น ๆ จึงต้องมีการศึกษาคุณสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพลิตและการเรียงตัวของสารตัวเติมและสารเสริมความแข็งแรงตามขบวนการผลิต แต่ละประเภทที่แตกต่างกันไป

## สรุปผล

จากการศึกษาพบว่าการเติมถ้าถอดเป็นปริมาณ 2 % และนาในครั้งนี้จะทำให้ค่าความแข็งร็อกเวลล์สเกลовар์ของวัสดุคอมโพลิตมากที่สุด แต่จะลดลง 3 % โดยปริมาตร จะทำให้ค่าความแข็งร็อกเวลล์สเกลовар์ของวัสดุคอมโพลิตมากที่สุด แต่จะลดลง

เมื่อปริมาณเส้าloyมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ถ้าเติมน้ำในครั้งบอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่ที่ผู้วิจัยลังเคราะห์ได้จากวิธีอาศัยเปลวไฟจากการเผาไหม้ปริมาณน้อย ๆ ลงไป ค่าความแข็งร็อกเวลล์สเกลอร์ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำในครั้งบอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความแข็งทางด้านบนและด้านล่างซึ่งเป็นบริเวณที่ตอกตะกอนอีกทั้งมีความชุกรูของพื้นผิวที่เคลือบจะเห็นว่าพื้นผิวทางด้านบนมีค่าความแข็งร็อกเวลล์สเกลอร์สูงกว่าด้านล่างที่มีการตอกตะกอนและพื้นผิวชุกรูกว่า ในส่วนของความทนต่อแรงกระแทก ค่าความทนต่อแรงกระแทกจะมากที่สุดเมื่อไม่ได้เติมสารเติมแต่งใด ๆ เลย และลดลงตามปริมาณการผสมเส้าloyที่เพิ่มขึ้น ไม่มีความแตกต่างระหว่างการทดสอบชิ้นงานทั้งด้านบนและด้านล่าง ในขณะที่ค่าความทนต่อแรงกระแทกจะลดลงและไม่มีความแตกต่างกันมากนักตามปริมาณน้ำในครั้งบอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่ที่เพิ่มขึ้น และเห็นความแตกต่างระหว่างด้านบนและด้านล่างชิ้นงานชัดเจนกว่า โดยเมื่อเทียบด้านบนที่ไม่เกิดการตอกตะกอนและผิวเรียบกว่าทางเดินเพื่อทำการทดสอบจะมีค่าการคัดซับแรงกระแทกหรือความทนต่อแรงกระแทกมากกว่าเมื่อหงายด้านล่างซึ่งการศึกษาในครั้งนี้จึงได้ทราบผลของการเติมเส้าloyและนาโนครั้งบอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่ เป็นปริมาณน้อย ๆ ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับการเติมในปริมาณมากของชิ้นงานวิจัยที่ผ่านมา อีกทั้งค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นเมื่อเติมน้ำในครั้งบอนรูปหัวหอมต่อ กันคล้ายโซ่ใช่ลงไปในอิพ็อกซี่เมทิริกซ์ ทำให้วัสดุคอมโพลิติน มีความแข็งเพิ่มขึ้น ทนต่อการขีดข่วนได้เป็นอย่างดี

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่นสำหรับทุนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำหรับคำแนะนำและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

## References

- [1] Jantathai, W. (2012). **Properties of Polypropylene/Polylactic Acid Reinforced with Cyperaceae Fiber.** M. Eng. Thesis. Khon Kaen University (in Thai)
- [2] Kanchanaworawanich, B. (2008). **Interesting Material: Polymer Composites.** Access (18 October 2017). Available (<https://old.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/79>) (in Thai)
- [3] Nakason, C. (2003). **Introduction to Plastic Technology.** Bangkok: Forepace Publisher.
- [4] Kru Aor Chemistry Tutor. (2017). **Epoxy: Do you know.** Access (18 October 2017). Available ([http://www.kru-aor.com/Chem\\_Tips/epoxy.html](http://www.kru-aor.com/Chem_Tips/epoxy.html)) (in Thai)
- [5] S. Sen and N. Nugay. (2000). Uncured and Cured State Properties of Fly Ash Filled Unsaturated Polyester Composites. **Journal of Applied Polymer Science.** Vol. 77, Issue 5, pp. 1128-1136

- [6] Kruehong, S., Kruehong, C., Chindaprasirt, P., and Artnaseaw, A. (2015). Candle Flame Synthesis and Electrochemical Behavior of Chain-like Carbon Nano-onions on 304 Stainless Steel. **Chiang Mai Journal of Science**. Vol. 42, No. 3, pp. 1-7 (in Thai)
- [7] Guhanathan, S., Devi, S. M., and Murugesan, V. (2001). Effect of Coupling Agent on the Mechanical Properties of Fly Ash/Polyester Particulate Composites. **Journal of Applied Polymer Science**. Vol. 82, Issue 7, pp. 1755-1760
- [8] Alkan, C., Arslan, M., Cici, M., Kaya, M., and Aksoy, M. (1995). A Study on the Production of New Material from Fly Ash and Polyethylene. **Resources Conservation and Recycling**. Vol. 13, Issue 3-4, pp. 147-154. DOI: 10.1016/0921-3449(94)00014-V
- [9] Li, Y., White, D. J., and Peyton, R. L. (1998). Composite Material from Fly Ash and Post-consumer PET. **Resources, Conservation & Recycling**, Vol. 24, Issue 2, pp. 87-93
- [10] Sombatsompop, N. and Kositchaiyong, A. (2006). **Research on Wastewater Tanks from Polyethylene-Inorganic Composites for Cost Saving Purposes**. Final Research Report. Office of the Higher Education Commission (OHEC). pp. 49-103 (in Thai)
- [11] Kositchaiyong, A., Mitrprasertporn, S., Wimolmala, E., and Sombatsompop, N. (2010). Re-using of Fly Ash Particles from Power-Plant Station as Alternative Filler in Rotational - Moulded Polyethylene Products. **Proceedings of the 48<sup>th</sup> KU Conference**. pp. 1-8 (in Thai)
- [12] Kishore, S. M., Kulkarni, S., Sunil, D., and Sharathchandra, S. (2002). Effect of Surface Treatment on the Impact Behavior of Fly-ash Filled Polymer Composites. **Polymer International**. Vol. 51, Number 12, pp. 1378-1384. DOI: 10.1002/pi.1055
- [13] Chaowasakoo, T. and Sombatsompop, N. (2007). Effects of Curing Techniques and Silane Treatment on Mechanical and Morphological Properties of Fly Ash/Epoxy Composites. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**. Vol. 29, No. 1, pp. 217-230 (in Thai)
- [14] R. Andrews, D. Jacques, D. Qian, and T. Rantell. (2002). Multiwall Carbon Nanotubes: Synthesis and Application. **Accounts of Chemical Research**. Vol. 35. No. 12. pp. 1008-1017. DOI: 10.1021/ar010151m
- [15] Ajayan, P. M., Stephan, O., Colliex, C., and Trauth, D. (1994). Aligned Carbon Nanotube Arrays Formed by Cutting a Polymer Resin - Nanotube Composite. **Science**. Vol. 265, Issue 5176, pp. 1212-1214. DOI: 10.1126/science.265.5176.1212
- [16] Nhuapeng, W. (2008) **Carbon Nanotube/Silicon Carbide/Epoxy Resin Nanocomposites**. Final Research Report. Office of the Higher Education Commission (OHEC). November. (in Thai)
- [17] Hall, B., Zhuo, C., Levendis, Y. A., and Richter, H. (2011). Influence of the Fuel Structure on the Flame Synthesis of Carbon Nanomaterials. **Carbon**. Vol. 49, Issue 11, pp. 3412-3423. DOI: 10.1016/j.carbon.2011.04.036

- [18] Y. -Y. Li and C. -C. Hsieh. (2007). Synthesis of Carbon Nanotubes by Combustion of a Paraffin Wax Candle. **Micro and Nano Letters.** Vol. 2, No. 3, pp. 63-66
- [19] Yuan, L., Li, T., and Saito, K. (2003). Growth Mechanism of Carbon Nanotubes in Methane Diffusion Flames. **Carbon.** Vol. 41, Issue 10, pp. 1889-1896
- [20] Kruehong, S., Artnaseaw, A., and Kruehong, C. (2013). Important Factors on the Flame Synthesis of Carbon Nanotubes. **The Journal of Industrial Technology.** Vol. 9, Issue 3, pp. 183-194 (in Thai)



# วารสาร มทร.อีสาน

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN 1906-215X

การประเมินวอเตอร์ฟุตพري้ნท์ของการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงในพื้นที่อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

## Water Footprint Assessment of Red Tilapia Production from Fishery Farms in the Sena Districts, Phranakhon Si Ayutthaya Province

วัชราภรณ์ ตันติพนาทิพย์<sup>1\*</sup>

Received: June, 2017; Accepted: December, 2017

### บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำของการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงในอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยอาศัยแนวคิดวอเตอร์ฟุตพري้ნท์ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งในการวิเคราะห์และบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหนึ่งหน่วยผลผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงจำนวน 60 ฟาร์ม ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพري้ນท์ของการผลิตปลาทับทิมมีค่าเท่ากับ 4,460.77 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม ซึ่งมีการใช้ทรัพยากรน้ำลดลงตามการผลิต (บลูวอเตอร์ฟุตพري้ນ) เท่ากับ 4,213.48 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม และปริมาณน้ำเสีย (เกรย์วอเตอร์ฟุตพري้ນ) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 247.29 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม ดังนั้นแนวทางการลดปริมาณวอเตอร์ฟุตพري้ນที่จากการผลิตปลาทับทิมจากการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงจึงควรมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรน้ำภายในฟาร์มเพาะเลี้ยง

คำสำคัญ : วอเตอร์ฟุตพري้ນ; การผลิตปลาทับทิม; ฟาร์มเพาะเลี้ยง; จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

<sup>1</sup> Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

\* Corresponding Author E - mail Address: momojay\_25@hotmail.com

## Abstract

The used water use analysis of red tilapia (*Oreochromis niloticus-mossambicus*). The production from fishery farms was conducted in Sena districts, Phranakhon Si Ayutthaya province using water footprint concept which is a tool for sustainable water analysis and management. This research aimed to analyze amount of used water per product unit of red tilapia. The sample was 60 fishery farms during March, 2016 to January, 2017. The results showed that the average water footprint of red tilapia production was 4,460.77 L/1 kg of red tilapia that consisted of 4,213.48 L/1 kg of red tilapia from direct water use in the process (blue water footprint) and 247.29 L/1 kg of red tilapia from waste water (gray water footprint) in fishery farms. Therefore, to decrease the amount of water footprint from red tilapia production should be focus on developing the efficiency water system to sustainably in fishery farms.

**Keywords:** Water Footprint; Red Tilapia Production; Fishery Farms; Phranakhon Si Ayutthaya Province

## บทนำ

กิจกรรมเพาะเลี้ยงลัตวัน้าเป็นหนึ่งในภาคการผลิตอาหารหลักของประเทศไทย โดยเฉพาะการผลิตปลาทับทิม จากฟาร์มเพาะเลี้ยงที่สร้างรายได้หลักให้แก่ประชาชนทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นเขตเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยและมีจำนวนผลผลิตปลาทับทิมเป็นอันดับสองของจังหวัด [1] สืบเนื่องจากนโยบายที่ลั่นเสริมการเพาะเลี้ยงปลาทับทิมเป็นอาชีพหลักและอาชีพเสริมจากทั้งภาครัฐบาลและเอกชน โดยการให้ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการการเลี้ยงปลาทับทิม การจัดหาลูกพันธุ์อาหาร ตลาดจำหน่ายผลผลิตและยังคงคิดตามดูแลกลุ่มเกษตรกรอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาทับทิมในพื้นที่อำเภอเสน [2] ขณะเดียวกันการดำเนินกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงลัตวัน้าในประเทศไทยยังคงมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านจำนวนและขนาดของพื้นที่ฟาร์มเพาะเลี้ยงรวมถึงอุตสาหกรรมการผลิตอาหารประเภทเนื้อลัตวัน้า ซึ่งเป็นผลจากความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีและเทคนิคการเพาะเลี้ยงลัตวัน้า ทำให้เกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตลัตวัน้าที่มีคุณภาพและปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศที่เพิ่มสูงขึ้น

ในทางกลับกันเมื่อกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิมเพิ่มจำนวนขึ้นย่อมส่งผลให้ความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำเพิ่มขึ้นด้วย [3] โดยเฉพาะช่วงของการเลี้ยงปลาในฟาร์มเพาะเลี้ยง ทั้งยังก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบทางน้ำจากเศษอาหารตกค้างภายในบ่อเลี้ยง การใช้ยาฆ่าโรคและสารเคมี การเปลี่ยนถ่ายน้ำ และการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่มีการระบายน้ำเลี้ยงออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด [4] - [5] จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำและนโยบายส่งเสริมให้ผู้ชี้นำทางการและทางอ้อมได้ตระหนักถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตลินค้าและบริการรวมถึงการมีส่วนรับผิดชอบเพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรน้ำที่เหมาะสมมากขึ้น โดยการพัฒนาแนวทางวิเคราะห์

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตและเป็นรูปธรรมมากขึ้นตามแนวคิดของว่าเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ทำให้มองเห็นสถานการณ์ของการใช้น้ำที่เกิดขึ้นและการใช้น้ำนั้นมีความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์หรือไม่ [6] - [8]

จากแนวคิดการประเมินว่าเตอร์ฟุตพริ้นท์ท่าให้ภาคประมงและการเพาะเลี้ยงลัตวัน้ำต่างได้รับความสนใจในฐานของการเป็นผู้ใช้ทรัพยากรน้ำรายใหญ่โดยเฉพาะประเทศไทย เนื่องจากเป็นประเทศที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์ประมงรายใหญ่ของโลก แต่กลับมีการศึกษาว่าเตอร์ฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมประมงและการเพาะเลี้ยงลัตวัน้ำค่อนข้างน้อย [9] - [10] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการประเมินว่าเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง ซึ่งมีขอบเขตการพิจารณาครอบคลุมเฉพาะในขั้นตอนของการเลี้ยงปลาทับทิมในบ่อคืนเท่านั้น เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ปริมาณและความคุ้มการใช้ทรัพยากรน้ำตลอดกระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิมได้อย่างเต็มประสิทธิภาพโดยการวิจัย ครั้งนี้มุ่งหวังที่จะนำผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาทั้งด้านปริมาณ แหล่งที่มา และรูปแบบความต้องการใช้น้ำในระยะของการเลี้ยงปลาทับทิมไปใช้ในการจัดสรรง่ายๆ ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำในกระบวนการผลิตปลาทับทิมหรือลัตวัน้ำชนิดอื่น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. พื้นที่ศึกษาและการเก็บข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินกิจกรรมภายใต้ฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิมของอ้าgeoesena จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยใช้ฐานข้อมูลเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาทับทิมที่เข้าลงทะเบียนกับสำนักงานประมง จังหวัดพระนครศรีอยุธยาในปี พ.ศ. 2555 จำนวน 73 ฟาร์ม ด้วยวิธีการสุ่มเลือกแบบเฉพาะเจาะจง เพื่อให้ครอบคลุมฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิมในบ่อคืนทั้งขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ ซึ่งในครั้งนี้ได้กำหนดจำนวนตัวอย่างฟาร์มทั้งสิ้น 60 ฟาร์ม จากการประยุกต์ใช้วิธีกำหนดขนาดตัวอย่างของ Krejcie, R. V. and Morgan, E. W. [11] และ Yamane, T. [12] การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยวิธีสัมภาษณ์ (Interview) เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาทับทิมในแต่ละฟาร์มเป็นจำนวน 3 ครั้ง ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2560

การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเลี้ยงปลาทับทิม ได้แก่ รูปแบบการเพาะเลี้ยง ระยะเวลาเลี้ยง ประเภทและปริมาณการให้อาหารลัตวัน้ำ ผลผลิตปลาทับทิม การใช้ทรัพยากรน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ปริมาณของเสียและน้ำเสียที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิม รวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น

### 2. การประเมินว่าเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง

การประเมินว่าเตอร์ฟุตพริ้นท์ถูกจัดเป็นตัวชี้วัดการใช้ทรัพยากรน้ำจากการกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยสามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำทั้งหมดที่ถูกนำมาใช้จากผลกระทบของทุกขั้นตอนตลอดท่วงไข่ของกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ทั้งยังแสดงถึงแหล่งที่มาของน้ำใช้และน้ำเสียที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปจะแสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือลูกบาศก์เมตรต่อคันต่อปี [13] - [14] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพภูมิศาสตร์และช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ดังนั้นการศึกษาในพื้นที่ได้ และช่วงเวลาที่ต่างกันจะทำให้ปริมาณความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำมีค่าแตกต่างกัน

การคำนวณปริมาณウォเตอร์ฟุตพรินท์ที่นิยมใช้กันแพร่ทั่วไปเป็นวิธีประเมินของ Water Footprint Network (WFN) ซึ่งเป็นการคำนวณผลกระทบจากการใช้ทรัพยากรน้ำทั้ง 3 ประเภท [7] คือ

1) กรณวอเตอร์ฟุตพรินท์ (Green Water Footprint: WFGreen) คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ซึ่งจากการสำรวจพบว่าไม่มีข้อมูลการใช้น้ำในส่วนดังกล่าว จึงไม่มีการคำนวณปริมาณกรณวอเตอร์ฟุตพรินท์ในการศึกษาครั้งนี้

2) บลูวอเตอร์ฟุตพรินท์ (Blue Water Footprint: WFBule) คือ ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำจากระบบชลประทานที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ในที่นี้หมายถึงปริมาณน้ำทั้งหมดที่เกษตรกรนำมาใช้ตลอดกระบวนการผลิต เช่น การลอกต้นไม้ ปลูกต้นไม้ ฯลฯ รวมถึงการนำน้ำมาใช้ในการเจือจางน้ำ เลี้ยงปลาทับทิม เป็นต้น

3) เกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์ (Gray Water Footprint: WFGray) คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการนำน้ำเหลี่ยมที่เกิดขึ้นจากการผลิตสินค้าและบริการให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน ในที่นี้หมายถึงปริมาณน้ำดีที่ถูกนำมาใช้ในการเจือจางน้ำเหลี่ยมตลอดกระบวนการผลิต เช่น การลอกต้นไม้ ปลูกต้นไม้ ฯลฯ รวมถึงการนำน้ำมาใช้ในการเจือจางน้ำ เลี้ยงปลาทับทิม เป็นต้น

การคำนวณウォเตอร์ฟุตพรินท์ในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาจากการใช้ทรัพยากรน้ำจากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งขอบเขตของงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ウォเตอร์ฟุตพรินท์ตลอดกระบวนการผลิตปลาทับทิมในระยะของฟาร์มเพาะเลี้ยงเท่านั้น (รูปที่ 1) ดังนั้นปริมาณウォเตอร์ฟุตพรินท์ของกระบวนการผลิตปลาทับทิมจากกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงจำนวน 60 ฟาร์ม สามารถคำนวณได้จากการรวมของบลูวอเตอร์ฟุตพรินท์และเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์ โดยแสดงในหน่วยลิตร/ผลผลิตปลาทับทิม 1 กิโลกรัม ดังสมการที่ (1) - (5)

$$WF = WF_{Green} + WF_{Blue} + WF_{Gray} \quad (1)$$

$$WF_{prod}(p) = \left[ WF_{proc}(p) + \sum_{i=1}^y \frac{WF_{prod}(i)}{f_p(p,i)} \right] \times f_v(p) \quad (2)$$

$$f_p(p,i) = \frac{W(p)}{W(i)} \quad (3)$$

$$f_v(p) = \frac{price(p) \times w(p)}{\sum_{p=1}^z price(p) \times w(p)} \quad (4)$$

$$WF_{prod}(p) = WF_{proc}(p) + \frac{WF_{prod}(i)}{f_p(p,i)} \quad (5)$$

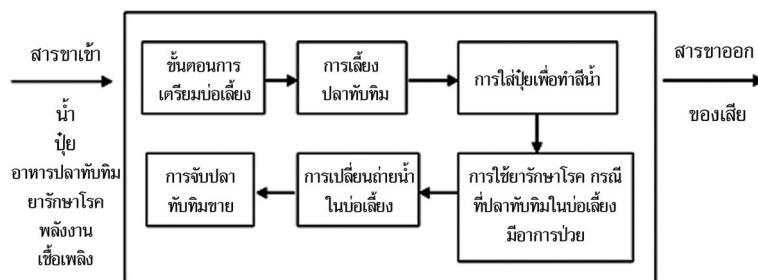
โดย

$WF_{prod}(p)$  คือ ウォเตอร์ฟุตพรินท์ของการผลิตปลาทับทิม (ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม)

$WF_{prod}(i)$  คือ ウォเตอร์ฟุตพรินท์ของวัตถุคุบและทรัพยากรหัสหมวดในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิม (ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม)

$WF_{proc}(p)$  คือ ウォเตอร์ฟุตพรินท์ของปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงทั้งทางตรงและทางอ้อม (ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม)

$f_p(p, i)$	คือ สัดส่วนมวลของผลิตภัณฑ์ปลาทับทิม (Product Fraction)
$f_v(p)$	คือ สัดส่วนมูลค่าของผลิตภัณฑ์ปลาทับทิม (Value Fraction)
$W(p)$	คือ ผลผลิตปลาทับทิม (กิโลกรัม)
$W(i)$	คือ การใช้อาหาร ยารักษาโรค และปุ๋ย (กิโลกรัม)
$price(p)$	คือ ราคาของผลิตภัณฑ์ปลาทับทิม (บาทต่อกิโลกรัม)



รูปที่ 1 แผนผังการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปลาทับทิมจากกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยง

### 3. การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการกระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้ทรัพยากร่น้ำและมลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นจากการดำเนินกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิม [15]

#### 1) บริมาณน้ำทึ้งตลอดกระบวนการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง

น้ำทึ้งที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการเลี้ยงปลาทับทิมในบ่อคิดมีค่าเท่ากับรวมของปริมาณน้ำทึ้งทั้งหมด ได้แก่ การเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างเลี้ยงปลาทับทิม การคัดขนาด การประเมินอัตราอุดของปลาทับทิมในบ่อเลี้ยงและการเก็บเกี่ยวผลผลิตปลาทับทิม ดังแสดงในสมการที่ (6)

$$WT = TW \times W(p) \quad (6)$$

โดย

$WT$  คือ น้ำทึ้งที่เกิดขึ้นจากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิม (ลิตร)

$TW$  คือ น้ำทึ้งทั้งหมดของการผลิตปลาทับทิม (ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม)

$W(p)$  คือ ผลผลิตปลาทับทิม (กิโลกรัม)

#### 2) บริมาณน้ำทึ้งจากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิมที่ถูกระบายสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

น้ำทึ้งจากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิมที่ถูกระบายออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ น้ำทึ้งจากฟาร์มเพาะเลี้ยงที่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำทึ้งจากฟาร์มเพาะเลี้ยงที่มีระบบบำบัดน้ำเสีย ดังแสดงในสมการที่ (7)

$$W = [TW \times W(p) \times \%W(n) \times \%W(o)] + [TW \times W(p) \times \%W(h) \times \%W(o)] \quad (7)$$

โดย

$W$	คือ น้ำทึ้งจากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิมที่ระบายน้ำสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (ลิตร)
$TW$	คือ น้ำทึ้งทั้งหมดจากการผลิตปลาทับทิม (ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม)
$W(p)$	คือ ผลผลิตปลาทับทิม (กิโลกรัม)
$\%W(n)$	คือ ร้อยละของฟาร์มเพาะเลี้ยงที่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย (%)
$\%W(h)$	คือ ร้อยละของฟาร์มเพาะเลี้ยงที่มีระบบบำบัดน้ำเสีย (%)
$\%W(o)$	คือ ร้อยละของฟาร์มเพาะเลี้ยงที่ปล่อยน้ำเสียสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (%)

### 3) ปริมาณมลพิษที่เกิดจากฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิม

ปริมาณมลพิษทั้งหมดจากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิมในบ่อคิดมีค่าเท่ากับผลรวมของปริมาณ การปล่อยมลพิษตลอดการเลี้ยงปลาทับทิม ได้แก่ การเปลี่ยนถ่ายน้ำ การคัดขนาดและประเมินอัตราอุดของปลาทับทิม และการเก็บเกี่ยวผลผลิตปลาทับทิม [16] ซึ่งคำนวณได้จากการที่ (8)

$$TW = Fn \times W(p) \quad (8)$$

โดย

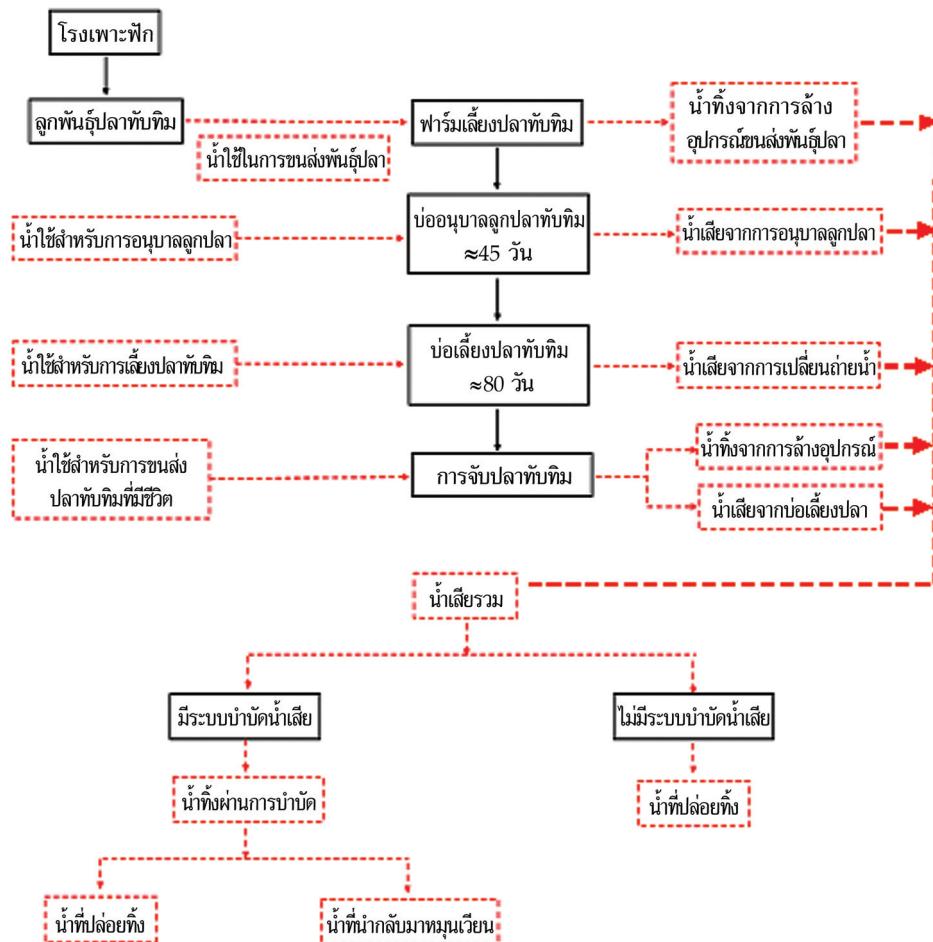
$T_w$	คือ ปริมาณมลพิษจากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิมที่เกิดขึ้นจริง (ลิตร)
$F_n$	ค่าคงที่ของปริมาณมลพิษที่เกิดจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ (ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม)
$W(p)$	ผลผลิตปลาทับทิม (กิโลกรัม)

สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) เป็นพารามิเตอร์พื้นฐานในการคำนวณค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพรินท์ ซึ่งถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทึ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามประกาศของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [15] ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าความเข้มข้นสูงสุดของมลสารที่ยอมรับได้ ( $C_{max}$ ) ขึ้นอยู่จากค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทึ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีค่าเท่ากับ 20 มก./ลิตร และค่าความเข้มข้นตามธรรมชาติ ( $C_{nat}$ ) มีค่าเท่ากับ 0 มก./ลิตร [16]

## ผลการวิจัย

### 1. การดำเนินกิจกรรมฟาร์มเลี้ยงปลาทับทิมในอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ผลการศึกษากระบวนการผลิตอาหารประเภทเนื้อปลาทับทิมในอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวนทั้งสิ้น 60 ฟาร์ม พบร่วมกับการดำเนินกิจกรรมของฟาร์มเพาะเลี้ยงมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกันทั้งด้านวิธีและเทคนิคการเลี้ยงปลา อุปกรณ์และเครื่องจักร รวมถึงชนิดของอาหารสัตว์น้ำ ต่างกันเพียงแหล่งจัดซื้อลูกพันธุ์ปลาทับทิม ปริมาณการให้อาหารสัตว์น้ำและขนาดของฟาร์มเพาะเลี้ยง นอกจากนี้ยังพบว่าการดำเนินกิจกรรมภายในฟาร์มเพาะเลี้ยงล้วนมีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำและก่อให้เกิดน้ำเสียตลอดกระบวนการเลี้ยงปลาทับทิม สำหรับเทคนิคด้านการดูแลรักษาและควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาทับทิมสามารถแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการใช้ทรัพยากริบ้านและแหล่งกำเนิดน้ำเสียตลอดการผลิตปลาก้าบทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง

## 2. รายการบัญชีด้านลึ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิมจากกิจกรรมประมง

รายการบัญชีด้านลึ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอาหารประมงเนื้อปลาทับทิมสามารถคำนวณในรูปของผลผลิตปลาก้าบทิมจำนวน 1 กิโลกรัม พนบว่ามีสารขาเข้า ได้แก่ ลูกพันธุ์ปลาก้าบทิมอาหาร ปริมาณน้ำใช้ ระยะเวลาในการเลี้ยง พลังงานไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง และแก๊ส LPG เป็นต้น ส่วนสารข้อออก ได้แก่ ผลผลิตปลาก้าบทิม ตะกอนเล่นและน้ำเสีย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ที่ปริมาณความต้องการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ตลอดกระบวนการผลิตปลาก้าบทิมดังแสดงในตารางที่ 1

ผลการศึกษาการใช้ทรัพยากริบ้านในฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาก้าบทิมพบว่า ตลอดกระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิมมีความต้องการใช้ทรัพยากริบ้าน โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่หนึ่งเป็นการใช้น้ำสำหรับการขันส่งลูกพันธุ์ปลาก้าบทิมจากโรงเพาะพักมายังฟาร์มเพาะเลี้ยงและการทำความสะอาดภาชนะที่ใช้ในการขันส่ง ส่วนช่วงที่สองเป็นการใช้ทรัพยากริบ้านระหว่างการเลี้ยงปลาก้าบทิมภายในฟาร์มเพาะเลี้ยง ซึ่งเป็นระยะที่มีการใช้ทรัพยากริบ้านปริมาณมากที่สุด ได้แก่ น้ำที่ปะออยด์บ่อเลี้ยงปลาก้าบทิมและน้ำสะอาดสำหรับการเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการเลี้ยงปลาก้าบทิมจนลึ่งการเก็บเกี่ยวผลผลิต

**ตารางที่ 1 บัญชีรายการสารขาเข้าและข้าออกตลอดกระบวนการผลิตปลาทับทิมจำนวน 1 กิโลกรัม อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา**

ประเภท	หน่วย	พาร์ม
ข้อมูลทั่วไป		
ขนาดบ่อเลี้ยง	ไร่	1.01±0.54
ระยะเวลา	วัน	129.00±13.86
FCR	-	1.96±2.15
สารขาเข้า		
ปริมาณอาหาร	กก./ไร่/ปี	10,824.26±16,880.56
ไฟฟ้า	kWh/ปลา 1 กก./ไร่	1.19±1.20
น้ำมันดีเซล	ลิตร/ปลา 1 กก./ไร่	0.59±0.60
แก๊ส LPG	กก./ปลา 1 กก./ไร่	0.46±1.17
น้ำใช้	ลูกบาศก์เมตร	4,219.83±2,403.63
สารขาออก		
ผลผลิตปลาทับทิม	กก./ไร่/ปี	4,026.00±3,109.74
น้ำทิ้ง	ลูกบาศก์เมตร	4,157.48±2,368.63
มูลปลาทับทิม	กก.	343.27±125.49

หมายเหตุ: \* FCR (Feed Conversion Ratio) = อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในกระบวนการผลิตปลาทับทิม 1 กก.  
 \* kWh = กิโลวัตต์ - ชั่วโมง

นอกจากนี้ กระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงยังก่อให้เกิดการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำน้อย โดยแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่หนึ่งเป็นการปล่อยน้ำทิ้งระหว่างการเลี้ยงปลาทับทิมซึ่งเกษตรกรนิยมเปลี่ยนถ่ายน้ำจากบ่อเลี้ยงลงสู่แม่น้ำน้อยโดยตรง (ไม่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย) มีอัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำเดลล์ครั้งประมาณ 35 - 40 % ของปริมาณน้ำทิ้งหมดในบ่อเลี้ยง ซึ่งมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเฉลี่ย 2 เดือนต่อครั้ง (อาจเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำในแม่น้ำน้อยและคุณภาพน้ำภายในบ่อเลี้ยง) ส่วนช่วงที่สองเป็นการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทับทิม เนื่องจากการคัดขนาดปลาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้เพื่อลดความหนาแน่นของปลาทับทิมในบ่อเลี้ยง ผลการศึกษาพบว่าเกษตรกรนิยมระบายน้ำออกจากบ่อเลี้ยงประมาณ 20 % ของปริมาณน้ำทิ้งหมดในบ่อเลี้ยง สำหรับช่วงสุดท้ายเป็นการปล่อยน้ำทิ้ง (100 %) จากกิจกรรมการเก็บเกี่ยวผลผลิต ทั้งนี้สามารถแสดงข้อมูลปริมาณน้ำทิ้งหมดที่ถูกนำมาใช้ตลอดกระบวนการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงในตารางที่ 2 ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาข้อมูลการใช้ทรัพยากรน้ำและปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการผลิตปลาทับทิมพบว่า มีทรัพยากรน้ำบางส่วนที่หายไปอาจเนื่องจากอัตราการระเหยกล่ายเป็นไออกและการรั่วซึมของน้ำภายในบ่อเลี้ยงปลาทับทิม

### 3. วอเตอร์ฟุตพรินท์ของกระบวนการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง

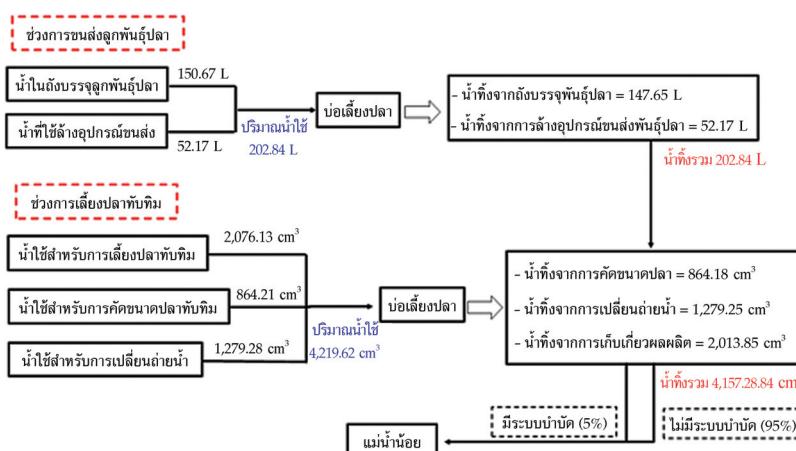
การประเมินวอเตอร์ฟุตพรินท์ตลอดกระบวนการผลิตอาหารประเภทเนื้อปลาทับทิมจากการดำเนินกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงทั้ง 6 ฟาร์ม ในอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สามารถประเมินได้จากปริมาณการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมในรูปของบลูวอเตอร์ฟุตพรินท์ ได้แก่ ทรัพยากรน้ำทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตตั้งแต่น้ำที่ใช้บรรจุพันธุ์ปลา น้ำที่ใช้ตลอดกระบวนการผลิตในฟาร์มประมาณ รวมถึงน้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดอุปกรณ์ สำหรับปริมาณน้ำทิ้งทั้งหมดที่ถูกระบายนอกสู่แหล่งธรรมชาติสามารถคำนวณในรูปของเกรียร์วอเตอร์ฟุตพรินท์คับแสคงในรูปที่ 3

ผลการศึกษาปริมาณทรัพยากรน้ำที่ถูกนำมาใช้ตลอดกระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิมพบว่า มีการใช้ทรัพยากรน้ำสำหรับขั้นตอนการขันล่งลูกพันธุ์ปลาทับทิมจากโรงฟักมายังฟาร์มเพาะเลี้ยง ทั้งหมด 202.84 ลิตร แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การใช้น้ำสำหรับระบุลูกพันธุ์ปลาทับทิม (150.67 ลิตร) และการใช้น้ำสำหรับล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ที่ใช้ในการขันล่งลูกพันธุ์ปลาทับทิม (52.17 ลิตร) นอกจากนี้ยังมีการปล่อยน้ำเสียสำหรับกิจกรรมขันล่งลูกพันธุ์ปลาทับทิมเท่ากับ 199.82 ลิตร ดังนั้น ผลประเมินปริมาณบลูว่าเดอร์ฟุตพริ้นท์สำหรับขั้นตอนการขันล่ง ลูกพันธุ์ปลาทับทิมเท่ากับ 2.44 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม และปริมาณเกรย์ว่าเดอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 2.40 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม

### ตารางที่ 2 การใช้ทรัพยากรน้ำและน้ำทึบตลอดกระบวนการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง อ้าเกอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

รายการ	ปริมาตรน้ำที่ใช้ (m <sup>3</sup> )	สัดส่วนน้ำที่ใช้ (%)	ปริมาตรน้ำทึบ (m <sup>3</sup> )	สัดส่วนน้ำทึบ (%)
การขันล่งลูกพันธุ์ปลาทับทิม	0.15±0.01	0.004	0.15±0.01	0.004
การทำความสะอาดอุปกรณ์ ในการขันล่ง	0.05±0.01	0.001	0.05±0.01	0.001
บ่อเลี้ยง	2,076.13±1,171.29	49.199	-	-
การเปลี่ยนถ่ายน้ำระห่ำ เลี้ยงปลาทับทิม	1,279.28±781.96	30.316	1,279.25±781.96	30.77
การคัดขนาดปลาทับทิม	864.18±477.20	20.48	864.21±477.20	20.786
การเก็บเกี่ยวผลผลิตปลาทับทิม	-	-	2,013.85±1,136.16	48.439
ค่าเฉลี่ย	4,219.80±2,430.48	100	4,157.51±2,395.34	100

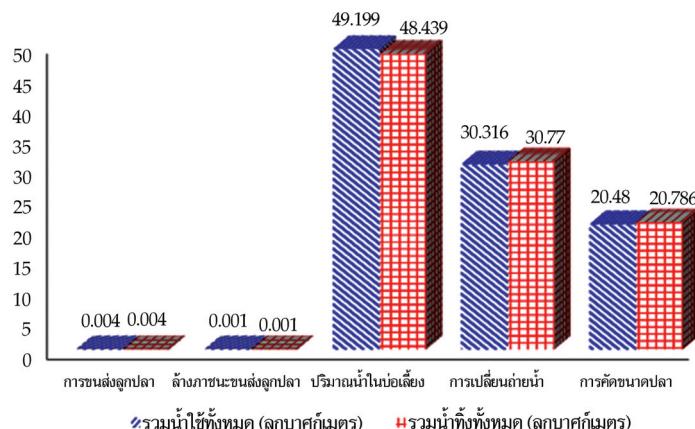
หมายเหตุ: m<sup>3</sup> = ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 3 ปริมาณน้ำใช้ตลอดกระบวนการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง ณ อ้าเกอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าต่อต่อระยะเวลา 4 – 6 เดือนของการเลี้ยงปลาทับทิมในฟาร์มเพาะเลี้ยง เป็นระยะที่มีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 4,219,627 ลิตร โดยสามารถแบ่งลักษณะความต้องการใช้น้ำออกเป็น 3 ลักษณะ คือ ทรัพยากรน้ำสำหรับใช้เติมเข้าสู่บ่อเลี้ยง เนื่องจากขนาดบ่อเลี้ยงมีความหลากหลายจึงทำให้ปริมาณความต้องการใช้น้ำในแต่ละฟาร์มเพาะเลี้ยง มีความแตกต่างกัน สำหรับการศึกษานี้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการใช้น้ำสำหรับเติมเข้าสู่บ่อเลี้ยง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,076,133 ลิตร ทั้งนี้ระหว่างการเลี้ยงปลาทับทิมต้องการใช้น้ำสำหรับเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยเฉลี่ย 864,183 ลิตร/ครั้ง จากการคัดขนาดและการคัดแยกเพศปลาทับทิม นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยงเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมสมต่อการเจริญเติบโตของปลาทับทิมโดยมีอัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำเฉลี่ย 2 – 3 ครั้งต่อรอบการเลี้ยง ความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำจะขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงและคุณภาพน้ำของแม่น้ำน้อย โดยแต่ละครั้งจะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเท่ากับ 1,279,250 ลิตร สำหรับลักษณะสุดท้ายของการใช้ทรัพยากรน้ำเป็นการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทับทิมเมื่อครบระยะเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยปริมาณน้ำทิ้งที่ถูกระบายนอกจากบ่อเลี้ยงเท่ากับ 2,013,849 ลิตร และเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดปัญหาตามพิษแก่แม่น้ำน้อยมากที่สุด เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย (95 %) ก่อนปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาทับทิมสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งนี้ผลประเมินปริมาณของเตอร์ฟุตพรีน์ที่เฉพาะระยะของการเลี้ยงปลาทับทิมในฟาร์มประมาณ 4 – 6 เดือน แสดงค่าบลูวอเตอร์ฟุตพรีน์เท่ากับ 4,211.04 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพรีน์เท่ากับ 244.89 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม

**ข้อมูลการใช้ทรัพยากรน้ำและการปล่อยน้ำทิ้งตลอดกระบวนการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง สามารถแสดงสัดส่วนการใช้น้ำและปริมาณน้ำทิ้งในรูปที่ 4**



รูปที่ 4 สัดส่วนการใช้น้ำของการผลิตปลาทับทิมจากกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยง อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ผลประเมินวอเตอร์ฟุตพรีน์ที่ตลอดกระบวนการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง ในอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สามารถสรุปข้อมูลได้ 2 ส่วน คือ บลูวอเตอร์ฟุตพรีน์ที่และเกรย์วอเตอร์ฟุตพรีน์ที่ ส่วนกรีนวอเตอร์ฟุตพรีน์ที่นั้นไม่มีการประเมิน เนื่องจากไม่มีรายงานการใช้

ทรัพยากรน้ำในส่วนของน้ำฝนในกระบวนการผลิต ดังนั้น จึงสรุปผลการประเมินได้ว่าต่อผลกระทบจากการเลี้ยงปลาทับทิมในฟาร์มเพาะเลี้ยงมีค่าบลูอว์เตอร์ฟุตพรินท์เท่ากับ 4,213.48 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม และค่าเกริญ์วอเตอร์ฟุตพรินท์เท่ากับ 247.29 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม ดังนั้นวิวัฒน์เตอร์ฟุตพรินท์ของกระบวนการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง (Product Fraction; PF) มีค่ารวมเท่ากับ 4,460.77 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม

## การอภิปรายผล

ผลการศึกษาวิวัฒน์เตอร์ฟุตพรินท์ของการผลิตอาหารประเภทเนื้อปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงจำนวน 60 ฟาร์ม ในอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่ามีการใช้ทรัพยากรน้ำปริมาณมากที่สุด 4,219,780 ลิตร โดยเฉพาะน้ำสะอาดที่สูบน้ำเข้าบ่อเลี้ยง (2,076,130 ลิตร) และน้ำสะอาดสำหรับการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (1,279,280 ลิตร) เกษตรกรส่วนใหญ่ยังไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำแล้ว 2 - 3 ครั้งต่อวัน (คิดเป็นร้อยละ 75) แต่พื้นที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบางรายที่มีความถี่มากกว่า 5 ครั้งต่อวัน (คิดเป็นร้อยละ 25) สืบเนื่องจากปัญหาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลาทับทิมที่เลี้ยง ซึ่งเป็นผลจากการให้อาหารสัตว์น้ำในปริมาณมาก อัตราการปล่อยปลาทับทิมที่มีความหนาแน่นสูง รวมถึงคุณภาพน้ำและปริมาณน้ำในแม่น้ำน้อย เป็นต้น สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Rong, H. et al. [17] ที่สรุปว่าคุณภาพน้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำและคุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้สัตว์น้ำเกิดความเครียด ซึ่งส่งผลกระทบต่อกุญแจของเลี้ยงจะแปรผันโดยตรงต่ออัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยงด้วย นอกจากนี้กิจกรรมเพาะเลี้ยงปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงยังก่อให้เกิดน้ำเสียที่ก่อระบายน้ำออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเท่ากับ 4,157,480 ลิตร และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำในแม่น้ำน้อยอย่างยิ่งโดยเฉพาะกิจกรรมการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ปล่อยน้ำเสียออกสู่แม่น้ำน้อยโดยไม่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย (2,076,850 ลิตร) ทั้งยังสร้างความกังวลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพน้ำแก่ประชาชนที่อาศัยในบริเวณแม่น้ำน้อย

การประเมินวิวัฒน์เตอร์ฟุตพรินท์ของการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงมีค่ารวมเท่ากับ 4,460.77 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพรินท์ของกิจกรรมประมงในประเทศไทย โดยการศึกษาของ Yuan, Q. et al. [18] ที่รายงานปริมาณวิวัฒน์เตอร์ฟุตพรินท์ บลูอว์เตอร์ฟุตพรินท์ กรณีวิวัฒน์เตอร์ฟุตพรินท์ และเกริญ์วอเตอร์ฟุตพรินท์มีค่าเท่ากับ 3,110 740 1,930 และ 440 ลิตร/ผลผลิต 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาข้อมูลความต้องการใช้น้ำในฟาร์มเพาะเลี้ยงพบว่า กิจกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณมาก สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Merino, G. et al. [9] และ Vanham, D. et al. [3] ที่สรุปว่ากิจกรรมภาคเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการประมงมีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณมาก โดยเฉพาะกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำ และขั้นตอนการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแต่ละชนิด ซึ่งควรให้ความสำคัญและเร่งทำการศึกษาวิวัฒน์เตอร์ฟุตพรินท์ในสัตว์น้ำเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ เพื่อให้สามารถแนวทางลดการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน [19] - [20] นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นในกิจกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณอาหารที่สัตว์น้ำควรบริโภคในแต่ละช่วงอายุ ซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักตัวของสัตว์น้ำ และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ตามอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำชนิดนั้น ๆ [21] - [22]

ดังนั้นการพิจารณาในเชิงผลกระทบต่อความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำตลอดกระบวนการผลิตอาหารประเภทเนื้อปลาทับทิมสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบการดำเนินกิจกรรมของฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิมในพื้นที่อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณสูง (4,219,780 ลิตร) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตปลาทับทิมที่จับได้เพียง 4,026 กิโลกรัม/ไร่/ปี ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการขาดของน้ำอเลี้ยงที่ค่อนข้างเล็กทำให้อัตราการปล่อยปลาทับทิมต่อพื้นที่เพาะเลี้ยงค่อนข้างน้อยในบางฟาร์มเพาะเลี้ยง ขณะที่ข้อมูลจากผลสำรวจฟาร์มเพาะเลี้ยงบางฟาร์มกลับพบอัตราการปล่อยปลาทับทิมต่อพื้นที่เพาะเลี้ยงค่อนข้างหนาแน่น ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการระดับความชื้นของปลาทับทิมเมื่อถึงระยะของการเก็บเกี่ยวผลผลิต ขณะเดียวกันการปล่อยปลาทับทิมในอัตราที่หนาแน่นนั้นย่อมแปรผันโดยตรงต่อความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องหาแนวทางในการลดปริมาณน้ำอุ่นต่อฟาร์มที่ของกระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิมจากกระบวนการเพาะเลี้ยงในฟาร์ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะของการเลี้ยงปลาทับทิมในบ่ออดินด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงปลาทับทิมเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ เช่น การพิจารณาความหนาแน่นของปลาทับทิมต่อพื้นที่ของบ่อเลี้ยง การบริหารจัดการระบบบ้าน้ำภายในฟาร์ม การควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงในแต่ละฤดูกาล การกำหนดปริมาณการให้อาหารสัตว์น้ำที่เหมาะสม เป็นต้น เพื่อลดความถี่ของการเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการเลี้ยงปลาทับทิม ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรมีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในส่วนนี้ลดน้อยลงและยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณน้ำอุ่นต่อฟาร์มที่

นอกจากนี้เกษตรกรควรหมั่นตรวจสอบคุณภาพน้ำภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถวางแผนการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสม ขณะเดียวกันควรมีการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้สามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาหมุนเวียนใช้ประโยชน์ภายในฟาร์มเพาะเลี้ยงอีกด้วย โดยเฉพาะความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในกิจกรรมการเปลี่ยนถ่ายน้ำหรือการเติมน้ำเข้าสู่บ่อเลี้ยง จากกิจกรรมการคัดแยกขนาดและการคัดแยกเศษปลาทับทิม ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้ทรัพยากรน้ำค่อนข้างสูง และยังเป็นการลดปริมาณน้ำทึบที่จะถูกระบายนอกกลุ่มหลังน้ำธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินความเหมาะสมของปริมาณทรัพยากรน้ำหรือพื้นที่เลี้ยงต่ออัตราการปล่อยปลาทับทิม ซึ่งแนวทางดังกล่าวข้างต้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ ได้ โดยการใช้ฐานข้อมูลการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่เหมาะสม

## บทสรุป

การประเมินว่าเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดกระบวนการผลิตเนื้อปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงจำนวน 60 ฟาร์ม ในพื้นที่อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีผลรวมเท่ากับ 4,460.77 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม ซึ่งจำแนกออกเป็นปริมาณบลูว์เตอร์ฟุตพริ้นท์ (4,213.48 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม) และปริมาณเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (247.29 ลิตร/ปลาทับทิม 1 กิโลกรัม) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมประมาณดังกล่าวล้วนมีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณสูง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตปลาทับทิมที่ได้จากการเพาะเลี้ยง สืบเนื่องจากรูปแบบการบริหารจัดการฟาร์มเพาะเลี้ยงของเกษตรกรที่ยังขาดข้อมูลพื้นฐานด้านปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาทับทิม ดังนั้นผลการศึกษาปริมาณว่าเตอร์ฟุตพริ้นท์ในครั้งนี้จะสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นที่ต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบการเพาะเลี้ยงปลาทับทิมในบ่ออดิน โดยการแนะนำ

และส่งเสริมให้เกษตรกรรมมีการวางแผนและพิจารณาความเหมาะสมสมด้านการบริหารจัดการฟาร์มเพาะเลี้ยงที่มีการใช้ทรัพยากรน้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ การเลือกชนิดของสตัตว์น้ำ การออกแบบขนาดบ่อเลี้ยง การคำนวณปริมาณทรัพยากรน้ำที่เหมาะสมต่อการเติมในบ่อเลี้ยงในแต่ละกิจกรรม เทคนิคการคำนวณความหนาแน่นของสตัตว์น้ำที่เลี้ยงต่อขนาดบ่อเลี้ยงหรือปริมาณน้ำภายในบ่อเลี้ยง ชนิดและปริมาณการให้อาหารสตัตว์น้ำ ระยะเวลาเลี้ยง การจัดการฟาร์มและระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งจะช่วยลดปริมาณทรัพยากรน้ำที่จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตอาหารประเภทเนื้อปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงลงได้

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ประจำปีงบประมาณ 2559

### References

- [1] Office of Agricultural Economics. (2016). **Marketing and Potential of Nile Tilapia Production.** Bureau of Agricultural Economics Research, Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- [2] Fisheries Development Policy and Strategy Division. (2017). **Fisheries Statistics of Thailand 2015.** Ministry of Agriculture and Cooperatives: Department of Fisheries.
- [3] Vanham, D., Hoekstra, A. Y., and Bidoglio, G. (2013). Potential Water Saving Through Changes in European Diets. **Environment International.** Vol. 61, pp. 45-56. DOI: 10.1016/j.envint.2013.09.011
- [4] Polomski, R. F., Bielenberg, D. G., Whitwell, T., Taylor, M. D., Bridges, W. C. and Klaine, S. J. (2008). Differential Nitrogen and Phosphorus Recovery by Five Aquatic Garden Species in Laboratory-Scale Subsurface-Constructed Wetlands. **Hort Science.** Vol. 43, No. 3, pp. 868-874
- [5] FAO. (2012). **The State of World Fisheries and Aquaculture.** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- [6] Hoekstra, A. Y. and Chapagain, A. K. (2008). **Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources.** Oxford: Blackwell
- [7] Aldaya, M. M., Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., and Mekonnen, M. M. (2011). **The Water Footprint Assessment Manual.** Cornwall, UK: T.J. International Ltd.
- [8] Boulay, Anne-Marie, Hoekstra, A. Y., and Vionnet, S. (2013). Complementarities of Water-Focused Life Cycle Assessment and Water Footprint Assessment. **Environmental Science & Technology.** Vol. 47, Issue 21, pp. 11926-11927. DOI: 10.1021/es403928f

- [9] Merino, G., Barange, M., Blanchard, J. L., Harle, J., Holmes, R., Allen, I., Allison, E. H., Badjeck, M. C., Dulvy, N. K., Holt, J., Jennings, S., Mullon, C., and Rodwell, L. D. (2012). Can Marine Fisheries and Aquaculture Meet Fish Demand from a Growing Human Population in a Changing Climate?. **Global Environmental Change**. Vol. 22, Issue 4, pp. 795-806. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2012.03.003
- [10] Vanham, D., Mak, T. N., and Gawlik, B. M. (2016). Urban Food Consumption and Associated Water Resources: The Example of Dutch Cities. **Science of the Total Environment**. Vol. 565, pp. 232-239. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.172
- [11] Krejcie, R. V. and Morgan, E. W. (1970). Determining Sample Size for Research Activities. **Educational and Psychological Measurement**. pp. 607-610. DOI: 10.1177/001316447003000308
- [12] Yamane, T. (1973). **Mathematics for Economists: An Elementary Survey**. (2<sup>nd</sup> ed). New Delhi: Prentice-Hall.
- [13] Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H. G., and Gautam, R. (2006). The Water Footprint of Cotton Consumption: An Assessment of the Impact of Worldwide Consumption of Cotton Products on the Water Resources in the Cotton Producing Countries. **Ecological Economics**. Vol. 60, Issue 1, pp. 186-203. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.11.027
- [14] Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., and Mekonnen, M. M. (2011). **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard**. Water Footprint Network: The Netherlands
- [15] The Regional Environment Office 13 (Chonburi). (2017). **Guide to The Environmental Quality Standards**. Environmental Quality Control: Ministry of Natural Resources and Environment.
- [16] Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. (2011). The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crop and Derived Crop Product. **Hydrology and Earth System Sciences**. Vol. 15, Issue 5, pp. 1577-1600. DOI: 10.5194/hess-15-1577-2011
- [17] Rong, H., Li, G., and Zhang, J. (2013). Construction of Demonstration Aquaculture Farms Backed up by Regional Resources Advantage. **Hebei Fish**. Vol. 230, pp. 56-57
- [18] Yuan, Q., Song, G., Fullana-i-Palmer, P., Wang, Y., Semakula, H. M., Mekonnen, M. M., and Zhang, S. (2017). Water Footprint of Feed Required by Farmed Fish in China Based on a Monte Carlo-Supported Von Bertalanffy Growth Model: A Policy Implication. **Journal of Cleaner Production**. Vol. 153, pp. 41-50. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.134
- [19] Gjedrem, T., Robinson, N., and Rye, M. (2012). The Importance of Selective Breeding in Aquaculture to Meet Future Demands for Animal Protein: A Review. **Aquaculture**. Vol. 350, pp. 117-129. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.04.008
- [20] Hess, T., Andersson, U., Mena, C., and Williams, A. (2015). The Impact of Healthier Dietary Scenarios on the Global Blue Water Scarcity Footprint of Food Consumption in the UK. **Food Policy**. Vol. 50, pp. 1-10. DOI: 10.1016/j.foodpol.2014.10.013

- [21] Verdegem, M. C. J. and Bosma, R. H. (2009). Water Withdrawal for Brackish and Inland Aquaculture, and Options to Produce more Fish in Ponds with Present Water Use. **Water Policy**. Vol. 11, Issue S1, pp. 52-68. DOI: 10.2166/wp.2009.003
- [22] Pahlow, M., van Oel, P. R., Mekonnen, M. M., and Hoekstra, A. Y. (2015). Increasing Pressure on Freshwater Resources due to Terrestrial Feed Ingredients for Aquaculture Production. **Science of the Total Environment**. Vol. 536, pp. 847-857. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.07.124



ระดับความเข้มของผ้าฝ้าย้อมสีครามธรรมชาติกับการป้องกันรังสี UV

## Intensity of Natural Indigo Dyed Cotton Fabrics with UV Protection

อ้อยพิพิญ พุพัฒน์<sup>1\*</sup>

Received: November, 2015; Accepted: January, 2018

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้คือ 1) ศึกษาลักษณะโครงสร้าง สมบัติทางกายภาพ และค่าลีของผ้าฝ้าย้อมสีครามธรรมชาติที่มีระดับความเข้มของลีต่างกัน 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันรังสี UV ของผ้าจาก การย้อมผ้าฝ้ายทอลายริบด้วยพุ่ง โดยย้อมผ้าฝ้ายด้วยอุ่น 3 ชุด ตามจำนวนการย้อมช้ำ (1 5 และ 9 ครั้ง) และนำแต่ละชุดมาทดสอบจำนวนเล็บด้วย ความหนา การซึมผ่านของอากาศ วัดค่าลี และวัดผลการป้องกันรังสี UV พนบว่าผ้าตัวอย่างที่มีระดับความเข้มของลีต่างกัน มีจำนวนเล็บด้วยยืน และความหนาใกล้เคียงกัน มีจำนวนเล็บด้วยพุ่งแตกต่างกันเล็กน้อย เช่นเดียวกับค่าการซึมผ่านของอากาศ ขณะที่ค่าลีของผ้าตัวอย่างมีลักษณะเข้มและสดใส มีค่า  $L^*$  ลดลงเมื่อจำนวนครั้งของการย้อมช้ำที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพในการป้องกันรังสี UV อยู่ที่ระดับเดียว นอกจากนี้พบว่าจำนวนครั้งของการย้อมช้ำ มีผลต่อค่า UV-A transmittance % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีผลต่อค่า UV-B transmittance %, UV-A blockage % และ UV-B blockage % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ : ผ้าฝ้าย; สีครามธรรมชาติ; รังสี UV

<sup>1</sup> Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani

\* Corresponding Author E - mail Address: pupat\_o@rmutt.ac.th

## Abstract

The objectives of this research are the following 1) study fabrics structures, physical properties and color values of natural indigo dyed cotton fabric with different color intensity and 2) compare the effectiveness in UV protection of the fabrics samples. The experimental dying of filling rib with natural indigo at different dyeing repeats (1, 5 and 9 times) was then measured for thread count, fabric thickness, air permeability, color values and effectiveness in UV protection. It was found that the fabrics samples with similar warp yarns per inch and thickness, slightly different form filling yarns per inch but much different air permeability. Concerning the color values, it was found that the fabrics samples had quite dark and bright blue color; the L\* value decreased when the number of repeated dyeing increased. The effectiveness in UV protection of the tested fabrics were at very good levels. Moreover, it was found that the numbers of repeated dyeing significantly affected the UV-A transmittance % at the 0.01 level and affected the UV-B transmittance %, the UV-A blockage % and the UV-B blockage % at the 0.05 level.

**Keywords:** Cotton Fabrics, Natural Indigo, Ultraviolet (UV);

## บทนำ

ในการดำรงชีวิตประจำวัน มนุษย์ไม่สามารถหลีกเลี่ยงรังสีอัลตราไวโอเลตจากแสงแดดได้ รังสีอัลตราไวโอเลต หรือรังสีบูร์ (Ultraviolet Radiation or UV) เป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแสงที่มองเห็นได้กับ รังสีเอ็คซ์ ซึ่งประกอบด้วย อัลตราไวโอเลตเอ (UV-A) มีช่วงความยาวคลื่น 315 - 380 นาโนเมตร อัลตราไวโอเลตบี (UV-B) มีช่วงความยาวคลื่น 280 - 315 นาโนเมตร และอัลตราไวโอเลตซี (UV-C) มีช่วงความยาวคลื่น 100 - 280 นาโนเมตร [1] รังสีบูร์สามารถทำปฏิกิริยาเคมีที่ผิวหนัง ทำให้เกิดประกายชัน และโทษต่อมนุษย์ การได้รับรังสีบูร์จะช่วยลดการเกิดโรคติดเชื้อ แต่ถ้าได้รับในปริมาณที่สูงมากเกินไป จะทำให้ดวงตาและผิวหนังถูกทำลายอย่างเฉียบพลัน [2] ปัจจุบันมนุษย์ต้องเผชิญกับแสงบูร์มากขึ้นทุกวัน ถ้าร่างกายมนุษย์ได้รับแสงแดดมากเกินไปก็จะทำให้เกิดอันตรายได้ คือ ทำให้ผิวหนังแสบร้อน แดง (Erythema) ผิวหนังไหม้ (Sun Burn) มีร่องรอยก่อนวัยอันควร (Skin Ageing) สายตาเสื่อม และร้ายแรงที่สุด คือเป็นมะเร็งผิวหนัง [3] กล่าวว่า มะเร็งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับต้น ๆ ของคนไทยอยู่ละ 5 ของมะเร็งที่พบทั้งหมด คือ มะเร็งผิวหนัง มีสาเหตุสำคัญมาจากการที่ผิวหนังได้รับแสงอัลตราไวโอเลต หรือรังสีบูร์เป็นเวลานาน ๆ ซึ่งการป้องกันมะเร็งผิวหนังสามารถทำได้โดยการสวมใส่เสื้อผ้าที่มีคิชิดและ หลีกเลี่ยงแสงแดดในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีรังสีบูร์สูงสุด

ปัจจุบันมนุษย์คำนึงถึงความปลอดภัย สุขภาพ และความสนับสนุนในการสำรวจไม่เลือกผู้มากขึ้น [4] ซึ่งสอดคล้องกับ [5] ที่อธิบายไว้ว่าถึงแม้วรังสีบูร์จะมีอันตรายต่อมนุษย์มากเพียงใดมนุษย์ก็ยังปักป้องตนเอง

จากอันตรายเหล่านี้ได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น สูมไส่เลือดผ้าให้มิดชิด ทาผิวด้วยครีมกันแดด หรือใส่แวนตาภันแดด วัสดุเหล่านี้ต่างมีความสามารถป้องกันรังสียูวีได้โดยการซ่อนคุ้งขับรังสียูวีไว หรือสะท้อนออกไป [6] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ [7] ที่พบว่าการย้อมด้วยสีธรรมชาติช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้าย ผ้าย้อมสีธรรมชาตินางสีสามารถป้องกันรังสียูวีได้ ผ้าลีเช็มจะป้องกันรังสียูวีได้ดีกว่าผ้าลีอ่อน และในบรรดาสีย้อมจากธรรมชาติ สีจากต้นครามเป็นสีที่ได้รับความนิยมจนได้รับการยอมรับว่าเป็นราชาแห่งสีย้อม เพราะให้ลีเช็ม ติดทน ไม่ต้องใช้สารช่วยติด [8] ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับผลการศึกษาประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ พนว่าผ้าฝ้ายย้อมสีครามธรรมชาติ มีประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีได้มาก จนถึงดีเยี่ยม [9]

การใช้สีย้อมธรรมชาติในประเทศไทยมีนานา ลิ้ย้อมธรรมชาติที่ใช้ล้วนใหญ่เป็นสีที่ลักษณะเดียวกัน เนื้อไม้ เปลือกไม้ ใน ราก และผลของพืช มีวิธีย้อมแตกต่างกัน [10] และมีสมบัติทางด้านความคงทนของสีแตกต่างกันด้วย [11] ปัจจุบันมีการใช้สีย้อมธรรมชาติตามก้าวขั้น เนื่องจากการคำนึงถึงความปลอดภัยในสุขภาพ และการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของสีธรรมชาติ [12] นอกจากนี้ผ้าย้อมสีธรรมชาติยังมีคุณสมบัติพิเศษอื่น ๆ อาทิ ผ้าย้อมสีเปลือกมังคุดสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดี [13]

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายย้อมสีครามธรรมชาติ ที่มีระดับความเข้มแตกต่างกันตามจำนวนครั้งของการย้อมซ้ำที่ต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาสีผ้าป้องกันรังสียูวีจากผ้าย้อมครามต่อไป

## วัตถุประสงค์การวิจัย

- ศึกษาลักษณะโครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้ายย้อมสีครามธรรมชาติที่มีจำนวนครั้งในการย้อมซ้ำต่างกัน
- ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติที่มีจำนวนครั้งของการย้อมซ้ำต่างกัน

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. อุปกรณ์และวิธีการ

#### 1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ผ้าตัวอย่าง คือ ผ้าฝ้าย 100 เปอร์เซ็นต์ ทอจากด้ายฝ้ายเบอร์ 20/1 ทั้งแนวด้ายพุง และแนวด้ายยืน ทอลายริบด้ายพุง (Filling Rib Weave) ด้วยเครื่องจักที่ใช้ในการทอผ้าตัวอย่างลีယ้อมที่ใช้สำหรับย้อมผ้าตัวอย่าง คือ แป้งครามธรรมชาติที่ได้จากการหมัก โดยมีกรรมวิธีดังนี้ มัดกิ่งและใบของต้นครามที่เก็บได้เป็นกำ นำไปบรรจุในภาชนะที่มีฝาปิด ให้มีปริมาณ 3 ใน 4 ส่วนของภาชนะ เดิมน้ำสะอาดให้ท่วมฟ่อนกิ่งและใบของต้นคราม แข็งตัวไว้ 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามกำหนดเวลาแล้ว แยกเอาฟ่อนของกิ่งและใบของต้นครามและเศษต่าง ๆ ทิ้ง ให้เหลือแต่ส่วนที่เป็นน้ำ เดิมน้ำปูนแดงหรือปูนขาว กวนแรง ๆ ในขณะที่เติมน้ำปูนให้เกิดฟองมาก ๆ เพื่อจะได้เนื้อคราม (Indigo Cake) มากขึ้น ปล่อยให้ตกตะกอนแล้วrinน้ำทิ้ง เหลือเฉพาะแป้งคราม (ลักษณะเป็นโคลน)

การก่อหมอคราม เป็นการเตรียมสารละลายสีย้อมคราม ตามสูตรหรือวิธีการ ในสัดส่วนที่พอเทมาะ ดังนี้

เนื้อคราม (แป้งคราม)	500	กรัม
น้ำด่าง	2	ลิตร
น้ำขาวข้าว	4	ลิตร
มะขามน้ำเงี้ยว	200	กรัม / น้ำ 2 ลิตร
ปูน	500	กรัม

#### 1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.2.1 อุปกรณ์สำหรับทดสอบผ้าตัวอย่าง ประกอบด้วย เครื่องลงแป้งเล้นด้วย เครื่องสีบเล้นด้วยยืน และเครื่องทดสอบผ้าตัวอย่าง

1.2.2 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบความถูกต้องและการย้อมสี ประกอบด้วย ถังมีฝาปิด หมอตันขัน ส้อมกวนคราม และตะแกรงกรองคราม

1.2.3 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบลักษณะโครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของผ้าตัวอย่าง ประกอบด้วย เครื่องทดสอบจำนวนเส้นด้ายต่อนิ้ว เครื่องทดสอบความหนา และเครื่องทดสอบการซึมผ่านของอากาศ

1.2.4 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบสีของผ้าตัวอย่าง ประกอบด้วย เครื่องทดสอบการซัก เครื่องทดสอบแสง และเครื่องวัดค่าสี

1.2.5 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบค่าการป้องกันรังสีuv

#### 1.3 วิธีย้อมผ้าตัวอย่าง

ในการย้อมผ้าตัวอย่างด้วยสีครามธรรมชาติ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.3.1 เตรียมน้ำย้อมหรือการก่อหมอคราม โดยใช้เนื้อครามประมาณ 1 ถ้วยน้ำพริกหรือ 1 กะลามะพร้าว (ตามกรรมวิธีของคนโบราณ) และเติมน้ำด่าง (เตรียมได้จากการเผาหัวกล้วยก้านมะพร้าว แล้วนำถ้าที่ได้มาล่ำลายน้ำ) ปริมาณ 1 ลิตร กวณล่วงผสมให้เข้ากัน เมื่อครั้งชั้นเด่นลีที่ได้จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวแกมเหลือง

1.3.2 ย้อมผืนผ้า ทำโดยการจุ่มผืนผ้าที่ผ่านการฝ่ายแล้ว (ทุบให้นุ่ม) ลงในหม้อน้ำย้อม ใช้มือบีบผ้าที่อยู่ในน้ำย้อมเลื่อนไปมาให้ทั่วทั้งผืนผ้า ลังเกต้น้ำย้อมจะใสขึ้น สีเหลืองจากลง สีเขียวเข้มขึ้น จึงยุติการย้อม บีบผืนผ้าให้หมดและตากเพื่อให้ผืนผ้าสัมผัสอากาศให้มากที่สุด สีที่ได้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินย้อมช้ำในน้ำครามหมออื่นให้ครบตามจำนวนครั้งที่กำหนด

#### 1.4 การทดสอบลักษณะโครงสร้าง สมบัติทางกายภาพ และสีของผ้าทดลอง

1.4.1 การทดสอบจำนวนเส้นด้ายต่อนิ้ว (Yarns Per Inch) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 7211-2 : 1984 (E) โดยใช้เครื่องทดสอบ James H Heal & Co Ltd.

1.4.2 การทดสอบความหนาของผ้า (Fabric Thickness) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 5084:1996 (E) โดยใช้เครื่องทดสอบ Shirley Thickness Gauge

1.4.3 การทดสอบการซึมผ่านของอากาศ (Air Permeability) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 737 โดยใช้เครื่องทดสอบ Frazil Type Auto Air Permeability Tester (MODEL AP-360 D)

#### 1.4.4 การวัดค่าสี วัดค่า L\* a\* b\* C\* และ h\* โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer แปลผลตามระดับค่าสีมีรายละเอียด ดังนี้

ค่า L\* ใช้กำหนดค่าความสว่างของสี

ค่า a\* ใช้กำหนดค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว

ค่า b\* ใช้กำหนดค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

ค่า C\* ใช้บอกค่าความสดใสของสี

ค่า h\* ใช้ระบุว่าสีอยู่ตำแหน่งใดใน Color Space มีหน่วยเป็นองศา

#### 2. การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวี

การทดสอบค่าการป้องกันรังสียูวีของผ้าทดลอง ทดสอบตามมาตรฐาน AATCC Test Method 183-2004 โดยใช้เครื่องทดสอบ UV Penetration and Protection Measurement System : Camspec M 350 UV/Visible Spectrophotometer และพิจารณาระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวีตามเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 1 ตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference [14]

ตารางที่ 1 UV Protection Categories

<b>Australian Standard AS/NZS 4399 UV Protection Categories</b>		
UPF Range	UV Protection Categories	UVR Transmission %
15 to 24	Good Protection	6.5 - 4.2 %
25 to 39	Very Good Protection	4.1 - 2.6 %
40 to 50, 50+	Excellent Protection	< 2.5 %

ที่มา: [15]

#### ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ลักษณะโครงสร้าง สมบัติทางกายภาพ และลักษณะของผ้าตัวอย่าง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2 – 7 อธิบายดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยจำนวนเล็บด้ายต่อนิ้ว ความหนา และการซึมผ่านของอากาศของผ้าตัวอย่าง

การย้อมช้า	จำนวนเล็บด้ายต่อนิ้ว		ความหนา (มิลลิเมตร)	การซึมผ่านของอากาศ (ลบ.เซนติเมตร / วินาที/ ตารางเซนติเมตร)
	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง		
1 ครั้ง	50.35	56.85	0.60	130.75
5 ครั้ง	50.30	57.30	0.85	125.25
9 ครั้ง	49.00	55.80	0.87	123.50

จากการที่ 2 จะเห็นว่าผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีครามธรรมชาติที่มีโครงสร้างการทอลายริบ ที่ยอม 15 และ 9 ครั้ง มีจำนวนเล้นด้วยยืนและเล้นด้วยพุงใกล้เคียงกัน ผลการศึกษาขนาดความหนาพบว่า ผ้าตัวอย่างมีความหนาเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งของการย้อมช้า ผลการศึกษาการซึมผ่านของอากาศ พบร่วมกันว่า ผ้าตัวอย่างที่มีการย้อมเพียง 1 ครั้ง มีการซึมผ่านของอากาศได้มากที่สุด

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยค่า  $L^*$  ของผ้าตัวอย่างที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ

การย้อมช้า	สภาวะการทดสอบ ค่า $L^*$		
	ก่อนการซัก	หลังการซัก	หลังการอบแสง
1 ครั้ง	41.39	44.06	43.42
5 ครั้ง	25.51	31.43	26.31
9 ครั้ง	22.55	29.97	20.04

จากการที่ 3 จะเห็นว่า ค่า  $L^*$  (ระดับความมืด - ความสว่างของสี) ของผ้าตัวอย่างที่ได้มีค่าต่ำกว่า 50 ซึ่งแสดงว่าสีค่อนข้างเข้ม และมีค่าลดลงตามจำนวนครั้งของการย้อมช้า ผ้าตัวอย่างที่มีสีเข้มที่สุด คือ ผ้าที่ย้อมช้า 9 ครั้ง รองลงมาคือ ผ้าที่ย้อมช้า 5 ครั้ง และที่มีระดับความเข้มน้อยที่สุด คือ ผ้าตัวอย่างที่ย้อม 1 ครั้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยค่า  $a^*$  ของผ้าตัวอย่างที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ

การย้อมช้า	สภาวะการทดสอบ ค่า $a^*$		
	ก่อนการซัก	หลังการซัก	หลังการอบแสง
1 ครั้ง	-5.54	-0.89	-5.87
5 ครั้ง	-1.38	-0.07	-1.52
9 ครั้ง	0.31	0.21	1.15

จากการที่ 4 จะเห็นว่า ค่า  $a^*$  ของผ้าตัวอย่างที่มีการย้อม 1 และ 5 ครั้ง ในทุกสภาวะการทดสอบมีค่าเป็นลบ (-) ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเขียว ส่วนผ้าตัวอย่างที่มีสีเข้มที่สุด คือผ้าที่ย้อมช้า 9 ครั้ง ที่มีค่า  $a^*$  เป็นบวก (+) ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีแดงในทุกสภาวะการทดสอบเช่นกัน แสดงว่าสีค่อนข้างเข้ม

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยค่า  $b^*$  ของผ้าตัวอย่างที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ

การย้อมช้า	สภาวะการทดสอบ ค่า $b^*$		
	ก่อนการซัก	หลังการซัก	หลังการอบแสง
1 ครั้ง	-17.13	-23.02	-16.77
5 ครั้ง	-20.12	-22.82	-20.41
9 ครั้ง	-16.43	-22.68	-18.98

จากตารางที่ 5 จะเห็นว่า ค่า  $b^*$  ของผ้าตัวอย่างที่มีการย้อมทั้ง 3 ระดับ ในทุกสภาวะการทดสอบมีค่าเป็นลบ (-) ซึ่งแสดงถึงความเป็นลืน้ำเงิน ที่เป็นไปตามลักษณะของสีที่ได้จากการย้อมครามธรรมชาติ

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยค่า  $C^*$  ของผ้าตัวอย่างที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ

การย้อมช้า	สภาวะการทดสอบ ค่า $C^*$		
	ก่อนการซัก	หลังการซัก	หลังการอบแห้ง
1 ครั้ง	18.02	23.10	17.80
5 ครั้ง	20.17	22.89	20.51
9 ครั้ง	16.45	22.71	20.51

จากตารางที่ 6 จะเห็นว่า ค่า  $C^*$  ของผ้าตัวอย่างที่มีการย้อมทั้ง 3 ระดับ ในทุกสภาวะการทดสอบ มีค่า  $C^*$  ค่อนข้างสูง และมีค่าสูงขึ้นหลังการซัก ซึ่งแสดงว่าผ้ามีความสดใสมากขึ้น (มีความเป็นลืน้ำเงินลดมากขึ้น) แต่หลังการอบแห้งพบว่า ค่า  $C^*$  อยู่ในระดับใกล้เคียงกับผ้าตัวอย่างที่มีการย้อมทั้ง 3 ระดับ ที่ทดสอบก่อนการซัก

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยค่า  $h^*$  ของผ้าตัวอย่างที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ

การย้อมช้า	สภาวะการทดสอบ ค่า $h^*$		
	ก่อนการซัก	หลังการซัก	หลังการอบแห้ง
1 ครั้ง	252.01	267.86	250.59
5 ครั้ง	266.06	270.04	265.74
9 ครั้ง	270.89	270.53	273.69

จากตารางที่ 7 จะเห็นว่า ค่า  $h^*$  หรือค่า Hue Angle ซึ่งเป็นตัวเลขที่ใช้ระบุว่าสีมีตำแหน่งอยู่ที่ใดในกราฟ ถ้าค่า  $h^*$  เท่ากับ 0 องศา (360 องศา) แสดงว่าสีอยู่ในคำແนงสีแดง ถ้าค่า  $h^*$  เท่ากับ 90 องศา แสดงว่าสีอยู่ในคำແนงสีเหลือง ถ้าค่า  $h^*$  เท่ากับ 180 องศา แสดงว่าสีอยู่ในคำແนงสีเขียว และถ้าค่า  $h^*$  เท่ากับ 270 องศา แสดงว่าสีอยู่ในคำແนงสีน้ำเงิน จากผลที่แสดงค่า  $h^*$  ที่ได้สรุปผ้าตัวอย่าง มีสีในคำແนงสีน้ำเงิน และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกสภาวะการทดสอบ ซึ่งเป็นไปตามลักษณะสีที่ได้จากการย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ

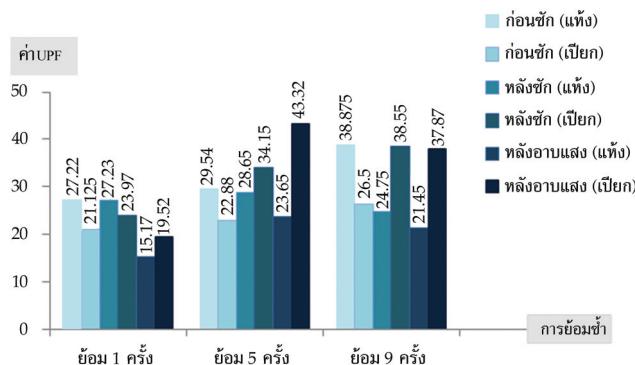
2. ประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวี ประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีของผ้าตัวอย่างแสดงในรูปที่ 1 – 5 อธิบายได้ดังต่อไปนี้

## 2.1 ผลการทดสอบค่า Ultraviolet Protection Factor (UPF) ของผ้าตัวอย่าง

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าผ้าตัวอย่างมีค่า UPF ตั้งแต่ 15.17 ถึง 43.32 เมื่อพิจารณาระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวีของผ้าตัวอย่าง พบร่วมกับผ้าที่ย้อม 1 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวีในสภาวะแห้งหลังการอบแห้ง มีค่า UPF ต่ำที่สุด (15.17) ซึ่งอยู่ในระดับดี ในขณะที่

การทดสอบในสภาวะแห้งของผ้าตัวอย่างก่อนการซักมีค่า UPF สูงที่สุด (27.22) ชี้อยู่ในระดับดีมาก ส่วนผ้าตัวอย่างที่ย้อมช้า 5 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสีบูร์ในสภาวะเปียกก่อนการซัก มีค่า UPF ต่ำที่สุด (20.60) ชี้อยู่ในระดับดี ในขณะที่การทดสอบในสภาวะแห้งของผ้าตัวอย่าง หลังการอบแห้งมีค่า UPF สูงที่สุด (43.22) ชี้อยู่ในระดับดีเยี่ยม และผ้าตัวอย่างที่ย้อมช้า 9 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสีบูร์ในสภาวะแห้งหลังการอบแห้งมีค่า UPF ต่ำที่สุด (21.45) ชี้อยู่ในระดับดี ในขณะที่การทดสอบในสภาวะแห้งก่อนการซักมีค่า UPF สูงที่สุด (38.87) ชี้อยู่ในระดับดีมาก โดยพบว่าค่า UPF มีความใกล้เคียงกับการทดสอบที่สภาวะเปียกหลังการซักและหลังการอบแห้ง

จำนวนครั้งของการย้อมช้า (ระดับความเข้มของลี) พบร่วมกับไม่มีผลต่อค่า UPF ที่ทดสอบก่อนซักทั้งในสภาวะแห้งและเปียก แต่จำนวนครั้งของการย้อมช้า (ระดับความเข้มของลี) พบร่วมกับมีผลต่อค่า UPF ที่ทดสอบหลังการซักและหลังการอบแห้ง ทั้งในสภาวะแห้งและเปียกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01



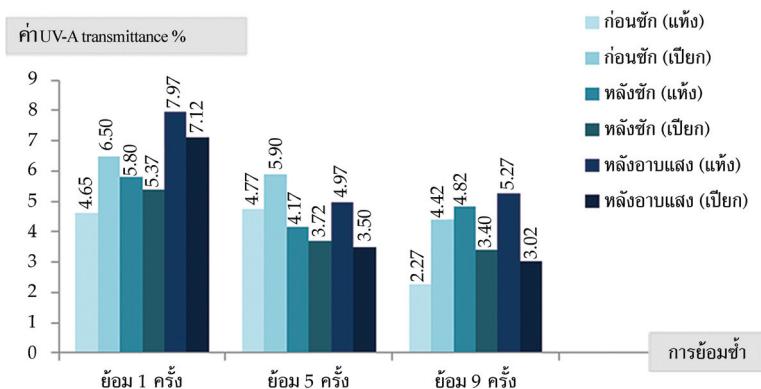
รูปที่ 1 ค่า UPF ของผ้าตัวอย่างที่ทดสอบก่อนซัก หลังซัก และหลังอบแห้ง

## 2.2 ผลการทดสอบค่า UV-A transmittance % ของผ้าตัวอย่าง

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าผ้าตัวอย่างมีค่า UV-A transmittance % อยู่ระหว่าง 2.27 ถึง 7.97 เมื่อพิจารณาระดับความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีบูร์ (UV-A) ของผ้าตัวอย่างพบว่าผ้าที่ย้อม 1 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีบูร์ในสภาวะแห้งหลังการอบแห้งมีค่า UV-A transmittance % สูงที่สุด (7.97) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีบูร์ได้ต่ำที่สุด เพราจะยอมให้รังสีบูร์ทะลุผ่านผ้าได้มากที่สุด ในขณะที่การทดสอบในสภาวะแห้งของผ้าหลังลอกก่อนการซักมีค่า UV-A transmittance % น้อยที่สุด (4.65) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีบูร์ได้ดี เพราจะยอมให้รังสีบูร์ทะลุผ่านผ้าได้ต่ำที่สุดของทดสอบในสภาวะอื่น ๆ ส่วนผ้าตัวอย่างที่ย้อมช้า 5 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีบูร์ ในสภาวะเปียกก่อนการซัก มีค่า UV-A transmittance % สูงที่สุด (5.90) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีบูร์ได้ต่ำที่สุด เพราจะยอมให้รังสีบูร์ทะลุผ่านผ้าได้มากที่สุด ในขณะที่การทดสอบในสภาวะเปียกหลังการอบแห้งของผ้าตัวอย่าง มีค่า UV-A transmittance % น้อยที่สุด (3.50) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีบูร์ได้ดี เพราจะยอมให้รังสีบูร์ทะลุผ่านผ้าได้ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบในสภาวะอื่น ๆ และผ้าตัวอย่างที่ย้อมช้า

9 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอในสภาวะแห้งหลังการอบแห้ง มีค่า UV-A transmittance % สูงที่สุด (5.27) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอได้ดีที่สุด เพราะยอมให้รังสียูวีเอทะลุผ่านผ้าได้มากที่สุด ในขณะที่การทดสอบในสภาวะแห้งก่อนการซักของผ้าตัวอย่างมีค่า UV-A transmittance % น้อยที่สุด (2.27) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอได้ดี เพราะยอมให้รังสียูวีเอทะลุผ่านผ้าได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบในสภาวะอื่น ๆ

จำนวนครั้งของการซ้อมช้ำ (ระดับความเข้มของลี) พบว่า มีผลต่อค่าระดับความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอ (UV-A) ของผ้าตัวอย่าง เมื่อทดสอบในสภาวะแห้งหลังการซักอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ส่วนการทดสอบก่อนการซักทั้งในสภาวะแห้งและเปียก หลังการซักในสภาวะเปียก และหลังการอบแห้งทั้งในสภาวะแห้งและเปียก มีผลต่อค่า UV-A transmittance % อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01



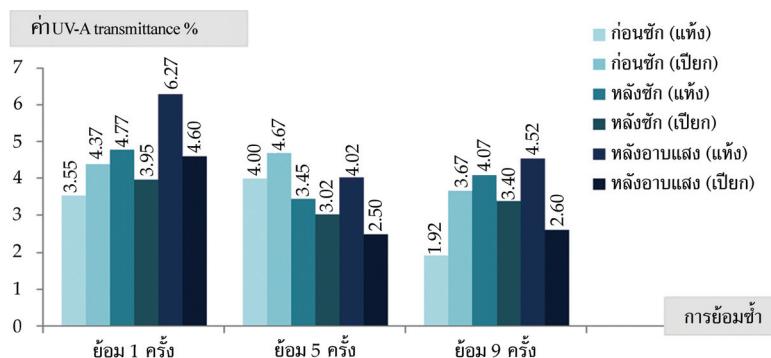
รูปที่ 2 ค่า UV-A transmittance % ที่ทดสอบก่อนซัก หลังซัก และหลังอบแห้ง

### 2.3 ผลการทดสอบค่า UV-B transmittance % ของผ้าตัวอย่าง

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าผ้าตัวอย่างมีค่า UV-B transmittance % อยู่ระหว่าง 1.92 ถึง 6.27 เมื่อพิจารณาระดับความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีบี (UV-B) ของผ้าตัวอย่างพบว่าผ้าที่ย้อม 1 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีบีในสภาวะแห้งหลังการอบแห้งมีค่า UV-B transmittance % สูงที่สุด (6.27) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีบีได้มากที่สุด ในขณะที่การทดสอบในสภาวะแห้งของผ้าตัวอย่างก่อนการซักมีค่า UV-B transmittance % น้อยที่สุด (3.55) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีบีได้ดี เพราะยอมให้รังสียูวีบีทะลุผ่านผ้าได้ดีที่สุดกว่าการทดสอบในสภาวะอื่น ๆ ส่วนผ้าตัวอย่างที่ย้อมช้ำ 5 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีบีในสภาวะเปียกก่อนการซัก มีค่า UV-B transmittance % สูงที่สุด (4.67) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีบีได้ดีที่สุด เพราะยอมให้รังสียูวีบีทะลุผ่านผ้าได้มากที่สุด ในขณะที่การทดสอบในสภาวะเปียกหลังการอบแห้งของผ้าตัวอย่าง มีค่า UV-B transmittance % น้อยที่สุด (2.50) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถ

ในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีuvบีไดคี เพื่อประเมินให้รังสีuvบีทะลุผ่านผ้าได้ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบ กับการทดสอบในสภาวะอื่น ๆ และผ้าตัวอย่างที่ย้อมช้ำ 9 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกัน การทะลุผ่านของรังสีuvบีในสภาวะแห้งหลังการอบแห้งมีค่า UV-B transmittance % สูงที่สุด (5.52) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีuvบีได้ต่ำที่สุด เพื่อประเมินให้รังสีuvบีทะลุผ่านผ้าได้มากที่สุด ในขณะที่การทดสอบในสภาวะแห้งก่อนการซักของผ้าตัวอย่าง มีค่า UV-B transmittance % น้อยที่สุด (1.92) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกัน การทะลุผ่านของรังสีuvบีไดคี เพื่อประเมินให้รังสีuvบีทะลุผ่านผ้าได้ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบ ในสภาวะอื่น ๆ

จำนวนครั้งของการย้อมช้ำ (ระดับความเข้มของลี) พบว่า มีผลต่อค่าระดับความสามารถ ใน การป้องกันการทะลุผ่านของรังสีuvบี (UV-B) ของผ้าตัวอย่าง เมื่อทดสอบก่อนการซักทึ้งในสภาวะแห้ง และเปรียกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เช่นเดียวกับการทดสอบหลังการอบแห้งทึ้งในสภาวะแห้งและ เปรียกพบว่า จำนวนครั้งของการย้อมช้ำมีผลต่อค่า UV-B transmittance % อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 แต่การทดสอบหลังการซักทึ้งในสภาวะแห้งและเปรียกโดยพบว่า จำนวนครั้งของการย้อมช้ำไม่มีผลต่อ ค่า UV-B transmittance %

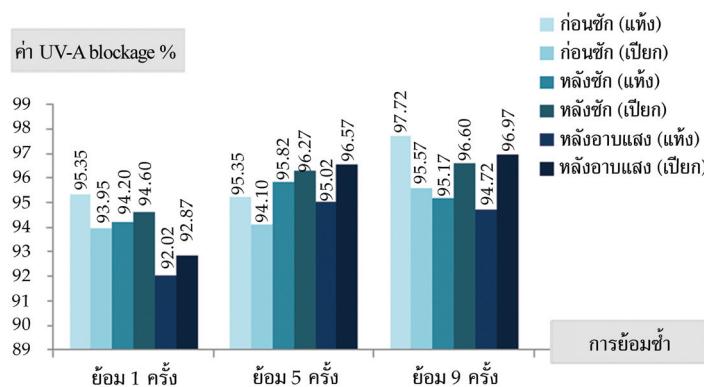


รูปที่ 3 ค่า UV-B transmittance % ที่ทดสอบก่อนซัก หลังซัก และหลังอบแห้ง

#### 2.4 ผลการทดสอบค่า UV-A blockage % ของผ้าตัวอย่าง

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าผ้าตัวอย่างมีค่า UV-A blockage % อยู่ระหว่าง 92.02 ถึง 97.72 เมื่อพิจารณาระดับความสามารถในการบล็อกรังสีuvเอ (UV-A) ของผ้าตัวอย่างพบว่า ผ้าที่ย้อม 1 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการบล็อกรังสีuvเอมีค่า UV-A blockage % อยู่ในระดับดี ในการทดสอบก่อน และหลังการซักทึ้งในสภาวะแห้งและเปรียก แต่การทดสอบหลังการอบแห้ง พบว่ามีค่า UV-A blockage % อยู่ในระดับพอใช้ ซึ่งมีความหมายว่าผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการบล็อกรังสีuvเอได้น้อยที่สุด ส่วนผ้าตัวอย่าง ที่ย้อมช้ำ 5 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการบล็อกรังสีuvเอมีค่า UV-A blockage % อยู่ในระดับดี และดีมาก โดยพบว่าที่การทดสอบหลังการอบแห้งในสภาวะเปรียกมีค่า UV-A blockage % สูงสุด (96.57) มีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการบล็อกรังสีuvเอได้ดีที่สุด ส่วนผ้าตัวอย่างที่ย้อมช้ำ 9 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการบล็อกรังสีuvเอมีค่า UV-A blockage % อยู่ในระดับดี ดีมาก และดีเยี่ยม โดยพบว่าที่การทดสอบก่อนการซักในสภาวะแห้งมีค่า UV-A blockage % สูงสุด (97.72) มีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการบล็อกรังสีuvเอได้ดีที่สุด

จำนวนครั้งของการย้อมช้ำ (ระดับความเข้มของลี) พบว่า มีผลต่อค่าระดับความสามารถในการบล็อกรังสีuvวีของผ้าตัวอย่าง เมื่อทดสอบก่อนการซักในสภาวะแห้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และในสภาวะเปียกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 เช่นเดียวกับการทดสอบหลังการอาบแสลงทั้งในสภาวะแห้งและเปียก และการทดสอบหลังการซักในสภาวะเปียกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 และมีเพียงการทดสอบหลังการซักในสภาวะแห้งเท่านั้นที่พบว่าจำนวนครั้งของการย้อมช้ำ (ระดับความเข้มของลี) ไม่มีผลต่อค่าระดับความสามารถในการบล็อกรังสีuvวีของผ้าตัวอย่าง

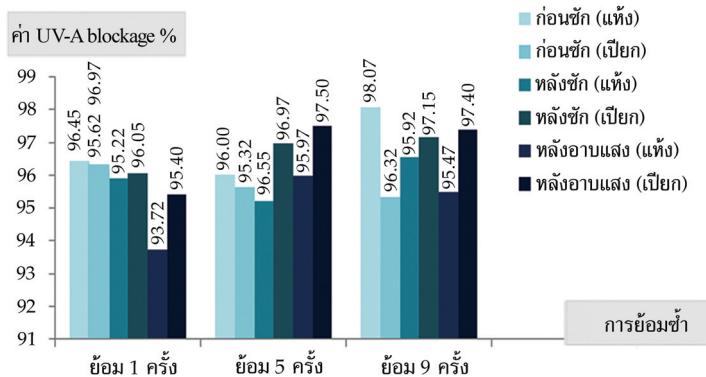


รูปที่ 4 ค่า UV-A blockage % ที่ทดสอบก่อนซัก หลังซัก และหลังอาบแสลง

## 2.5 ผลการทดสอบค่า UV-B blockage % ของผ้าตัวอย่าง

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าผ้าตัวอย่างมีค่า UV-B blockage % อยู่ระหว่าง 93.72 ถึง 98.07 เมื่อพิจารณาระดับความสามารถในการบล็อกรังสีuvวี (UV-B) ของผ้าตัวอย่าง พบว่าผ้าที่เย็บ 1 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการบล็อกรังสีuvวีมีค่า UV-B blockage % อยู่ในระดับดี และดีมาก โดยการทดสอบก่อนซักในสภาวะแห้งมีค่า UV-B blockage % สูงสุด (96.45) ซึ่งมีความหมายว่าผ้าตัวอย่าง มีความสามารถในการบล็อกรังสีuvวีได้ดีที่สุด ส่วนผ้าตัวอย่างที่เย็บ 5 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการบล็อกรังสีuvวีมีค่า UV-B blockage % อยู่ในระดับดี ดีมาก และดีเยี่ยม โดยพบว่าที่การทดสอบหลังการอาบแสลงในสภาวะเปียกมีค่า UV-B blockage % สูงสุด (97.50) มีความหมายว่า ผ้าตัวอย่าง มีความสามารถในบล็อกรังสีuvวีได้ดีที่สุด ส่วนผ้าตัวอย่างที่เย็บ 9 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการบล็อกรังสีuvวีพบว่ามีค่า UV-B blockage % อยู่ในระดับดี ดีมาก และดีเยี่ยม เช่นเดียวกับ ผ้าตัวอย่างที่มีการย้อมช้ำ 5 ครั้ง โดยพบว่าที่การทดสอบก่อนการซักในสภาวะแห้งมีค่า UV-B blockage % สูงสุด (98.07) มีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการบล็อกรังสีuvวีได้ในระดับดีเยี่ยม

จำนวนครั้งของการย้อมช้ำ (ระดับความเข้มของลี) พบว่ามีผลต่อค่าระดับความสามารถในการบล็อกรังสีuvวีของผ้าตัวอย่าง เมื่อทดสอบก่อนการซักทั้งในสภาวะแห้งและเปียกอย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ 0.05 และการทดสอบหลังการอาบแสลงทั้งในสภาวะแห้งและเปียกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ส่วนการทดสอบหลังการซักทั้งในสภาวะแห้งและเปียกพบว่า จำนวนครั้งของการย้อมช้ำ (ระดับความเข้มของลี) ไม่มีผลต่อค่าระดับความสามารถในการบล็อกรังสีuvวีของผ้าตัวอย่าง



รูปที่ 5 ค่า UV-B blockage % ที่ทดสอบก่อนซัก หลังซัก และหลังอบแห้ง

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### 1. สรุป

ผลการวิจัยพบว่าผ้าตัวอย่างที่มีจำนวนการย้อมซ้ำที่แตกต่างกัน มีจำนวนเลนน์ดายบีน และความหนาใกล้เคียงกันมีจำนวนเลนน์ดายพุ่งแตกต่างกัน มีการซึมผ่านของอากาศแตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนค่าสีพบว่าผ้าตัวอย่างมีสีน้ำเงินเข้มและสดใสเมื่อค่า L\* ลดลงเมื่อจำนวนครั้งของการย้อมซ้ำเพิ่มขึ้น ความสามารถในการป้องกันรังสีบูร์ผ้าฝ้ายย้อมสีครามธรรมชาติพบว่า ผ้าทอลายริบป้องกันรังสีบูร์ได้ระดับดี ดีมากถึงดีเยี่ยม โดยมีผลต่อค่า UV-A และ UV-B transmittance %, UV-A และ UV-B blockage % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสรุปได้ว่าระดับความเข้มของการย้อมสีจากครามธรรมชาติ มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีบูร์ของลิ้งทอง

### 2. ข้อเสนอแนะ

ผลจากการวิจัยพบว่า ระดับความเข้มของผ้าฝ้ายย้อมสีครามจากธรรมชาติในผ้าทอริบด้วยพุ่ง หรือผ้าที่มีโครงสร้างการทอลายขัดที่เย็บ 1 ครั้ง (มีระดับลีอ่อนที่สุด) มีความสามารถในการป้องกันรังสีบูร์ได้น้อยที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่า UPF ดังนั้นเพื่อต้องการเน้นประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีบูร์ ของผ้าฝ้ายย้อมสีครามจากธรรมชาติ ผู้วิจัยเสนอแนะให้มีระดับความเข้มของลีที่เกิดจากการย้อมซ้ำไม่น้อยกว่า 5 ครั้งขึ้นไป สำหรับการเลือกใช้ผ้าที่มีโครงสร้างผ้าการทอริบด้วยพุ่งหรือผ้าที่มีโครงสร้างการทอลายขัด

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอุ魯บุรี ด้านการสนับสนุนและส่งเสริมการดำเนินงานวิจัยของบุคลากรในสังกัดมหาวิทยาลัยฯ และขอบคุณภูมิปัญญาการย้อมสีครามธรรมชาติ จากอาจารย์พรพรรณนิคม จังหวัดสกลนคร

## References

- [1] Jacovides, C. P., Tymvios, F. S., Asimakopoulos, D. N., Kaltsounides, N. A., Theoharatos, G. A., and Tsitouri, M. (2009). Solar Global UVB (280-315 nm) and UVA (315-380 nm) Radiant Fluxes and their Relationships with Broadband Global Radiant Flux at an Eastern Mediterranean site. **Agricultural and Forest Meteorology**. Vol. 149, Issues 6-7, pp. 1188-1200. DOI: 10.1016/j.agrformet.2009.02.009
- [2] Wittayanartphaisarn, S. (1999). **Scientist's Warning of Dangers from Ultraviolet**. Access (3 February 2009). Available (<https://www.doctor.or.th/article/detail/4327>) (in Thai)
- [3] Yanumet, N. and Trakoonwichian, S. (2009). Development of Ultraviolet - Protecting Cotton. **Chula Samphan**. 52<sup>th</sup> Year. Vol. 52, No. 2, pp. 2-5 (in Thai)
- [4] Textile Analysis and Test Center, Institute of Textile Industry Development. (2009). Comfort in Wearing Textiles and Clothes. **Colorway**. Vol. 15, No. 83, pp. 19-21 (in Thai)
- [5] Seangwattanarote, U. (2003). **UV Protecting Clothes**. Cut and Sew. pp. 24-26 (in Thai)
- [6] Glover, B. and Pierce, J. R. (1993). Are Natural Colorants Good for Your Health?. **Journal of the Society of Dyers and Colourists**. Vol. 109, Issue 1, pp. 8-9. DOI: 10.1111/j.1478-4408.1993.tb01491.x
- [7] Sarkar A. K. and Seal, C. M. (2003). Color Strength and Colorfastness of Flex Fabric Dyed with Natural Colorants. **Clothing and Textiles Research Journal**. Vol. 21, Issue 4, pp. 162-166
- [8] Thawanwichajit, Ng. (2007). Natural Indigo Dying in Accord with Local Wisdom. **Colorway**. Vol. 13, No. 71, pp. 35-36. (in Thai)
- [9] Pupatana, O. (2013). **Effectiveness in UV (ultraviolet) Protection of Cotton Fabric Dyed with Natural Indigo (Indigofera Tinctoria Lin.)**. Doctorate Degree Thesis, Faculty of Agriculture. Kasetsart University
- [10] Hewsuengchareon, A. (2007). Mixed Natural Colors for Hand-Made Cotton (Part 1). **Colorway**. Vol. 13, No. 70, pp. 49-50. (in Thai)
- [11] Ali, S. I. (1993). Revival of Natural Dyes in Asia. **Journal of the Society of Dyers and Colourists**. Vol. 109, Issue 1, pp. 13-14. DOI: 10.1111/j.1478-4408.1993.tb01494.x
- [12] Kongdee, A. and Chaichanawong, A. (2009). A Study of the Effects of Altrasonic Technique on Color Properties of Silk Dyed with Natural Dye. **Colorway**. Vol. 15, No. 83, pp. 57-64
- [13] Mut-iw, C., Piromthamsiri, P., and Kongkachuchay, P. (2012). Inhibition of Bacteria from Some Kinds of Natural Dyes on Cotton. **Journal of Home Economics**. Vol. 55, No. 2, pp. 4-12
- [14] Khuentham, A. (1999). **Principles of Experiments Planning**. Department of Statistics. Faculty of Science. Kasetsart University. Bangkok
- [15] Seangwattanarote, U. (2003). **UV Protecting Clothes**. Cut and Sew. pp. 24-26



# วารสาร มทร.อีสาน

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN 1906-215X

คุณภาพน้ำหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำคลองโ่อ่าง

## Water Quality After Removing Shops at Klong Ong Ang

อุทุมพร สุมพงษ์<sup>1\*</sup>

Received: July, 2017; Accepted: December, 2017

### บทคัดย่อ

คลองโ่อ่างเป็นคลองประวัติศาสตร์ของกรุงเทพมหานครที่มีร้านค้ารุก lame ที่คลองมาเป็นเวลาเกือบ 30 ปี ซึ่งส่งผลกระทบต่อการระบายน้ำ ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ปี 2558 กรุงเทพมหานครจึงได้ใช้กฎหมายดำเนินการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำ ดังนั้น งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อ คุณภาพน้ำในคลองโ่อ่าง ได้แก่ การรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำ lame ที่คลอง เดือนที่เก็บตัวอย่าง และการปิดเปิด ประตูระบายน้ำ และระบุประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน คุณภาพน้ำที่ศึกษาประกอบด้วย สี กลิ่น ความชุ่น การละลายน้ำของออกซิเจน (DO) ความสกปรกของน้ำในรูปสารอินทรีย์ (BOD) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (TCB) และแบคทีเรียฟีฟัลโคลิฟอร์ม (FCB) โดยลุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ 3 ครั้ง ในเวลา 6 เดือน และเก็บตัวอย่าง 2 เวลา ได้แก่ ก่อนเปิดและหลังปิดประตูระบายน้ำ ผลการวิจัยพบว่า น้ำคลองมีสีเขียว ขุ่น และไม่มีกลิ่น ในเดือนที่ 1 และ 3 แต่ใส ไม่มีสี และไม่มีกลิ่นในเดือนที่ 6 ส่วนค่า DO อยู่ในช่วง  $3.12 - 5.49$  มก./ล. ค่า BOD อยู่ในช่วง  $4.39 - 14.03$  มก./ล. ค่า TCB อยู่ในช่วง  $1.95 \times 10^5 - 1.95 \times 10^6$  MPN/100 มล. และค่า FCB อยู่ในช่วง  $6.65 \times 10^4 - 6.37 \times 10^5$  MPN/100 มล. ขณะที่ DO และ FCB มีค่าสูงกว่า ข้อมูลก่อนการรื้อถอนในปี พ.ศ. 2526 2541 และ 2555 ที่ระดับน้อยสักัญ 0.05 DO ยังมีค่าอยู่ใน เกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่ FCB มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ส่วน WQI (Water Quality Index) มีค่าเป็น 24.01 จึงจัดว่าคลองโ่อ่างเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5 ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในการคมนาคมเท่านั้น

คำสำคัญ : คลองโ่อาง; คุณภาพน้ำ; รื้อถอน

<sup>1</sup> Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University Of Technology Rattanakosin, Bangkok

\* Corresponding Author E - mail Address: utumporn.som@rmut.ac.th

## Abstract

Klong Ong Ang is a historical canal in Bangkok. There were shops trespassing the canal over 30 years. It affected to drainage and water pollution, so Bangkok used law to remove the shops in 2015. Therefore, this research is for studying factors that affected to water quality of Klong Ong Ang viz. removing the shops, month and floodgate, and identifying type of surface water by studying water quality of the canal viz. color, odor, turbidity, dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), total coliform bacteria (TCB) and fecal coliform bacteria (FCB). We collected 3 times within 6 months. The collection was 2 times, before opening and after closing Ong Ang floodgate. It was found that the 1 and 3 months-water samples were green, turbid, and odorless, while the 6 month-water was colorless, clear, and odorless. Moreover, DO was 3.12 - 5.49 mg/L, BOD was 4.39 - 14.03 mg/L, TCB was  $1.95 \times 10^5$  -  $1.95 \times 10^6$  MPN/100 mL, and FCB was  $6.65 \times 10^4$  -  $6.37 \times 10^5$  MPN/100 mL. Besides, DO and FCB were higher than those of before removing the shops in 1983, 1998, and 2012 at 0.05 significant level. DO was in standard level, while FCB was out of the level. WQI (Water Quality Index) was 24.01, so Klong Ong Ang should be surface water type 5 that can be used for only transportation following standard of surface water.

**Keywords:** Klong Ong Ang; Water Quality; Remove

## บทนำ

คลองโองอ่างเป็นคลองรอบกรุงที่มีประตูรษายน้ำอักสูตรสู่แม่น้ำเจ้าพระยา เป็นคลองประวัติศาสตร์ของกรุงเทพมหานครที่ได้รับการขึ้นทะเบียนจากกรมศิลปากรให้เป็นโบราณสถานสำคัญ เพาะรเล็งเห็นว่า มีความสำคัญต่อบ้านเมืองด้านยุทธศาสตร์และประวัติศาสตร์ของกรุงรัตนโกสินทร์ และจะท่อนให้เห็นลักษณะ ความเจริญด้านสถาปัตยกรรม จึงสมควรที่จะอนุรักษ์ไว้ [1] คลองโองอ่างเคยประสบปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ ปัญหาด้านลิ่งแวงล้อม เช่น มะพิษทางน้ำ เสียง และอากาศ เป็นต้น และปัญหาล้างคอม เช่น แหล่งอาชญากรรม และแหล่งแรงงานต่างด้าวลักลอบทำงานโดยผิดกฎหมาย เป็นต้น ซึ่งปัญหาดังกล่าว คาดว่าม่าจะเกิดจากการตั้งร้านค้ารุกเข้าพื้นที่คลองโองอ่างกว่า 500 ราย เป็นเวลาเกือบ 30 ปี จึงมีการแก้ไข โดยมีประกาศจากกรุงเทพมหานครให้มีการรื้อถอนในวันที่ 20 ตุลาคม 2558 ที่ผ่านมา [2]

น้ำเสีย คือ น้ำที่ได้รับผลกระทบในด้านคุณภาพ มีสีและกลิ่นที่ไม่รับเกียจ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำลายระบบในเวชกรรมชาติ แหล่งเกษตรกรรม แหล่งประมง และแหล่งชุมชน เป็นแหล่งของเชื้อโรคต่าง ๆ สูบนุษย์ สัตว์ และพืช และทำลายทศนิยภาพและการท่องเที่ยวด้วย [3] การตรวจสอบคุณภาพน้ำ ทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีการทำกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ และวิเคราะห์คุณภาพน้ำต่าง ๆ มาคำนวณ เป็น WQI เพื่อประเมินความสกปรกของน้ำหรือบ่งชี้ประเภทของแหล่งน้ำ

จากการศึกษาสภาวะแวดล้อมของน้ำของตัวแทนคลองหลักในกรุงเทพมหานคร 4 คลอง คือ คลองหลอด (คลองคูเมืองเดิม) คลองบางลำพู - คลองโ่อ่งอ่าง คลองผดุงกรุงเกษม และคลองบางกอกใหญ่ (คลองบางหลวง) พบว่า คลองดังกล่าวมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยค่า DO ในคุณน้ำน้อยอยู่ในช่วง 0.9 - 1.4 มก./ล. คุณน้ำมากมีค่าอยู่ในช่วง 1.4 - 2.5 มก./ล. มีความสกปรกในน้ำมาก โดยค่า BOD ในคุณน้ำน้อยอยู่ในช่วง 12.14 - 29.58 มก./ล. คุณน้ำมากมีค่าในช่วง 7.34 - 14.46 มก./ล. และยังมีค่า FCB สูงเกินมาตรฐานมาก คือ อยู่ในช่วง 104 - 1016 MPN/100 มล. [4] นอกจากนี้ ยังมีการรายงานผลการติดตามในคลองบางลำพู - คลองโ่อ่งอ่าง พบว่า คุณภาพน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยค่า DO ในคุณน้ำมากและน้ำน้อยอยู่ในช่วง 1.5 - 3.0 และ 0.8 - 1.8 มก./ล. ส่วน BOD คุณน้ำมาก และน้ำน้อยอยู่ในช่วง 5.1 - 6.3 และ 5.4 - 8.5 มก./ล. และ FCB ในคุณน้ำมากและน้ำน้อยอยู่ในช่วง  $2.4 \times 10^4$  -  $3.0 \times 10^4$  และ  $1.6 \times 10^4$  -  $3.3 \times 10^4$  MPN/100 มล. [5] สำนักงานสิ่งแวดล้อมได้รายงานสถิติ ลิ่งแวดล้อมของประเทศไทยเกี่ยวกับคุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี พ.ศ. 2539 - 2544 พบว่า ทุกคลองมีค่า DO ต่ำกว่า 3 มก./ล. ซึ่งจัดเป็นน้ำเสีย [6] สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในปี พ.ศ. 2555 [7] พบว่า คุณภาพน้ำคลองรอบกรุงบริเวณประตุราชบานันดา คลองโ่อ่งอ่างมีค่า DO เป็น 2.6 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน BOD เป็น 33 มก./ล. ที่สูงกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน และ TCB เป็น  $4.04 \times 10^7$  MPN/100 มล. ที่สูงกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินเข่นเดียว กัน

จากการศึกษาสภาวะแวดล้อมของน้ำและคุณภาพน้ำอันจะเป็นลิ่งบ่งชี้ถึงปัญหามลพิษทางน้ำ เป็นเฝ้าระวังปัญหาน้ำเสียที่อาจเกิดขึ้น และเป็นข้อมูลในการวางแผน การบริหารจัดการน้ำคลองดังกล่าว ดังนั้น หลังการรื้อถอนร้านค้าตั้งรุกล้ำพื้นที่คลองโ่อ่งอ่างแล้ว จึงควรมีการศึกษาวิจัยต่อเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในคลองโ่อ่งอ่าง เปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำ และระบุประมาณของเหลวที่น้ำผิวดิน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการน้ำคลองโ่อ่งอ่างที่กำลังจะเป็นตลาดน้ำหรือย่านการค้าในเร็ว ๆ นี้

## วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรต้น 3 ปัจจัย ได้แก่ เดือนและเวลาที่เก็บตัวอย่าง และการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำ คลองโ่อ่งอ่าง ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณภาพน้ำทางกายภาพ เครมี และเชื้อรา โดยตัวแปรต้น 2 ปัจจัยแรก คือ เดือนและเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำ ทำการวิจัยโดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอร์เรียลแบบสุ่มตัวอยบล็อกสมบูรณ์ (Factorial in Randomized Completely Block Design; Factorial in RCBD และมีบล็อก 3 บล็อก คือ จุดที่เก็บตัวอย่างน้ำซึ่งเป็นสะพานท่ออยู่ในบริเวณที่เคยมีการตั้งร้านค้าที่รุกล้ำคลองโ่อ่งอ่าง จำนวน 3 จุด และมีจำนวนชั้นภายในบล็อกจำนวน 3 ชั้น คือ จำนวนตัวอย่างที่เก็บเป็น 3 ตัวอย่างต่อจุด ส่วนตัวแปรต้น อีก 1 ปัจจัย คือ การรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำคลองโ่อ่งอ่าง ทำการวิจัยโดยจะนำข้อมูลจากการวิจัยในครั้งนี้ (ปี พ.ศ. 2559 - 2560) ซึ่งเกิดขึ้นหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำคลองในปี พ.ศ. 2558 มาเปรียบเทียบ ด้วยวิธีของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference; LSD) กับข้อมูลที่มีการสำรวจไว้แล้ว ในปี พ.ศ. 2526 2541 และ 2555 เกิดขึ้นก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำคลองดังกล่าว

## 1. การเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำทำโดยเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 54 ตัวอย่าง ดังนี้ เก็บตัวอย่างน้ำ 3 เดือนต่อครึ่ง จำนวน 3 ครั้ง เป็นเวลา 6 เดือน เริ่มต้นแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560 เก็บตัวอย่างน้ำ 2 เวลา ได้แก่ ก่อนเปิดและหลังปิดประตูระบายน้ำ เก็บตัวอย่างน้ำจาก 3 จุดจาก 3 สะพาน ที่เคยอยู่ในบริเวณที่เคยมีการตั้งร้านค้าที่รุกล้ำคลองอย่างอ่าง ได้แก่ สะพานบพิตรพิมุข สะพานหัน และสะพานเหล็ก และเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่างต่อจุด โดยเก็บที่ความลึก 30 ซม. และอยู่กึ่งกลาง ความกว้างคลอง ภายใน 1 ชม. ก่อนเปิดและหลังปิดประตูระบายน้ำ ซึ่งมีเวลาต่างกันในแต่ละครั้งของการเปิดปิดประตูและไม่ได้เปิดปิดทุกวัน

## 2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพทำได้โดยการสังเกตแล้วบันทึกสี กลิ่น และความชุ่น ของตัวอย่างน้ำ ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีและชีวภาพ ทำได้โดยนำตัวอย่างที่เก็บได้มาแบ่ง成สี่ชุด สำหรับการวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ดังที่จะกล่าวต่อไป ล้วนชุดตัวอย่างน้ำไปยังห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัย สมรรถนะและล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยภายในเวลา 1 ชม. และห้องปฏิบัติการดังกล่าวจะวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีและชีวภาพตามวิธีของ American Public Health Association - American Water Works Association - Water Environment Federation (APHA-AWWA-WEF) [8] ดังนี้

- 1) DO ทำโดยเก็บตัวอย่างน้ำ 300 มล. ด้วยขวดแก้ว แล้ววิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี Azide Modification of Iodometric Method [8]
- 2) BOD ทำโดยเก็บตัวอย่างน้ำ 1,000 มล. ด้วยขวดโพลีเอทิลีนและเก็บในน้ำแข็ง (อุณหภูมิ ประมาณ 4 องศาเซลเซียส) และวิเคราะห์ด้วยวิธี 5-Days BOD Test 5220 B. [8]
- 3) TCB โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 150 มล. ด้วยขวดเก็บทนความร้อนพิเศษ (Duran) ที่นึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว แล้วเก็บในน้ำแข็ง (อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส) และวิเคราะห์ด้วยวิธี Total Coliform Procedure 9221 E. [8]
- 4) FCB โดยเก็บตัวอย่างน้ำ เช่นเดียวกับแบบที่เรียกว่ามูลโคลิฟอร์มทั้งหมด (TCB) และวิเคราะห์ด้วยวิธี Escherichia Coli Procedure 9221 F. [8]

## 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์อิทธิพลของเดือนที่เก็บและเวลาที่เก็บต่อ DO BOD TCB และ FCB ทำได้โดยนำข้อมูลคุณภาพน้ำดังกล่าวมาวิเคราะห์ผลทางสถิติตามแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบสุ่ม ด้วยบล็อก โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance ANOVA) ด้วยโปรแกรมสถิติ R Version 3.4.0 ส่วนข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น และความชุ่น ไม่สามารถวิเคราะห์ทางสถิติได้

การรับประทานของแหล่งน้ำผิดนิทำได้โดยคำนวณ WQI โดยใช้ข้อมูล DO BOD TCB และ FCB และนำมาระเบรยนเทียบกับช่วง WQI และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่กำหนดให้สำหรับแหล่งน้ำ ผิดนิแต่ละประเภท การคำนวณค่า WQI ทำได้โดยคำนวณคะแนนของแต่ละค่าพารามิเตอร์ตามสูตร การคำนวณของกรมควบคุมมลพิษ [9] โดยแต่ละพารามิเตอร์และแต่ละช่วงค่าเฉลี่ยจะมีสูตรการคำนวณที่แตกต่างกันไป และคำนวณของแต่ละค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาคำนวณค่า WQI ได้จากสมการที่ (1)

$$WQI = \text{ค่าเฉลี่ยค่าคะแนนของ } 4 \text{ พารามิเตอร์} - \text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน} \quad (1)$$

ส่วนการวิเคราะห์อิทธิพลของการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลอง ทำโดยเปรียบเทียบข้อมูลคุณภาพน้ำทั้ง 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ DO BOD TCB และ FCB ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำคลองโอบอ่าง กับหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำคลองโอบอ่าง ซึ่งข้อมูลคุณภาพน้ำก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำคลองโอบอ่างนี้ได้จากสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร และงานวิจัยที่สืบคันได้ ในปี พ.ศ. 2526-2541 และ 2555 ส่วนข้อมูลคุณภาพน้ำหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำคลองโอบอ่างเป็นข้อมูลจากการวิจัยในครั้งนี้ คือ ในปี พ.ศ. 2559-2560 การเปรียบเทียบที่โดยตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ลักษณะวิธีของพิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference; LSD) แบบซ้ำไม่เท่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อตรวจสอบความแตกต่างกัน โดยนำผลต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละคู่มาเทียบกับค่า  $lsd_{0.05}$  ของแต่ละคู่ ซึ่งไม่เท่ากันอันเนื่องมาจากแต่ละปีมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน [10] ดังสมการที่ (2)

$$lsd_{0.05} = t_{0.025,v} \sqrt{MS_E \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)} \quad (2)$$

เมื่อ

$lsd_{0.05}$  คือ ค่าวิกฤติ

$t_{0.025,v}$  คือ ค่าสถิติ  $t$

$v$  คือ Degree of Freedom ของความคลาดเคลื่อน

$MSE$  คือ Mean Square Error

$n_i$  คือ ขนาดตัวอย่างหรือจำนวนซ้ำของทรีทเมนต์ที่  $i$

$n_j$  คือ ขนาดตัวอย่างหรือจำนวนซ้ำของทรีทเมนต์ที่  $j$

## ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

### 1. อิทธิพลของเดือนที่เก็บตัวอย่างต่อคุณภาพน้ำ

อิทธิพลของเดือนที่เก็บตัวอย่างต่อคุณภาพน้ำพบว่า เดือนที่เก็บตัวอย่างน้ำไม่มีผลต่อคุณภาพน้ำค่า DO TCB และ FCB ดังตารางที่ 1 แต่มีพิจารณาค่า BOD พ布ว่า ในแต่ละเดือนที่เก็บตัวอย่างน้ำค่า BOD มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 หรือกล่าวได้ว่าเดือนที่เก็บตัวอย่างน้ำมีอิทธิพลต่อค่า BOD อย่างยิ่ง จากนั้นเมื่อนำค่าเฉลี่ย BOD ในแต่ละเดือนไปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของพิชเชอร์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ไม่ได้แสดงในตารางที่ 1 พ布ว่าเดือนที่ 1 และ 3 มีปริมาณ BOD ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ 11.49 และ 13.58 mg./l. ซึ่งค่าทั้งสองมากกว่าค่า BOD ในเดือนที่ 6 (4.78 mg./l.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยค่า BOD จากทุกเดือนและทุกเวลา มีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 2 3 และ 4 ที่ระบุไว้ในตารางที่ 2 ว่าเป็น  $<1.50 <2.00$  และ  $<4.00$  mg./l. ตามลำดับ ล้วนนำผิวดินประเภทที่ 1 และ 5 ไม่ได้ระบุเกณฑ์ค่า BOD ไว้ดังตารางที่ 2 แสดงว่า น้ำจากการวิจัยมีความสกปรกในรูปสารอินทรีย์สูงกว่ามาตรฐาน ผลดังกล่าวสอดคล้องกับคุณภาพน้ำ

ทางกายภาพ (ตารางที่ 1) ได้แก่ สี กลิ่น และความชุ่ม ที่พบว่า ตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ในเดือนที่ 1 และ 3 ทั้งก่อนเปิดและหลังปิดประตูระบายน้ำ มีลักษณะเหมือนกัน คือ ขุ่นสีเขียว ไม่มีกลิ่น แต่ตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ในเดือนที่ 6 มีลักษณะต่างออกไป คือ ใส ไม่มีสี และไม่มีกลิ่น อธิบายได้ว่าคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีดังกล่าวต่างกันระหว่างเดือนที่ 1 กับ 3 และ 6 เพราะเดือนที่ 6 (พฤษภาคม) เป็นช่วงเริ่มต้นฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงมีน้ำมาก ต่างจากเดือนที่ 1 (ธันวาคม) และ 3 (กุมภาพันธ์) ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวเป็นช่วงปริมาณน้ำ้อย ซึ่งเดือนที่ 6 เป็นช่วงปริมาณน้ำมากนั่นเองโดยตรงกับความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้ค่า BOD ได้น้อยลงและน้ำใส่มีสี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการศึกษาสภาวะแวดล้อมทางน้ำของตัวแทนคลองหลักในกรุงเทพมหานคร [4] ที่พบว่า ค่า BOD ในฤดูน้ำ้อย ( $12.14 - 29.58 \text{ mg./l.}$ ) มีค่ามากกว่าค่า BOD ในฤดูน้ำมาก ( $7.34 - 14.46 \text{ mg./l.}$ ) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัย เรื่อง การศึกษาคุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาตามพระราชบัญญัติของสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ [11] ที่พิจารณาเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ แต่ละเดือนในรอบปีระหว่างปี พ.ศ. 2552 – 2553 ของแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ซึ่งเป็นหลักฐานว่า คุณภาพน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลของฤดูกาลหรือปริมาณน้ำหรือน้ำฝน

## 2. อิทธิพลของการเปิดปิดประตูระบายน้ำต่อคุณภาพน้ำ

อิทธิพลของการเปิดปิดประตูระบายน้ำต่อคุณภาพน้ำพบว่า การเปิดปิดประตูระบายน้ำมีผลต่อค่า DO โดยทำให้ค่าเฉลี่ย DO ของก่อนเปิดประตูระบายน้ำและหลังปิดประตูระบายน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ระดับนัยสำคัญ 0.05) ดังตารางที่ 1 โดยค่าเฉลี่ย DO ก่อนเปิดประตูระบายน้ำ มีค่าเท่ากับ  $5.72 + 0.66 \text{ mg./l.}$  หากกว่าค่าเฉลี่ย DO หลังปิดประตูระบายน้ำซึ่งมีค่าเท่ากับ  $4.39 + 1.11 \text{ mg./l.}$  ซึ่งค่า DO ดังกล่าวอยู่ในมาตรฐานน้ำผิวน้ำทะเลที่ 3 และ 4 ที่ระบุค่า DO เป็น  $>4.00$  และ  $>3.00 \text{ mg./l.}$  ดังตารางที่ 2 อย่างไรก็ตามการเปิดปิดประตูระบายน้ำไม่มีผลต่อค่า BOD TCB และ FCB ซึ่งผลของค่าเฉลี่ย DO ของก่อนเปิดและหลังปิดประตูระบายน้ำในงานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การจัดการคุณภาพน้ำในคลองราชอา وسلم เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร พบร่วมค่า DO ของก่อนและหลังการระบายน้ำเท่ากับ  $2.36$  และ  $2.08 \text{ mg./l.}$  ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [12] แต่ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การศึกษาคุณภาพน้ำและผลกระทบของการใช้งานเชื่อนในแม่น้ำบางปะกง [13] ที่พบว่า DO บริเวณด้านหนึ่งเชื่อนทอนน้ำบางปะกงกรณีที่มีการเปิดบานประตูเชื่อนทอนน้ำบางปะกง มีค่าต่ำกว่ากรณีที่มีการห้ามประดุจเชื่อนและกรณีที่มีการปิดบานประตูเชื่อน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าแม้ว่า การเปิดประตูระบายน้ำหรือประตูเชื่อนจะเป็นการเพิ่มอัตราการไหลเวียนของน้ำในคลองหรือแหล่งน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนคงเหลือเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากแม่น้ำเจ้าพระยาอาจมีสารอินทรีย์หรือความสกปรกมากกว่าแม่น้ำบางปะกงในช่วงเวลาที่ทำการวิจัย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การศึกษาคุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาตามพระราชบัญญัติของสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ [11] ที่พบว่า แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างในปี พ.ศ. 2552 – 2553 ซึ่งมีคุณภาพน้ำบางปะกง ได้แก่ BOD และโมโนเนีย และลังกะสี สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้น เมื่อเปิดประตูระบายน้ำทำให้น้ำในแม่น้ำเข้ามาอย่างในคลองมีการเพิ่มขึ้น ของออกซิเจนจากการไหลของน้ำ แต่ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นก็อาจถูกใช้โดยจุลินทรีย์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้ DO เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปิดประตูระบายน้ำ

ตารางที่ 1 อัฐิพชของดีอนแอล哗ที่เก็บตัวอย่างตามต่อคุณภาพน้ำในคลองโถงอ่าง

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ยในเดือนที่						F-value
	1 (ก.ค.)	3 (ก.พ.)	6 (พ.ค.)	เฉลี่ย	ก้อนน้ำปิด ประดุจ รับยาเสีย	ห้องน้ำปิดประดุจ รับยาเสีย	
ก้อนน้ำปิด ประดุจ รับยาเสีย	เขียว ม่วง	เขียว ม่วง	เขียว ม่วง	เขียว ม่วง	เขียว ม่วง	เขียว ม่วง	-
ก๊าซ	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	ฟ้า	-
ความชื้น	ชุ่ม	ชุ่ม	ชุ่ม	ชุ่ม	ชุ่ม	ชุ่ม	-
DO (มก./ล.)	5.20±0.61	4.94±0.36	5.49±1.06	5.12±0.32	6.46±0.51	3.12±1.74	5.72±0.66
BOD (มก./ล.)	13.43±1.82	9.55±2.68	13.13±2.23	14.03±0.58	4.39±1.76	5.17±0.09	10.32±5.13
TCB ( $\times 10^4$ MPN / 100 มล.)	19.50±4.50	84.00±9.00	161.00±74.11	46.30±40.41	39.00±4.00	195.00±45.00	73.17±76.69
FCB ( $\times 10^4$ MPN / 100 มล.)	6.65±2.35	63.67±36.35	33.67±16.17	16.00±7.00	9.00±3.00	43.00±0.00	16.44±14.97
							40.89±23.90
							0.277
							2.869
							3.044

\*, \*\*\*, คือ นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และ 0.001

## ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำก่อนและหลังการรักษาอนร่านตามมาตรฐานที่รักษาพิเศษและมาตรฐานน้ำเพิ่มเติม

วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2561

พารามิเตอร์ <sup>1</sup>	มาตรฐานพิเศษ					ค่าเฉลี่ย <sup>2</sup>
	ก่อนการรักษาอนร่านน้ำ (ข้อมูลที่เคยผ่านการจราจร) <sup>3</sup>					หลังการรักษาอนร่านน้ำ <sup>4</sup> (ข้อมูลจากการวิจัย; 2559 - 2560)
	1	2	3	4	5	
DO (มก./ล.)	N >6.00	>4.00	>3.00	-	1.55 <sup>b</sup> ±0.57	1.78 <sup>b</sup> ±0.67
BOD (มก./ล.)	N <1.50	<2.00	<4.00	-	12.38 <sup>b</sup> ±7.31	6.33 <sup>b</sup> ±0.88
TCB ( $\times 10^4$ MPN/100 มล.)	N <0.50	<2.00	-	-	-	33.00 <sup>a</sup> ±0.00
FCB ( $\times 10^4$ MPN/100 มล.)	N <0.1	<0.4	-	-	5.60 <sup>b</sup> ±0.71	4.040.00 <sup>a</sup> ±0.00
WQI	91-100	71-90	61-70	31-60	0-30	-
						24.01

1 คือ มาตรฐานน้ำพิเศษตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 8 (2537) ที่ออกตามความในพระราชบัญญัติเพื่อเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำพิเศษ [14]

2,3,4 คือ ข้อมูลคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำของที่เคยผ่านการจราจร [4] พ.ศ. 2526-2541 และ 2555 คือ ธรรมนูญ โรงแรมน้ำ โรงแรมน้ำที่ [4] ว่าด้วย กฎหมายน้ำ โรงแรมน้ำที่ [4] ว่าด้วย กฎหมายน้ำ [5]

และสำนักงานน้ำ กรมพัฒนาธุรกรรมทางน้ำ [6]

5 คือ ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของฟิ舍อร์ (Fisher's Least Significant Difference; LSD)

a,b

### 3. อิทธิพลของการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำคลองโ่อ่งอ่าง

อิทธิพลของการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองต่อคุณภาพน้ำพิจารณาจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากการวิจัยในครั้งนี้ที่ทำในระหว่างปี พ.ศ. 2559 - 2560 ซึ่งเกิดขึ้นหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองในปี พ.ศ. 2558 กับค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำของงานวิจัยการสำรวจน้ำ ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลอง ได้แก่ ปี พ.ศ. 2526 2541 และ 2555 ดังตารางที่ 2 พบว่า การรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำคลองโ่อ่งอ่างมีอิทธิพลต่อ DO TCB และ FCB โดยค่าเฉลี่ย DO หลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองมีค่าเท่ากับ 5.06 มก./ล. สูงกว่าค่าเฉลี่ย DO ก่อนรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำคลองโ่อ่งอ่างทั้ง 3 ปี ได้แก่ 2526 2541 และ 2555 มีค่าเท่ากับ 1.55 1.78 และ 2.60 มก./ล. ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ย DO หลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองอยู่ในมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ( $>4.00$  มก./ล.) แต่ค่าเฉลี่ย DO ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองนั้นมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ( $>3.00$  มก./ล.) สำหรับค่าเฉลี่ย TCB พบว่า หลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองมีค่าเฉลี่ย TCB เท่ากับ  $90.81 \times 10^4$  MPN/100 มล. ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และ 3 ( $<0.5 \times 10^4$  และ  $<2.0 \times 10^4$  MPN/100 มล.) แต่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย TCB ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองที่มีค่าเท่ากับ  $4,040 \times 10^4$  MPN/100 มล. ขณะที่ค่าเฉลี่ย TCB ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลอง ก็สูงกว่ามาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และ 3 ด้วย ค่าเฉลี่ย TCB ทั้งก่อนและหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองที่สูงกว่ามาตรฐานน้ำผิวดินนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การนำบัดน้ำเสียด้วยอิฐมุงก้อน: กรณีศึกษา น้ำเสียตัวอย่างจากคลองแสนนแสน [15] ที่พบว่า น้ำในคลองแสนแสนก่อนการนำบัดด้วยอิฐมุงก้อน มีค่าเฉลี่ย TCB เท่ากับ  $13.00 \times 10^4$  MPN/100 มล. สูงกว่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน ส่วนค่า FCB นั้น พบว่า หลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองมีค่าเฉลี่ย FCB เท่ากับ  $28.66 \times 10^4$  MPN/100 มล. สูงกว่า มาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และ 3 ( $<0.1 \times 10^4$  และ  $<0.4 \times 10^4$  MPN/100 มล.) และสูงกว่าค่าเฉลี่ย FCB ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองในปี พ.ศ. 2526 และ 2541 ที่มีค่าเท่ากับ  $5.60 \times 10^4$  และ  $2.43 \times 10^4$  MPN/100 มล. ค่าเฉลี่ย FCB ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองก็สูงกว่ามาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และ 3 เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีผู้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับอิทธิพลของการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองต่อคุณภาพน้ำ พบแต่ในรายการจัดการน้ำในคลองแม่น้ำ จ.เชียงใหม่ ที่ให้มีการรื้อถอนอาคารและลั่งก่อสร้างที่รุกล้ำพื้นที่คลองเพื่อแก้ไขปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้น [16] อย่างไรก็ตาม น้ำในคลองโ่อ่งอ่างทั้งทั้งก่อนและหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองมีการบันปืนของเชื้อโรค (TCB) และเชื้อในอุจจาระ (FCB) ในระดับที่สูงกว่ามาตรฐานมาก จากการลังเกตพบว่า มีท่อน้ำทึบจำนวนเกิน 100 ท่อ ให้ลงสู่คลอง จึงน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้มีปริมาณแบคทีเรียดังกล่าวสูงกว่ามาตรฐาน

### 4. การบ่งชี้ประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน

การบ่งชี้ประเภทของแหล่งน้ำผิวดินโดยพิจารณาจากค่า WQI ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.01 และดงว่าคลองโ่อ่งอ่างจัดเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5 จัดเป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทึบจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคุณภาพเท่านั้น ไม่เหมาะสมแก่การอุปโภคบริโภค การเกษตร อุตสาหกรรม การคงอยู่ของลิ่นเมืองชีวิต การอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ ด้านงานวิจัยเรื่อง การศึกษาคุณภาพน้ำด้านเชื้อแบคทีเรียของแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีผลต่อการสาธารณสุข [17] ที่ศึกษาความผันแปรของคุณภาพน้ำด้านแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและแบคทีเรียฟีคัลโคลิฟอร์มจากแม่น้ำเจ้าพระยา 3 ตอน คือ ตอนบน ตอนกลาง และตอนล่าง รวม 17 สถานี 134 ตัวอย่าง

ในปี พ.ศ. 2556 - 2557 พบว่า แม่น้ำเจ้าพระยาห้วย 3 ตอน จัดเป็นแหล่งน้ำผิดนิติได้ 3 ประเภท คือ แหล่งน้ำผิดนิติประเภทที่ 2 3 และ 4 ตามปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้งสอง ดังนั้น แม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน จัดเป็นแหล่งน้ำผิดนิติประเภทที่ 2 และ 3 ร้อยละ 58 และ 42 ส่วนแม่น้ำเจ้าพระยาตอนกลางจัดเป็น แหล่งน้ำผิดนิติประเภทที่ 2 และ 3 ร้อยละ 55 และ 45 และแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างจัดเป็นแหล่งน้ำผิดนิติประเภทที่ 3 และ 4 ร้อยละ 71 และ 29 โดยไม่มีบริเวณใดเป็นแหล่งน้ำผิดนิติประเภทที่ 5 สาเหตุอาจเป็น เพราะว่าคลองโ่อ่งอ่างเป็นคลองที่มีการปล่อยน้ำจากท่อน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและร้านค้าลงสู่ แหล่งน้ำมาก จึงทำให้มีการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียทั้งสองมากดังกล่าวจนทำให้คำนวณได้ค่า WQI ต่าจันจัดอยู่ในแหล่งน้ำผิดนิติประเภทที่ 5

### 5. แนวทางการใช้ประโยชน์จากการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำ ได้แก่ เดือนที่เก็บตัวอย่างน้ำ การปิดเปิด ประตูระบายน้ำ และการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลอง ซึ่งการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองก็ได้ ดำเนินการแล้วและส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเป็นไปในทางที่ดีขึ้นกว่าก่อนรื้อถอนร้านค้า ที่รุกล้ำพื้นที่คลอง การปิดเปิดประตูระบายน้ำนั้นสามารถควบคุมได้ โดยความมีการเฝ้าระวังหรือตรวจสอบตาม คุณภาพน้ำควบคู่ไป แต่เดือนที่เก็บตัวอย่างน้ำหรือฤดูกาลที่มีน้ำมากน้อยก็เป็นปัจจัยที่ไม่อาจควบคุมได้ หากเป็นไปได้ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจเกี่ยวข้องต่อคุณภาพน้ำด้วย เช่น ท่อน้ำทิ้ง เป็นต้น เมื่อพิจารณาในคุณภาพน้ำด้านชีวภาพที่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิดนิติทั้งก่อนและหลัง การรื้อถอน ร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรร่วมมือกันปรับปรุงคุณภาพน้ำทางชีวภาพให้ดีขึ้น เช่น การจัดการท่อน้ำทิ้งที่ล้อมลุ่มคลอง และการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปิดปิดประตูระบายน้ำที่เหมาะสม เป็นต้น หากทำได้จะทำให้ชุมชนปลอดภัย น่าอยู่ และยังส่งเสริมให้เป็นแหล่งการค้าและการท่องเที่ยวที่สำคัญได้ เนื่องจากเป็นคลองประวัติศาสตร์ใกล้แหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ ๆ เช่น วัด และพิพิธภัณฑ์ รวมทั้งใกล้ย่าน การค้าที่สำคัญ ๆ ได้แก่ ปากคลองตลาด สำเพ็ง และพาหุรัด จึงมีโอกาสที่กรุงเทพมหานครจะสนับสนุน ให้เป็นชุมชนเพื่อการค้าและการท่องเที่ยว

ปัจจุบันคลองโ่อ่งอ่างไม่ได้ใช้ประโยชน์ในด้านการคมนาคมการอุปโภคบริโภค การเกษตร อุตสาหกรรม การอยู่อาศัยของลั่นเมือง การอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ จึงสามารถเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ได้ แต่อย่างไรก็ตามโอกาสที่เชื้อ ก่อโรคและเชื้อจากอุจจาระจะแพร่สู่ แม่น้ำเจ้าพระยาไม่อาจลส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไปได้ เพราะมีการปิดปิดประตูระบายน้ำอยู่เป็นประจำ อีกทั้งยังมีโอกาสที่สัตว์บางชนิดที่พบรเขน ตะกวด เป็นต้น จะนำเชื้อโรคจากน้ำคลองขึ้นมาบริเวณริมคลอง ซึ่งเป็นชุมชนและร้านค้าและมีผู้คนเดินไปมาค่อนข้างมาก จึงมีโอกาสติดเชื้อได้

### บทสรุป

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในคลองโ่อ่งอ่าง ได้แก่ เดือนที่เก็บตัวอย่างน้ำมีผลต่อปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ การปิดปิดประตูระบายน้ำมีผลต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำ และการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองมีผลต่อ ปริมาณออกซิเจนในน้ำ ปริมาณแบคทีเรียก่อโรคและปริมาณแบคทีเรียจากอุจจาระ น้ำในคลองโ่อ่งอ่าง ทั้งก่อนและหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองมีคุณภาพด้านชีวภาพที่ต่ำกว่ามาตรฐานมาก นอกจากนั้นยังพบว่า น้ำในคลองโ่อ่งอ่างหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รุกล้ำพื้นที่คลองจัดเป็นแหล่งน้ำผิดนิติ

ประเภทที่ 5 ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคุณภาพที่ดี ไม่เหมาะสมแก่การอุปโภคบริโภค การเกษตร อุตสาหกรรม การคงอยู่ของลิงมีชีวิต การอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบประมาณรายได้ประจำปี พ.ศ. 2560 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และขอขอบคุณความร่วมมือจากการสำนักงานนโยบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

## References

- [1] Land Survey and Map Division, Public Works Department, Bangkok. (2013). **Klong Ong Ang**. Access (6 March 2016). Available (<http://203.155.220.238/lsmd/index.php/knowledge-lsmd/canal/102-ongarng>) (in Thai)
- [2] Dailynews team. (2015). **Announcement of Water and Electricity Cut off to Seller at Saphan Lhek by using law of Revolutionary**. Access (18 February 2016). Available (<http://www.dailynews.co.th/bangkok/350205>) (in Thai)
- [3] Kent, M. (2014). **How to Identify Pollution**. Access (4 February 2016). Available (<http://classroom.synonym.com/identify-pollution-22930.html>)
- [4] Rojjanaburanont, T. (1983). **Study of Water Environment of main canal in Bangkok**. Research Report. Bangkok, Chulabhorn Research Institute. (in Thai)
- [5] Uawongsajja, W. (1998). **Investigation of Water Environment in Banglumpoo-Ong Ang Canal**. Senior Project, General Science Department, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Thailand. (in Thai)
- [6] National Statistical Office. (2002). **Environment of Thailand in 2002 about Water Quality of Canals in Bangkok**. Research report. Bangkok. (in Thai)
- [7] Department of Drainage and Sewerage, Bangkok. (2013). **Water Quality of Canals in Bangkok in 2012**. Access (30 December 2016). Available ([http://service.nso.go.th/nso/nso\\_center/project/table/files/1500901/2555/000/10\\_1500901\\_2555\\_000\\_000000\\_00100.xls](http://service.nso.go.th/nso/nso_center/project/table/files/1500901/2555/000/10_1500901_2555_000_000000_00100.xls)) (in Thai)
- [8] APHA - AWWA - WEF (American Public Health Association - American Water Works association - Water Environment Federation). (2005). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Access (10 March 2016). Available (<https://www.standardmethods.org>)
- [9] Pollution Control Department. (2016). **Calculation of General Water Quality Index: WQI**. Access (21 December 2016). Available (<http://iwis.pcd.go.th/index.php?method=calculate&etc=1533878670804>) (in Thai)

- [10] Hanmongkolpipat, P. (2004). **Statistics and Experimental Design**. 2<sup>nd</sup> edition. Kasetsart University Publisher, Bangkok. (in Thai)
- [11] Royal Irrigation Department, Ministry of Agriculture and Cooperative. (2011). **Study of Water Quality of Chaophraya River following Command of Queen Sirikit**. Access (18 February 2016). Available (<http://kmcenter.rid.go.th/kchydhome/documents/2554/article/sed012.pdf>) (in Thai)
- [12] Choo-in, S. (2012). **Water Quality Management Klong Wat Rajathiwas, Dusit, Bangkok By Water Replacement**. Research Report. Suan Sunandha Rajabhat University Bangkok. (in Thai)
- [13] Onnom, R. (1997). **Study of Water Quality and Effect of Dam Use in Bangprakong River**. M.S. Thesis, Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Thailand. (in Thai)
- [14] System of Law Data of Water Management. (2016). **Announcement of National Environmental Council**. Access (10 July 2016). Available (<http://hydrolaw.thaiwater.net/web/>) (in Thai)
- [15] Riyakan, I. (2013). Wastewater Treatment by Effective Microorganism Ball: A Case of Study of Wastewater Sample from Sansab Canal. **SDU Research Journal**. Vol. 6, No. 2, pp. 153-168. (in Thai)
- [16] Salab, K. (2017). **Chiang Mai Water Disaster The Director General of the Pollution Control Department Has to Manage the Water System, Resolving Problems of Mae Kha Canal and Moat**. Access (21 June 2017). Available (<http://www.tnews.co.th/contents/318342>) (in Thai)
- [17] Chiraththiti, C., Sakulkaew, K., Pinijwejchakarn, S., Yookongkarm, S., Langla, D., and Kaewkiaw, A. (2016). **The Study of Health Affected by Bacterial Water Quality of Chao Phraya River**. Access (30 December 2016). Available ([http://bkkthon.ac.th/home/user\\_files/department/department-24/files/8-57.pdf](http://bkkthon.ac.th/home/user_files/department/department-24/files/8-57.pdf)) (in Thai)



## การเปรียบเทียบเทคนิคเอนกประสงค์เพื่อพยากรณ์ราคาทองและราคาน้ำมัน Comparison of Time Series Techniques for Predicting Gold and Oil Prices

วิบูล ณูก<sup>1</sup> และ Jarvis ทองคำ<sup>1\*</sup>

Received: October, 2017; Accepted: January, 2018

### บทคัดย่อ

การพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมันจากการอ้างอิงราคาตลาดโลกนั้นเป็นงานวิจัยที่ท้าทาย โดยการพยากรณ์ราคาทอง และราคาน้ำมันที่ถูกต้องหรือใกล้เคียงกับราคาริบงที่สุดนั้น จะทำให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่งต่อนักลงทุน ปัจจุบันเทคนิคเอนกประสงค์เข้ามามีบทบาทในการพยากรณ์ข้อมูลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน โดยใช้ข้อมูลราคาทองคำ และราคาน้ำมันคืนตึงแต่วันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2546 ถึงวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2559 ในงานวิจัยนี้ 6 เทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ คือ Linear Regression (LR), Multi-Layer Perceptron (MLP), Radial Basis Function (RBF), Reduced Error Pruning Tree (REPT) Support Vector Machine Regression (SVMR) และ Sequential Minimal Optimization Regression (SMOR) ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง Sliding Windows ได้ถูกนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล เป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ และชุดข้อมูลทดสอบ 13 รอบ ของ Sliding Windows ถูกนำมาใช้เพื่อลดความแปรปรวนของผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนล้มบูรณา (Mean Absolute Error: MAE) และ Root Mean Square Error (RMSE) ได้ถูกนำมาใช้ในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองจากการศึกษาพบว่า เทคนิค SMOR มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมันที่มีค่า MAE ต่ำสุดถึง  $14.21 \pm 5.35$  และ  $1.65 \pm 0.75$

คำสำคัญ : ราคาน้ำมัน; ราคาทอง; เทคนิคเอนกประสงค์

<sup>1</sup> Faculty of Information Science, Mahasarakham University

\* Corresponding Author E - mail Address: jaree.thongkam@gmail.com

## Abstract

Forecasting oil and gold prices from a word market prices reference is a challenging research task. By accurately forecasting the price of gold, it is especially useful for investors. Time series techniques play a role in predicting future time series data. Therefore, this research aims to compare performance of time series techniques for predicting gold and crude oil prices. The data were collected from 2 January 2003 to 30 December 2016. In this research, six techniques including Linear Regression (LR), Multi-Layer Perceptron (MLP), Radial Basis Function (RBF), Reduced Error Pruning Tree (REPT), Support Vector Machine Regression (SVMR) and Sequential Minimal Optimization Regression (SMOR) were used. Sliding Windows was used to divide data into learning and testing sets. 13 rounds of sliding windows were used to reduce the variance of experiment results. Moreover, Mean Absolute Error (MAE) and Root Mean Square Error (RMSE) were used to evaluate the performance of the model. This study found that the SMOR technique is effective in forecasting gold and oil prices with the lowest MAE values at  $14.21 \pm 5.35$  and  $1.65 \pm 0.75$ .

**Keywords:** Oil Prices; Gold Prices; Time Series Techniques

## บทนำ

ราคากองค์และราคาน้ำมันมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ และระบบการเงินของแต่ละประเทศเป็นอย่างยิ่ง [1] - [2] การพยากรณ์ราคาน้ำมันและทองคำเป็นงานวิจัยที่ท้าทาย เนื่องจากการพยากรณ์ราคากองค์และน้ำมันเป็นปัญหาที่ซับซ้อน ซึ่งเกิดจากความไม่แน่นอนและพฤติกรรมของชุดข้อมูลแบบไดนามิก [3] - [4] ซึ่งข้อมูลราคาทองคำและราคาน้ำมันจัดเป็นข้อมูลอนุกรมเวลา

การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์เหตุการณ์ในอนาคตตามลำดับของเวลา โดยส่วนใหญ่ใช้เทคนิคถัวเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) และเทคนิค Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) [5] ปัจจุบันเทคนิคใหม่เข้ามาเมื่อทบทวนในการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตตามช่วงเวลา ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลอง มีนักวิจัยนิยมใช้เทคนิคดังกล่าวมาทำการพยากรณ์ราคากองค์ในอนาคต เช่น Mombeini, H. and Yazdani-Chamzini, A. [6] ได้ทำการทดลองพบว่าเทคนิค Artificial Neural Networks ดีกว่าเทคนิค Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Zainal, N. A. and Mustaffa, Z. [3] ได้ทำการทดลองพบว่าเทคนิค Artificial Neural Network ให้ค่า RMSE และ MAE ต่ำสุดแต่ไม่มีนัยสำคัญของความแตกต่างจากเทคนิคอื่น ส่วน Dubey, A. D. [2] ได้ทำการทดลองพบว่าเทคนิค Support Vector Machine Regression (SVMR) ให้ค่า RMSE และ MAE ที่ต่ำสุด แต่ Yang, J. -F., Zhai, Y. -J., Xu, D. -P., and Han, P. [7] ได้แสดงให้เห็นว่า เทคนิค

SMOR สามารถสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์จำนวนของจุดบอดบนดวงอาทิตย์ ได้ผลการทดลองดีกว่า SVMR และ Neural Network

ในงานวิจัยนี้ข้อมูลอนุกรรมเวลาของราคาทองคำ และราคาน้ำมันตั้งแต่วันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2546 ถึงวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2559 ได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองจาก 6 เทคนิค ที่มีประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลอง คือ Linear Regression (LR), Multi-Layer Perceptron (MLP), Radial Basis Function (RBF), Reduced Error Pruning Tree (REPT), Support Vector Machine Regression (SVMR) และ Sequential Minimal Optimization Regression (SMOR) หลักการ Sliding Windows เพื่อเพิ่มค่าความเชื่อมั่นต่อแบบจำลองมาใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ และชุดข้อมูลทดสอบ Mean Absolute Error (MAE) และ Root Mean Square Error (RMSE) ได้ถูกนำมาใช้ในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

### 1. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน โดยใช้ข้อมูลราคาทองคำ และราคาน้ำมันตั้งแต่วันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2546 ถึงวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2559

### 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทองคำ และน้ำมัน

ทองคำเป็นโลหะมีค่าที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์รู้จักและเป็นเวลานับพัน ๆ ปีได้รับการประเมินว่าเป็นสกุลเงินสำคัญที่การลงทุนหรือเพียงแค่เป็นวัตถุแห่งความงาม สภาพทองคำโลกได้ประมาณการว่าจำนวนเงินที่เคยทำให้มีทองคำทั้งหมดอยู่ที่ 174,100 เมตริกตัน ในปี พ.ศ. 2552 [8] ซึ่งทองคำถือเป็นหนึ่งในสินทรัพย์ที่ดีที่สุดในการดำเนินธุรกิจ ราคาทองคำผันผวนทุกวันและล่วงผลกระทบต่อเศรษฐกิจหรือธุรกิจ ส่วนน้ำมันดิบมีความต้องการใช้ของโลกในปี พ.ศ. 2560 อยู่ที่ระดับ 1.38 mb/d โดยเฉลี่ย 95.05 mb/d สำหรับปี พ.ศ. 2560 คาดว่าความต้องการใช้น้ำมันจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.27 ล้านบาร์เรลต่อวัน หลังจากที่มีการปรับเพิ่มขึ้น 10 tb/d เป็น 96.32 mb/d กลุ่มอื่น ๆ ในเอเชียซึ่งรวมถึงอินเดียคาดว่าจะนำไปสู่การเติบโตของอุปสงค์น้ำมันในปี พ.ศ. 2560 ตามด้วยประเทศไทยและ Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) อเมริกา และ OECD ภูมิภาคเอเชียเป็นภูมิภาคเดียวที่คาดว่าจะเห็นการลดลงของความต้องการใช้น้ำมันในปี พ.ศ. 2560 [9] ซึ่งข้อมูลราคาทองคำ และราคาน้ำมันดิบนี้จัดเป็นข้อมูลอนุกรรมเวลา

#### 2.2 การพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน

การพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมันซึ่งเป็นราคาน้ำมันที่อ้างอิงจากตลาดโลกนั้น เป็นงานวิจัยที่ท้าทาย มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการวิจัยการพยากรณ์ราคาทองคำ เช่น ในปี ค.ศ. 2003 Ongsitrakul, P. and Soonthornphisaj, N. [10] ได้ทำการแสดงการนำเสนอ Support Vector Machine Regression มาทำการพยากรณ์ราคาทองคำ ผลปรากฏว่าแบบจำลองสร้างจากเทคนิค SVMR สามารถพยากรณ์ได้ใกล้เคียงกับราคาระดับต่ำในปี ค.ศ. 2013 KangaraniFarahani, M. and Mehralian, S. [11] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของเทคนิค Neural Network และ Neuro-Fuzzy ในการพยากรณ์ราคาทองคำ ผลการทดลองปรากฏว่า Neural Network ให้ผลการพยากรณ์ได้ดี

เมื่อวัดด้วยค่า RMSE และประสิทธิภาพของการพยากรณ์จะลดลงเมื่อมีการพยากรณ์ในระยะเวลาสูงขึ้น ในปี ค.ศ. 2016 Dubey, A. D. [2] ได้ทำการทดลองพบว่าเทคนิค Support Vector Machine Regression (SVMR) ให้ค่า RMSE และ MAE ที่ต่ำสุดในการพยากรณ์ราคาทองคำ

ในปี ค.ศ. 2006 Xie, W., Yu, L., Shanying Xu, and Wang, S. [12] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ราคาคน้ำมันดิบในตลาดโลกด้วยเทคนิค Support Vector Machine Regression (SVMR), Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) และ Back-Propagation Neural Network (BPNN) พบว่า SVMR มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงสุด ในปี ค.ศ. 2011 Khashman, A. and Nwulu, N. I. [1] ได้ใช้ SVMR ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ราคาคน้ำมัน ผลปรากฏว่าแบบจำลองสามารถพยากรณ์ราคาคน้ำมันได้ดี ต่อมา ในปี ค.ศ. 2017 Nwulu, N. I. [13] ได้นำเทคนิคด้านไม้ตัดลินนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ราคาคน้ำมันดิบในหนึ่งสัปดาห์ พบร่วมกับเทคนิค M5P ให้ค่า RMSE ต่ำสุด

### 2.3 อนุกรรมเวลา

อนุกรรมเวลา (Time Series) หมายถึง ข้อมูลที่ถูกจัดเรียงตามเวลาที่ข้อมูลนั้นได้ถูกบันทึก [2] - [3] เช่น ปริมาณความชื้นในอากาศในแต่ละวัน จำนวนการเกิดอุบัติเหตุในแต่ละเดือน ดังนั้นในการวิเคราะห์อนุกรรมเวลา จึงเป็นการนำเอาเทคนิคต่าง ๆ รวมถึงเทคนิคในเหมืองข้อมูล (Data Mining) และการเรียนรู้เครื่อง (Machine Learning) มาทำการศึกษาความเคลื่อนไหวหรือการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลตามระยะเวลาที่สนใจ เพื่อการคาดคะเนหรือพยากรณ์ข้อมูลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต [2] - [3], [14]

### 2.4 เทคนิคในอนุกรรมเวลา

ในงานวิจัยนี้ได้นำเอา 6 เทคนิคที่มีประสิทธิภาพในอนุกรรมเวลาได้แก่ Linear Regression (LR), Multi-Layer Perceptron (MLP), Radial Basis Function (RBF), Reduced Error Pruning Tree (REPT) Support Vector Machine Regression (SVMR) และ Sequential Minimal Optimization Regression (SMOR)

**Linear Regression (LR)** [15] เป็นเทคนิคโดยพิพนธ์ฐานวิธีที่ใช้กันมากในการทางสถิติที่ใช้ในอนุกรรมเวลาเพื่อหาแนวโน้มของข้อมูลในอนาคตด้วยสมการเชิงเส้น

**Multi-Layer Perceptron (MLP)** [15] เป็นเทคนิคที่มีรูปแบบเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) แบบ Feedforward ซึ่งจะจับคู่ระหว่างชุดข้อมูลนำเข้าและชุดของผลลัพธ์ที่เหมาะสม เทคนิคนี้ประกอบด้วย โหนดthalayชั้นใน Graf กับกัน โดยแต่ละชั้นจะเชื่อมต่อกันโดยหนึ่งต่อไปอีกโหนด แต่ละโหนดจะเป็นเซลล์ประสาท หรือส่วนการประมวลผล ที่มีฟังก์ชันการเปิดใช้งานแบบไม่เชิงเส้น MLP ได้ทั้งการจำแนกและวิเคราะห์ข้อมูลการคาดถอยเชิงเส้นตรง

**Radial Basis Function (RBF)** [15] เป็นเทคนิคในฟังก์ชันเครือข่ายพื้นฐานเกี่ยวกับแนววรรคเมื่อเป็นฟังก์ชันการเปิดใช้งาน ผลลัพธ์ของเครือข่ายคือการรวมกันเชิงเส้นของฟังก์ชันพื้นฐาน Radial พื้นฐานเครือข่ายฟังก์ชันมีการใช้จำนวนมาก รวมทั้งการประมาณค่าการทำงานของอนุกรรมเวลาการจำแนกและการควบคุม

**Reduced Error Pruning Tree (REPT)** [16] เป็นเทคนิคในการสร้างต้นไม้ตัดลิ้นใจ (Decision Tree) ด้วยเทคนิค C4.5 และใช้การเรียนรู้เกี่ยวกับเครื่องจักรในการลดขนาดของต้นไม้ตัดลิ้นใจโดยการตัดส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้และลดความผิดพลาดในการพยากรณ์

**Support Vector Machine Regression (SVMR)** [17] เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการของ Support Vector Machine ด้วยการสนับสนุนเวคเตอร์แบบถูกต้อง ซึ่งเป็นที่นิยมในการจำแนกข้อมูลเทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลแบบเชิงเส้น และแบบไม่เชิงเส้น โดยการแก้ปัญหาการเขียนโปรแกรมกำลังสอง (Quadratic Programming: QP) มีการใช้ฟังก์ชันเครื่องนัล (Kernel) ชนิดต่าง ๆ เช่น เครื่องนัลเชิงเส้น (Linear Kernel) เครื่องนัลโพลีโนเมียล (Polynomial Kernel) เครื่องนัลเรเดียล (Radial Kernel) และเครื่องนัลสigmoid (Sigmoid Kernel)

**Sequential Minimal Optimization Regression (SMOR)** [18] เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาจากเทคนิคเครื่องเรียนเวคเตอร์สนับสนุน (Support Vector Machine) เทคนิคนี้ สามารถใช้ได้ทั้งในงานจำแนก และถูกต้อง เครื่องนัลเชิงเส้น โดยมีการนิยาม Margin เป็นผลรวมของระยะห่างของเส้นตรงที่เป็นไฮเปอร์เพลนเส้นทึบถึ่งเส้นตรงที่ผ่านปัจจัยนำเข้าที่ใกล้ที่สุด และขนาดกับไฮเปอร์เพลนของทั้งสองกลุ่ม โดยระยะห่างจะมองเป็นเวกเตอร์มีชื่อว่า ชัพพอร์ตเตอร์ร์เมทชิน เทคนิคนี้จะเลือกไฮเปอร์เพลนที่มีค่า Margin สูงสุด ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องนัลโพลีโนเมียล (Polynomial Kernel) ซึ่งเป็นเครื่องนัลที่มีความนิยม

## วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยได้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก 1) รวบรวมข้อมูล 2) เตรียมข้อมูล 3) สร้างแบบจำลอง และ 4) วัดประสิทธิภาพแบบจำลอง

### 1. รวบรวมข้อมูล

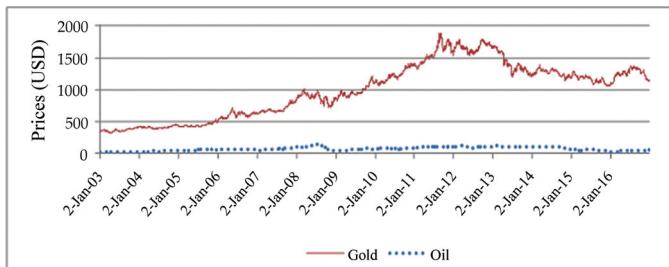
ในงานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลจากเว็บไซต์ [www.gold.org](http://www.gold.org) และ [www.opec.org](http://www.opec.org) ข้อมูลนี้เก็บรวบรวมได้ทุกวันตั้งแต่วันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2546 ถึง 30 ธันวาคม พ.ศ. 2559 ข้อมูลถูกบันทึกเป็นรายวัน ยกเว้นวันสุดสัปดาห์และวันสำคัญต่าง ๆ ราคาของน้ำมันและทองคำมีหน่วยเป็นดอลลาร์สหรัฐอเมริกา (USD)

### 2. การเตรียมข้อมูล

การเตรียมข้อมูล คณะผู้วิจัยได้เริ่มจากการทำการทำความสะอาดข้อมูลทำให้โดยรวมแล้วรวมข้อมูลตรวจสอบความชำรุดของข้อมูล และข้อมูลที่สูญหาย โดยถ้าข้อมูลที่ข้ากันข้อมูลจะถูกลบออกจากไฟล์เพียงข้อมูลที่ไม่ซ้ำ และจึงจัดเรียงใหม่เพื่อการวิเคราะห์ ค่าบางส่วนของวันไม่ได้ระบุไว้ในระเบียบบันทึกดังกล่าวถูกลบไปแล้ว หลังจากการลบมีข้อมูลจำนวน 3,383 ตั้งตารางที่ 1 และสามารถแสดงการเคลื่อนไหวของราคายอดคงค้าง และราคาน้ำมันโดยใช้วันในปีคริสต์ศักราชดังรูปที่ 1

## ตารางที่ 1 ตัวแปร

ชื่อตัวแปร	ประเภทตัวแปร	Min.	Max.	X	S.D.
Date	Date				
Gold	Number	319.90	1895.00	986.63	430.76
Oil	Number	22.48	140.73	71.44	29.278



รูปที่ 1 การเคลื่อนไหวของราคาทอง และราคาน้ำมัน

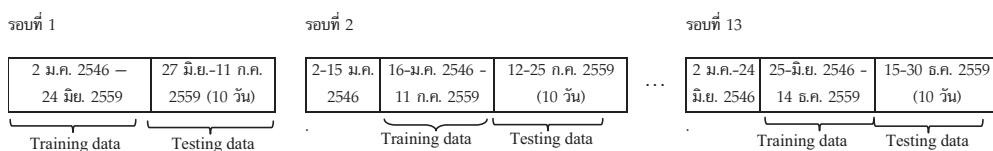
จากตารางที่ 1 และรูปที่ 1 เห็นได้ว่าราคาทองคำมีค่าเบี้ยงเบนมาตรฐานสูงถึง 430.76 ซึ่งเกิดจากความผันผวนของตลาดโลก ส่วนราคาน้ำมัน มีค่าเบี้ยงเบนมาตรฐานต่ำ และจัดว่ามีองค์ประกอบของอนุกรมเวลาในส่วนของการผันแปรเนื่องจากความผิดปกติ จึงเป็นการยากที่นำเอateknikปกติมาทำการวิเคราะห์ ทางคน哪วจัยจึงได้ค้นหาเทคนิคที่เหมาะสมในการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน

### 3. การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองพยากรณ์ราคาน้ำมันดิบ และราคาทองคำ เพื่อช่วยในการตัดสินใจลงทุนหรือขายออกด้วยเทคนิคในอนุกรมเวลา คือ เทคนิค Linear Regression (LR), Multi-Layer Perceptron (MLP), Radial Basis Function (RBF), Reduced Error Pruning Tree (REPT), Support Vector Machine Regression (SVMR) และ Sequential Minimal Optimization Regression (SMOR)

### 4. การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การวัดค่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้หลักการ Sliding Window ในการแบ่งออกเป็นชุดข้อมูลการฝึกอบรมเพื่อเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ โดยเริ่มรอบแรกตั้งแต่วันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2546 ถึง 24 มิถุนายน พ.ศ. 2559 และใช้ข้อมูล 27 มิถุนายน - 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 แล้วทำการเลื่อนหน้าตามข้อมูล (Sliding Windows) ไป 10 วันทำการไม่รวมวันหยุดสำคัญ เช่น วันคริสต์มาส และวันหยุดสุดสัปดาห์ ดังนั้นในรอบที่ 2 เป็นระหว่างวันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2546 ถึง 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ และระหว่างวันที่ 12 - 25 กรกฎาคม 2559 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การแบ่งชุดข้อมูลเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบด้วย Sliding Windows

จากรูปที่ 2 การแบ่งชุดข้อมูลเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบด้วย Sliding Windows ในแต่ละรอบของการทดลองจะทำการวัดประสิทธิภาพ ด้วยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนล้มบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) รวมเป็นจำนวน 13 รอบ แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนล้มบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) คือ ค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ยระหว่างค่าจากการพยากรณ์ และค่าจริง เป็นค่าที่มีความชัดเจน ดังสมการที่ (1)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (1)$$

เมื่อ

$y_i$  คือ ราคาจากการพยากรณ์  
 $\hat{y}_i$  คือ ราคาจริง  $n$  จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) คือ การวัดความคลาดเคลื่อนเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าจากการพยากรณ์และค่าจริงเฉลี่ยกำลังสอง ดังสมการที่ (2)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (2)$$

จากค่าที่ได้ ถ้าค่า MAE และ RMSE ต่ำแสดงว่าค่าพยากรณ์มีความใกล้เคียงกับค่าจริงซึ่งหมายถึงแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูง ในทางกลับกันถ้าค่า MAE และ RMSE ค่าพยากรณ์ มีความห่างจากค่าจริงสูงแสดงว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพต่ำ โดยผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมินดังนี้

ค่าระหว่าง 0 - 9.99	หมายความว่า	ระดับดีมาก
ค่าระหว่าง 10 - 19.99	หมายความว่า	ระดับดี
ค่า 20 ขึ้นไป	หมายความว่า	ระดับน้อย

## ผลการศึกษา

จากการศึกษาสามารถแสดงผลการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน ในแต่ละรอบของการทดลอง จากการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค LR, MLP, RBF, REPT, SVMR และ SMOR และแสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองนี้ด้วย ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนล้มบูรณ์ (MAE) และ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน

### 1. ผลการพยากรณ์ราคาทองคำและราคาน้ำมัน

ผลการพยากรณ์ราคาทองคำและราคาน้ำมันของแบบจำลองจากการสร้างโดยเทคนิค Linear Regression (LR), Multi-Layer Perceptron (MLP), Radial Basis Function (RBF), Reduced Error Pruning Tree (REPT) Support Vector Machine Regression (SVMR), และ Sequential Minimal Optimization Regression (SMOR) จำนวน 13 รอบ โดยแสดงค่าเฉลี่ยของราคาจริง และค่าเฉลี่ยของราคาจากการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมันของแบบจำลอง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ผลการพยากรณ์ราคาทองคำ

Rounds	Actual Price	LR	MLP	RBF	REPT	SVMR	SMOR
Round1	1,338.98 $\pm$ 17.82	1,291.30 $\pm$ 9.45	1,269.97 $\pm$ 27.07	1,259.80 $\pm$ 16.48	1,308.31 $\pm$ 0.00	1,011.13 $\pm$ 0.00	1,306.29 $\pm$ 3.96
Round2	1,327.23 $\pm$ 9.79	1,338.06 $\pm$ 9.73	1,250.21 $\pm$ 48.40	1,289.06 $\pm$ 26.27	1,361.20 $\pm$ 0.00	1,042.75 $\pm$ 0.00	1,350.77 $\pm$ 3.53
Round3	1,344.80 $\pm$ 13.15	1,295.95 $\pm$ 8.49	1,262.96 $\pm$ 18.33	1,275.34 $\pm$ 17.88	1,316.61 $\pm$ 0.00	1,056.03 $\pm$ 0.00	1,304.21 $\pm$ 4.54
Round4	1,345.50 $\pm$ 5.64	1,322.42 $\pm$ 9.14	1,304.43 $\pm$ 12.61	1,280.51 $\pm$ 21.58	1,335.86 $\pm$ 0.00	1,061.42 $\pm$ 0.00	1,325.86 $\pm$ 6.11
Round5	1,322.06 $\pm$ 9.33	1,318.04 $\pm$ 8.23	1,281.22 $\pm$ 20.41	1,292.60 $\pm$ 20.99	1,335.60 $\pm$ 0.00	1,067.93 $\pm$ 0.00	1,324.26 $\pm$ 5.22
Round6	1,324.04 $\pm$ 12.76	1,324.19 $\pm$ 6.63	1,321.58 $\pm$ 7.64	1,291.84 $\pm$ 17.45	1,331.88 $\pm$ 0.00	1,072.02 $\pm$ 0.00	1,332.07 $\pm$ 3.03
Round7	1,323.11 $\pm$ 15.91	1,302.46 $\pm$ 6.32	1,275.42 $\pm$ 16.84	1,278.55 $\pm$ 12.89	1,319.84 $\pm$ 0.00	1,079.23 $\pm$ 0.00	1,306.27 $\pm$ 4.14
Round8	1,257.81 $\pm$ 4.75	1,271.49 $\pm$ 6.78	1,265.91 $\pm$ 4.62	1,267.84 $\pm$ 8.55	1,286.15 $\pm$ 0.00	1,083.70 $\pm$ 0.00	1,267.97 $\pm$ 6.93
Round9	1,271.22 $\pm$ 6.25	1,251.16 $\pm$ 3.13	1,288.18 $\pm$ 13.02	1,255.18 $\pm$ 1.17	1,266.85 $\pm$ 0.00	1,086.42 $\pm$ 0.00	1,251.47 $\pm$ 3.86
Round10	1,269.89 $\pm$ 31.3	1,288.84 $\pm$ 0.91	1,288.28 $\pm$ 1.38	1,274.25 $\pm$ 4.29	1,288.19 $\pm$ 0.00	1,088.80 $\pm$ 0.00	1,282.45 $\pm$ 3.10
Round11	1,202.66 $\pm$ 16.94	1,218.78 $\pm$ 3.77	1,253.18 $\pm$ 15.28	1,233.56 $\pm$ 6.49	1,221.32 $\pm$ 0.00	1,092.13 $\pm$ 0.00	1,215.62 $\pm$ 5.67
Round12	1,165.93 $\pm$ 6.82	1,174.64 $\pm$ 1.28	1,218.36 $\pm$ 18.97	1,213.56 $\pm$ 14.26	1,179.54 $\pm$ 0.00	1,096.44 $\pm$ 0.00	1,171.54 $\pm$ 2.91
Round13	1,134.33 $\pm$ 6.53	1,159.44 $\pm$ 2.11	1,192.56 $\pm$ 24.06	1,362.01 $\pm$ 0.00	1,160.75 $\pm$ 0.00	1,148.01 $\pm$ 8.41	1,100.93 $\pm$ 0.00
Average	1,279.04 $\pm$ 7.03	1,273.60 $\pm$ 3.09	1,267.10 $\pm$ 11.34	1,274.93 $\pm$ 7.93	1,285.55 $\pm$ 0.00	1,075.85 $\pm$ 2.24	1,272.29 $\pm$ 1.68
T-Test		0.44	0.41	0.86	0.28	0.00	0.27

จากตารางที่ 2 แสดงราคาเฉลี่ยของทองคำ และค่าจากการพยากรณ์ของราคาทองคำจำนวนรอบละ 10 ผลปรากฏว่า แบบจำลองที่สร้างจากเทคนิค LR MLP RBF และ SMOR สามารถพยากรณ์ราคาทองคำได้อย่างเหมาะสม ส่วน SVMR และเทคนิค REPT จะเป็นเลี้นตรงที่ค่าเดียว ซึ่งไม่เหมาะสมกับการพยากรณ์ราคาทองคำ เนื่องจากราคาน้ำมันทองคำมีค่าไม่คงที่ ยิ่งไปกว่านั้น เทคนิค RBF สามารถสร้างแบบจำลองที่พยากรณ์ราคาทองคำที่มีความใกล้เคียงกับราคาทองคำมากที่สุด แต่เทคนิค SVMR สร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำที่ใกล้เคียงกับค่าจริงของราคาทองคำต่ำที่สุด

จากตารางที่ 3 แสดงราคาเฉลี่ยของน้ำมัน และราคางานการพยากรณ์ของราคาน้ำมันในรอบ 10 วัน ผลปรากฏว่าแบบจำลองที่สร้างจากเทคนิค LR MLP RBF และ SMOR สามารถพยากรณ์ราคาน้ำมันได้อย่างเหมาะสม ส่วน SVMR และเทคนิค REPT จะเป็นเลี้นตรง ซึ่งไม่เหมาะสมกับการพยากรณ์ราคาน้ำมัน เนื่องจากราคาน้ำมันเป็นราคาน้ำมันที่ไม่คงที่ เทคนิค MLP สามารถพยากรณ์ได้ใกล้เคียงค่าจริงที่สุด และมีค่าความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ (T-Test = 0.98) ยิ่งไปกว่านั้นเทคนิค MLP สามารถสร้างแบบจำลองที่พยากรณ์ราคาน้ำมันที่มีความใกล้เคียงกับราคาน้ำมันมากที่สุด แต่เทคนิค SVMR สร้างแบบจำลองที่พยากรณ์ราคาน้ำมันที่ใกล้เคียงกับค่าจริงของราคาทองคำน้อยที่สุด

ตารางที่ 3 ผลการพยากรณ์ราคาน้ำมัน

Rounds	Actual Price	LR	MLP	RBF	REPT	SVMR	SMOR
Round1	44.66 ±0.97	43.95 ±0.25	43.44 ±0.69	49.78 ±2.05	45.20 ±0.38	67.81 ±0.00	43.55 ±0.6
Round2	42.73 ±0.64	41.29 ±0.40	45.47 ±1.82	50.12 ±3.45	41.41 ±0.00	67.80 ±0.00	41.16 ±0.5
Round3	39.65 ±0.90	40.88 ±0.27	44.01 ±1.72	47.32 ±2.51	42.07 ±0.00	67.81 ±0.00	40.87 ±0.26
Round4	43.85 ±2.34	40.89 ±0.17	42.51 ±0.85	48.02 ±3.02	40.89 ±0.00	67.81 ±0.00	40.79 ±0.24
Round5	44.18 ±1.59	45.75 ±0.16	46.03 ±0.31	51.38 ±2.26	45.01 ±0.00	67.83 ±0.00	45.41 ±0.27
Round6	42.94 ±1.18	41.9 ±0.42	44.34 ±0.57	46.99 ±2.20	43.39 ±0.00	67.81 ±0.00	42.20 ±0.38
Round7	43.77 ±1.67	40.86 ±0.35	42.43 ±0.8	45.92 ±1.88	42.00 ±0.00	67.81 ±0.00	40.35 ±0.62
Round8	48.32 ±0.34	47.12 ±0.10	46.40 ±0.27	50.37 ±1.40	46.07 ±0.00	67.81 ±0.00	46.20 ±0.32
Round9	47.32 ±1.28	47.97 ±0.17	45.70 ±1.19	49.24 ±0.46	49.14 ±0.00	67.83 ±0.00	47.13 ±0.54
Round10	42.07 ±0.59	43.43 ±0.46	43.27 ±0.45	46.50 ±0.87	44.59 ±0.00	67.83 ±0.00	43.66 ±0.38
Round11	44.07 ±1.05	41.82 ±0.10	46.22 ±1.69	43.79 ±0.59	42.25 ±0.00	67.84 ±0.00	41.58 ±0.36
Round12	51.06 ±1.12	45.06 ±0.05	45.14 ±0.11	44.02 ±0.36	45.04 ±0.00	67.83 ±0.00	44.00 ±0.6
Round13	52.23 ±0.84	52.27 ±0.26	51.61 ±0.14	84.15 ±0.00	51.44 ±0.00	50.59 ±0.76	67.83 ±52.23
Average	45.14 ±0.50	44.09 ±0.13	45.12 ±0.59	50.58 ±1.05	44.50 ±0.10	66.49 ±0.20	44.98 ±13.81
T-Test		0.10	0.98	0.05	0.36	0.00	0.91

2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนล้มบูรณาของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนล้มบูรณา (MAE) ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ยระหว่างราคาจากการพยากรณ์ และราคาจริงของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนล้มบูรณาของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ

Rounds	LR	MLP	RBF	REPT	SVMR	SMOR
Round1	46.90 ±22.27	80.05 ±44.86	8.36 ±2.34	8.62 ±4.11	340.15 ±6.13	26.87 ±13.57
Round2	6.82 ±1.99	97.96 ±51.52	26.04 ±2.82	27.73 ±4.12	278.13 ±4.12	10.53 ±2.48
Round3	36.44 ±13.58	69.08 ±40.98	10.11 ±1.08	11.01 ±1.16	290.82 ±5.12	18.87 ±5.56
Round4	17.30 ±7.86	33.92 ±17.32	7.38 ±0.59	8.87 ±2.67	281.98 ±2.84	6.26 ±2.19
Round5	15.73 ±5.36	49.45 ±30.20	28.55 ±1.51	31.29 ±4.40	256.35 ±4.40	12.71 ±4.18
Round6	8.20 ±3.10	33.03 ±22.62	38.35 ±3.50	41.66 ±3.77	244.25 ±3.77	9.98 ±3.44
Round7	15.18 ±3.92	67.23 ±33.63	39.37 ±4.96	49.81 ±11.82	231.62 ±11.82	14.18 ±3.86
Round8	8.37 ±2.06	53.15 ±23.75	104.47 ±0.81	104.00 ±0.85	172.92 ±0.85	6.35 ±1.32
Round9	17.22 ±10.60	39.78 ±23.72	88.58 ±1.64	84.88 ±5.15	189.08 ±5.15	10.57 ±4.70
Round10	46.90 ±20.15	24.23 ±11.88	111.30 ±13.04	114.16 ±16.99	157.12 ±16.99	35.37 ±17.93
Round11	20.64 ±9.29	60.08 ±33.61	168.54 ±5.13	170.71 ±5.97	97.37 ±5.97	7.05 ±1.49
Round12	7.25 ±1.79	20.29 ±6.83	196.77 ±2.14	193.76 ±2.65	66.82 ±2.65	7.29 ±2.04

#### ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนล้มบูรณาของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ (ต่อ)

Rounds	LR	MLP	RBF	REPT	SVMR	SMOR
Round13	10.23 $\pm$ 3.43	13.67 $\pm$ 5.52	225.09 $\pm$ 2.45	225.09 $\pm$ 2.45	36.00 $\pm$ 2.45	18.68 $\pm$ 6.85
Average	19.78 $\pm$ 13.81	49.38 $\pm$ 24.00	80.99 72.54	82.43 $\pm$ 71.42	184.03 $\pm$ 4.50	<b>14.21 <math>\pm</math>5.35</b>

จากรายงานที่ 4 แสดงให้เห็นค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนล้มบูรณาของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำจำนวน 13 รอบ ด้วยเทคนิค SMOR ให้ค่า 14.21 ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำสุด แต่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่าเทคนิค SVMR ต่อมาเทคนิค LR ได้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 19.78 อยู่ในระดับดี

#### ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนล้มบูรณาของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาน้ำมัน

Round	LR	MLP	RBF	REPT	SVMR	SMOR
Round1	1.17 $\pm$ 0.30	1.18 $\pm$ 0.43	44.04 $\pm$ 0.42	43.92 $\pm$ 0.66	9.38 $\pm$ 17.31	1.23 $\pm$ 0.42
Round2	0.79 $\pm$ 0.22	2.83 $\pm$ 1.09	45.24 $\pm$ 0.27	45.32 $\pm$ 0.46	9.73 $\pm$ 17.79	0.85 $\pm$ 0.28
Round3	1.23 $\pm$ 0.40	7.21 $\pm$ 3.68	47.46 $\pm$ 0.26	47.40 $\pm$ 0.56	11.00 $\pm$ 18.33	1.36 $\pm$ 0.45
Round4	4.04 $\pm$ 1.86	0.97 $\pm$ 0.32	41.54 $\pm$ 0.76	41.44 $\pm$ 0.90	9.64 $\pm$ 15.96	2.95 $\pm$ 1.62
Round5	1.99 $\pm$ 0.76	1.90 $\pm$ 0.65	43.38 $\pm$ 0.63	43.39 $\pm$ 0.72	9.59 $\pm$ 16.90	1.76 $\pm$ 0.74
Round6	1.02 $\pm$ 0.44	1.30 $\pm$ 0.38	43.83 $\pm$ 0.46	43.81 $\pm$ 0.49	9.38 $\pm$ 17.23	1.50 $\pm$ 0.56
Round7	3.32 $\pm$ 1.76	7.17 $\pm$ 3.73	41.14 $\pm$ 0.67	40.58 $\pm$ 1.09	10.26 $\pm$ 15.41	2.12 $\pm$ 0.98
Round8	0.60 $\pm$ 0.27	5.35 $\pm$ 2.69	36.95 $\pm$ 0.03	36.99 $\pm$ 0.07	8.34 $\pm$ 14.40	0.42 $\pm$ 0.05
Round9	1.63 $\pm$ 0.87	5.87 $\pm$ 2.90	38.36 $\pm$ 0.40	38.83 $\pm$ 0.85	9.09 $\pm$ 14.84	0.86 $\pm$ 0.29
Round10	0.82 $\pm$ 0.20	0.60 $\pm$ 0.13	43.17 $\pm$ 0.15	43.09 $\pm$ 0.20	8.91 $\pm$ 17.11	0.60 $\pm$ 0.14
Round11	1.65 $\pm$ 0.44	4.40 $\pm$ 2.10	40.23 $\pm$ 0.19	40.19 $\pm$ 0.20	9.21 $\pm$ 15.54	1.97 $\pm$ 0.74
Round12	2.77 $\pm$ 1.65	8.58 $\pm$ 3.97	32.76 $\pm$ 0.34	32.77 $\pm$ 0.43	8.94 $\pm$ 12.11	3.79 $\pm$ 2.34
Round13	0.62 $\pm$ 0.15	0.84 $\pm$ 0.29	31.39 $\pm$ 0.35	31.39 $\pm$ 0.35	6.86 $\pm$ 12.28	2.08 $\pm$ 1.11
Average	1.67 $\pm$ 1.05	3.71 $\pm$ 2.74	40.73 $\pm$ 4.56	40.70 $\pm$ 4.53	9.20 $\pm$ 1.89	<b>1.65 <math>\pm</math>0.75</b>

จากรายงานที่ 5 แสดงให้เห็นค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนล้มบูรณาของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาน้ำมันจำนวน 13 รอบ ด้วยเทคนิค SMOR ให้ค่า 1.65 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.75 ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำสุด เทคนิค LR MLP และ SVMR ให้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 1.67, 3.71 และ 9.20 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในระดับดีมาก

#### 3. การเปรียบเทียบค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของแบบจำลอง

การเปรียบเทียบค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าพยากรณ์และค่าจริงของราคาทองคำ และราคาน้ำมัน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6 และ 7

**ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ**

Rounds	LR	MLP	RBF	REPT	SVMR	SMOR
Round1	48.02 $\pm$ 21.43	82.20 $\pm$ 43.96	10.59 $\pm$ 3.61	11.03 $\pm$ 5.84	24.05 $\pm$ 0.66	29.46 $\pm$ 13.08
Round2	8.19 $\pm$ 2.14	99.03 $\pm$ 50.93	26.97 $\pm$ 2.32	28.54 $\pm$ 3.50	25.57 $\pm$ 0.46	12.70 $\pm$ 2.94
Round3	39.09 $\pm$ 13.76	73.15 $\pm$ 40.48	10.92 $\pm$ 0.94	11.67 $\pm$ 1.11	27.95 $\pm$ 0.56	23.57 $\pm$ 7.70
Round4	18.49 $\pm$ 7.67	35.45 $\pm$ 16.67	8.51 $\pm$ 0.58	10.21 $\pm$ 2.22	22.37 $\pm$ 0.90	7.23 $\pm$ 2.45
Round5	19.16 $\pm$ 4.81	52.97 $\pm$ 29.53	29.98 $\pm$ 1.35	32.49 $\pm$ 4.76	24.77 $\pm$ 0.72	14.43 $\pm$ 3.88
Round6	9.84 $\pm$ 3.69	36.70 $\pm$ 21.74	39.01 $\pm$ 2.93	42.23 $\pm$ 3.09	25.62 $\pm$ 0.49	11.96 $\pm$ 3.91
Round7	18.15 $\pm$ 4.26	71.74 $\pm$ 33.46	41.98 $\pm$ 4.38	52.22 $\pm$ 10.89	22.80 $\pm$ 1.09	17.77 $\pm$ 4.12
Round8	9.52 $\pm$ 2.49	54.94 $\pm$ 23.24	104.52 $\pm$ 0.79	104.04 $\pm$ 0.85	19.47 $\pm$ 0.07	8.01 $\pm$ 1.44
Round9	18.79 $\pm$ 9.83	40.77 $\pm$ 23.11	88.80 $\pm$ 1.62	85.16 $\pm$ 5.20	21.56 $\pm$ 0.85	12.37 $\pm$ 4.58
Round10	50.99 $\pm$ 18.75	28.68 $\pm$ 10.94	114.62 $\pm$ 11.39	116.78 $\pm$ 15.10	26.05 $\pm$ 0.20	39.61 $\pm$ 17.52
Round11	22.39 $\pm$ 7.88	61.73 $\pm$ 32.19	168.91 $\pm$ 4.86	171.03 $\pm$ 5.65	23.41 $\pm$ 0.20	8.90 $\pm$ 1.41
Round12	8.48 $\pm$ 1.80	22.37 $\pm$ 6.67	196.86 $\pm$ 2.10	193.83 $\pm$ 2.59	16.15 $\pm$ 0.43	8.58 $\pm$ 2.09
Round13	13.40 $\pm$ 2.40	20.98 $\pm$ 7.99	225.17 $\pm$ 2.45	225.17 $\pm$ 2.45	15.07 $\pm$ 0.35	20.65 $\pm$ 6.88
Average	21.89 $\pm$ 14.16	52.36 $\pm$ 23.34	82.06 $\pm$ 72.11	83.42 $\pm$ 71.00	22.29 $\pm$ 0.31	<b>16.56 <math>\pm</math>5.54</b>

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าพยากรณ์และค่าจริงของราคาทองคำ ผลปรากฏว่าเทคนิค SMOR สามารถสร้างแบบจำลองที่ให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองเป็น 16.56 ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำสุด อยู่ในระดับดีแต่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่าเทคนิค SVMR ต่อมาเทคนิค LR ให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองเท่ากับ 21.89 อยู่ในระดับน้อย

**ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาน้ำมัน**

Rounds	LR	MLP	RBF	REPT	SVMR	SMOR
Round1	1.35 $\pm$ 0.35	1.39 $\pm$ 0.45	44.05 $\pm$ 0.42	43.93 $\pm$ 0.66	24.07 $\pm$ 0.65	1.38 $\pm$ 0.38
Round2	0.92 $\pm$ 0.23	2.94 $\pm$ 1.05	45.24 $\pm$ 0.27	45.32 $\pm$ 0.45	25.57 $\pm$ 0.45	0.98 $\pm$ 0.26
Round3	1.43 $\pm$ 0.48	7.50 $\pm$ 3.56	47.47 $\pm$ 0.26	47.41 $\pm$ 0.56	27.96 $\pm$ 0.56	1.57 $\pm$ 0.50
Round4	4.20 $\pm$ 1.75	1.15 $\pm$ 0.42	41.57 $\pm$ 0.78	41.46 $\pm$ 0.92	22.41 $\pm$ 0.94	3.16 $\pm$ 1.60
Round5	2.26 $\pm$ 0.67	2.09 $\pm$ 0.63	43.41 $\pm$ 0.62	43.41 $\pm$ 0.71	24.80 $\pm$ 0.70	2.07 $\pm$ 0.68
Round6	1.23 $\pm$ 0.50	1.52 $\pm$ 0.44	43.84 $\pm$ 0.45	43.81 $\pm$ 0.48	25.63 $\pm$ 0.48	1.73 $\pm$ 0.56
Round7	3.61 $\pm$ 1.60	7.34 $\pm$ 3.61	41.17 $\pm$ 0.68	40.60 $\pm$ 1.10	22.84 $\pm$ 1.12	2.42 $\pm$ 0.97
Round8	0.73 $\pm$ 0.25	5.37 $\pm$ 2.67	36.96 $\pm$ 0.03	36.99 $\pm$ 0.07	19.47 $\pm$ 0.07	0.56 $\pm$ 0.08
Round9	1.80 $\pm$ 0.84	5.96 $\pm$ 2.85	38.37 $\pm$ 0.40	38.84 $\pm$ 0.84	21.58 $\pm$ 0.84	1.03 $\pm$ 0.34
Round10	0.96 $\pm$ 0.20	0.69 $\pm$ 0.16	43.17 $\pm$ 0.15	43.10 $\pm$ 0.20	26.05 $\pm$ 0.20	0.76 $\pm$ 0.16

## ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาน้ำมัน (ต่อ)

Rounds	LR	MLP	RBF	REPT	SVMR	SMOR
Round11	1.85 ±0.41	4.58 ±1.96	40.23 ±0.19	40.20 ±0.20	23.42 ±0.20	2.58 ±0.72
Round12	3.43 ±1.58	8.76 ±3.84	32.77 ±0.34	32.78 ±0.43	16.18 ±0.44	4.37 ±2.23
Round13	0.72 ±0.15	0.96 ±0.27	31.40 ±0.35	31.40 ±0.35	15.08 ±0.35	2.19 ±1.07
Average	<b>1.88 ±1.12</b>	3.87 ±2.74	40.74 ±4.57	40.71 ±4.53	22.31 ±0.32	1.91 ±0.73

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง ในการเปรียบเทียบ ความแตกต่างระหว่างค่าพยากรณ์และค่าจริงของราคากองคำ ผลปรากฏว่าเทคนิค LR สามารถสร้างแบบจำลองที่ให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองต่ำสุดเท่ากับ 1.88 รองลงมาคือ เทคนิค SMOR ให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองเท่ากับ 1.91 แต่แบบจำลองจากเทคนิค LR มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองสูงกว่าแบบจำลองจากเทคนิค SMOR อย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบด้วย T-Test One Pair เท่ากับ 0.09

## วิจารณ์และสรุป

ในการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ราคากองคำและราคาน้ำมัน โดยแบบจำลองที่ใช้ในประกอบด้วย ผลการพยากรณ์ และผลการทดลองพบว่า เทคนิค MLP สามารถพยากรณ์ราคากองคำใกล้เคียงกับราคากองคำจริง ส่วน RBF สามารถพยากรณ์ราคากองคำใกล้เคียง กับราคาน้ำมันดีบ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการประมวลผลความผิดพลาดในการพยากรณ์ ด้วย MAE และ RMSE พบว่า เทคนิค SMOR มีความเหมาะสมมากที่สุดในการพยากรณ์ราคากองคำ ด้วยค่า MAE เท่ากับ 14.21 และค่า RMSE เท่ากับ 16.56 ซึ่งให้ผลเหมือนกันงานของ Yang, J. -F., Zhai, Y. -J., Xu, D. -P., and Han, P. [7] ใน การพยากรณ์จำนวนของจุดยอดนวนธรรมอาทิตย์ พบว่า SMOR ได้ผลการทดลองดีกว่า SVMR และ Neural Network

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเว็บไซต์ [www.gold.org](http://www.gold.org) และ [www.opec.org](http://www.opec.org) และคณาจารย์คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและคำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

## References

- [1] Khashman, A. and Nwulu, N. I. (2011). Support Vector Machines Versus Back Propagation Algorithm for Oil Price Prediction. **8<sup>th</sup> International Symposium on Neural Networks, ISNN 2011 Guilin, China, May/June 2011 Proceedings, Part III**. Vol. 6677, Liu, D., Z.H., Polycarpou M., Alippi C., He H. (eds) Ed., ed: Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 530-538

- [2] Dubey, A. D. (2016). Gold Price Prediction Using Support Vector Regression and ANFIS Models. **2016 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)**. pp. 1-6. DOI: 10.1109/ICCCI.2016.7479929
- [3] Zainal, N. A. and Mustaffa, Z. (2016). Developing A Gold Price Predictive Analysis Using Grey Wolf Optimizer. **2016 IEEE Student Conference on Research and Development (SCoReD)**. pp. 1-6. DOI: 10.1109/SCORED.2016.7810031
- [4] Christina, C. and Umbara, R. F. (2015). Gold Price Prediction Using Type-2 Neuro-Fuzzy Modeling and ARIMA. **2015 3<sup>rd</sup> International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)**. pp. 272-277. DOI: 10.1109/ICoICT.2015.7231435
- [5] Kanokkarn, M. (2014). Study of the Appropriate Forecasting Methods for Consumer Product Demand of a Public Company. **Journal of Business Administration The Association of Private Education Institutions of Thailand**. Vol. 3, No. 1, pp. 12-21
- [6] Mombeini, H. and Yazdani-Chamzini, A. (2015). Modeling Gold Price Via Artificial Neural Network. **Journal of Economics, Business and Management**, Vol. 3, No.7, pp. 699-703. DOI: 10.7763/JOEBM.2015.V3.269
- [7] Yang, J. -F., Zhai, Y. -J., Xu, D. -P., and Han, P. (2007). SMO Algorithm Applied in Time Series Model Building and Forecast. **2007 International Conference on Machine Learning and Cybernetics**. pp. 2395-2400
- [8] World Gold Council. (2016). **The Market Development Organisation for the Gold Industry**. Access (30 January 2017). Available (<http://www.gold.org>)
- [9] Organization of the Petroleum Exporting Countries. (2016). **Monthly Oil Market Report**. Access (30 April 2017). Available ([http://www.opec.org/opec\\_web/en/](http://www.opec.org/opec_web/en/))
- [10] Ongsritrakul, P. and Soonthornphisaj, N. (2003). Apply Decision Tree and Support Vector Regression to Predict the Gold Price. **Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2003**. Vol. 4, pp. 2488-2492. DOI: 10.1109/IJCNN.2003.1223955
- [11] KangaraniFarahani, M. and Mehralian, S., (2013). Comparison Between Artificial Neural Network and Neuro-Fuzzy for Gold Price Prediction. **2013 13<sup>th</sup> Iranian Conference on Fuzzy Systems (IFSC)**. pp. 1-5. DOI: 10.1109/IFSC.2013.6675635
- [12] Xie, W., Yu, L., ShanyingXu, and Wang, S. (2006). A New Method for Crude Oil Price Forecasting Based on Support Vector Machines. **International Conference on Computational Science**. Computational Science- ICCS 2006. pp. 444-451. DOI: 10.1007/11758549\_63
- [13] Nwulu, N. I. (2017). A Decision Trees Approach to Oil Price Prediction. **2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)**. pp. 1-5. DOI: 10.1109/IDAP.2017.8090313

- [14] Peña, M. A., Brenning, A., and Liao, R., (2017). Classifying Fruit-Tree Crops by Landsat-8 time series. **2017 First IEEE International Symposium of Geoscience and Remote Sensing (GRSS-CHILE)**. pp. 1-4. DOI: 10.1109/GRSS-CHILE.2017.7995998
- [15] Frank, E. (2014). **Fully Supervised Training of Gaussian Radial Basis Function Networks in WEKA**. Department of Computer Science University of Waikato.
- [16] Elomaa, T. and Kaariainen, M. (2001). An Analysis of Reduced Error Pruning. **Journal of Artificial Intelligence Research**. Vol. 15, Issue 1, pp. 163-187
- [17] Chang, C. -C. and Lin, C. -J. (2011). LIBSVM : A Library for Support Vector Machines. **ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)**. Vol. 2, Issue 3, pp. 1-27. DOI: 10.1145/1961189.1961199
- [18] Shevade, S. K., Keerthi, S. S., Bhattacharyya, C., and Murthy, K. R. K. (2000). Improvements to the SMO Algorithm for SVM Regression. **IEEE Transactions on Neural Networks**. Vol. 11, No. 5, pp. 1188-1193. DOI: 10.1109/72.870050

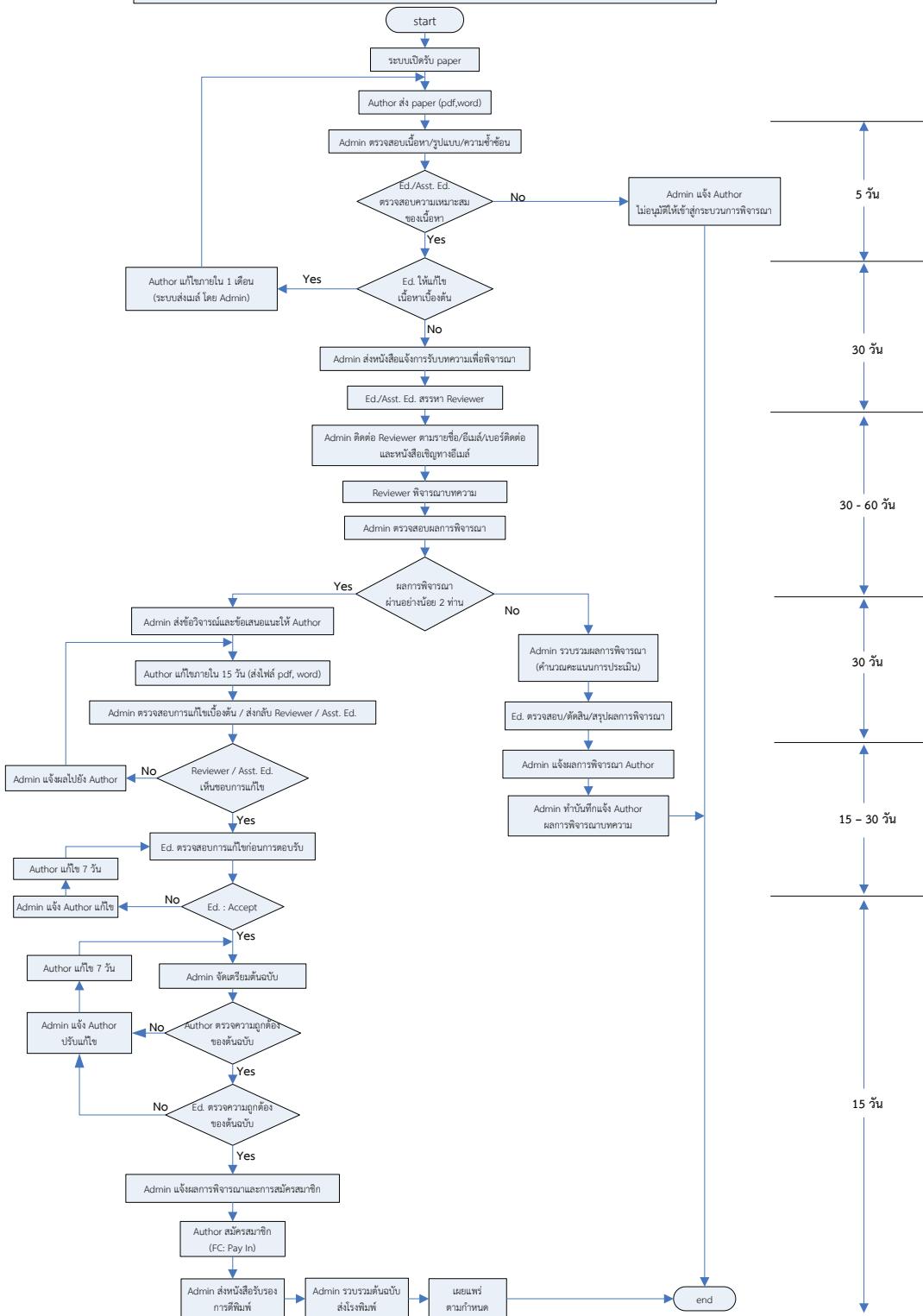


คำแนะนำสำหรับผู้เขียน



**RMUTI**  
ราชมงคลอีสาน

**ผังการดำเนินงานการสาร มหาวิทยาลัยและเทคโนโลยี**



**สารสาร มทร.อีสาน**  
**RMUTI JOURNAL**

**1. ประเภทของบทความที่ตีพิมพ์**

1.1 บทความวิจัย (Research article) เป็นบทความที่ได้จากการวิจัย

1.2 บทความวิชาการ (Academic article) เป็นบทความที่มีลักษณะดังนี้

1. เป็นบทความจากการทบทวนเอกสาร ซึ่งเป็นผลมาจากการวิจัยหลาย ๆ ครั้ง ถือเป็นบทความที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

2. เป็นบทความนำเสนอกระบวนการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การทดสอบภาคสนาม รวมไปถึงเทคนิคการวิเคราะห์ใหม่ ๆ

3. เป็นบทความที่มาจากการประสบการณ์ หรือความชำนาญของผู้เขียน

4. เป็นบทความเกี่ยวกับนโยบายด้านต่าง ๆ ของหน่วยงาน

**2. รูปแบบการพิมพ์บทความ**

การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะขอบ

ขอบบน (Top Margin) 2.54 ซม. ขอบล่าง (Bottom Margin) 2.54 ซม.

ขอบขวา (Right Margin) 2.54 ซม. ขอบซ้าย (Left Margin) 3.17 ซม.

- ระยะห่างบรรทัด 1 เท่า

- รูปแบบตัวอักษร บทความภาษาไทยใช้ TH SarabunPSK

บทความภาษาอังกฤษใช้ Time New Roman

- การย่อหน้า 7 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 8

- จำนวนหน้า 8 - 12 หน้า หากเกินจำนวนคิดค่าใช้จ่ายหน้าละ 400 บาท (แต่ไม่ควรเกิน 15 หน้า)

- ชื่อบทความ ภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 20 ตัวหนา

ภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 18 ตัวหนา

- ชื่อผู้เขียน กรณีบทความภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 16 และจัดชิดซ้าย  
กรณีบทความภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14 และจัดชิดซ้าย

- ตัวเลขยก (ต่อท้ายนามสกุล) ขนาดตัวอักษร 14

- ที่อยู่ ภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 12

กรณีบทความภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 10

- ชื่อหัวเรื่องหลักในบทความ เช่น “บทคัดย่อ” “คำสำคัญ” “วิธีดำเนินการ” “ผลการวิจัย”

“สรุปผลการวิจัย” “กิจกรรมประการ” “เอกสารอ้างอิง” จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ

กรณีบทความภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 18 ตัวหนา

กรณีบทความภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา

- ชื่อหัวเรื่องรอง จัดขึดช้ายหน้ากระดาษ
 

กรณีบพความภาษาไทย	ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา
กรณีบพความภาษาอังกฤษ	ขนาดตัวอักษร 10 ตัวหนา
- เนื้อหาในส่วนต่าง ๆ และคำสำคัญ
 

กรณีบพความภาษาไทย	ขนาดตัวอักษร 14
กรณีบพความภาษาอังกฤษ	ขนาดตัวอักษร 10
- ชื่อตาราง
 

กรณีบพความภาษาไทย ข้อความ “ตารางที่ x” ใช้ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา  
วางด้านบน ชิดช้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยชื่อตารางที่เป็นตัวอักษรขนาด 14 ไม่หนา

กรณีบพความภาษาอังกฤษ ข้อความ “Table x” ใช้ขนาดตัวอักษร 10 ตัวหนา  
วางด้านบน ชิดช้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยชื่อตารางที่เป็นตัวอักษรขนาด 10 ไม่หนา
- ชื่อรูปภาพ
 

กรณีบพความภาษาไทย ข้อความ “รูปที่ x” ใช้ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา  
วางด้านล่างจัดชิดช้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยคำชื่อรูปที่เป็นตัวอักษรขนาด 14 ไม่หนา

กรณีบพความภาษาอังกฤษ ข้อความ “Figure x” ใช้ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา  
วางด้านล่างจัดชิดช้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยคำชื่อรูปที่เป็นตัวอักษรขนาด 14 ไม่หนา

### 3. ส่วนประกอบของบทความแต่ละประเภท

#### 3.1 บทความวิจัย จะประกอบไปด้วย

##### ก. ส่วนปก

1. ชื่อหัวความ (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกระหัตดัด ไม่ยาวเกินไป  
ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

2. ชื่อผู้เขียน (Authors) ชื่อเต็ม - นามสกุลเต็ม ของผู้เขียนทุกคน โดยให้รายละเอียด  
ต้นลั่งกัดของผู้เขียนไว้ที่บรรทัดล่างสุดของหน้าแรก พร้อมทั้งระบุชื่อผู้เขียนประสานงาน (Corresponding  
Author) ด้วยการระบุ E-mail address ที่สามารถติดต่อได้ และให้เครื่องหมายดอกจันทร์ตัวยก  
กำกับไว้ต่อท้ายนามสกุล และตัวเลขยก ให้เขียนไว้ต่อท้ายนามสกุล เพื่อระบุที่อยู่ของผู้เขียน

3. บทคัดย่อ (Abstract) ควรสั้น ตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา  
ประกอบไปด้วยเนื้อหา ได้แก่ วัตถุประสงค์ วิธีการ ผลการวิจัย และการอภิปรายผล เป็นต้น โดยเขียน  
ลงใน 1 ย่อหน้า ถ้าหากความเป็นภาษาไทย จะต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย 1 ย่อหน้า และภาษาอังกฤษ  
1 ย่อหน้า โดยให้ภาษาไทยขึ้นก่อน เนื้อความในบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษต้องมีความหมาย  
เดียวกัน ความยาวของบทคัดย่อภาษาอังกฤษ กำหนดให้มีความยาวได้ไม่เกิน 300 คำ

4. คำสำคัญ (Key words) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่มีความหมายตรงกัน เป็นการ  
กำหนดคำสำคัญที่สามารถนำไปใช้เป็นคำสืบค้นในระบบฐานข้อมูล กำหนดให้มีคำสำคัญได้อย่างน้อย 3 คำ  
แต่ไม่เกิน 5 คำ

\*\*หมายเหตุ : เนื้อหาล่วงปักษ์จะต้องเขียนให้อยู่ในกระดาษจำนวน 1 หน้า เท่านั้น

## ข. ส่วนเนื้อหา

1. บทนำ (Introduction) เพื่ออธิบายถึงความสำคัญของปัญหา และวัตถุประสงค์ของการวิจัย รวมถึงการทบทวนวรรณกรรม และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (Materials and Methods) / วิธีดำเนินการวิจัย (Research Methodology) อธิบายเครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัยให้ชัดเจน

3. ผลการวิจัย (Results) เสนอผลการทดลองอย่างชัดเจน ตรงประเด็น ควรมีรูปภาพ และ/หรือ ตารางประกอบการอธิบายผลในตารางและรูปภาพ ต้องไม่เข้าข้อนัก รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาไทย ให้บรรยายเป็นภาษาไทย รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาอังกฤษ ให้บรรยายเป็นภาษาอังกฤษ

4. การอภิปรายผล (Discussion) เป็นการอภิปรายผลการวิจัย เพื่อให้ผู้อ่านมีความเห็นคล้ายตาม เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของผู้อื่น พร้อมทั้งเสนอแนวทางที่จะนำไปใช้ประโยชน์ผลการวิจัย และการอภิปรายผล (Results and Discussion) อาจนำมาเขียนตอนเดียวกันได้

5. บทสรุป (Conclusion) สรุปประเด็น และสาระสำคัญของการวิจัย

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) เพื่อแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย อาจมีหรือไม่มีก็ได้

7. เอกสารอ้างอิง (References) เป็นรายการเอกสารที่ถูกอ้างไว้ในส่วนของเนื้อเรื่อง เพื่อใช้เป็นหลักในการค้นคว้าวิจัย จำนวนเอกสารที่นำมาอ้างอิงตอนท้ายต้องมีจำนวนตรงกับที่ถูกอ้างอิงไว้ ในส่วนของเนื้อเรื่องที่ปรากฏในบทความเท่านั้น การจัดเรียงให้เรียงตามลำดับการอ้างอิงในเนื้อหาโดยให้ย่อคติอธรุปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงตามที่ทางวารสาร มทร.อีสาน กำหนด และต้องเขียนในรูปแบบภาษาอังกฤษเท่านั้น

## 3.2 บทความวิชาการ จะประกอบไปด้วย

### ก. ส่วนปก

มีส่วนประกอบเหมือนบทความวิจัย และเขียนให้อยู่ในกระดาษ จำนวน 1 หน้า เท่านั้น

### ข. ส่วนเนื้อหา

1. บทนำ (Introduction) เป็นส่วนของที่มาของมูลเหตุของการเขียนบทความ

2. วิธีการศึกษา/วิธีดำเนินการ (Method) (ถ้ามี) เป็นการอธิบายวิธีการศึกษา หรือ การดำเนินการตามประเภทของบทความวิชาการ

3. ผลการศึกษา/ผลการดำเนินการ (Results) เป็นการเสนอผลอย่างชัดเจน ตามประเด็นโดยลำดับตามทัวร์ที่ศึกษาหรือดำเนินการ

4. สรุป (Conclusion) สรุปประเด็น และสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา

5. เอกสารอ้างอิง (References) ใช้รูปแบบที่วารสารกำหนด รายการการอ้างอิง ต้องเขียนในรูปแบบภาษาอังกฤษเท่านั้น

#### 4. การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องของบทความ (In-text Citations)

การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องใช้ ระบบตัวเลข (Numerical System) เท่านั้น โดยรายการอ้างอิงเอกสารให้จัดขึ้นท้ายหน้ากระดาษ หมายเลขอ้างอิงของเอกสารอ้างอิงในเครื่องหมายวงเล็บกรอบลีฟเลี่ยม ตัวอย่างเช่น [1] เป็นต้น หากเป็นการอ้างอิงเอกสารหลายฉบับในเวลาเดียวกัน ให้ใส่หมายเลขอ้างอิงเรียงตามลำดับ จากน้อยไปมาก เช่น [1] - [3] หรือ [1], [2], [5] เป็นต้น

##### การเขียนรายการเอกสารอ้างอิง (Reference list)

###### 1) หนังสือ

[X] ผู้แต่ง./.(ปีที่พิมพ์).//ชื่อหนังสือ./.ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี).//เมืองที่พิมพ์:/./สำนักพิมพ์.  
ตัวอย่างเช่น

- [1] Herren, Ray V. (1994). *The Science of Animal Agriculture*. Albany, N.Y. : Delmar Publishers.

###### 2) หนังสือแปล

[X] ผู้แต่ง./.(ปีที่พิมพ์).//ชื่อเรื่องของหนังสือแปล//แปลจาก(ชื่อเรื่องในภาษาเดิม).//โดย/  
ชื่อผู้แปล./.ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี).//เมืองที่พิมพ์:/./สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

- [2] Grmek, Mirko D. (1990). *History of AIDS : Emerging and Origin of a Modern Pandemic*. Translated by Russell C. Maulitz, and Jacalyn Duffin. Princeton, N.J.: University Press

###### 3) บทความหรือบทในหนังสือ

[X] ผู้เขียนบทความ./.(ปีที่พิมพ์).//ชื่อบทความ./ใน/ชื่อเรื่อง./.ชื่อบรรณาธิการหรือผู้ร่วบรวม(ถ้ามี).//  
หน้า/เลขหน้า./.สถานที่พิมพ์:/./สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

- [3] McTaggart, J.M.E. (1993). The Unreality of Time. In *Philosophy of Time*. Robin Le Poidevin, and Murray MacBeath, eds. pp. 23-34. Oxford : Oxford University Press

###### 4) บทความในหนังสือรายงานประชุมทางวิชาการ/สัมมนาทางวิชาการ

[X] ผู้เขียนบทความ./.(ปีที่พิมพ์).//ชื่อบทความ./ชื่อบรรณาธิการ(ถ้ามี).//ใน/ชื่อเรื่องรายงาน  
การประชุม./.หน้า/เลขหน้า./.สถานที่พิมพ์:/./สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

- [4] Beales, P.F. (1980). The Status of Malaria in Southeast Asia. In *Proceedings of the Third Asian Congress of Pediatrics*. Aree Valyasevi, and Vidhaya Mekanandha, eds. pp. 52-58. Bangkok : Bangkok Medical Publisher

### 5) วารสาร

[X] ผู้เขียนบทความ./.(ปีที่พิมพ์).//ชื่อบทความ./.ชื่อวารสาร./.ปีที่./.ฉบับที่./.หน้า/เลขหน้า  
ตัวอย่างเช่น

- [5] Vitsanusat A. and Phachirarat S. (2015). Measurement of Radon in Drinking Water at Amphur Meaung, Khonkhaen Province with Ionization chamber. RMUTI Journal Science and Technology. Vol. 8. No. 2. pp. 12-20

### 6) บทความในหนังสือพิมพ์

[X] ชื่อผู้เขียน./.(ปี./วัน./เดือน).//ชื่อบทความ./ใน/ชื่อหนังสือพิมพ์./หน้า/เลขหน้า  
ตัวอย่างเช่น

- [6] Vitit Muntarbhorn. (1994. 21. March). The Sale of Children as a Global Dilemma. Bangkok Post. p. 4

### 7) บทความในสารานุกรม

[X] ชื่อผู้เขียนบทความ./.(ปีที่พิมพ์).//ชื่อบทความ./ใน/ชื่อสารานุกรม./เล่มที่:/หน้า/เลขหน้า-เลขหน้า  
ตัวอย่างเช่น

- [7] Morrow, Blaine Victor. (1993). Standards for CD-Rom Retrieval. Encyclopedia of Library and Information Science. Vol. 51. pp. 380-389

### 8) วิทยานิพนธ์

[X] ผู้เขียนวิทยานิพนธ์./.(ปีที่พิมพ์).//ชื่อวิทยานิพนธ์./ระดับวิทยานิพนธ์/ชื่อสาขา/คณะ/  
มหาวิทยาลัย  
ตัวอย่างเช่น

- [8] Phillips, O.C., Jr. (1962). The Indfluence of Ovid on Lucan's Bellum Civil. Ph.D. Dissertation University of Chicago

### 9) สื่ออิเล็กทรอนิกส์ (สื่ออิเล็กทรอนิกส์) :www

[X] ผู้เขียน./.ปี./.ชื่อบทความ./.ชื่อวารสารหรือนิตยสาร./.ปีที่(เดือนหรือฉบับที่):/เลขหน้า(ถ้ามี).//  
เข้าถึงเมื่อ (วัน เดือน ปีที่ค้นข้อมูล)/เข้าถึงได้จาก (ที่อยู่ของบทความหรือสื่ออิเล็กทรอนิกส์ URL)  
ตัวอย่างเช่น

- [9] Department of the Environment and Heritage. (1999). Guide to Department and Agency Libraries. Access (17 November 2000). Available (<http://www.erin.gov.au/library/guide.html>)

### 10) ผู้แต่งเป็นหน่วยงาน

[X] ชื่อหน่วยงาน./.(ปีที่พิมพ์).//ชื่อหนังสือ/เล่มที่(ถ้ามี).//ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี).//เมืองที่พิมพ์:/  
สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

- [10] มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2552). รายงานประจำปี 2551. ลงชื่อ : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### 11) มีเฉพาะชื่อบรรณा�ธิการเป็นผู้ร่วบรวม

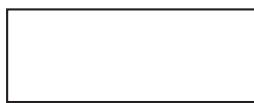
[X] ชื่อบรรณा�ธิการ หรือผู้ร่วบรวม หรือผู้เรียนเรียง./.(ปีที่พิมพ์)/.ชื่อหนังสือ./.เล่มที่ (ถ้ามี)/.ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี)/.เมืองที่พิมพ์/:/สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

[11] เรืองวิทย์ ลิ่มปนาท. (2543). ห้องลิน - อินเดีย. ชลบุรี : ภาควิชาประวัติศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์ และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

## 5. รูปแบบการใส่รูปภาพในเนื้อหาบทความ

- 1) ชื่อรูปภาพห้ามขึ้นต้นด้วยคำว่า “แสดง”
- 2) รูปภาพที่แสดงต้องมีคำอธิบายอยู่ในเนื้อหาบทความที่มีการระบุถึงรูปภาพนั้น ๆ
- 3) คำอธิบายรูปภาพ ให้เขียนไว้ใต้รูปภาพแต่ละรูปภาพ โดยจัดรูปภาพไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ และคำอธิบายจัดขึ้นด้านซ้ายหน้ากระดาษ
- 4) ไฟล์ของรูปภาพต้องเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .jpg, .png, .tiff หรือ .eps เท่านั้น ความละเอียดไม่ต่ำกว่า 300 dpi
- 5) ลายเส้นที่ปรากฏบนรูปภาพต้องมีความคมชัด กรณีที่เป็นรูปกราฟ ต้องระบุข้อ/gen ต่าง ๆ ให้ครบถ้วน
- 6) กรณีที่มีรูปภาพอยู่อย่างเดียว ควรจัดให้รูปภาพอยู่ทึ่งหมดอยู่ในหน้าเดียวกัน สำหรับบทความภาษาไทย ให้เขียนคำบรรยายใต้ชื่อรูปอย่างแต่ละรูป และกำหนดลำดับของรูปภาพด้วยตัวอักษร ตัวอย่างเช่น



(ก) รูปอย่างที่ 1

(ข) รูปอย่างที่ 2

รูปที่ 1 ตัวอย่างการเขียนคำอธิบายรูปภาพ

สำหรับบทความภาษาอังกฤษ ให้ใช้อักษร (a), (b),... แทนการกำหนดรูปภาพอย่าง

7) หลีกเลี่ยงการใช้รูปภาพสีหากไม่จำเป็น ทางวารสารอนุญาตให้มีการใช้รูปที่เป็นภาพสี ในแต่ละบทความได้ไม่เกิน 2 รูปต่อบทความ หากเกินทางวารสารขอคิดคำใช้จ่าย รูปละ 50 บาท กรณีที่เป็นกราฟ ควรกำหนดลักษณะเล่นที่แตกต่างกัน เพื่อให้สามารถเข้าใจได้ เมื่อมีการจัดพิมพ์ แบบขาว - ดำ

8) ขนาดของรูปต้องไม่ใหญ่เกินกว่าความกว้างของหน้ากระดาษที่กำหนดไว้

## 6. รูปแบบการใส่ตารางในเนื้อหาบทความ

- 1) ชื่อตารางห้ามขึ้นต้นด้วยคำว่า “แสดง”
- 2) ตารางที่แสดงต้องมีคำอธิบายอยู่ในเนื้อหาบทความที่มีการระบุถึงตารางนั้น ๆ
- 3) คำอธิบายตาราง ให้เขียนไว้ด้านบนของตาราง โดยจัดคำอธิบายไว้ชิดขอบด้านซ้ายของหน้ากระดาษ และตารางอยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ
- 4) ขนาดของตารางต้องไม่ใหญ่เกินกว่าความกว้างของหน้ากระดาษที่กำหนดไว้

## 7. รูปแบบการใส่สมการในเนื้อหาบทความ

- 1) จัดตำแหน่งของสมการไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
- 2) พิมพ์สมการด้วยโปรแกรม MathType โดยใช้รูปแบบตัวอักษร Time New Roman ขนาด 10
- 3) ระบุเลขลำดับสมการโดยเขียนไว้ในวงเล็บ จัดตำแหน่งเลขสมการซิดขวาของหน้ากระดาษ เช่น

$$y = ax + b \quad (1)$$

- 4) ทุกสมการต้องมีการอ้างถึงในเนื้อหา ให้ระบุเลขและเขียนไว้ในวงเล็บ เช่นเดียวกับที่ปรากฏในสมการ

## 8. การดำเนินงานของกองบรรณาธิการ

- 1) กองบรรณาธิการจะพิจารณาทบทวนความเห็นของต้นเกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป บทความที่ไม่ดำเนินการตามรูปแบบที่กำหนดจะไม่รับเข้าสู่กระบวนการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ และจะถูกกลับเพื่อทำการแก้ไข
- 2) เจ้าของบทความที่ผ่านการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร จะต้องสมัครสมาชิกวารสาร มหา.อีสาน อย่างน้อย 1 ปี เพื่อเป็นการยืนยันการตีพิมพ์บทความลงในวารสาร
- 3) เมื่อบทความผ่านการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร และผู้เขียนได้ดำเนินการ แล้วจัดเตรียมเอกสารต่าง ๆ อย่างถูกต้อง ครบถ้วนตามข้อกำหนดของวารสารเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้เขียนจะได้รับหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความเพื่อเป็นการยืนยัน
- 4) หากทางวารสารตรวจสอบว่าบทความที่ถูกส่งเข้ามา มีการคัดลอก หรือเผยแพร่ในที่อื่น ๆ ก่อนหน้า หรือมีการดำเนินการใด ๆ อันเป็นการกระทำที่ผิดจรรยาบรรณของนักวิจัย ทางวารสาร จะดำเนินการทำหนังสือแจ้งไปยังหน่วยงานด้านลังกัด และระงับการพิจารณาและรับบทความจากผู้เขียน บทความนั้นเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 5 ปี



หมายเลขอสมाचิก

.....

(สำหรับเจ้าหน้าที่)

แบบฟอร์มการสั่งบทความ  
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วันที่.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว) .....

ระดับการศึกษาสูงสุด ..... ตำแหน่งทางวิชาการ .....

หน่วยงาน .....

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก.....

โทรศัพท์..... โทรสาร..... โนมาย.....

e-mail.....

ขอส่ง  บทความวิจัย  บทความวิชาการ  บทความจากวิทยานิพนธ์/สารนิพนธ์

ชื่อทบทวน (ภาษาไทย) .....

.....  
(ภาษาอังกฤษ) .....

ชื่อผู้เขียนร่วม

1. .....
2. .....
3. .....
4. .....

สาขาหลักของบทความ (กรุณาเลือก)

วิศวกรรมศาสตร์ ENG  เกษตรศาสตร์ AGR  สหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิทธิ์ IG

สาขาวงของบทความ (สามารถเลือกได้มากกว่า 1 ช่อง)

- |  |  |  |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> ไฟฟ้า             | <input type="checkbox"/> อิเล็กทรอนิกส์      | <input type="checkbox"/> คอมพิวเตอร์       |
| <input type="checkbox"/> สื่อสาร-โทรคมนาคม | <input type="checkbox"/> สัตวศาสตร์          | <input type="checkbox"/> ศิลปะและการออกแบบ |
| <input type="checkbox"/> วัสดุและโลหะ      | <input type="checkbox"/> โยธา-สำรวจ          | <input type="checkbox"/> ลิ้งแวดล้อม       |
| <input type="checkbox"/> พลังงาน           | <input type="checkbox"/> สถาปัตยกรรม         | <input type="checkbox"/> พืชไร่            |
| <input type="checkbox"/> พิชสวน            | <input type="checkbox"/> วิทยาศาสตร์การอาหาร | <input type="checkbox"/> ICT               |
| <input type="checkbox"/> อุตสาหการ         | <input type="checkbox"/> เคมี                | <input type="checkbox"/> คณิตศาสตร์        |
| <input type="checkbox"/> สสติประยุกต์      | <input type="checkbox"/> เครื่องกล           | <input type="checkbox"/> โภชนาศาสตร์       |
| <input type="checkbox"/> พลิกส์            | <input type="checkbox"/> อื่น ๆ .....        |  |

ขอเสนอชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง

1. ชื่อ-สกุล ..... ตำแหน่งทางวิชาการ.....

คุณวุฒิ..... สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ.....

หน่วยงานที่สังกัด.....

ที่อยู่สำหรับล่งเอกสาร.....

หมายเลขอรหัสพท..... Email.....

2. ชื่อ-สกุล ..... ตำแหน่งทางวิชาการ.....

คุณวุฒิ..... สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ.....

หน่วยงานที่สังกัด.....

ที่อยู่สำหรับล่งเอกสาร.....

หมายเลขอรหัสพท..... Email.....

#### หมายเหตุ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องมีตำแหน่งทางวิชาการ ระดับ พศ. ขึ้นไป หรือจบการศึกษาระดับปริญญาเอก และต้องไม่สังกัดหน่วยงานเดียวกับผู้ประพันธ์

2. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการเป็นผู้พิจารณาคัดเลือกผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อพิจารณาผลงานทางวิชาการ

3. เจ้าของบทความที่ผ่านการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร จะต้องสมัครสมาชิกวารสาร มทร.อีสาน อย่างน้อย 1 ปี เพื่อเป็นการยืนยันการตีพิมพ์บทความลงในวารสาร

ข้าพเจ้าได้รับทราบและยินดีปฏิบัติตามเงื่อนไขและข้อกำหนดดัง ฯ ในแบบฟอร์มแบบท้าย ชื่มีรายละเอียดอยู่ใน “คำแนะนำผู้เขียน” ที่ทางกองบรรณาธิการ วารสาร มทร.อีสาน ได้กำหนดขึ้น และยินดีให้กองบรรณาธิการมีสิทธิ์ที่จะไม่รับพิจารณา หากไม่ตัดรูปแบบตามที่กำหนด ยินยอมให้มีสิทธิ์ในการเลือกสรรหาผู้กลั่นกรองโดยอิสระเพื่อพิจารณาต้นฉบับที่ข้าพเจ้า (และผู้แต่งร่วม) ล่วงมา ยินยอมให้กองบรรณาธิการสามารถตรวจสอบแก้ไขต้นฉบับดังกล่าวได้ตามที่เห็นสมควร และข้าพเจ้า “ขอรับรองว่า บทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน ไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาจากวารสารอื่น และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน”

หากข้าพเจ้ามีความประสงค์ในการขอยกเลิกการพิจารณาทบทวนหลังจากวันที่ได้รับหนังสือยืนยันการรับบทความ ข้าพเจ้ายินดีรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่มหาวิทยาลัยฯ ดำเนินการตามกระบวนการของวารสาร มทร.อีสาน ตามที่จ่ายจริง

ลงชื่อ.....

(.....)



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บрошีร์  
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ขอรับรองว่าบрошีร์.....

เรื่อง .....  
.....

โดย .....  
.....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ  
และตีพิมพ์ในวารสาร มทร.อีสาน  
ปีที่ ..... ฉบับที่ .....(.....-..... พ.ศ. ....)

(.....)

บรรณาธิการ วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน



ใบสมัครสมาชิก  
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

หมายเลขอسمা�ชิก

.....  
(สำหรับเจ้าหน้าที่)

วันที่ล้มคร.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ที่อยู่ (สำหรับส่วนวารสาร).....

รหัสไปรษณีย์..... โทรศัพท์.....

โทรศัพท์.....

ออกใบเสร็จในนาม ชื่อ.....

ที่อยู่.....

มีความประสงค์เป็นสมาชิก

วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (1 ปี 3 ฉบับ 1000 บาท/ปี)

โดย  สมัครเป็นสมาชิกใหม่ จำนวน ..... ปี เริ่มตั้งแต่ปีที่ ..... ฉบับที่ .....

ต่ออายุสมาชิก จำนวน ..... ปี เริ่มตั้งแต่ปีที่ ..... ฉบับที่ .....

พร้อมกันนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน ..... บาท

(ด้วยอักษร).....

ซึ่งไดโอนเงินผ่านทางบัญชี ธนาคารกรุงไทย สาขา.เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ชื่อบัญชี “วารสาร มทร.อีสาน”

บัญชีออมทรัพย์ เลขที่ 986-4-38484-8

หมายเหตุ กรุณาล่งหลักฐานการจ่ายเงินและใบสมัครสมาชิก มายังสถาบันวิจัยและพัฒนาที่ E-mail : rmuti.journal@gmail.com พร้อมเขียนชื่อ-นามสกุล ให้ชัดเจน การสมัครสมาชิกจะมีผลสมบูรณ์ เมื่อทางวารสารได้มีการตรวจสอบเอกสารต่าง ๆ อย่างถูกต้องแล้วเท่านั้น

ลงชื่อ..... ผู้สมัคร  
(.....)



หนังสือยืนยันการถอนบทความ  
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ลังกัดหน่วยงาน .....

มีความประสงค์ขอถอนการพิจารณาบทความเรื่อง .....

ที่ได้ส่งเข้ามายังวารสาร มทร.อีสาน เมื่อวันที่ ..... และยินยอม

รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตามกระบวนการของวารสาร มทร.อีสาน เป็นจำนวนเงิน ..... บาท

(.....) โดยชำระเงินผ่านทางบัญชีวารสาร มทร.อีสาน

ธนาคารกรุงไทย สาขา.เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ชื่อบัญชี “วารสาร มทร.อีสาน” บัญชีออมทรัพย์  
เลขที่ 986-4-38484-8

หมายเหตุ กรุณاسل่หลักษณการชำระเงินและหนังสือยืนยันการถอนบทความ มายังสถาบันวิจัยและพัฒนาที่

E-mail : rmuti.journal@gmail.com พร้อมเชื่นชื่อ-นามสกุล ให้ชัดเจน ข้อมูลการชำระเงิน

จะมีผลสมบูรณ์ เมื่อทางวารสารได้มีการตรวจสอบเอกสารต่าง ๆ อย่างถูกต้องแล้วเท่านั้น

ลงชื่อ.....ผู้ถอนบทความ

(.....)



หนังสือยืนยันการชำระค่าตีพิมพ์  
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ลังกัดหน่วยงาน .....

มีความประสงค์ขอชำระค่าตีพิมพ์วารสาร มทร.อีสาน เรื่อง .....

เป็นค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์ที่เกินจากข้อกำหนดของวารสาร มทร.อีสาน

- จำนวนหน้า ..... หน้า หน้าละ 400 บาท คิดเป็นเงิน ..... บาท  
 จำนวนรูปเลี่ยง ..... รูป รูปละ 50 บาท คิดเป็นเงิน ..... บาท

รวมเป็นเงินทั้งสิ้น ..... บาท (.....) โดยชำระเงิน  
ผ่านทางบัญชีวารสาร มทร.อีสาน ธนาคารกรุงไทย สาขา�.เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ชื่อบัญชี “วารสาร  
มทร.อีสาน” บัญชีออมทรัพย์ เลขที่ 986-4-38484-8

หมายเหตุ กรุณاسلักหลังฐานการชำระเงินและหนังสือยืนยันการชำระค่าตีพิมพ์ マイยังสถาบันวิจัยและพัฒนาที่  
E-mail : rmuti.journal@gmail.com พร้อมเขียนชื่อ-นามสกุล ให้ชัดเจน ข้อมูลจะมีผลสมบูรณ์  
เมื่อทางวารสารได้มีการตรวจสอบเอกสารต่าง ๆ อย่างถูกต้องแล้วเท่านั้น

ลงชื่อ..... ผู้เขียนบทความ  
(.....)



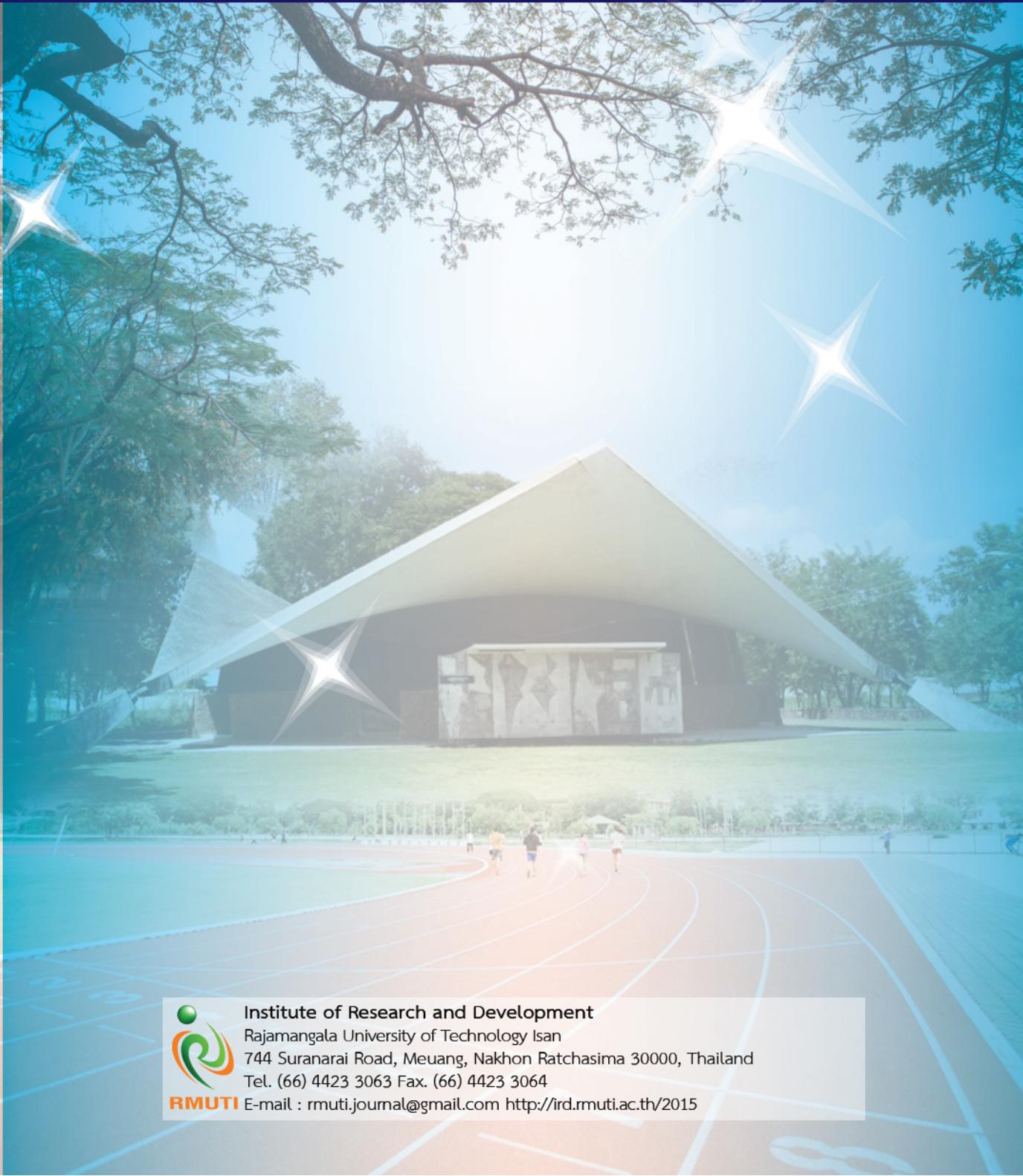
**RMUTI**  
ราชมงคลอีสาน



# RMUTI JOURNAL

## Science and Technology

Vol. 11 No. 2 May - August 2018



Institute of Research and Development

Rajamangala University of Technology Isan

744 Suranarai Road, Meuang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

Tel. (66) 4423 3063 Fax. (66) 4423 3064

RMUTI E-mail : [rmuti.journal@gmail.com](mailto:rmuti.journal@gmail.com) <http://ird.rmuti.ac.th/2015>