



วารสาร มทร.อีสาน

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN 1906-215X

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2561



วารสาร มทร.อีสาน ได้รับการประเมินคุณภาพให้อยู่ในฐานข้อมูลของ
ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) กลุ่มที่ 1

วารสาร มทร.อีสาน

RMUTI JOURNAL

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Rajamangala University of Technology Isan (RMUTI)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ด้านวิชาการ ด้านงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์ระหว่างนักวิชาการ และนักวิจัยกับผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ ผลงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์ของนักวิชาการและนักวิจัยสู่สาธารณชน

หลักเกณฑ์การส่งบทความ

วารสาร มทร.อีสาน เน้นบทความทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในสาขาวิชาดังต่อไปนี้

1. สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์
2. สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
3. สาขาวิชาสหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เป็นสาขาที่ศึกษาแนวความคิด ทฤษฎีและกฎเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ ตั้งแต่ระดับอนุภาค ระดับโมเลกุลไปจนถึงทั้งจักรวาล ปฏิบัติทางเคมี ระหว่างอะตอมและโมเลกุล อันเชื่อมโยงถึงองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต และวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต รวมถึงแนวความคิดพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีความสำคัญและมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน ตลอดจนศึกษาถึงประเด็นของการตกเถียงที่สำคัญๆ เกี่ยวกับพรมแดนแห่งความรู้ ระหว่างวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับสังคม และสิ่งแวดล้อม

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 ตั้งแต่ ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เดือนเมษายน 2558 เป็นต้นไป

ลิขสิทธิ์

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ ถือเป็นลิขสิทธิ์ของ วารสาร มทร.อีสาน และบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่ง มิใช่เป็นความคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมีใช้เป็นการรับผิดชอบของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

พิมพ์ที่

บริษัท สมบูรณ์การพิมพ์ จำกัด

โทรศัพท์ 044 - 954222 - 6

จำนวนพิมพ์ 350 เล่ม เดือนสิงหาคม 2561

วารสาร มทร.อีสาน RMUTI JOURNAL

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ลิ้มไขแสง

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ดร.อนิวรรณ ทาสุข

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

รองศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย พุทธวงศ์

ประธานหลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์กิตติคุณ อารัง	เปรมปรีดี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.พีระศักดิ์	ศรีนิเวศน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์	สมบัติสมภพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง	จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ	ชุติมา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์	เมณะเสวต	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ	ลิ้มสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล	เหล่าสุวรรณ	มหาวิทยาลัยหาดใหญ่
ศาสตราจารย์ ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.วินัย	ประหลมภ์กาญจน์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย	ปทุมนากุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สำเริง	จักรใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ	โสภณรณฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สุทธวัฒน์	เบญจกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ	ลิ้มกตัญญู	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์	นัยวิกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.กนกอร	อินทราพิเชฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.กนต์ธร	ชำนาญประศาสน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์	ธาดุทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา	ธาริบุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ตะวัน	สุขน้อย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.นิรัช	สุดสังข์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์	แพ่งคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา	กอบเจริญ	วิทยาลัยเทคโนโลยีจิตรลดา

บรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ (ต่อ)

รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส	ชัยจันทร์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.รัตติก	ยัมนิรัญ	สถาบันวิทยสิริเมธี
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย	สิงห์ยุบศย์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ	เดชะปัญญา	มหาวิทยาลัยบูรพา
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์	คุลย์จินดาชบาพร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร	ไชยะ	94/7 หมู่บ้านนาแลนด์ ซอย 5 ถนนสุวินทวงศ์ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000
รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย	แสงอาทิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ กาญจนา	ตันสุวรรณรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ อุดมศักดิ์	สาริบุตร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์

รองผู้อำนวยการฝ่ายบริหารงานทั่วไป

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต	กฤดาคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ กาญจนา	ตันสุวรรณรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรสิทธิ์	วสุเพ็ญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติสุดา	สมนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักษดา	ธำรงวุฒิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล	สมนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิพันธ์	วงศ์สุทธาวาส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา	อุ้นเรือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์	อัสวสุชี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.จารุพงษ์	บรรเทา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.ชาคริต	นวลฉิมพลี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.ชนิดา	แยรัมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.ณรงค์ศักดิ์	โยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.เยาวพา	ความหมั่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.สุกัญญา	คำห้ำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

กองบรรณาธิการบริหาร

รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.สนั่น การค้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โมษิต ศรีภูธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิต สุทธิพร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำเนาวิ เสาวกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
นายปริญ นาชัยสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ฝ่ายจัดการและธุรการ

นางสาวอรุณรักษ์ ดิราชรัมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
นางสาววีรนุช กุบโคกกรวด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
นางสาวสุภาภรณ์ พิมสุคะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ (Peer Reviews) ประจำปี

รองศาสตราจารย์ ดร.กัมปนาท ภักดีกุล	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ธันดชัย กุลวรวานิชพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปราณีต งามเสนห์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.พนิต ภูจินดา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรา เพ่งธรรมกิริติ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวัฒน์ ลาวัณย์วิสุทธิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิรัตน์ พุกตะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัมปนาท เทียนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ศีรีรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานบ ธิติมากร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน สีดาห้าว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุทรัน พันธุ์สวรรค์	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ฉายบุ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อุณหเลขกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิสัย วิทยากร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ (Peer Reviews) ประจำปี (ต่อ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวุฒิ	มรรคเจริญ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภารัตน์	เชื้อชวด ชัยสิทธิ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์	ทิบุญมา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.พิมพ์า	สร้อยสูงเนิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.เชิดศักดิ์	สุขศิริพัฒน์พงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.จเร	สุวรรณชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ดร.จักราวุธ	ต้นสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.จักษดา	อรรณวุฒิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.พรเทพ	โรจนวสุ	มหาวิทยาลัยพะเยา
ดร.วิทยา	เรืองฤทธิ์	สำนักงานโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดนครราชสีมา

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 sUAV ในการเก็บข้อมูลเพื่อการวางแผนและผังพัฒนาพื้นที่ การณศึกษา ถนนจอมพล จังหวัดนครราชสีมา	25
อภิรักษ์ สิม่วงงาม	
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์ค ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนและนิวโรฟuzzyกับการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว เพื่อวิเคราะห์และแยกแยะสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า	40
อดิสรณ์ กำลังเพชร และประจวบ อินระวงศ์	
การใช้ตะกอนที่ได้จากการขุดลอกทะเลเป็นวัสดุทดแทนในงานทาง	56
วรรณวรางค์ รัตนานิคม และสยาม ยัมศิริ	
การประเมินสภาพธรณีวิทยาแหล่งน้ำพุร้อนด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า	73
ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง, ชนระบ วิชาลัย และอรวรรณ จันทสุทโธ	
ปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงจากเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบด	88
วิริยะ แดงทน และเกียร ดวงอุปมา	
การศึกษาคุณสมบัติความแข็งแรงและความทนต่อแรงกระแทกของพื้นอิพ็อกซีนาโนคอมโพสิตจากวัสดุทางเลือก	100
เชมจิต เสนา, ชัยภัทร เครือหงส์ และสายฝน เครือหงส์	
การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปลาหมึกจากฟาร์มเพาะเลี้ยงในพื้นที่อำเภอเสนา	114
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	
วัชรภรณ์ ดันดิพนาทิพย์	
ระดับความเข้มของผ้าฝ้ายย้อมสีครามธรรมชาติกับการป้องกันรังสียูวี	129
อ้อยทิพย์ ผู้พัฒน์	
คุณภาพน้ำหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าคลองโองอ่าง	142
อุทุมพร สมพงษ์	
การเปรียบเทียบเทคนิคอนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ราคาทองและราคาน้ำมัน	154
วิบล ญิก และจาร์ ทองคำ	

Table of Contents

Research Articles

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	
Using sUAV for Data Collection in Planning A Case Study of Jompol Road, Nakhon Ratchasima	25
Apinan Seemuangngam	
Efficiency Comparison of Neural Networks, Support Vector Machine and Neuro-Fuzzy with Fast Fourier Transform for Waveform Analysis and Classification	40
Adisorn Kamlungpetch and Prajuab Inrawong	
Dredged Marine Sediment used for Pavement Material Substitution	56
Wanwarang Ratananikom and Siam Yimsiri	
Geological Evaluation of Hot Springs by Electrical Resistivity Measurement Techniques	73
Narongchai Wiwattanachang, Chanarop Vichalai and Orawan Jantasuto	
Energy Yields of Fuel Gas from Cassava Rhizome in a Fluidised-Bed Reactor	88
Wiriya Dangton and Keyoon Duanguppama	
Hardness and Impact Resistance Study of Flooring Epoxy Nanocomposites from Alternative Materials	100
Khemajit Sena, Chaipayut Kruehong and Saifon Kruehong	
Water Footprint Assessment of Red Tilapia Production from Fishery Farms in the Sena Districts, Phranakhon Si Ayutthaya Province	114
Watcharaporn Tantipanatip	
Intensity of Natural Indigo Dyed Cotton Fabrics with UV Protection	129
Oiytip Pupatana	
Water Quality After Removing Shops at Klong Ong Ang	142
Utumporn Sompong	
Comparison of Time Series Techniques for Predicting Gold and Oil Prices	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^{1*} Putthiphong Kirdpipat² and Witaya Srigul¹

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

¹ Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

² 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 crop 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.

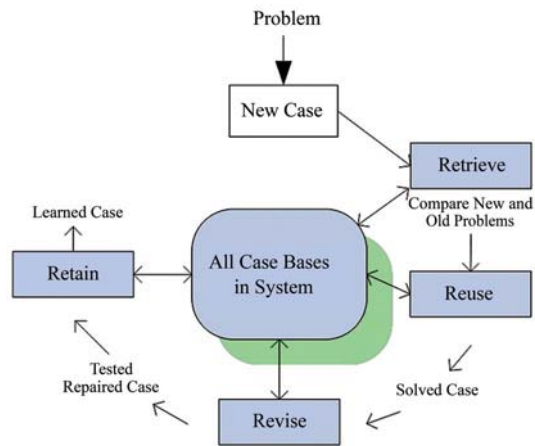


Figure 1 Case Base Reasoning

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.

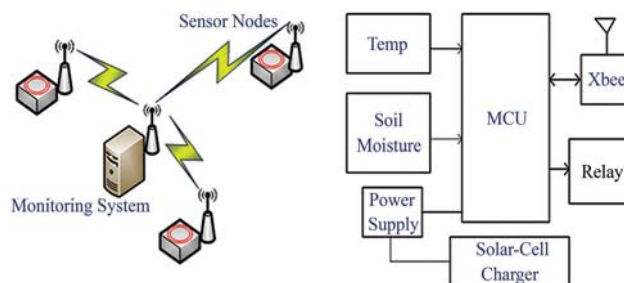


Figure 2 The structure of the watering system in mixed garden

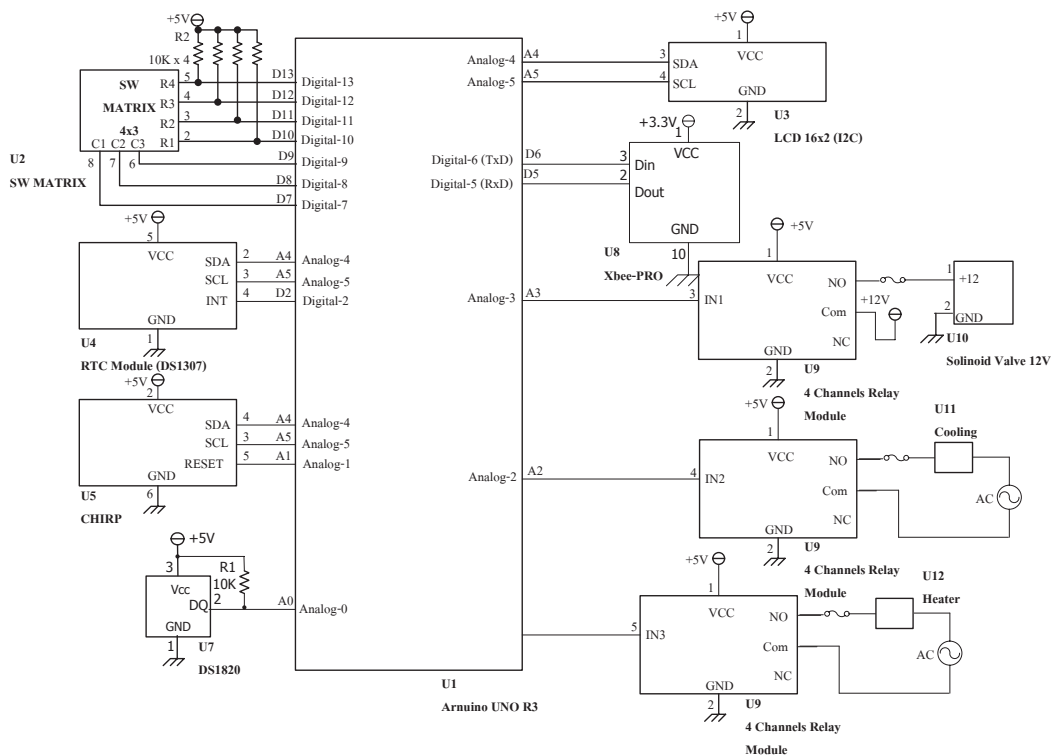


Figure 3 Sensor node

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 valve 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

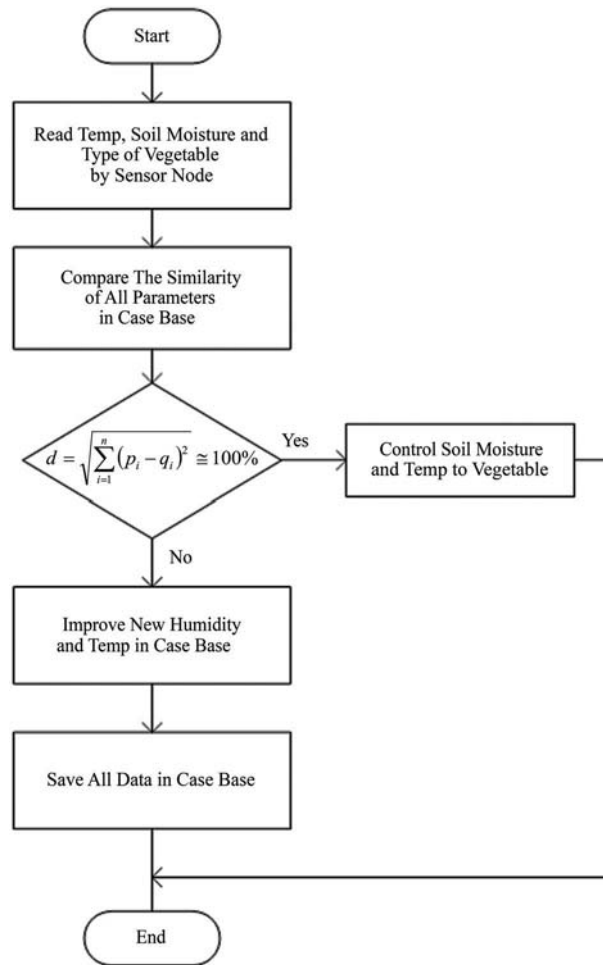


Figure 4 Algorithm of main program

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.

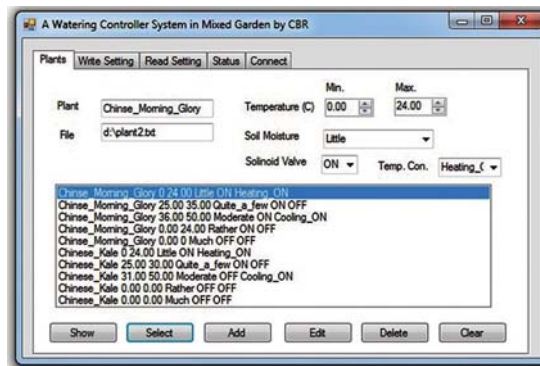


Figure 5 All cases in Chinese morning glory

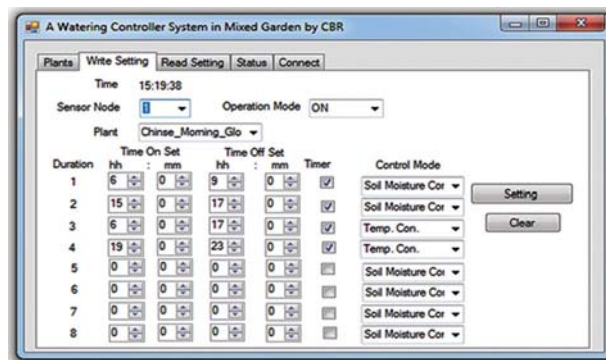


Figure 6 All parameters for controlling sensor node

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

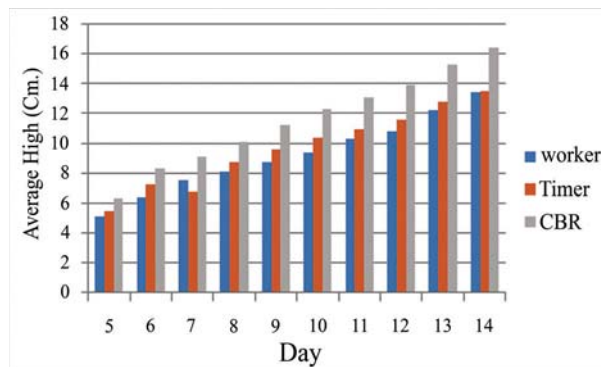
Parameter	CBR	Timer System	Worker
Type of Vegetable	Chinese Morning Glory	Chinese Morning Glory	Chinese Morning Glory
Total Number of Vegetables	15 Lines	15 Lines	15 Lines
Method of Agriculture	Flowerpot	Flowerpot	Flowerpot
Total Days of Experiment	14 Days	14 Days	14 Days
Number of Flowerpots	1	1	1
Size of Flowerpot	25 x 12 Cm.	25 x 12 Cm.	25 x 12 Cm.
Temperature	≥ 25 °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 presents all results between 5th and 14th 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 5th to 14th 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 Drought Mitigation**. Access (19 April 2017). Available (<http://www.iwahr.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 2nd 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 I²C 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.doae.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 Surawongtakoon¹ Plaichumpon Paha¹ and Worapan Pormsila^{1*}

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 ± 7 %). The results show that the extraction and the determination were efficient for determining of benzoic acid.

Keywords: DLLME; Benzoic Acid; Fruit Juices; HPLC

¹ 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], as 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.

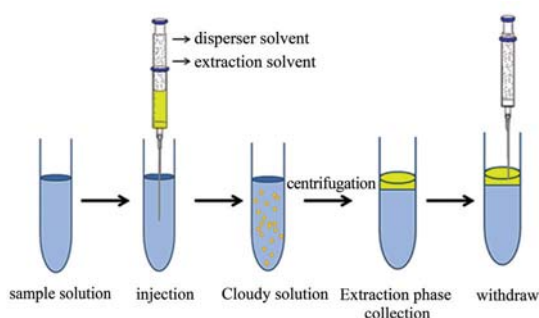


Figure 1 DLLME steps

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 $\times$ 4.6 mm I.D., 5 μ m). 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 μ L. 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.

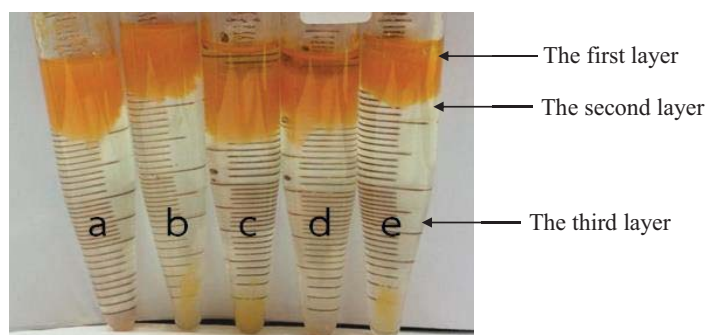


Figure 2 Effect of the extraction solvent types (a) methanol (b) diethyl ether (c) carbontetrachloride (d) chloroform (e) octanol

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.

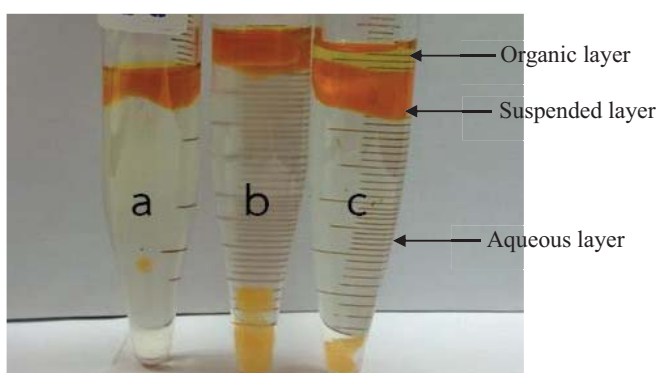


Figure 3 Effect of the dispersive solvent types (a) acetone (b) ethanol (c) acetonitrile

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

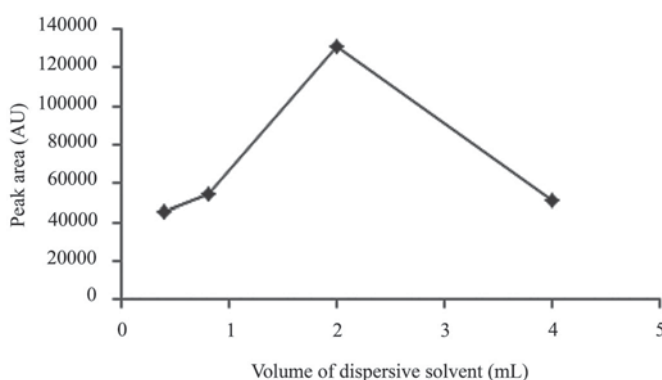


Figure 4 Effect of the dispersive solvent volumes (mL)

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.

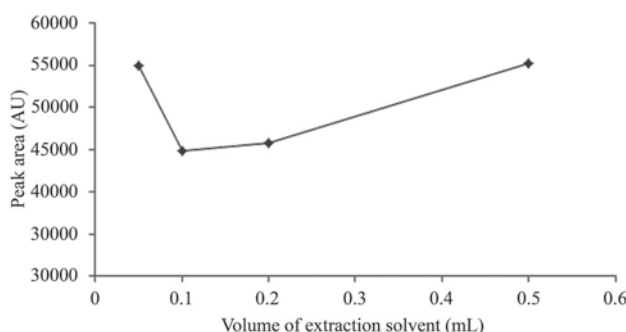


Figure 5 Effect of the extraction solvent volumes (mL)

3. Method validation

A good linearity between the concentrations of benzoic 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.

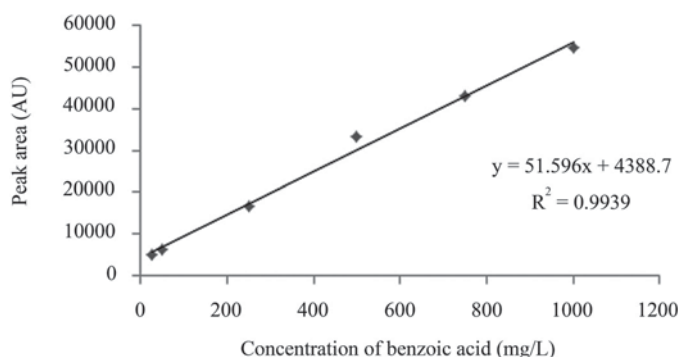


Figure 6 Standard calibration curve of benzoic acid 25 - 1000 mg/L

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.

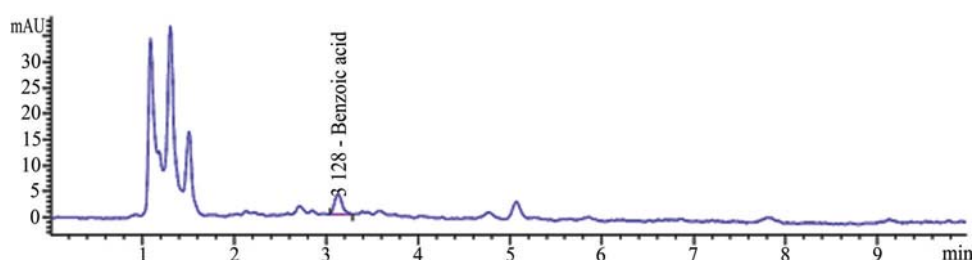


Figure 7 Chromatogram of sample 1

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 Hongkrekai 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)
- [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. Kalhori,. (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: 0.1007/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., Arunsingharat, 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., Aghaee, 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. Kalthori. (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^{1*}

Received: December, 2016; Accepted: December, 2017

บทคัดย่อ

การใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศเพื่อวางแผนพัฒนาพื้นที่ การเรียนการสอนในสาขาวิชาการจัดการผังเมือง และสาขาที่เกี่ยวข้อง โดยทั่วไปใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) และข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยกรมแผนที่ทหาร ในขณะที่มีขั้นตอนและค่าใช้จ่ายในการขอข้อมูล ในปัจจุบันมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีสารสนเทศอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้ง่าย โดยเฉพาะการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากโปรแกรม Google Earth อย่างไรก็ตาม พบว่าข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศยังไม่เป็นปัจจุบันและครอบคลุมทุกพื้นที่ ขณะเดียวกันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีได้พัฒนาสิ่งประดิษฐ์เพื่อการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ เช่น อากาศยานไร้คนบังคับขนาดเล็ก หรือ sUAV (Small Unmanned Aerial Vehicles) ซึ่งเป็นเครื่องบินขนาดเล็ก ติดกล้องถ่ายภาพที่สามารถบันทึกข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) ลงในภาพถ่ายดิจิทัล และควบคุมอุปกรณ์ได้จากระบบควบคุมระยะไกล คอมพิวเตอร์ หรือโปรแกรมประยุกต์บนโทรศัพท์มือถืออัจฉริยะ

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

คำสำคัญ : อากาศยานไร้คนบังคับขนาดเล็ก; UAV; แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ; โฟโตแกรมเมตรี; แบบจำลองสามมิติแบบพ้อยท์คลาวด์

¹ 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; Photogrametry; 3d Point Cloud

บทนำ

การสำรวจข้อมูลเพื่อการวางแผนพัฒนาต่าง ๆ จะไม่เป็นเรื่องยากอีกต่อไป เมื่อปัจจุบันมีอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กที่สามารถควบคุมได้จากระยะไกลหรือที่คนทั่วไปเรียกว่า “โดรน” สามารถบินขึ้นสู่อากาศเพื่อถ่ายภาพจากบนท้องฟ้าได้ ช่วยให้เราสามารถมองเห็นภาพรวมทั้งหมดของพื้นที่ที่ต้องการเก็บข้อมูลได้อย่างง่าย และสามารถนำมาประกอบการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมจากการสำรวจภาคพื้นดิน ในการเก็บข้อมูลสภาพปัจจุบัน (Existing Data) ของพื้นที่เพื่อนำมาวิเคราะห์พื้นที่ (Site Analysis) สำหรับการวางแผนพัฒนาในด้านต่าง ๆ ที่มีขนาดครอบคลุมพื้นที่กว้างมาก ๆ วิธีการที่สะดวกรวดเร็วที่สุดในการสำรวจขั้นต้นคือการใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่นั้น ๆ

ในยุคแรกของการถ่ายภาพทางอากาศได้มาจากการถ่ายภาพบนเครื่องบิน จัดทำโดยกรมแผนที่ทหาร ต่อมาได้มีการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) ในส่วนของการใช้งานจะแตกต่างกันไปตามแต่วิธีการหรือระดับความต้องการของข้อมูลบางครั้งอาจใช้เพียงภาพถ่ายทางอากาศเพื่อตรวจสอบสภาพปัจจุบันของพื้นที่ บางครั้งจำเป็นต้องใช้ภาพถ่ายออร์โธรีความละเอียดสูง ที่มีการปรับแก้ที่ถูกต้องเพื่อใช้งานในระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS)

ปัจจุบันเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กได้ถูกพัฒนาขึ้นและสามารถติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลเฉพาะทางขึ้นไปกับอากาศยานเพื่อการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การข่าว - สื่อสารมวลชน การสำรวจพื้นที่ทางโบราณคดี การสำรวจพื้นที่การเกษตร โดยเฉพาะในด้านการวางแผนพัฒนาเมือง ซึ่งมีรูปแบบชุมชนแตกต่างไปจากในอดีต ทั้งในด้านกายภาพ เศรษฐกิจและสังคม ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเมืองมีความซับซ้อนในหลากหลายมิติ ดังนั้นการวางแผนเพื่อการพัฒนาจึงมีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลเพิ่มมากขึ้น มีความหลากหลาย และเป็นปัจจุบันอยู่เสมอ

อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กแบบ 4 ใบพัด (Small Unmanned Aerial Vehicle) ในที่นี้ผู้เขียนจะเรียกว่า sUAV ที่สามารถควบคุมได้ในระยะไกลผ่านรีโมทคอนโทรลเพื่อใช้ในการถ่ายภาพทางอากาศเพื่อการวิเคราะห์สภาพพื้นที่จากภาพถ่ายทางอากาศ บทความนี้ผู้เขียนได้เสนอแนวทางในการสร้างข้อมูลสภาพพื้นที่ปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา ในรูปแบบของภาพดิจิทัลสามมิติที่ประมวลผลจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศโดยอุปกรณ์ sUAV ผ่านเทคนิคโฟโตแกรมเมตรี (Photogrammetry) เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการวางแผนพัฒนาด้านต่าง ๆ ตลอดจนประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอนทางด้านการสำรวจข้อมูลเชิงพื้นที่และการเปรียบเทียบข้อมูลเชิงพื้นที่จากแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกัน

1. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.1 แนวทางการสร้างแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก
- 1.2 แผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาตราส่วน 1:100 - 1:500 ประกอบด้วยข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ และแผนที่ความสูงของภูมิประเทศที่มีสิ่งปกคลุม (DSM) และไร้สิ่งปกคลุม (DTM)
- 1.3 การเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศจากผู้ให้บริการบนอินเทอร์เน็ตกับแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นและข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ที่หน่วยงานราชการสร้างขึ้น

2. ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้ sUAV ถ่ายภาพทางอากาศเหนือพื้นที่ศึกษา สองข้างของถนนจอมพลหลังอนุสาวรีย์ท้าวสุรนารีช่วงที่ 1 ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 9 ไร่ หรือ 14,400 ตารางเมตร

พัฒนาการในการสำรวจด้วยภาพถ่าย

ในช่วงก่อนปี 1860 โดยประมาณถือเป็นยุคแรกเริ่มที่มีการถ่ายภาพทางอากาศ ได้เริ่มต้นโดยการใช้กล้องถ่ายภาพชนิดธรรมดาผูกติดไปกับบอลลูนหรือว่าเพื่อทำการถ่ายภาพทางอากาศ ต่อมาเมื่อมีการประดิษฐ์เครื่องบินขึ้นมานบนโลกทำให้ศักยภาพในการถ่ายภาพทางอากาศเพิ่มขึ้น และแปลข้อมูลด้วยสายตา เนื่องจากในยุคแรก ๆ ยังมิได้นำเอาความรู้ทางสหวิทยาการมาใช้ดังเช่นในปัจจุบัน เทคโนโลยีได้ถูกพัฒนาต่อมาเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้มีการปล่อยดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศและเริ่มมีการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมที่โคจรรอบโลกในอวกาศที่ระดับความสูงที่แตกต่างกัน ทำให้ได้ชนิดของข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปอย่างกว้างขวาง

การสำรวจด้วยภาพถ่ายนั้นเป็นองค์ความรู้ที่ถือกำเนิดขึ้นมาในคริสต์ศตวรรษที่ 18 หลังจากที่มี Aime' Luassedat ได้ทดลองรังวัดด้วยภาพเป็นผลสำเร็จ การสำรวจรังวัดด้วยภาพจะแบ่งพัฒนาการออกเป็น 4 ยุค [1] คือ ยุคเริ่มต้นได้มีการเอาเทคนิคโฟโตแกรมเมตรี หรือการรังวัดด้วยภาพ เป็นการรังวัด

ที่ใช้ภาพที่บันทึกไว้ในการบินที่ปรากฏทางกายภาพ โดยที่ผู้วาดไม่ต้องไปสัมผัสวัตถุ และสามารถวัดระยะครอบคลุมพื้นที่กว้างได้ มาใช้ในการสำรวจระยะใกล้ [2] โดยเฉพาะงานสำรวจจริงวัดเก็บข้อมูลในงานสถาปัตยกรรม ยุคต่อมาเริ่มมีการถ่ายภาพทางอากาศโดยการติดตั้งกล้องถ่ายภาพบนเครื่องบิน หรือบอลลูน เรียกได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นการสำรวจระยะใกล้ มีขอบเขตในการสำรวจที่กว้างขึ้น ประจวบกับช่วงเวลานี้ได้เกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 งานสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างแผนที่ทางทหาร แผนที่ภูมิศาสตร์ แผนที่ภูมิประเทศ และแผนที่เส้นทาง และในยุคนี้มีการสร้างเครื่องจักรกลในการเขียนแผนที่ขึ้นมาอีกด้วย ยุคที่สามราวปี ค.ศ. 1970 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเข้ามามีบทบาทร่วมกับงานสำรวจจริงวัดด้วยเทคนิคโฟโตแกรมเมตรี ด้านการประมวลผลข้อมูล และการถือกำเนิดกล้องถ่ายภาพดิจิทัลถือเป็นจุดเปลี่ยนที่ทำให้การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าขึ้นทำให้การสำรวจได้ภาพถ่ายสามารถประมวลผลออกมาได้หลากหลายรูปแบบข้อมูล อีกทั้งกล้องถ่ายภาพดิจิทัลมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว มีขนาดเล็ก gọn คุณภาพของภาพถ่ายที่สูงขึ้น พร้อมทั้งมีการบันทึกข้อมูลวันที่ พร้อมทั้งข้อมูลทางภูมิศาสตร์ลงไปในภาพถ่ายโดยอัตโนมัติ ศักยภาพของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่พัฒนาขึ้น ท้าวมกับเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพทางอากาศขนาดเล็ก มีราคาไม่แพง ให้ความสามารถในการใช้เทคนิคโฟโตแกรมเมตรีเพื่อดำเนินการเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สามารถดำเนินการได้ในทุกที่ทุกเวลา

ในประเทศไทยได้เริ่มมีการใช้ภาพถ่ายทางอากาศครั้งแรกเมื่อ พ.ศ. 2491 รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้ให้ความช่วยเหลือประเทศไทย โดยส่งหน่วยงานจัดทำแผนที่ทำการสำรวจและถ่ายภาพทางอากาศเพื่อทำแผนที่ภูมิประเทศ ขนาดมาตราส่วน 1:50,000 ทั่วประเทศ โดยที่ทางฝ่ายไทยจะเป็นผู้ดำเนินการภาคพื้นดินทั้งหมด ต่อมาในปี พ.ศ. 2514 มีการแต่งตั้งคณะกรรมการแห่งชาติว่าด้วยการประสานงานการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมและหอบปฏิบัติการลอยฟ้า ในปี พ.ศ. 2524 ประเทศไทยได้จัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมสำรวจภาคพื้นดินเป็นแห่งแรกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งอยู่ในเขตลาดกระบัง มีรัศมีขอบข่ายการรับสัญญาณประมาณ 2,800 กม. ซึ่งครอบคลุม 17 ประเทศ และในปลายปี พ.ศ. 2530 สถานีรับสัญญาณดาวเทียมภาคพื้นดินได้รับการพัฒนาปรับปรุงให้สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมระยะไกลได้สูง ในปัจจุบันแหล่งข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศนั้นมีมากมายหลากหลายรูปแบบ แต่แหล่งข้อมูลที่มีความนิยมที่สุดคือ 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

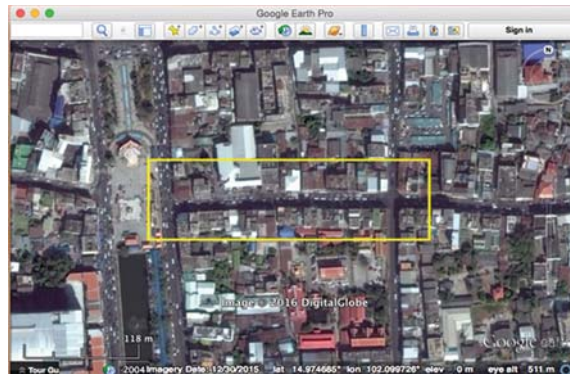
ผลกระทบจากปัญหาอุทกภัย เนื่องจากสามารถเข้าถึงพื้นที่ได้รวดเร็ว การสำรวจสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้เป็นบริเวณกว้าง ช่วยให้การประเมินสถานการณ์ทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และภาพถ่ายทางอากาศและพิกัดที่ได้รับการบันทึกจะถูกนำมาผ่านขั้นตอน Geo-Referencing สำหรับจัดวางภาพถ่ายให้มีความถูกต้องและจัดทำภาพแผนที่น้ำท่วม เพื่อเปรียบเทียบขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมในแต่ละช่วงเวลา และใช้เป็นข้อมูลประกอบในการประเมินสถานการณ์ และสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำในยามเกิดอุทกภัย [6] รวมถึงการสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมทางด้านผังเมืองด้วยการใช้ภาพถ่ายมุมมองต่าง ๆ ในการสร้างความเข้าใจให้กับผู้มีส่วนได้เสียภายในพื้นที่ [7] จากความต้องการใช้งานภาพถ่ายทางอากาศเพื่อการวางแผนในการพัฒนาที่เพิ่มมากขึ้น จึงเกิดการพัฒนาการสร้างภาพถ่ายทางอากาศต้นทุนต่ำเรื่อยมา อาทิเช่น การติดตั้งกล้องถ่ายรูปบนว่าวขนาดใหญ่ การติดตั้งกล้องบนบอลลูนที่บรรจุด้วยอากาศไฮโดรเจน การติดตั้งกล้องบนเครื่องบินเล็ก [8]

การใช้งาน sUAV เก็บข้อมูลเชิงพื้นที่

เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 สาขาการจัดการผังเมือง มทร.อีสาน ดำเนินโครงการบริการวิชาการเรื่อง “จอมพลถนนประวัติศาสตร์” ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่างสาขาการจัดการผังเมือง มทร.อีสาน เทศบาลนครนครราชสีมา และประชาชนในพื้นที่ โดยการจัดทำต้นแบบตัวอย่างการพัฒนาพื้นที่โดยการสร้างแบบจำลองข้อมูลของพื้นที่เพื่อสร้างความเข้าใจกับประชาชนในพื้นที่ เพื่อรับฟังความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง กระบวนการนี้ได้เพิ่มความร่วมมือเป็นอย่างดีของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องอย่างแท้จริง ทำให้เกิดผลดีต่อการทำงานในพื้นที่ในภาพรวม โดยพื้นที่โครงการตั้งอยู่บนถนนจอมพล ในเขตเมืองเก่าของอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ขนาดพื้นที่ 50 x 250 เมตร นับจากด้านหลังของประตูชุมพลไปจนถึง 4 แยกที่ตัดกับถนนจักรีตามรูปที่ 1

ในกระบวนการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่จากภาพถ่ายทางอากาศมี 3 ขั้นตอนหลักในการทำงานคือ

1. การวางแผนการถ่ายภาพ ในการกำหนดพื้นที่และการวางแผนการบินโดยใช้ sUAV ในการสร้างแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศเป็นศาสตร์และศิลป์ที่มีส่วนผสมระหว่างการถ่ายภาพและการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ของภาพถ่ายทางอากาศ ในการกำหนดแนวกบิน (Flight Plan) สามารถกำหนดได้ 2 วิธีคือ 1) การบินถ่ายภาพแบบบังคับด้วยมือ (Manual Flight) 2) การบินถ่ายภาพตามเส้นทางการบินที่กำหนดไว้และควบคุมโดยการระบุตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของ sUAV ภาพถ่ายที่สามารถนำมาใช้ในการประมวลผลด้วยเทคนิคโฟโตแกรมเมตรี ภาพถ่ายทางอากาศจะต้องมีระยะซ้อนทับกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 การวางแผนเส้นทางบินเพื่อถ่ายรูปจะต้องกำหนดให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษาตามรูปที่ 2 และอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการถ่ายภาพครั้งนี้คือ อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กบังคับด้วยสัญญาณวิทยุ และ iPad mini พร้อมติดตั้ง Application DJI Vision¹ และ Capture P2V² ภาพถ่ายมีความละเอียดของกล้อง 12 ล้านพิกเซล พร้อมบันทึกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (x,y) ลงในแต่ละรูป ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth แสดงพื้นที่ถนนจอมพล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา



รูปที่ 2 การวางแผนเส้นทางการบินพื้นที่ศึกษาถนนจอมพล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

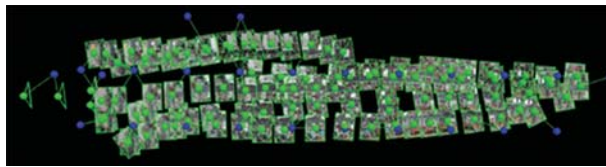


รูปที่ 3 sUAV และอุปกรณ์ iPad mini เพื่อช่วยในการควบคุมอุปกรณ์ sUAV

2. การดำเนินการภาคสนาม เป็นการถ่ายภาพจากทางอากาศพื้นที่ถนนจอมพล ผู้เขียนใช้วิธีการบังคับการบินแบบปกติ โดยใช้วิธีถ่ายทีละภาพจากแพนควบคุมจาก iPad mini ที่เชื่อมต่อสัญญาณกับ sUAV ผ่านสัญญาณ WIFI ทำให้สามารถควบคุมการถ่ายภาพจากภาคพื้นดินได้ ในการกำหนดจุดขึ้นลงของ sUAV ผู้เขียนเลือกใช้พื้นที่ลานว่างด้านข้างอนุสาวรีย์ท้าวสุรนารี ซึ่งปราศจากสิ่งกีดขวางการบินขึ้นในแนวดิ่ง ในการถ่ายภาพจาก sUAV เพื่อนำมาใช้ในการกระบวนการสร้างภาพสามมิติขึ้น ภาพถ่ายต้องมีการซ้อนทับกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 ทั้ง 4 ด้าน ครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษาจากการวางแผนในขั้นตอนที่ 1 ดังรูปที่ 4 จึงนำภาพถ่ายที่ได้ประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในขั้นตอนต่อไปดังรูปที่ 5

¹ DJI Vision เป็น Application จากผู้ผลิต ทำให้สามารถถ่ายภาพ หรือข้อมูลต่าง ๆ ในขณะที่ทำการบินได้ ผ่านระบบ WIFI และสามารถติดตั้งได้ทั้งระบบ iOS และ android

² Capture P2V เป็น Application สำหรับวางแผนการบินเพื่อถ่ายภาพทางอากาศให้กับอุปกรณ์ sUAV สามารถติดตั้งได้ทั้งระบบ iOS และ android



รูปที่ 4 ตำแหน่งในแนวราบของกล้องถ่ายภาพบนอุปกรณ์ sUAV (โดยการบินแบบบังคับด้วยมือ)



รูปที่ 5 ภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอุปกรณ์ sUAV จากทั้งหมด 99 ภาพ

3. การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ขั้นตอนนี้เป็นกรนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ มาประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ที่สำคัญคือ คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล ภาพถ่ายดิจิทัลทางอากาศ โดยคอมพิวเตอร์ที่ผู้เขียนใช้คือ Macbook Pro ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Windows10 และโปรแกรม Pix4Dmapper ในการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลมีขั้นตอนการประมวลผล 3 ขั้นตอนคือ

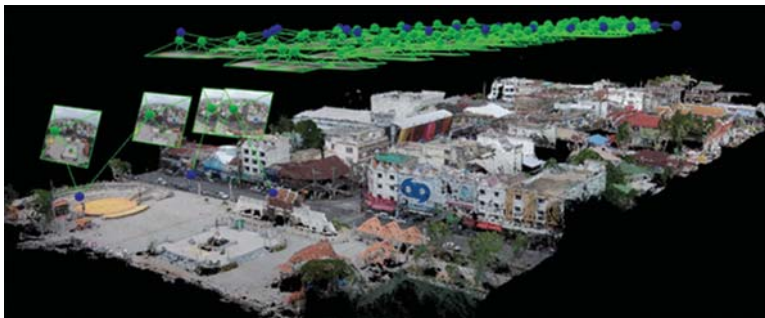
3.1 Initial Processing เป็นการประมวลผลเบื้องต้น เป็นขั้นตอนการกำหนดจุด Tile Point หรือการสร้างจุดอ้างอิงแบบสามมิติ (x, y, z) ภาพถ่ายทางอากาศจุดละไม่น้อยกว่า 2 ภาพ และ พิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) ในแต่ละรูปถ่าย ขั้นตอนนี้จะได้เป็นข้อมูลแบบจำลองสามมิติเบื้องต้นแบบ Point Cloud

3.2 Point Cloud Densification เป็นการเพิ่มความหนาแน่นของ Point Cloud ในแบบ จำลองสามมิติจากขั้นตอนแรก 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

ภาพถ่ายทางอากาศเพื่อใช้ในการสำรวจพื้นที่ระยะใกล้และการแปลด้วยสายตา (รูปที่ 6) ข้อมูลสามมิติ Point Cloud ที่ได้มาจากการประมวลผลด้วยเทคนิคโฟโตแกรมเมตรีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลลัพธ์ที่ได้คือ ข้อมูล Point Cloud สามมิติรูปที่ 7 - 8 และแผนที่ภาพถ่ายออร์โธที่ทำการปรับแก้ไขภาพจากภาพถ่ายทัศนียภาพเป็นแผนที่ภาพถ่ายออร์โธหรือแผนที่ภาพถ่ายมุมจากที่มีระบบพิกัดที่สามารถนำเข้าไปใช้งานกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ได้ (รูปที่ 9)



รูปที่ 8 แบบจำลองสามมิติของพื้นที่โครงการฯ



รูปที่ 9 แผนที่ภาพถ่ายทางออร์โธที่มีความละเอียดสูงของพื้นที่โครงการฯ

การใช้งานข้อมูลเชิงพื้นที่รูปแบบต่าง ๆ

ในการลงเก็บข้อมูลของพื้นที่ศึกษาเพื่อบริการทางวิชาการฯ ในครั้งนี้ ทางสาขาวิชาฯ ใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่มาประกอบการวางแผนร่วมกับข้อมูลจาก sUAV จำนวน 3 แหล่งข้อมูลคือ

1. แผนที่พื้นฐานจากฐานข้อมูล GIS (ข้อมูลมือ 2) ของพื้นที่ โดยสำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมาได้จัดทำไว้ (ไม่ทราบปีที่จัดทำ) ดังรูปที่ 10

2. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากแผนที่ Google Earth ดังรูปที่ 11

3. ข้อมูลจากการสแกนแบบสามมิติ (3D Laser Scanner) ดังรูปที่ 12

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

การเปรียบเทียบข้อมูลเชิงพื้นที่

การใช้งานข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จาก Google Earth พื้นที่ศึกษาด้านจอมพล บริเวณด้านหลังของอนุสาวรีย์ท้าวสุรนารี และประชุมพลนั้น สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนสำหรับการวิเคราะห์พื้นที่ภาพรวม โดยภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth ประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ อาทิ พิกัดระบุตำแหน่งของพื้นที่ วันเวลาที่ถ่ายภาพ ระดับความสูงของมุมมอง ความสูงจากระดับน้ำทะเล แหล่งข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อใช้ในการอ้างอิง แต่มีข้อจำกัดในบางพื้นที่ที่ยังไม่มีภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงครอบคลุมในทุกพื้นที่ของประเทศ บางพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลภาพถ่ายที่ชัดเจนจึงจำเป็นต้องหาข้อมูลจากแหล่งอื่นหรือดำเนินการจัดทำขึ้นมาเอง

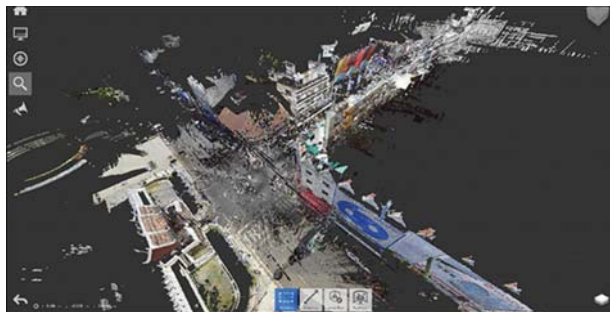
เมื่อเทียบกับภาพทางอากาศในปัจจุบันสามารถดำเนินการเองได้ง่าย จากราคาของอุปกรณ์ sUAV ที่มีราคาไม่สูงนัก พร้อมศักยภาพในการทำงานของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นโดยตลอด ทำให้การสำรวจข้อมูลทางอากาศสามารถทำได้ตลอดเวลา อีกทั้งยังเป็นข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่มีความละเอียดสูงสามารถนำมาใช้ในการรังวัดด้วยภาพถ่ายดิจิทัลได้



รูปที่ 10 ข้อมูลพื้นที่เมืองเก่าจากฐานข้อมูล GIS



รูปที่ 11 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่เมืองเก่าจากฐานข้อมูล Google Earth



รูปที่ 12 แบบจำลอง 3 มิติ ที่เก็บข้อมูลด้วยเครื่อง Faro 3D Scanner



(ก) ภาพถ่ายจาก Google Earth

รูปที่ 13 เปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศที่มาตราส่วน 1 : 4,000



(ข) ภาพถ่ายจากอุปกรณ์ sUAV

รูปที่ 13 เปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศที่มาตราส่วน 1 : 4,000



(ก) ภาพถ่ายจากอุปกรณ์ sUAV



(ข) ภาพถ่ายจาก Google Earth

รูปที่ 14 เปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศที่มาตราส่วน 1 : 500

จากรูปที่ 13 และ 14 จะเห็นว่าภาพถ่ายที่ได้จากอุปกรณ์ sUAV มีรายละเอียดมากกว่าภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth แต่ทั้งนี้ยังมีข้อด้อยในเรื่องของความบิดเบี้ยวของภาพที่เกิดจากการถ่ายภาพโดยเลนส์มุมกว้าง และเมื่อพิจารณาถึงความละเอียดของจุดภาพพบว่า แผนที่ภาพถ่ายจาก sUAV มีรายละเอียดของจุดภาพขนาด 2.5 เซนติเมตรต่อพิกเซล ขณะที่แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมจะมีรายละเอียดของจุดภาพ 50 เซนติเมตรต่อพิกเซล และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของข้อมูลระหว่างข้อมูลจากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ sUAV กับข้อมูลสามมิติจากการสแกนพื้นที่ด้วยแสง (3d Laser Scanner) พบว่าข้อมูลที่ได้จากการสแกนพื้นที่นั้นมีรายละเอียด และความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าระดับมิลลิเมตร (รูปที่ 15)

ข้อจำกัดในการวางแผนเก็บข้อมูลพื้นที่ด้วยการสแกนคือ 1) ขนาดของพื้นที่ เนื่องจากในการสแกนแต่ละตำแหน่งใช้เวลาประมาณ 30 นาที และมีระยะในการสแกนประมาณ 20 เมตร 2) พื้นที่เก็บข้อมูลจะต้องโล่งและปราศจากสิ่งกีดขวางระหว่างพื้นที่หรืออาคารที่ต้องการเก็บข้อมูลและตัวเครื่องสแกนฯ และตัวเครื่องสามารถเก็บข้อมูลได้เฉพาะที่มองเห็นได้เท่านั้น (รูปที่ 16 - 17) ทำให้เห็นเพียงข้อมูลผิวอาคารที่อยู่สองฝั่งของถนนจอมพลเท่านั้น ในขณะที่ข้อมูลจาก sUAV จะสามารถเก็บข้อมูลจากด้านบนได้



รูปที่ 15 รูปด้านข้างที่ได้จากแบบจำลอง 3 มิติโดยเครื่อง Faro 3D Scanner

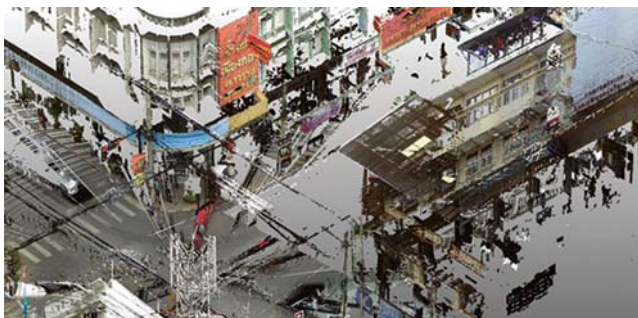


(ก) ภาพถ่าย Faro 3D Scanner



(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 การสร้างความเข้าใจในชุมชนด้วยข้อมูลเชิงประจักษ์ 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) ในการกำหนดจุดควบคุมบนพื้นดิน วัดถุ หรืออาคาร โดยใช้เทคนิค Ground Control Point (GCP) เพื่อทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของพิกัดทางภูมิศาสตร์ของข้อมูล แต่เชื่อว่าการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีในการถ่ายภาพและประมวลผลจะช่วยลดข้อจำกัดนี้ให้ลดน้อยลงไปได้

โอกาสในการนำข้อมูลไปต่อยอด เนื่องจากข้อมูลแบบจำลองสามมิติแบบ Point Cloud เป็นการเก็บข้อมูลทางกายภาพให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัลสามมิติที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานระดับต่าง ๆ อาทิ การเก็บบันทึกข้อมูลเชิงพื้นที่ทางประวัติศาสตร์ การสำรวจการใช้พื้นที่รูปแบบต่าง ๆ การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในแต่ละช่วงเวลา ตลอดจนการสำรวจพื้นที่ประสพภัยเพื่อวางแผนการช่วยเหลือการสร้างแบบจำลองสารสนเทศระดับอาคาร (Building Information Model : BIM) จากแบบจำลองสามมิติ Point Cloud ที่มีความละเอียดในระดับอาคารและแบบจำลองสารสนเทศของเมือง (City Information Model : CIM) [9] เพื่อใช้เป็นพื้นฐานข้อมูลในการวางแผนพัฒนา หรือการบริหารจัดการเมืองในรูปแบบเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ในโอกาสต่อไปได้

References

- [1] Srisuwan, C. (2013). **Photogrammetry in Architecture Conservation : Literature Review and Possible Applications for Thai Traditional**. Najua : History of Archiectutural and Thai Archiectutiral. 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 19th National Convention on Civil Engineering**, 14-16 May 2014, Khon Kaen, THAILAND. pp. 2974-2980
- [7] Boonyanusith, N. and Tiawongsuwan, S. (2016). Change Agent Transformation Pattern of Urban Revitalization in Chom Phon Community. **The 5th 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 Mickrenska-Cherneva, C. (2016). Point Clouds in BIM. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. Vol. 44, DOI: 10.1088/1755-1315/44/4/042034



การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์ค ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และนิวโรฟัซซี กับการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว เพื่อวิเคราะห์และแยกแยะสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า

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

อดิสรณ์ กำลังเพชร^{1*} และประจวบ อินระวงศ์¹

Received: June, 2017; Accepted: October, 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบทั้งสามวิธี คือ ตัวแบบที่ใช้เทคนิคจากโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SMOreg) และตัวแบบนิวโรฟัซซีโดยใช้เทคนิคแบบ ANFIS ในรูปแบบของการจดจำเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และแยกแยะข้อมูลสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าระหว่างชุดข้อมูลสัญญาณดีกับชุดข้อมูลสัญญาณเสีย โดยหลักการในการสร้างตัวแบบที่นำเสนอทั้งสามตัวแบบจะใช้ข้อมูลที่ผ่านมากระบวนการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว 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 $8.61E-05$, $3.32E-04$, $3.38E-05$ และค่าร้อยละที่ได้จากค่า MAPE คือ 2.5807, 10.9384, 0.8061 ตามลำดับ เมื่อนำทั้งสามตัวแบบมาเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ พบว่าตัวแบบนิวโรฟัซซีโดยใช้เทคนิคแบบ ANFIS มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยมีค่า

¹ 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 และผลจากการทดสอบทุกชุดข้อมูลสัญญาณสามารถแยกแยะระหว่างชุดข้อมูลสัญญาณดีกับชุดข้อมูลสัญญาณเสียได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ : โครงข่ายประสาทเทียม; นิวโรฟัซซี; ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน; การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว; สัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า

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 โดยอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในด้านภาคอุตสาหกรรม เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องจักรกล อุปกรณ์สำหรับทดสอบชิ้นงาน อุปกรณ์สำหรับประกอบชิ้นงาน อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการหยิบจับชิ้นงาน เป็นต้น ในชิ้นส่วนของอุปกรณ์ต่าง ๆ จะมีแผงวงจรที่ทำหน้าที่ในการสั่งงานเครื่อง ซึ่งจากการสั่งงานนั้นโดยส่วนใหญ่แล้วจะติดต่อสื่อสารกันด้วยรูปแบบสัญญาณไฟฟ้า และเนื่องจากการติดต่อสื่อสารสั่งงานด้วยรูปแบบสัญญาณไฟฟ้า ปัญหาที่ตามมาก็คือ เมื่อสัญญาณเกิดการสื่อสารผิดพลาด หรือสัญญาณมีปัญหา

อันเนื่องจากชุดของแผงวงจรเอง หรือสัญญาณที่ทำงานผิดพลาดอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งจะทำให้การส่งงานนั้นเกิดการทำงานที่ผิดพลาดได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมียุทธวิธีหรือตัวแบบสำหรับตรวจสอบอุปกรณ์ที่ส่งงานด้วยรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าให้คงสภาพการทำงานที่ดีปกติเสมอ

การวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้ามีหลากหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบฟูเรียร์ (Fourier Analysis) วิธีการจำลองทางเวลา (Time Domain Simulation) หรือการจำลองทางความถี่ (Frequency Domain Simulation) เป็นต้น [1] โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำเสนอตัวแบบสำหรับวิเคราะห์และแยกแยะข้อมูลสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าที่ดีและที่มีปัญหาหรือเสียด้วยวิธีที่นำเสนอทั้ง 3 วิธี แล้วนำแต่ละวิธีมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพว่าวิธีไหนที่ดีที่สุด โดยมีการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลของสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าของชิ้นงานที่ใช้ชิปประมวลผลสัญญาณดิจิทัลหรือชิปเซตดีเอสพี (Digital Signal Processor: DSP) ของเครื่องจักรกล โดยเริ่มต้นจากการนำข้อมูลสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าที่ได้มาทำการหาค่าตัวแปรด้วยวิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) สำหรับใช้เป็นข้อมูลเรียนรู้และทดสอบร่วมกับวิธีที่นำเสนอทั้ง 3 วิธี คือ 1) วิธีการของเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมหรือนิวรอนเน็ตเวิร์ค (Artificial Neural Network: ANN) ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) [1] - [4] และ 2) วิธีการของเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซีหรือนิวโรฟัซซี (Neuro-Fuzzy) ด้วยวิธีการแบบปรับตัวได้ (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System: ANFIS) [5] และ 3) วิธีการของซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการถดถอย (Support Vector Machine for Regression) โดยเลือกใช้เทคนิคแบบเอสเอ็มโอสำหรับสมการถดถอย (Sequence Minimal Optimization for Regression: SMOreg)

จากงานวิจัยเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และแยกแยะสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าที่ดีและเสีย เพื่อให้เห็นความแตกต่างในการวิเคราะห์ระหว่างสัญญาณดีกับสัญญาณเสีย โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสร้างตัวแบบโดยใช้เทคนิคทั้งสามวิธี สำหรับการวิเคราะห์และแยกแยะสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า 2) เพื่อวิเคราะห์และแยกแยะความแตกต่างระหว่างสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าสัญญาณดีกับสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าสัญญาณเสีย 3) เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของประสิทธิภาพระหว่างทั้งสามวิธีที่นำเสนอว่าวิธีไหนดีที่สุด และ 4) เพื่อเป็นแนวทางวิธีคิดในการประยุกต์ใช้วิธีที่นำเสนอร่วมกับวิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วในการวิเคราะห์และแยกแยะสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ผู้สนใจในการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าสามารถนำขั้นตอนวิธีที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้และเป็นแนวทางในการสร้างตัวแบบ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และแยกแยะระหว่างข้อมูลสัญญาณดีและข้อมูลสัญญาณเสียของสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ชิประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processor: DSP)

ชิพ DSP เป็นชิพประมวลผลสัญญาณ คือ ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ถูกออกแบบมาสำหรับงานประมวลผลสัญญาณแบบเวลาจริงโดยเฉพาะ โดยไมโครโปรเซสเซอร์ประเภทนี้ จะมีสถาปัตยกรรมที่เอื้ออำนวยต่อการคำนวณ การโอนถ่ายข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ และความเร็วสูง เช่น การมีคำสั่งพิเศษ

ในการคูณ การบวกสะสม หรือการอ้างข้อมูลแบบ Circular Buffer เป็นต้น บางชนิดยังสามารถทำการประมวลผลหลาย ๆ ส่วนได้พร้อมกันในตัวเดียว (Multi-Processing) อีกด้วย ซึ่งชิพ DSP นี้มีทั้งประเภทที่เป็นการประมวลผลข้อมูลแบบจำนวนเต็ม (Fixed-Point) และประเภทที่ประมวลผลข้อมูลแบบเลขของตรรกะ (Floating-Point) ส่วนการใช้งานทำได้โดยเขียนเป็นโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีหรือภาษาซีแล้วใช้คอมไพเลอร์แปลงเป็นภาษาแอสเซมบลีอีกที [6]

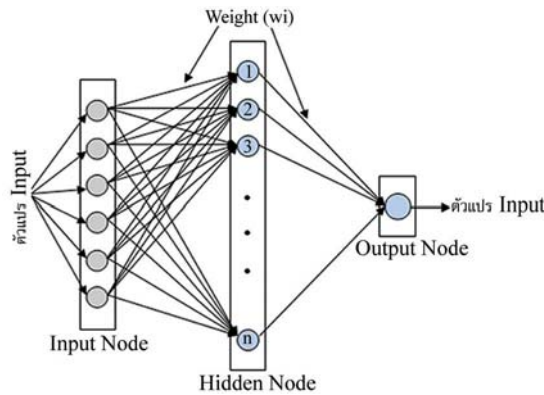
2. การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT)

การวิเคราะห์ฟูเรียร์เป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปคลื่นสัญญาณทางเวลาไปเป็นส่วนประกอบกันทางความถี่หรือสเปกตรัมของสัญญาณนั้น ๆ โดยสัญญาณที่มีลักษณะเป็นรายคาบ จะสามารถวิเคราะห์โดยใช้อนุกรมฟูเรียร์ และสัญญาณที่มีลักษณะไม่เป็นรายคาบจะทำการแปลงด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม [1], [7] และจากปัญหาของ Discrete Fourier Transform (DFT) คือ การคำนวณตามนิยามของ DFT นั้นแปรตาม N^2 ดังนั้นถ้าไม่มีวิธีการคำนวณ DFT ให้เร็วพอที่จะคำนวณ DFT ที่ N มีค่าสูง ๆ ได้ภายในเวลาอันสมควรแล้ว DFT ก็ไม่มีประโยชน์ วิธีการที่คำนวณ DFT ให้เร็ว ซึ่งวิธีนี้ก็คือใช้อัลกอริทึมชื่อ FFT ในการคำนวณจากสมการที่ (1) [1] เราสามารถลดจำนวนการคูณกันของสมการเมตริกได้ด้วยการแปลงทางฟูเรียร์แบบเร็ว โดยการจัดกลุ่มของเมตริก W^{kn} ใหม่ ซึ่งทำให้การคูณกันของสมการลดลงเหลือเพียง $N \log_2 N$ ครั้ง [1]

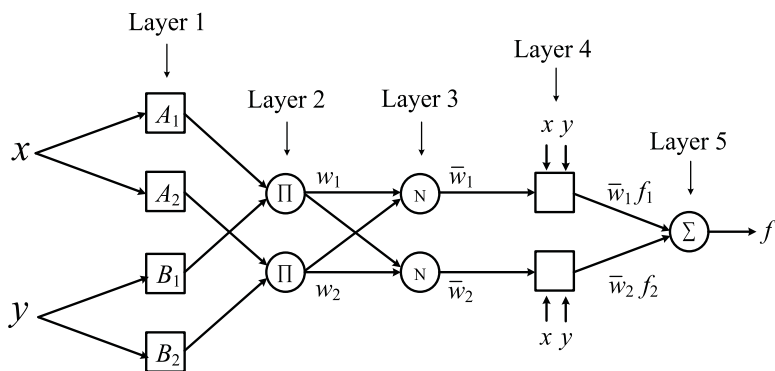
$$[X(f_k)] = \frac{1}{N} [W^{kn}] [x(t_n)] \quad (1)$$

3. โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์หรือโมเดลทางคอมพิวเตอร์ โดยจุดมุ่งหมายของโครงข่ายประสาทเทียมคือ ต้องการให้คอมพิวเตอร์มีความชาญฉลาดในการเรียนรู้เสมือนที่มนุษย์มีการเรียนรู้ สามารถฝึกหัดได้ และสามารถนำความรู้และทักษะไปประยุกต์ใช้ได้ดี [8] สำหรับการประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนกชันนิสต์ (Connectionist) ที่มีการรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อย โดยทั่วไปโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย โหนดชั้นตัวแปรนำเข้า (Input Node) โหนดในชั้นซ่อน (Hidden Node) และโหนดชั้นตัวแปรผลลัพธ์ (Output Node) ซึ่งโหนดทั้งหมดเหล่านี้จะมีการเชื่อมต่อกันในรูปแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron: MLP) มีการส่งข้อมูลจากชั้นสู่ชั้นจนถึง Output Node และมีกระบวนการฝึกหัดเป็นแบบมีผู้สอน โดยส่งค่าย้อนกลับหรือเรียกว่า การเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Back Propagation) [9] - [12] ในโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นแบบป้อนไปข้างหน้า เริ่มจากการป้อนข้อมูลเข้าจากชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer) และมีการเชื่อมต่อกับส่วนของโหนดในชั้นซ่อน (Hidden Layer) ซึ่งอาจมีมากกว่าหนึ่งชั้น เพื่อทำการปรับระบบตามพฤติกรรมของข้อมูล และสามารถอธิบายข้อมูลที่มีความซับซ้อนได้เพิ่มมากขึ้น [5], [13] ดังรูปที่ 1 ซึ่งวิธีการของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหางานในระดับง่ายไปจนถึงงานระดับยากซับซ้อนขึ้นอยู่กับงานที่นำไปประยุกต์ใช้



รูปที่ 1 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 2 โครงสร้างของ ANFIS

4. นิวโรฟัซซี (Neuro-Fuzzy: NF)

ปัจจุบันเทคนิคเชิงอัจฉริยะได้มีบทบาทในหลายด้าน โดยแต่ละตัวจะมีคุณสมบัติในการคำนวณ และแก้ปัญหาได้เฉพาะบางอย่างไม่สามารถแก้ได้ทั้งหมด เช่น นิวรัลเน็ตเวิร์คมีคุณสมบัติในการเรียนรู้ แต่ไม่สามารถใช้สำหรับการอธิบายถึงการได้มาซึ่งสิ่งที่ตัดสินใจ ในขณะที่ระบบฟัซซีสามารถให้เหตุผล ด้วยข้อมูลที่คลุมเครือและมีคุณสมบัติของการใช้งานด้านการอธิบายการตัดสินใจที่สามารถตีความให้อยู่ ในรูป If-Then ซึ่งสอดคล้องกับตรรกะความคิดของมนุษย์ โดยช่วยสร้างกฎฟัซซีจากการเรียนรู้จาก กลุ่มข้อมูลอินพุตและเอาต์พุต ช่วยในการตัดสินใจที่คลุมเครือ แต่ระบบฟัซซีเองก็ไม่สามารถ ในการเรียนรู้กฎโดยอัตโนมัติจากข้อมูล ข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้มีนักวิจัยให้ความสนใจคิดค้นวิธีการ ผสมระบบหลายระบบเข้าด้วยกัน เมื่อนำสองศาสตร์นี้รวมกันกลายเป็นระบบประสานแบบอัจฉริยะ (Hybrid Intelligent System: HIS) ขึ้นมาเป็นจำนวนมาก เช่น ระบบฟัซซีผสมเข้ากับโครงข่ายประสาทเทียม จึงได้ชื่อใหม่เป็นระบบนิวโรฟัซซี ทั้งนี้ก็เพื่อแก้ปัญหาจากข้อด้อยของแต่ละวิธี ระบบผสมนิวโรฟัซซีที่มี ชื่อเสียงเป็นที่รู้จักกันมาก ได้แก่ ANFIS เป็นระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้ด้วยวิธีการ เรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทเทียม จากรูปที่ 2 โครงสร้างของ ANFIS ประกอบด้วย 2 อินพุตคือ x และ y แต่ละอินพุตแบ่งเป็น 2 ฟัซซีเซต และ 1 เอาต์พุต [14] - [15]

5. ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการถดถอย (Support Vector Machine for Regression)

ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน หรือ SVM เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีการหาระนาบการตัดสินใจ (Decision Hyperplane) หรือไฮเปอร์เพลนที่เหมาะสมสำหรับการแบ่งข้อมูล 2 ส่วนจากกัน SVM ยังถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสมการในประมาณการค่าฟังก์ชันเชิงเส้น $F(x)$ แทนระนาบการตัดสินใจ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการถดถอย หรือ SVR จะเป็นการนำข้อมูลปัจจุบันและข้อมูลในอดีตจำนวนหนึ่งมาทำการเรียนรู้ (Training) เพื่อให้ทราบถึงรูปแบบสำหรับคาดการณ์ผลซึ่งจะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการถดถอยเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาพยากรณ์ได้ งานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีสร้างสมการในประมาณการค่าฟังก์ชันเชิงเส้นด้วยวิธี Sequential Minimal Optimization for SVM Regression (SMOreg) [16]

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

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัยโดยรวมสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. การเริ่มต้นวิจัย

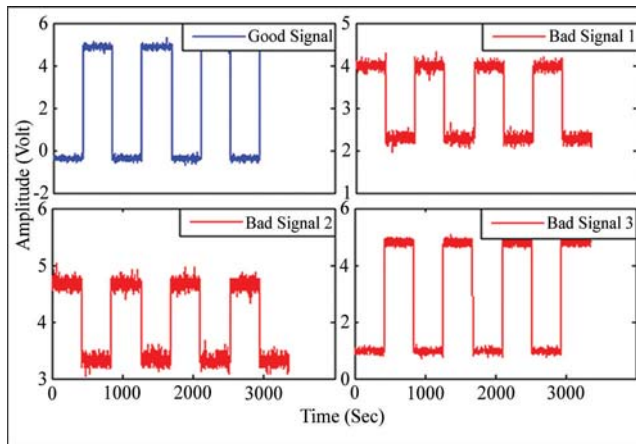
การเริ่มต้นการวิจัย เป็นขั้นตอนแรกของงานวิจัยโดยกำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย จากนั้นเริ่มทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วางแผนขั้นตอนการดำเนินการวิจัย และเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าที่ต้องการนำมาใช้ในงานวิจัยดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย		
การเริ่มต้นการวิจัย	การจัดเตรียมข้อมูล	การสร้างตัวแบบและการทดสอบ
1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1) ขั้นตอนการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วสำหรับหาค่าตัวแปรข้อมูลเพื่อใช้สำหรับทดลอง	1) กำหนดโครงสร้างของแต่ละวิธีที่นำเสนอและกำหนดค่าต่าง ๆ
2) วางแผนขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย	2) จัดการข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ใช้สำหรับทดลอง	2) ทำการฝึกหัดข้อมูลและเตรียมตัวแบบที่ได้สำหรับทดสอบข้อมูล
3) เก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าที่ใช้สำหรับทดลอง	3) เตรียมชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้กับทดสอบ	3) ทดสอบกับทุกชุดข้อมูลด้วยตัวแบบที่ได้

จากการตรวจวัดชิ้นงานของสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าด้วยเครื่องออสซิลโลสโคปจำนวนหลายชิ้น ๆ ละ 1 สัญญาณ และเลือกนำมาใช้ทดลองจำนวนหนึ่ง เป็นกลุ่มชุดสัญญาณดีจำนวน 21 สัญญาณ และกลุ่มชุดสัญญาณเสียจำนวน 7 สัญญาณ แต่ละสัญญาณมีจำนวนข้อมูล 3,360 เรคคอร์ด และ

สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างสัญญาณดีกับสัญญาณเสีย คือค่าของ Phase, ค่าสูงต่ำของ Amplitude และ ค่าอ้างอิงที่จุดเริ่มต้นของสัญญาณ จากรูปที่ 3 สัญญาณดีก่อนที่จะผ่านขั้นตอนของ FFT ค่าของ Amplitude โดยค่าต่ำสุดจะอยู่ที่ 0 โวลต์ กับ 5 โวลต์ (Good Signal) ส่วนสัญญาณเสียค่าจะแตกต่าง (Bad Signal 3) หรือค่าของ Phase จะกลับค่า (Bad Signal 1, Bad Signal 2) เมื่อเทียบกับสัญญาณดี

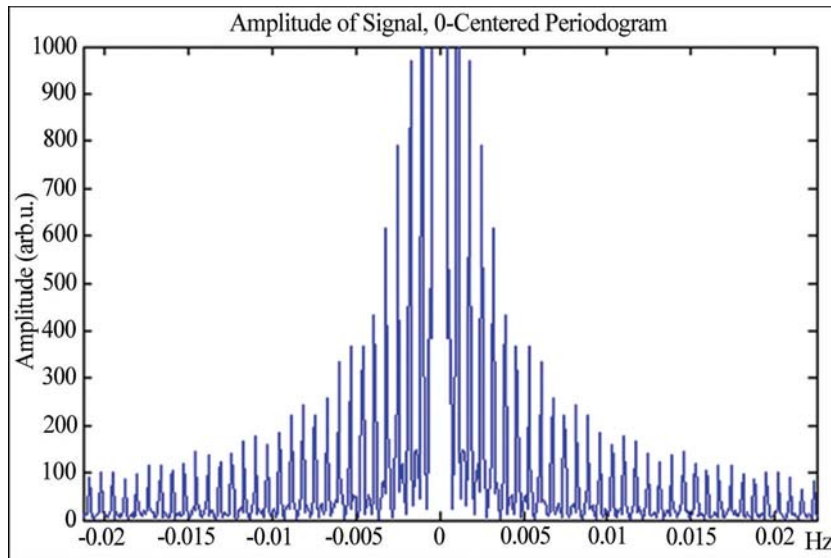


รูปที่ 3 รูปแบบข้อมูลสัญญาณระหว่างดีและเสีย

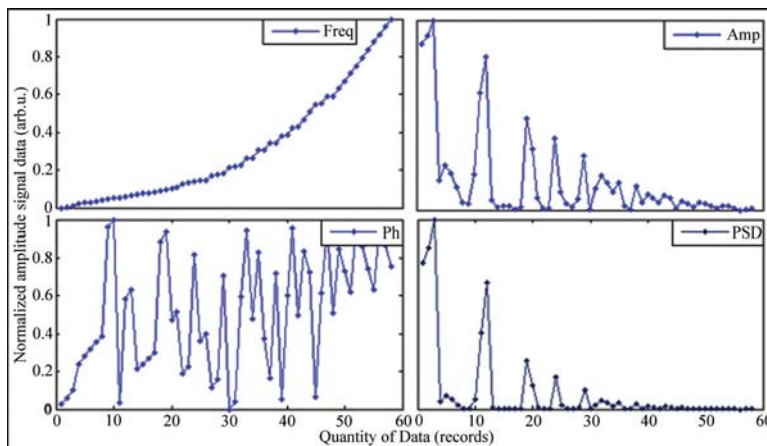
2. การเตรียมข้อมูล

การเตรียมข้อมูลสัญญาณ เป็นขั้นตอนกระบวนการเตรียมข้อมูลสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการเรียนรู้หรือฝึกหัดและทดสอบของตัวแบบที่นำเสนอ มีขั้นตอนดังนี้

2.1 ชุดข้อมูลสำหรับการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว เป็นข้อมูลสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องออสซิลโลสโคปของชิ้นงาน แล้วนำข้อมูลสัญญาณในแต่ละสัญญาณที่ได้มาทำการแปลงข้อมูลสัญญาณด้วยฟังก์ชัน FFT ค่าที่ได้จะเป็นเลขเชิงซ้อน จากนั้นทำการหาค่าแอมพลิจูดและเลือกช่วงของแอมพลิจูดที่เหมาะสมกับการทดลอง ซึ่งช่วงที่ได้จะอยู่ระหว่างค่า 100 - 2,000 ทำให้ได้ตัวแปรแอมพลิจูด (Amplitude: Amp) ที่มีจำนวนข้อมูล 58 เรคคอร์ดต่อหนึ่งสัญญาณ จากนั้นใช้ชุดข้อมูลเดียวกันกับที่ใช้หาค่าในตัวแปรแอมพลิจูดมาทำการหาค่าเฟสและค่าสเปกตรัมกำลัง ทำให้ได้ตัวแปรเฟส (Phase: Ph) และตัวแปรสเปกตรัมกำลัง (PSD) ที่มีจำนวนข้อมูลสัญญาณละ 58 เรคคอร์ด ส่วนชุดข้อมูลในตัวแปรความถี่ (Frequency: Freq) ได้จากการนำค่าความถี่ที่ตรงกับตำแหน่งในแต่ละค่าของตัวแปรแอมพลิจูด ซึ่งตัวแปรทุกตัวที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นชุดข้อมูลสำหรับทดลองกับวิธีที่นำเสนอ ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5



รูปที่ 4 ค่าแอมพลิจูดของข้อมูลใน 1 สัญญาณ



รูปที่ 5 ชุดข้อมูลสัญญาณสำหรับทดลองใน 1 สัญญาณ

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

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

$$\text{Amp} = \text{abs}(Y); \quad (4)$$

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

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

เมื่อ

data คือ ข้อมูลสัญญาณ
 n คือ จำนวนข้อมูลของ data
 Y คือ ข้อมูลที่ได้จากการแปลงด้วย FFT

f_s คือ ช่วงค่าความถี่ของ $data$
 $Freq$ คือ ค่าความถี่ในแต่ละเรคคอร์ด
 Amp คือ ค่าแอมพลิจูดของ Y
 PSD คือ ค่าสเปกตรัมกำลังของ Y
 Ph คือ ค่าเฟสของ Y

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*

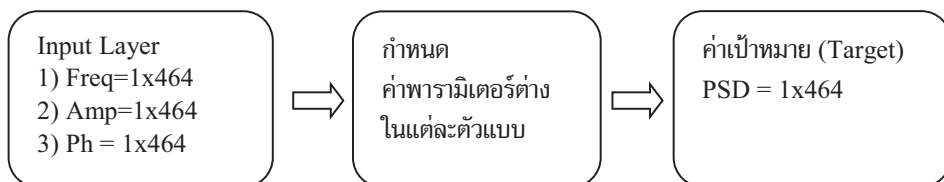
 Training Set = 464 records (Input = Freq, Amp, Ph, Target = PSD)
 Testing Set = 58 records , * = 1 Signal , 7* = Signal Bad 7 signals

รูปที่ 6 ชุดข้อมูลสัญญาณสำหรับฝึกหัดและทดสอบ

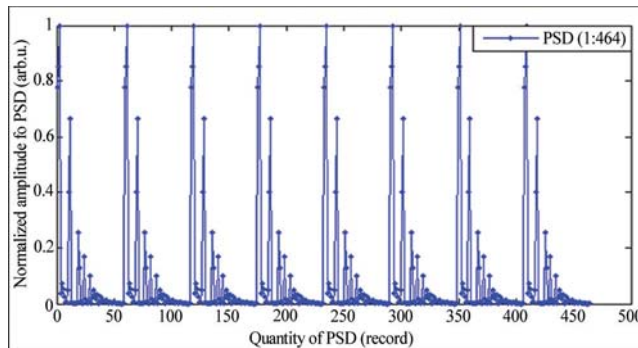
จากรูปที่ 6 แสดงการแบ่งชุดข้อมูลสัญญาณสำหรับฝึกหัดและทดสอบ โดยชุดข้อมูลสำหรับฝึกหัดทั้งหมดเท่ากับ 464 เรคคอร์ด คือ ใช้ชุดข้อมูลสัญญาณตั้งแต่ G1 ถึง G8 และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ ซึ่งจะทดสอบทุกข้อมูลสัญญาณ ๗ ละ 58 เรคคอร์ด คือ ข้อมูลสัญญาณตั้งแต่ G1 ถึง G14 และ B1 ถึง B7 (G1 หมายถึง ข้อมูลสัญญาณคิสัญญาณที่ 1, B1 หมายถึง ข้อมูลสัญญาณที่มีปัญหาหรือเสียสัญญาณที่ 1)

2.2 ชุดข้อมูลสำหรับฝึกหัดและชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ ประกอบด้วย

1) ชุดข้อมูลสำหรับฝึกหัด (Training Set) คือ ชุดข้อมูลนำเข้า (Input Set) ประกอบด้วยจำนวน 3 ตัวแปร คือ Freq, Amp, Ph ซึ่งในแต่ละตัวแปรจะเลือกใช้ข้อมูลสัญญาณคิทั้งหมด 8 สัญญาณรวมกัน จะได้เท่ากับ 464 เรคคอร์ด และชุดข้อมูลค่าเป้าหมาย (Target Set) มีจำนวน 1 ตัวแปร คือ PSD โดยเลือกใช้ชุดข้อมูลของสัญญาณคิ 1 สัญญาณ แล้วทำข้อมูลค่าเป้าหมายที่มีจำนวนเรคคอร์ดเท่ากับชุดข้อมูลนำเข้า ด้วยวิธีนำมาต่อเรียงกัน 8 ครั้ง เป็นดังรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 ลักษณะโครงสร้างที่ใช้สำหรับฝึกหัด



รูปที่ 8 ชุดข้อมูลค่าเป้าหมายของ PSD สำหรับฝึกหัด

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

2.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

เนื่องจากข้อมูลนำเข้าต้องมีความสัมพันธ์กับข้อมูลผลลัพธ์ซึ่งเป็นสเปกตรัมกำลังของข้อมูลสัญญาณ 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)

เป็นขั้นตอนการปรับขอบเขตของข้อมูลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับฟังก์ชันที่เลือกใช้เพื่อนำไปใช้งานในการฝึกหัดให้เกิดกระบวนการเรียนรู้ โดยแปลงค่าข้อมูลสัญญาณด้วยวิธีการนอร์มัลไลซ์ (Normalization) และการแปลงค่าข้อมูลในลักษณะเชิงเส้น (Min-Max Normalization) โดยงานวิจัยนี้

จะแปลงข้อมูลให้อยู่ระหว่างค่า 0 - 1 ก่อนนำชุดข้อมูลไปใช้สำหรับฝึกหัดและทดสอบ ดังรูปที่ 5 และ ดังสมการที่ (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 ในตัวแบบที่น่าเสนอ เพื่อหาตัวแบบที่ดีที่สุดในแต่ละวิธี และนำตัวแบบที่ได้ไปทดสอบกับข้อมูลสำหรับทดสอบ มีขั้นตอนดังนี้

3.1 ตัวแบบที่ได้จากการฝึกหัดโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้น (ANN) โดยใช้ระบบการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่สามารถเรียนรู้ได้โดยการปรับค่าน้ำหนัก เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าข้อมูลผลลัพธ์กับค่าเป้าหมาย [5], [13] และประกอบด้วย จำนวนโหนดในชั้นข้อมูลนำเข้ามีจำนวน 3 โหนด จำนวนโหนดในชั้นซ่อนได้จากการทดลองโดยเลือกจำนวนโหนดที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดมาเป็นตัวแบบ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้คือ 40 โหนด จำนวนโหนดในชั้นผลลัพธ์มีจำนวน 1 โหนด โดยตัวแบบที่ได้กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ 1) เลือกใช้ฟังก์ชันการฝึกหัดแบบ TrainLM เนื่องจากสามารถประมวลผลได้ค่อนข้างเร็วและมีประสิทธิภาพ [5], [13] 2) เลือกใช้ฟังก์ชันการเรียนรู้แบบ LearnGDM 3) กำหนดให้ชั้นซ่อน 1 ชั้น 4) เลือกใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Binary Sigmoid (logsig) ในชั้นซ่อน และแบบ Linear (purelin) ในชั้นผลลัพธ์ เนื่องจากข้อมูลที่ใช้กำหนดค่าให้อยู่ในช่วง 0 - 1 และ 5) เลือกใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นคำนวณในรูปของค่า MSE, MAE, MAPE และค่าประสิทธิภาพของตัวแบบคำนวณในรูปของค่า 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

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

3.2 ตัวแบบที่ได้จากการฝึกหัดโดยใช้เทคนิคนิวโรฟซีแบบปรับตัวได้ (ANFIS) จากการทดลองจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต 8 ชนิดคือ ฟังก์ชัน trimf, trapmf, gbellmf, gaussmf, gauss2mf, pimgf, dsimgf และ psimgf โดยพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของการเรียนรู้ที่มีค่าต่ำสุด ซึ่งจากการทดลองทำให้ได้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตชนิด gbellmf สำหรับสร้างเป็นตัวแบบครั้งนี้ โครงสร้างของตัวแบบ ANFIS ประกอบด้วย จำนวนโหนดในชั้นอินพุตมีจำนวน 3 โหนด จำนวนโหนดในชั้นที่ 1 ที่ได้จากการทดลองคือ (7 7 7) และจำนวนโหนดในชั้นผลลัพธ์มีจำนวน 1 โหนด โดยตัวแบบที่ได้กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ 1) เลือกใช้การเรียนรู้ในรูปแบบของอัลกอริทึมแบบไฮบริดจ์ (Hybrid) 2) การจัดกลุ่มข้อมูลใช้แบ่งแบบตาราง (Grid Partition) 3) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านอินพุตใช้ฟังก์ชัน gbellmf ซึ่งได้จากการทดลอง 4) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านเอาต์พุตใช้ฟังก์ชันเชิงเส้น 5) จำนวนรอบสำหรับฝึกหัดตัวแบบ 100 รอบ กับชุดข้อมูลฝึกหัดของทุกฟังก์ชัน กระทั่งมีค่าความคลาดเคลื่อนคงที่ และ 6) เลือกใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นคำนวณในรูปของค่า MSE และวัดค่าประสิทธิภาพของตัวแบบคำนวณในรูปของค่า EI

3.3 ตัวแบบที่ได้จากการฝึกหัดโดยใช้เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการถดถอย (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 และนำชุดข้อมูลสำหรับทดสอบเข้าสู่กระบวนการทดสอบด้วยตัวแบบที่ได้นำเสนอ โดยทำการทดสอบในแต่ละชุดข้อมูลสัญญาณแล้วทำการบันทึกผลลัพธ์ที่ได้เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์อีกที

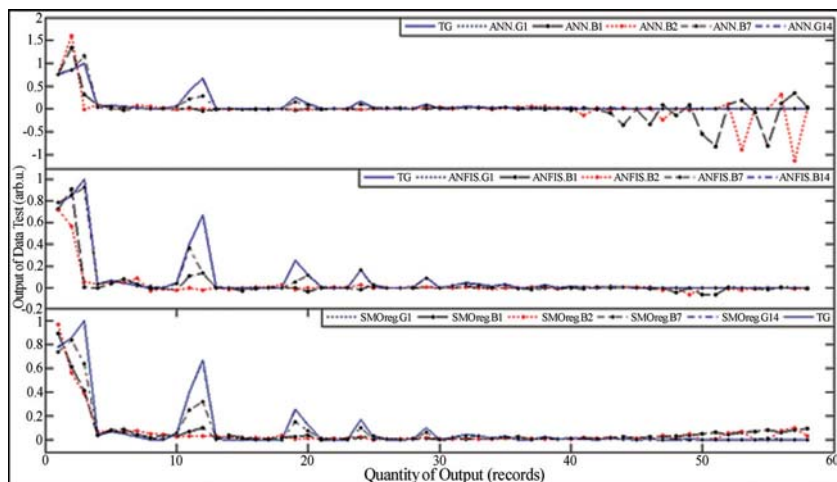
จากแนวคิดด้วยวิธีการเรียนรู้ในรูปแบบนี้ ทำให้ตัวแบบที่นำเสนอทั้งสามเทคนิคจากการเรียนรู้ และจัดจำรูปแบบของข้อมูลสัญญาณในหลายลักษณะข้อมูลสัญญาณ และในกระบวนการทดสอบจะทำให้ ตัวแบบสามารถแยกแยะได้ระหว่างข้อมูลสัญญาณดีกับข้อมูลสัญญาณเสีย โดยวัดจากค่าความคลาดเคลื่อน ที่ได้จากผลลัพธ์เปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย ซึ่งในการทดสอบจะทดสอบทีละ 1 ข้อมูลสัญญาณ ๑ ละ 58 เรคคอร์ด ในแต่ละตัวแบบที่ใช้สำหรับทดสอบ

ผลการวิจัย

จากผลการทดลองดังตารางที่ 2 เป็นตัวแบบที่ดีที่สุดในแต่ละวิธีในการทดลองครั้งนี้ เมื่อนำทั้งสามตัวแบบ มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นคำนวณในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งสามตัวแบบมี ANN, SMOreg และ ANFIS โดยผลลัพธ์จากการฝึกหัดค่า MSE คือ 1.45E-08, 5.60E-08, 3.32E-09 ตามลำดับ และผลลัพธ์จากการทดสอบค่า MSE คือ 8.30E-09, 2.66E-07, 3.21E-09 และค่าร้อยละที่ได้จากค่าของ MAPE คือ 2.5807, 10.9384, 0.8061 ตามลำดับ เมื่อนำ ตัวแบบทั้งสามวิธีมาเปรียบเทียบผลลัพธ์ พบว่าตัวแบบ ANFIS มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีค่า ความผิดพลาดโดยรวมที่น้อยที่สุดกว่าตัวแบบอื่น ๆ และค่าร้อยละของ EI สูงที่สุด

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

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 ของข้อมูลสัญญาณดีที่ 14) จากทั้งสามตัวแบบจุดเส้นกราฟที่ได้จะทับกับเส้นกราฟค่าเป้าหมายไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนเส้นกราฟสัญญาณที่มีปัญหาหรือเสีย เช่น ANN.B1 (คือตัวแบบ ANN ของข้อมูลสัญญาณเสียที่ 1) จากทั้งสามตัวแบบจุดเส้นกราฟที่ได้จะแตกต่างจากค่าเป้าหมายจริงมาก และผลจากการทดสอบดังตารางที่ 3 แสดงผลลัพธ์ที่ได้โดยวัดจากค่าความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ซึ่งจากการพิจารณาเปรียบเทียบตัวแบบทั้งสามวิธี โดยตัวแบบ ANFIS จะมีค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมน้อยที่สุด และค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) ของตัวแบบ ANFIS เมื่อพิจารณาจากชุดข้อมูลสัญญาณเสียสัญญาณที่ B5 กับ B7 เมื่อเทียบกับค่าของชุดสัญญาณดี (Gx) เป็นจำนวนเท่า ตัวแบบของ ANFIS ให้ค่าจำนวนเท่าต่างกันระหว่างข้อมูลสัญญาณเสียกับสัญญาณดีมากว่าตัวแบบอื่น

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 ตัวแบบนิวโรฟัซซีโดยใช้เทคนิคแบบ ANFIS และตัวแบบซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีนสำหรับการถดถอย ในรูปแบบการจดจำที่ใช้สำหรับในการวิเคราะห์และแยกแยะระหว่างข้อมูลสัญญาณรูปคลื่นไฟฟ้า สัญญาณดีกับสัญญาณเสีย โดยหลักการในการสร้างตัวแบบที่นำเสนอแต่ละตัวในครั้งนี้ จะใช้ข้อมูลที่ผ่านมาผ่านกระบวนการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการกระบวนการฝึกหัดและทดสอบของตัวแบบทั้งสามวิธี เพื่อการหาตัวแบบที่ดีที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ถึงแม้ว่าทั้งสามตัวแบบจะสามารถวิเคราะห์และแยกแยะระหว่างข้อมูลสัญญาณดีกับข้อมูลสัญญาณเสียได้ ทุกตัวอย่างถูกต้อง แต่เมื่อนำทั้งสามตัวแบบมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ พบว่าตัวแบบที่ใช้เทคนิค ANFIS ให้ประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุด และแสดงถึงความสามารถในการเรียนรู้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้ากับผลลัพธ์ได้เป็นอย่างดี และผลการทดสอบสามารถแยกแยะระหว่างสัญญาณดีกับเสียได้ถูกต้อง ทุกข้อมูลสัญญาณ

อย่างไรก็ตามกรณีที่น่าสนใจตอนวิธีที่นำเสนอไปวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ อาจจะต้องกำหนดค่า หรือปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของข้อมูลสัญญาณที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ในแต่ละงาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในงานวิจัย

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 Somchat, 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

วรรณวรงค์ รัตนานิคม¹ และสยาม ยิ้มศิริ^{*}

Received: September, 2017; Accepted: January, 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกจากท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง อำเภอกะปง จังหวัดชลบุรี เป็นวัสดุทดแทนเพื่อผสมกับทรายในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นวัสดุในงานทาง โดยทรายจะถูกแทนที่ด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วน ทราย:ดินตะกอนทะเล โดยน้ำหนักแห้งต่าง ๆ ได้แก่ 100:0 95:5 90:10 85:15 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 และ 0:100 จากนั้นส่วนผสมจะถูกทดสอบหาคุณสมบัติทางคาน้ำได้แก่ ขนาดคละ พิกัดอัตราเบียร์ก และความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติทางวิศวกรรม คือ การบดอัด และ ซี บี อาร์ และเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับมาตรฐานโครงสร้างชั้นทางของกรมทางหลวง โดยผลการศึกษาพบว่าสามารถแทนที่ทรายด้วยดินตะกอนทะเลได้ถึงร้อยละ 5 ของน้ำหนักแห้งรวม โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติใด ๆ ของทราย นอกจากนี้ยังสามารถแทนที่ทรายด้วยดินตะกอนทะเลได้ถึงร้อยละ 15 ของน้ำหนักแห้งรวม เพื่อใช้เป็นชั้นรองพื้นทาง ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งรวมเพื่อใช้เป็นชั้นวัสดุคั่นเลือก ก และ ข ชั้นทรายถมคันทาง และชั้นดินถมคันทาง และร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งรวมเพื่อใช้เป็นชั้นวัสดุคั่นเลือก ข และชั้นดินถมคันทางได้

คำสำคัญ : ดินตะกอนทะเล; ทราย; วัสดุงานทาง; ชั้นทาง; คุณสมบัติทางวิศวกรรม

¹ Faculty of Engineering, Burapa 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

การขนส่งสินค้าทางน้ำเป็นการขนส่งที่ประหยัดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยมีท่าเรือเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญ ท่าเรือต้องมีการขุดลอกอย่างสม่ำเสมอ (Maintenance Dredging) เพื่อรักษาระดับความลึกของท่าเทียบและร่องน้ำให้เรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่สามารถเข้าจอดเทียบท่าได้ โดยวัสดุที่ถูกขุดลอก (Dredged Material) เกิดจากการสะสมของวัตถุต้นกำเนิด (การสลายตัวของหินและแร่ธาตุ) บริเวณชายฝั่งที่ทับถมกันเนื่องจากอิทธิพลของกระแสน้ำและระดับน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง วัสดุนี้มีปริมาณความชื้นสูง มีคุณสมบัติด้านกำลังต่ำ และอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก จึงอาจเรียกได้ว่าเป็น “ขยะทางสิ่งแวดล้อม” เนื่องจากปริมาณวัสดุที่ถูกขุดลอกมีจำนวนมากจึงก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมตามมาเนื่องจากต้องกำจัดอย่างเหมาะสม ปัจจุบันวิธีการกำจัดขยะดังกล่าวแบบดั้งเดิม เช่น การทิ้งในทะเลลึก มีข้อจำกัดทางกฎหมายทั้งในและระหว่างประเทศ นอกจากนี้วิธีการกำจัดแบบอื่น เช่น การทิ้งบนบกก็มีข้อจำกัดด้านค่าดำเนินการตลอดจนปัญหาการขาดแคลนพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อรองรับปริมาณขยะจำนวนมาก [1] เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุที่ถูกขุดลอกเพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานทาง โดยนำวัสดุที่ได้จากการขุดลอกจากท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง อำเภอกะปี่ราย จังหวัดชลบุรี แทนที่ทรายในสัดส่วนต่าง ๆ และทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมที่ได้ คือ 1) คุณสมบัติทางดัชนี คือ ขนาดผลพิภคอัตราบีบอัด และความถ่วงจำเพาะ และ 2) คุณสมบัติทางวิศวกรรม คือ การบดอัด และ ซี บี อาร์ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถช่วยในการออกแบบชั้นโครงสร้างทางที่ใช้วัสดุที่ถูกขุดลอกเป็นวัสดุทดแทนในการก่อสร้างได้

การใช้ประโยชน์จากวัสดุที่ถูกขุดลอก

วัสดุที่ถูกขุดลอก คือ ดินตะกอนเนื้อละเอียด (อาจเป็นทรายถึงทรายปนซิลต์ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ทำการขุดลอก) ที่เกิดจากการสะสมบริเวณชายฝั่งของวัตถุต้นกำเนิดจากอิทธิพลของกระแสน้ำและระดับน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องเป็นสาเหตุให้ชายฝั่งดินชั้นล่างผลกระทบต่อการเข้าเทียบท่าของเรือบรรทุกสินค้าและมีความจำเป็นต้องขุดลอกออกเป็นระยะ ๆ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว มีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ศึกษาการนำวัสดุที่ถูกขุดลอกจากชายฝั่งทะเลมาใช้ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมโยธา เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม เพื่อลดปัญหาการกำจัดทิ้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าขยะทางสิ่งแวดล้อมและประหยัดแหล่งทรัพยากรธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมด้วย หากพิจารณาการใช้ประโยชน์จากวัสดุที่ถูกขุดลอกจากชายฝั่งในงานทางวิศวกรรมโยธาพบว่าประเทศญี่ปุ่นมีการใช้สูงสุดเป็นอันดับ 1 โดยปริมาณดินที่ถูกขุดลอกมากถึงร้อยละ 90 จะถูกปรับปรุงคุณภาพโดยซีเมนต์และนำมาใช้ในการก่อสร้างสนามบินและงานป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งอันดับสองคือ ประเทศสเปน โดยร้อยละ 76 ของดินที่ถูกขุดลอกถูกนำมาใช้ในงานป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งและงานถม อันดับสาม สหราชอาณาจักร คือ ประเทศสหรัฐอเมริกา (ร้อยละ 20 - 30) ประเทศเนเธอร์แลนด์ (ร้อยละ 23) และประเทศไอร์แลนด์ (ร้อยละ 20) ตามลำดับ [2]

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับแนวทางการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากดินที่ถูกขุดลอกจากชายฝั่งพบว่าสามารถจำแนกตามประเภทของงานได้ 4 ประเภทดังนี้

1. การใช้งานทางวิศวกรรม (Engineering Uses) คือการใช้เป็นวัสดุถมเพื่อการก่อสร้างทางวิศวกรรมโยธา (Land Reclamation) เช่น โครงการ Changi East Reclamation Project ในประเทศสิงคโปร์ ใช้ดินตะกอนทรายที่ถูกขุดลอกประมาณ 200 ล้านลูกบาศก์เมตร เพื่อถมทะเลพื้นที่ 30 ตารางกิโลเมตร [3] เป็นต้น

2. การใช้งานด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Enhancement) ได้แก่ (ก) การสร้างหาดทรายเพื่อป้องกันการกัดเซาะของชายฝั่งทะเลและลดพลังงานของคลื่นที่มากกระทบ (Coastal Protection) [4] Van der Wal, D., et al. [5] พบว่าการนำดินที่ถูกขุดลอกมาถมบริเวณปากน้ำขึ้น - น้ำลง ส่งผลคืออย่างมากต่อการลดการกัดเซาะของหาดโคลน (Mudflats) และ (ข) การใช้เป็นวัสดุเพื่อบรรจุใน Geotube เพื่อการป้องกันการกัดเซาะของชายฝั่งทะเล [6]

3. การใช้งานด้านเกษตรกรรม (Agricultural Uses) ดินที่ถูกขุดลอกสามารถนำมาใช้เป็นดินชั้นบนเพื่อการปลูกพืชโดยการผสมกับขยะอินทรีย์ในสัดส่วนที่เหมาะสม Sheehan, C., et al. [7] ได้นำดินตะกอนที่ถูกขุดลอกจาก Port of Waterford ผสมกับขยะอินทรีย์และพบว่าดินที่ได้มีคุณสมบัติที่ดี คือ ระบายน้ำได้ดี มีความสามารถในการเก็บกักสารอาหารและน้ำที่เพียงพอ และมีปริมาณสารอาหารที่สูงกว่ามาตรฐานดินชั้นบน

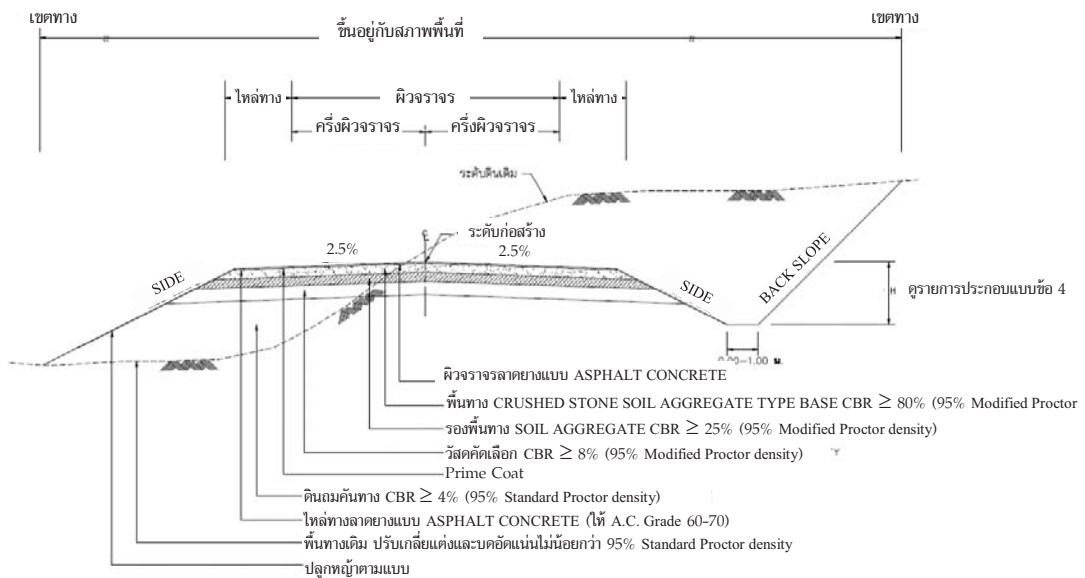
4. การใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานก่อสร้าง (Substituted Product Uses) ได้แก่ (ก) การใช้เพื่อเป็นวัสดุทดแทนในงานทาง เช่น การปรับปรุงดินที่ถูกขุดลอกจากท่าเรือ Dunkirk ประเทศฝรั่งเศส โดยวิธีต่าง ๆ คือ การผสมทรายเพื่อเพิ่มคุณสมบัติขนาดผลและความแข็งแรง และการปรับปรุงคุณสมบัติด้านกำลังโดยการผสมซีเมนต์ ปูนขาว และวัสดุปอชโซลาน เพื่อใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทาง [1], [8] - [10] (ข) การใช้เป็นวัตถุดิบในงานอุตสาหกรรมการผลิตอิฐและเซรามิก Hamer, K. and Karius, V. [11] พบว่าโลหะหนักและสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในดินที่ถูกขุดลอกจะถูกทำลายด้วยความร้อนสูงในกระบวนการผลิตอิฐและเซรามิก ซึ่งเป็นข้อดีอย่างยิ่งสำหรับการใช้ประโยชน์จากดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก (ค) การใช้เป็นวัสดุในงานคอนกรีต Limeira, J., et al. [12] และ Wang, H. Y. [13] พบว่าดินเนื้อละเอียดที่ได้จากการ

ชุดลอกมีศักยภาพเป็นวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตทั่วไป คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตสมรรถนะสูง และยังพบว่าคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่ทรายหินปูนบด (Crushed Limestone Raw Sand) ด้วยดินเนื้อละเอียดที่ถูกชุดลอกจาก Port of Barcelona มีลักษณะเช่นเดียวกับ คอนกรีตมาตรฐาน และ (ง) การใช้เป็นวัสดุกันซึมในบ่อฝังกลบขยะ ดินเนื้อละเอียดที่ถูกชุดลอกสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุกันซึมในบ่อฝังกลบขยะ (Landfill Liner) [14] - [17] นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นวัสดุปิดทับหน้าขยะมูลฝอยในแต่ละวัน (Daily Capping Layer) หรือวัสดุชั้นปิดทับหน้าชั้นสุดท้ายในบ่อฝังกลบขยะ (Landfill Final Cover) [18]

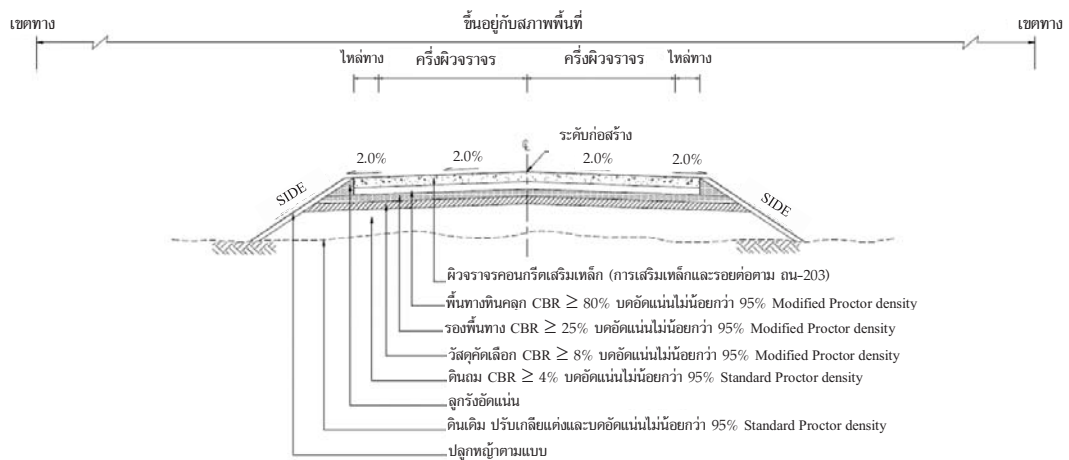
แม้ในต่างประเทศจะมีการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากดินตะกอนที่ถูกชุดลอกจากชายฝั่งทะเลมาเป็นวัสดุทางเลือกในงานต่าง ๆ อย่างกว้างขวางแต่กลับยังไม่มีการศึกษาเรื่องดังกล่าวในประเทศไทย จากข้อจำกัดของลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันรวมทั้งข้อกำหนดและมาตรฐานในการก่อสร้างต่าง ๆ ที่ไม่เหมือนกัน เช่น โครงสร้างชั้นทาง งานดินถม และงานคอนกรีต ทำให้ไม่สามารถคาดเดาผลหรือความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากดินที่ถูกชุดลอกจากชายฝั่งทะเลของไทย ในงานประเภทต่าง ๆ ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ดินตะกอนทะเลที่ถูกชุดลอกจากท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานทาง โดยพิจารณาคุณสมบัติตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

โครงสร้างชั้นทาง

การออกแบบชนิดของถนนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ลักษณะการใช้งาน ปริมาณการจราจร น้ำหนักบรรทุก อายุการใช้งาน และกำลังแบกทานของดินคันทาง โดยนิยมออกแบบผิวจราจร 2 ประเภท คือ ผิวทางจราจรแบบหยุ่นตัว (Flexible Pavement) หรือที่เรียกกันว่า ถนนแอสฟัลติกคอนกรีต (Asphalt Concrete) (รูปที่ 1) และผิวทางจราจรแบบแข็ง (Rigid Pavement) หรือที่เรียกกันว่า ถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก (รูปที่ 2) โครงสร้างถนนทั้งสองประเภทมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ชั้นพื้นทาง (Base Course) ชั้นรองพื้นทาง (Subbase Course) ชั้นวัสดุคัดเลือก (Selected Material) และชั้นดินถม (Subgrade) วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมตามความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของแต่ละชั้นดังแสดงในตารางที่ 1 โดยในการก่อสร้างถนนต้องมีการคัดเลือกวัสดุที่มีค่าซี บี อาร์ (CBR) และดำเนินการบดอัดให้มีค่าร้อยละการบดอัด (Percent Compaction) หรือความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density) เป็นไปตามข้อกำหนดในแบบรูปและรายการ นอกจากนี้ต้องพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพและดัชนีอื่น ๆ เพิ่มเติม ได้แก่ ขนาดคละ (ตารางที่ 2) ค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate (LAA) ค่าความคงทน (Soundness) ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit, LL) และดัชนีพลาสติก (Plasticity Index, PI)



รูปที่ 1 โครงสร้างถนนผิวจราจร Asphalt Concrete [19]



รูปที่ 2 โครงสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก (ชั้นพื้นทางหินคลุก) [19]

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดของคุณสมบัติของวัสดุสำหรับโครงสร้างทางตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

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

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดของขนาดกะของชั้นพื้นทางหินคลุกและชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

ขนาดตะแกรง (มม.)	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก						
	ชั้นพื้นทางหินคลุก [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 ของดินตะกอนทะเล

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

วัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุที่ถูกขุดลอกที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง บริเวณเฟส 3 ดังรูปที่ 3 โดยท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบังเป็นท่าเรือหลักของประเทศไทยในการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ตั้งอยู่ชายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยที่ ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอสัตหีบ และอำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ประมาณ 120 กิโลเมตร ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของกรุงเทพฯ ท่าเรือมีพื้นที่ประมาณ 6,340 ไร่ และมีความลึกของพื้นน้ำ 18 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง เริ่มเปิดใช้เมื่อ พ.ศ. 2534 ปัจจุบันได้พัฒนาไป 2 เฟส และสามารถรองรับปริมาณตู้สินค้าได้ 10 - 11 ล้าน TEU/ปี (54 % ของการส่งออกและนำเข้าของประเทศไทย) ซึ่งถือเป็นอันดับที่ 23 ของโลก และมีแผนการก่อสร้างเฟส 3 โดยตั้งเป้าหมายให้ท่าเรือแหลมฉบังติดอันดับท่าเรือที่ทันสมัย 1 ใน 10 ของโลก

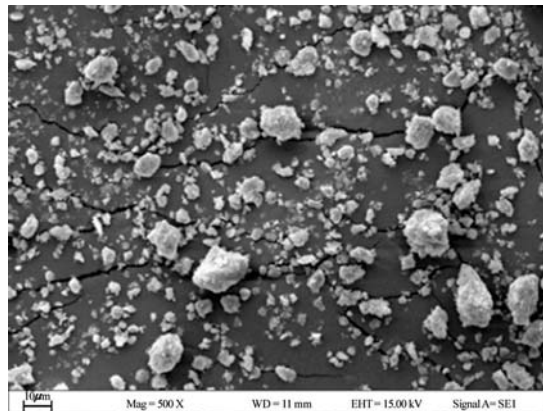
วัสดุที่ถูกขุดลอกมีเนื้อละเอียด จากการทดสอบตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท. 102/2515 [26] และ ทล.-ท. 103/2515 [27] พบว่าค่าพิกต์เหลว ค่าพิกต์พลาสติก และค่าดัชนีพลาสติกมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 53 ร้อยละ 32 และร้อยละ 21 ตามลำดับ โดยการจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification System (USCS) ได้เป็นดินตะกอนที่มีสภาพความเป็นพลาสติกสูง (High Plasticity Silt, MH) [28] วัสดุที่ถูกขุดลอกมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.69 [29] และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 5.0 (เผาที่อุณหภูมิ 440°C [30]) มีส่วนประกอบทางเคมีจากการทดสอบ X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) ตามตารางที่ 3 รูปตัวอย่างวัสดุที่ถูกขุดลอกแสดงในรูปที่ 4 และลักษณะโครงสร้างจุลภาคจากผลการทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM) แสดงในรูปที่ 5 ดังนั้นจะเรียกวัสดุที่ถูกขุดลอกที่ใช้ในการศึกษานี้ว่าดินตะกอนทะเล



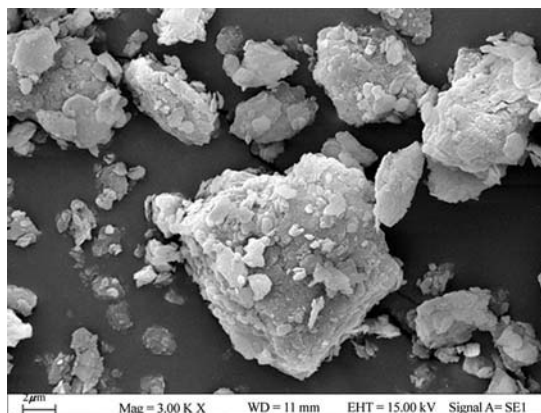
รูปที่ 3 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างดินตะกอนทะเล



รูปที่ 4 ตัวอย่างดินตะกอนทะเล



(ก) ขยาย 500 เท่า



(ข) ขยาย 3,000 เท่า

รูปที่ 5 ผลการทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM) ของดินตะกอนทะเล

ดินตะกอนทะเลมีความเป็นพลาสติกสูงจึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุงานทางโดยตรง งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ดินตะกอนทะเลเป็นวัสดุทดแทนเพื่อผสมกับทราย ในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุในงานทาง โดยทรายจะถูกแทนที่ด้วยดินตะกอนทะเล ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักแห้งต่าง 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) โดยทรายที่ใช้ในการทดสอบนี้มีการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน ดังรูปที่ 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] ส่วนผสมของทรายและดินตะกอนทะเลจะถูกทดสอบหาคุณสมบัติทางดัชนี คือ ขนาดคละ พิกัดอัตราเบอร์ก และความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติทางวิศวกรรม คือ การบดอัด และ ซี บี อาร์ และเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับมาตรฐานโครงสร้างชั้นทางของกรมทางหลวง ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ สามารถช่วยในการออกแบบชั้นโครงสร้างทางที่ประยุกต์ใช้ดินตะกอนทะเลเป็นวัสดุทดแทนในการก่อสร้างได้

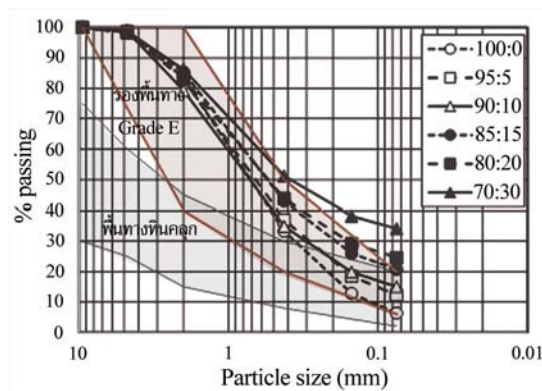
ตารางที่ 4 ขนาดคละของตัวอย่างทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

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 ผลการทดสอบหาขนาดคละของตัวอย่างทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยผ่านตะแกรงแบบล้างแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 6 โดยพบว่าตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างทรายและดินตะกอนทะเลเท่ากับ 100:0 95:5 90:10 และ 85:15 จัดอยู่ในมาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุผสมรวม เกรด E คือมีขนาดคละที่ดีและมีร้อยละที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยน้ำหนักร้อยละ 6 - 20 แต่ไม่มีอัตราส่วนผสมใดอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดของมาตรฐานชั้นพื้นทางหินคลุก



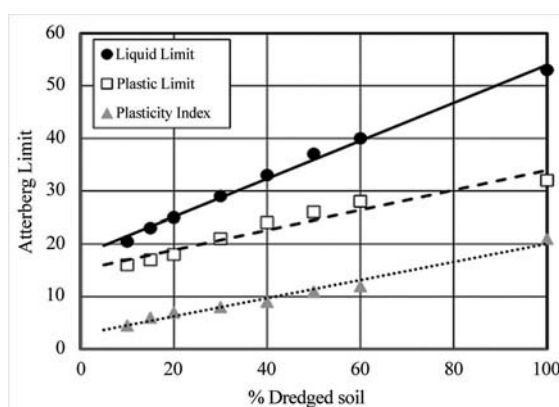
รูปที่ 6 กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน

1.2 ค่าพิกัดอัตราเบอร์ก (Atterberg Limit) ผลการทดสอบค่าพิกัดอัตราเบอร์กของตัวอย่างทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 7 โดยพบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมของดินตะกอนทะเลเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพิกัดเหลว ค่าพิกัดพลาสติก และค่าดัชนีพลาสติกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะค่าพิกัดอัตราเบอร์กเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของดินเม็ดละเอียด (Fine-Grained Soil) เมื่อเพิ่มปริมาณดินตะกอนทะเลซึ่งเป็นดินเม็ดละเอียดย่อมส่งผลให้ค่าพิกัดเหลว ค่าพิกัดพลาสติก และค่าดัชนีพลาสติกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 5 ค่าพิคคัตเตอร์เบอร์กของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง 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

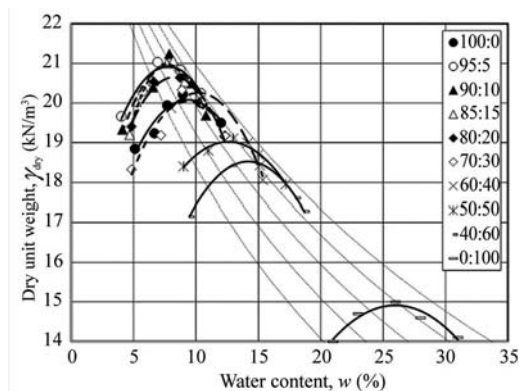
NP = non-plastic



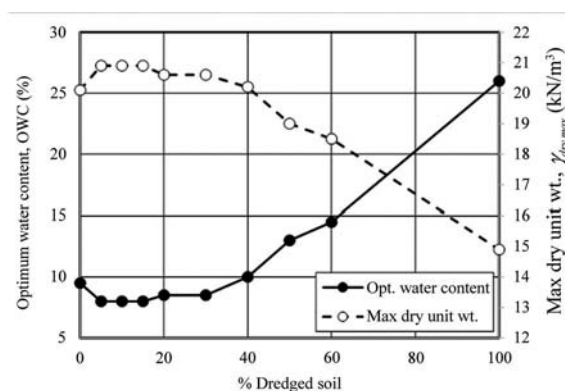
รูปที่ 7 ค่าพิคคัตเตอร์เบอร์กของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

2. คุณสมบัติทางวิศวกรรม

2.1 การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Compaction Test) ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานของทรายผสมดินตะกอนทะเลในสัดส่วนต่าง ๆ ได้แสดงในรูปที่ 8 ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัด (OWC) และค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดได้สรุปในตารางที่ 6 และรูปที่ 9 โดยพบว่าเมื่อผสมดินตะกอนทะเลในปริมาณไม่เกินร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้งรวมจะไม่ทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของส่วนผสมเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อมีปริมาณดินตะกอนทะเลในตัวอย่างมากกว่าร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้งรวมจะทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเพิ่มขึ้น และค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของส่วนผสมลดลง ทั้งนี้เพราะเมื่อปริมาณดินตะกอนทะเลมีจำนวนน้อยจะไม่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมของมวลดินรวม ซึ่งถูกควบคุมด้วยมวลดินส่วนใหญ่คือ ดินทราย (ดินมวลหยาบ) ค่าร้อยละ 40 นี้สอดคล้องกับมาตรฐาน AASHTO ที่แบ่งสัดส่วนของดินมวลหยาบและมวลละเอียดออกจากกันที่ร้อยละ 35



รูปที่ 8 ผลการทดสอบการบดอัดทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ



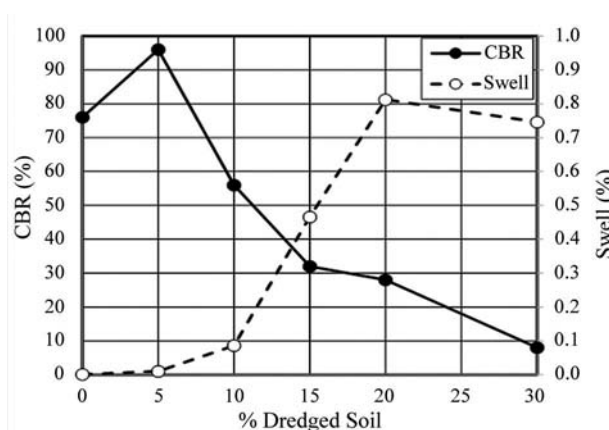
รูปที่ 9 ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 6 ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล	Optimum water content (%)	Max dry unit weight (kN/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 ค่า ซี บี อาร์ ผลการทดสอบหาค่าซี บี อาร์ แบบแช่น้ำและการบวมตัวของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 7 และรูปที่ 10 โดยพบว่าเมื่อผสมดินตะกอนทะเลในปริมาณไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนักแห้งรวมจะไม่ทำให้ค่าซี บี อาร์ และการบวมตัวเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อปริมาณดินตะกอนทะเลมากขึ้น คุณสมบัติบวมตัวของดินตะกอนทะเลซึ่งเป็นดินมวลละเอียดที่แทนที่ทรายนี้จะทำให้ตัวอย่างดินมีการบวมตัวสูงขึ้น และส่งผลทำให้ค่าซี บี อาร์ ลดลง อย่างไรก็ตามทุกอัตราส่วนของทรายผสมดินตะกอนมีค่าการบวมตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 0 - 0.81 ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด

ค่าคุณสมบัติทางดัชนีและคุณสมบัติทางคานวิศวกรรมต่าง ๆ ของทรายผสมดินตะกอนทะเลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบข้างต้น จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานโครงสร้างชั้นทางต่าง ๆ ของกรมทางหลวงดังสรุปไว้ในตารางที่ 8 (ชั้นรองพื้น) ตารางที่ 9 (ชั้นวัสดุคัดเลือก ก และ ข) ตารางที่ 10 (ชั้นทรายถมคันทาง) และตารางที่ 11 (ชั้นดินถมคันทาง) จากผลการทดสอบที่กล่าวมาแล้วและผลการเปรียบเทียบพบว่า

- ทรายผสมดินตะกอนทะเลในทุก ๆ อัตราส่วนผสมไม่สามารถใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางหินคลุกได้เพราะมีการกระจายของขนาดผลไม่เป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนด

- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้งรวมจะไม่ทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของส่วนผสมเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อมีปริมาณดินตะกอนมากขึ้นจะทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นและค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดลดลง
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 5 จะไม่มีผลกระทบต่อค่าซี บี อาร์ และการบวมตัว แต่เมื่อปริมาณดินตะกอนทะเลมากขึ้นจะทำให้ค่าซี บี อาร์ ลดลงและค่าการบวมตัวเพิ่มขึ้น
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 15 สามารถใช้เป็นวัสดุมวลรวมชั้นรองพื้นทางได้
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 20 สามารถใช้เป็นชั้นวัสดุคัดเลือก ก และ ข ชั้นทรายถมคันทาง และชั้นดินถมคันทางได้
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 30 สามารถใช้เป็นชั้นวัสดุคัดเลือก ข และชั้นดินถมคันทางได้

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของทรายผสมดินตะกอนทะเลกับมาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

ลำดับ	การทดสอบ	หน่วย	อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล						[21]
			100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30	
1	การทดสอบค่าความสึกหรอของ coarse aggregate [31]	%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	≤ 60
2	การทดสอบขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง [32]		E	E	E	E			เกรด A-E
3	การทดสอบค่าพิคคิเดล [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

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกจากท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง อำเภอกะปอง จังหวัดชลบุรี เป็นวัสดุทดแทนเพื่อผสมกับทรายในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุในงานทาง โดยทรายจะถูกแทนที่ด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนทราย : ดินตะกอนทะเล โดยน้ำหนักแห้งต่าง ๆ ได้แก่ 100:0 95:5 90:10 85:15 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 และ 0:100 แล้วทดสอบหาคุณสมบัติทางดัชนี คือ ขนาดคละ พิกคิอิตเตอร์เบิร์ก และความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติทางวิศวกรรม คือ การบดอัด และ ซี บี อาร์ และเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับมาตรฐานโครงสร้าง

ชั้นทางของกรมทางหลวง โดยผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

- ทราฟฟิคดินตะกอนทะเลในทุก ๆ อัตราส่วนผสมไม่สามารถใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางหินคลุกได้ เพราะมีการกระจายของขนาดจะไม่เป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนด
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 5 จะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติใด ๆ ของทรายอย่างมีนัยสำคัญ
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 15 สามารถใช้เป็นวัสดุมวลรวมชั้นรองพื้นทางได้
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 20 สามารถใช้เป็นชั้นวัสดุคั่นเลือก ก และ ข ชั้นทรายถมคันทาง และชั้นดินถมคันทางได้
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 30 สามารถใช้เป็นชั้นวัสดุคั่นเลือก ข และชั้นดินถมคันทางได้

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของทรายผสมดินตะกอนทะเลกับมาตรฐานชั้นวัสดุคั่นเลือก ก และ ข

ลำดับ	การทดสอบ	หน่วย	อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล						[22] - [23]	
			100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30	วัสดุคั่นเลือก ก	วัสดุคั่นเลือก ข
1	การทดสอบขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง [32]	%	6.3	12.3	15.0	20.7	24.6	34.1	ผ่าน #200 < 30%	ผ่าน #200 < 35%
2	การทดสอบค่าพิทักเทส [26]	%	NP	NP	21	23	25	29	< 40	-
3	การทดสอบค่าดัชนีพลาสติก [27]	%	NP	NP	5	6	7	8	< 20	-
4	การทดสอบค่าซีบีอาร์ [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, * ไม่ผ่านมาตรฐานชั้นวัสดุคั่นเลือก ก แต่ผ่านมาตรฐานชั้นวัสดุคั่นเลือก ข

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของทรายผสมดินตะกอนทะเลกับมาตรฐานชั้นทรายถมคันทาง

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

* ไม่ผ่านมาตรฐานชั้นทรายถมคันทาง

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของทรายผสมดินตะกอนทะเลกับมาตรฐานชั้นดินถมคันทาง

ลำดับ	การทดสอบ	หน่วย	อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล						[24]
			100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30	ดินถมคันทาง
1	การทดสอบขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล่าง [32]	มม.	2	2	2	2	2	2	เม็ดโตสุด $\leq$ 50 มม.
2	การทดสอบค่าซีบีอาร์* [35]	%	36	50	32	20	15	5	$>$ ตามแบบ (> 4)
			0.01	0.02	0.12	0.74	0.98	1.25	Swelling $\leq$ 4%

* ผลการทดสอบซีบีอาร์ที่การบดอัดแบบมาตรฐาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ วจพ. 5/2560 และทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (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 Etxeberri, 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/oeepawasteworkshop2009/2.Caoimhin Nolan - EPA.pdf](http://www.epa.ie/pubs/reports/other/events/oeepawasteworkshop2009/2.Caoimhin%20Nolan%20-%20EPA.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)
- [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>)



การประเมินสภาพธรณีวิทยาแหล่งน้ำพุร้อนด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

Geological Evaluation of Hot Springs by Electrical Resistivity Measurement Techniques

ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง^{1*} ชนะรบ วิชาลัย¹ และอรรวรรณ จันทสุทโธ¹

Received: September, 2017; Accepted: December, 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอรูปแบบการสำรวจหาแหล่งน้ำพุร้อนด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 3 มิติ จากการวางขั้วไฟฟ้าแบบออฟเซตโพล - ไดโพล (Offset Pole-Dipole) ณ บ้านพุร้อน อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยติดตั้งขั้ววัดกระแสไฟฟ้าและกำหนดจุดปล่อยกระแสไฟฟ้าครอบคลุมพื้นที่ขนาด 1.60×1.60 ตารางกิโลเมตร กำหนดให้แนวขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้าและแนวขั้ววัดไฟฟ้ามีระยะห่างเท่ากับ 100 เมตร ภายในพื้นที่การสำรวจและระยะห่างของขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้าภายนอกพื้นที่การสำรวจมีระยะห่างเท่ากับ 200 เมตร

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงสภาพธรณีวิทยาแบบ 3 มิติ ของพื้นที่ทำการสำรวจพบว่าจุดที่อยู่บริเวณแนวภูเขา มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่า 3,500 โอห์ม-เมตร ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของหินที่พบบนเนินเขา คือ หินจำพวกแกรนิต ควอตซ์และเฟลสปาร์ สำหรับตอนกลางของพื้นที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 30 - 500 โอห์ม-เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของน้ำใต้ดิน ดินตะกอน รอยเลื่อน และชั้นหินผุ

จากการศึกษาพบว่า ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาซึ่งเป็นที่ตั้งของแหล่งน้ำพุร้อนแห่งนี้ มีลักษณะที่สอดคล้องกับแบบจำลองน้ำพุร้อนแบบที่ 2 ที่ถูกค้นพบในประเทศไทย กล่าวคือน้ำร้อนจะไหลขึ้นตามรอยเลื่อนผสมกับน้ำใต้ดินที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและถูกกักเก็บไว้อยู่ในชั้นหิน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางธรณีวิทยาและขนาดของบ่อน้ำพุร้อนในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสภาพทางธรณีวิทยาโดยรวมได้อย่างชัดเจนกว่าการสำรวจด้วยวิธีการปกติ

คำสำคัญ : น้ำพุร้อน; ความต้านทานไฟฟ้า; ขั้วไฟฟ้าแบบออฟเซตโพล-ไดโพล

¹ Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

* Corresponding Author E - mail Address: narongchaiwatt@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 1.60×1.60 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 $3,500 \text{ ohm}\cdot\text{m}$ as corresponding to granite, quartz and feldspar outcrop at that location. At middle of the survey area has resistivity of 30 - 500 $\text{ohm}\cdot\text{m}$. 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

สืบเนื่องจากปัญหาวิกฤตพลังงานในปัจจุบันส่งผลให้หน่วยงานหลายภาคส่วนได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการวิจัยพัฒนาในการนำพลังทดแทนมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง [1] - [2] ซึ่งจะสามารถช่วยให้ประเทศเกิดความมั่นคงและความยั่งยืนด้านพลังงานมากยิ่งขึ้น ดังนั้นพลังงานความร้อนใต้พิภพ นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการรับมือกับการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมที่รวดเร็วส่งผลให้มีการดำเนินการสำรวจหาแหล่งพลังงานใหม่ให้สอดคล้องตามนโยบายของภาครัฐจึงเกิดขึ้น

สุพรรณบุรีเป็นอีกจังหวัดหนึ่งในเขตภาคกลางที่มีน้ำพุร้อนเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติในปริมาณที่มากพอต่อการนำมาใช้ประโยชน์ได้ ปัจจุบันบ่อน้ำพุร้อนเหล่านี้ยังมิได้รับการพัฒนาอย่างจริงจังเพื่อการท่องเที่ยวหรือเกษตรอุตสาหกรรมแต่อย่างใด สาเหตุจากปริมาณน้ำพุร้อนตลอดทั้งปียังมีจำนวนไม่สม่ำเสมอและมากพอต่อการนำมาใช้ประโยชน์ จากการศึกษาข้อมูลในเบื้องต้นของแหล่งน้ำพุร้อนในประเทศไทยโดยข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี [3] พบว่าแหล่งน้ำพุร้อน อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี (SP1) มีอุณหภูมิประมาณ 38 องศาเซลเซียส ซึ่งในระดับช่วงอุณหภูมินี้มีขีดความสามารถนำไปพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวในการอาบน้ำพุร้อนได้ แต่เนื่องจากปัจจุบันยังมีข้อมูลการสำรวจไม่เพียงพอต่อการวางแผนลงทุนของภาครัฐที่จะเปิดเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีศักยภาพ 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 แนวสำรวจแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Grids) ใช้การวางขั้วไฟฟ้าแบบ Pole - Pole Array กับระยะทางขั้วไฟฟ้าเท่ากับ 1 3 และ 5 เมตร ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์และจำลองข้อมูลด้วยโปรแกรม RES3DINV [5] ผลการสำรวจแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น บริเวณที่เป็นดินหินลู รวมถึงตำแหน่งของน้ำใต้ดิน ณ พิกัดความลึกการสำรวจเท่ากับ 39 เมตร

สำหรับประเทศไทย ในปี ค.ศ. 2007 Giao, P. H., et al. [6] ได้ทำการศึกษาแหล่งน้ำพุร้อน 2 แห่งซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่ จังหวัดกาญจนบุรี ด้วยการสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ พบว่าการสำรวจด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานแบบ 2 มิติ สามารถแสดงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อนทั้งสองแห่งได้ ตลอดจนเป็นข้อมูลที่จำเป็นในการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำพุร้อน หลังจากนั้นได้มีการศึกษาแหล่งน้ำพุร้อนโป่งคำ จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อปี ค.ศ. 2010 โดย Neawsuparp, K., et al. [7] ได้ทำการสำรวจบ่อน้ำพุร้อนด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 2 มิติ โดยวางขั้วไฟฟ้าแบบ Dipole-Dipole การสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือนแบบหักเห (Refraction Seismic) และการสำรวจด้วยการวัดค่าสนามแม่เหล็กธรรมชาติ (Magnetic) แบบ 2 มิติ จากผลการศึกษาพบว่า การสำรวจด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าตรวจพบ ค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ อันเป็นตำแหน่งของแหล่งกำเนิดน้ำพุร้อนที่ความลึก 80 เมตร ผลการสำรวจด้วยคลื่นสั่นสะเทือนพบชั้นหินฐานในระดับตื้นและแนวรอยเลื่อนใกล้กับตำแหน่งของบ่อน้ำพุร้อน ผลการสำรวจด้วยการวัดค่าสนามแม่เหล็กธรรมชาติ พบได้ถึงค่าความเป็นแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) ต่ำเป็นแนว ซึ่งอาจเป็นแนวที่น้ำร้อนใต้ดินไหลผ่านขึ้นมาได้

การศึกษาแหล่งน้ำพุร้อน โดย Suanburi, D. ในปี ค.ศ. 2014 [8] ณ แหล่งน้ำพุร้อนโป่งช้าง อำเภอนองปรี จังหวัดกาญจนบุรี ด้วยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 3 มิติ ใช้รูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Offset Pole - Dipole ที่ระดับความลึก 250 เมตร ผลการสำรวจสามารถแสดงลักษณะทางธรณีวิทยาของแหล่งน้ำพุร้อนได้เป็นอย่างดี และในปี ค.ศ. 2016 Spencer, H. W., et al. [9] ได้ทำการสำรวจทางธรณีวิทยาและธรณีฟิสิกส์ ในปี พ.ศ. 2558 - 2559 ที่แหล่งน้ำพุร้อนฝาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าผลการสำรวจด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 1 มิติ และวิธีการวัดค่ากระแสแม่เหล็กธรรมชาติ (Magnetotelluric) ตรวจพบค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่า 60 โอห์ม-เมตร ในระดับความลึก 50 - 100 เมตร เท่านั้น ไม่สามารถตรวจพบความต้านทานไฟฟ้าต่ำในชั้นหินในระดับลึกที่เป็นแนวการไหลของน้ำที่เป็นต้นกำเนิดของบ่อน้ำพุร้อน

โดยปกติแล้วการสำรวจน้ำพุร้อนในประเทศไทย นอกจากการเจาะสำรวจโดยตรงแล้ว มักจะใช้วิธีการสำรวจโดยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าในดินแบบ 1 มิติ (Electrical Resistivity Sounding) โดยจะแสดงผลการสำรวจเป็นกราฟเชิงเส้น หรือการสำรวจแบบ 2 มิติ (Electrical Resistivity Imaging) ที่แสดงผลการสำรวจเป็นภาพตัดแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ซึ่งทั้งการสำรวจและวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 1 หรือ 2 มิติ นั้น มักจะใช้การวางขั้วไฟฟ้าแบบไดโพล - ไดโพล (Dipole - Dipole Array) โดยลักษณะการวางขั้วไฟฟ้าแบบดังกล่าว จะแสดงผลการสำรวจได้ดีในลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีการเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งเท่านั้น [10] สำหรับวิธีการสำรวจทางธรณีวิทยาโดยใช้วิธีการวางขั้วไฟฟ้าแบบออฟเซตไดโพล - ไดโพล (Offset Pole - Dipole) จะสามารถแสดงผลลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในแนวตั้งและในแนวราบได้ดี [11]

เนื่องด้วยขีดจำกัดทางด้านกำลังส่งของเครื่องมือสำรวจ พบว่าการสำรวจแหล่งน้ำพุร้อนในประเทศไทยมีความลึกในการสำรวจไม่เกิน 250 เมตร เท่านั้น ดังนั้นการสำรวจในระดับที่ลึกขึ้นจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาแหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นได้ การศึกษานี้เป็นการสำรวจเพื่อประเมินสภาพธรณีวิทยาแหล่งน้ำพุร้อนด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าใต้ดิน ณ บ้านน้ำพุร้อน อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยการนำเสนอรูปแบบการสำรวจด้วยการจัดวางขั้วไฟฟ้าแบบ Offset Pole - Dipole ครอบคลุมพื้นที่ 2.56 ตารางกิโลเมตร (กว้าง 1.60 กิโลเมตร ยาว 1.60 กิโลเมตร) ทำการวิเคราะห์และจำลองข้อมูลด้วยโปรแกรม RES3DINV [12] โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 100 เมตร และระยะห่างของแนวขั้ววัดไฟฟ้า 200 เมตร พิกัดความลึกของการสำรวจประมาณ 50 เมตร สามารถแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อนใต้ดินในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ซึ่งแสดงให้เห็นภาพที่ชัดเจนกว่าการสำรวจแบบ 1 หรือ 2 มิติ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเบื้องต้น

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาคือ การแสดงให้เห็นถึงลักษณะทางธรณีวิทยาและขนาดของบ่อน้ำพุร้อนในรูปแบบของภาพ 3 มิติ ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาพื้นที่บริเวณดังกล่าว สามารถอ้างอิงผลการศึกษานี้เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการขอขบประมาณ การลงทุนจากภาครัฐหรือเอกชนที่จะตัดสินใจให้ทุนสนับสนุนโครงการ วัตถุประสงค์การปรับปรุงแหล่งน้ำพุร้อนนี้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวแห่งใหม่ของจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งจะส่งผลให้เกิดประโยชน์โดยรวมแก่ชุมชนและสังคมที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ได้อีกในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอน อธิบายได้ดังนี้

1. ศึกษารวบรวมข้อมูล

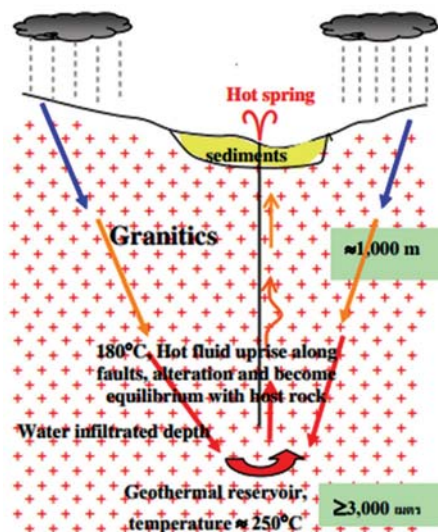
ผู้เขียนได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา ที่จำเป็นในการวางแผนการปฏิบัติการสำรวจภาคสนาม การจำลองผลการสำรวจและการวิเคราะห์ผลย้อนกลับเพื่อสร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยาของพื้นที่ทำการสำรวจ ตลอดจนเป็นการวางแผนและป้องกันเมื่อเกิดปัญหาและผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในภาคสนาม ขั้นตอนการศึกษารวบรวมข้อมูลนี้จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งในสำนักงานและลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลในสถานที่ซึ่งทำการสำรวจศึกษาจริง

2. สร้างแบบจำลองเพื่อการสำรวจ

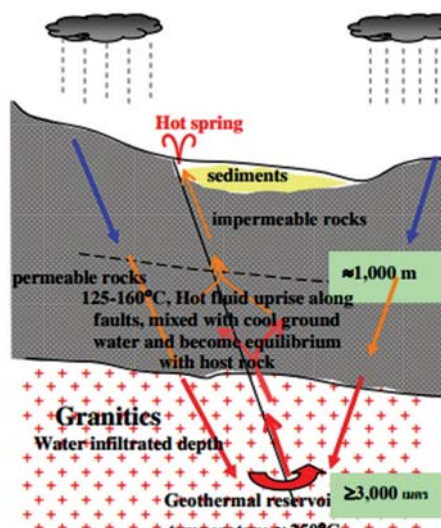
2.1 การจำลองผลการสำรวจ

วิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์เป็นการศึกษาในความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุต่าง ๆ ใต้ดิน โดยการวัดค่าด้วยเทคนิคต่าง ๆ ที่บนผิวดิน การจำลองผลการสำรวจโดยทั่วไปจะทำการสร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยาหลายรูปแบบ แล้วทำการคำนวณหาค่าตัวแปรของแบบจำลองตามหลักทฤษฎีและผลที่ได้จากการจำลองผลการสำรวจนี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบคุณลักษณะต่าง ๆ ในการสำรวจภาคสนามเพื่อให้ได้ผลการสำรวจที่ดีที่สุด [13] สำหรับการจำลองผลการสำรวจ (Forward Analysis) ที่ใช้วิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยการจำลองผลการสำรวจจะต้องสร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยาของพื้นที่ที่ต้องการศึกษาที่มีค่าตัวแปรเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าของดินและหินชนิดต่าง ๆ ตลอดจนรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้า

เมื่อปี ค.ศ. 2008 Raksaskulwong, M. [14] ได้นำเสนอแบบจำลองทางธรณีวิทยา แสดงให้เห็นถึงประเภทของแหล่งกำเนิดความร้อนใต้พิภพและการไหลเวียนของน้ำพุร้อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 น้ำร้อนไหลขึ้นตามรอยเลื่อนของชั้นหิน (รูปที่ 1 (ก)) และประเภทที่ 2 น้ำบาดาลผสมกับน้ำร้อนและเกิดการปรับสภาพสมดุลย์ทางเคมี (รูปที่ 1 (ข)) การจำลองผลการสำรวจ (Simulation/Forward Analysis) ได้ทำการกำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าของแต่ละชนิดของวัสดุที่อยู่ในแบบจำลองของ Raksaskulwong, M. [14] โดยค่าตัวแปรความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุทางธรณีวิทยา เพื่อใช้ในการจำลองผลการสำรวจแสดงไว้ในตารางที่ 1 [15]



(ก) แบบจำลองน้ำพุร้อน ประเภทที่ 1 กรณีน้ำร้อนไหลขึ้นตามรอยเลื่อนของชั้นหิน



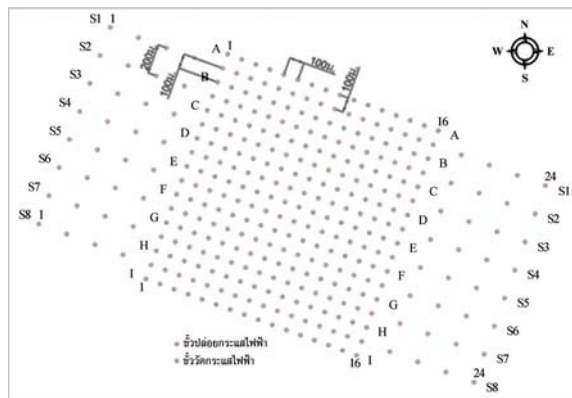
(ข) แบบจำลองน้ำพุร้อน ประเภทที่ 2 กรณีน้ำบาดาลผสมกับน้ำร้อนและเกิดการปรับสภาพสมดุลย์ทางเคมี
รูปที่ 1 แบบจำลองทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อนที่พบได้ในประเทศไทย [14]

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุทางธรณีวิทยาเพื่อใช้ในการจำลองผลการสำรวจ [15]

วัสดุ	ค่าความต้านทานไฟฟ้า ($\Omega.m$)
หินอัคนี	2,500
หินเนื้อดิน	1,500
ดิน/ตะกอนดิน	75
น้ำร้อน	10
รอยเลื่อน/หินผุ	500

2.2 การประมวลผลย้อนกลับ

การประมวลผลย้อนกลับหรือ Inverse Analysis เป็นการประมวลผลในทิศทางตรงข้ามกับการจำลองผลการสำรวจ โดยจะทำการคำนวณค่าคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ที่วัดได้ในภาคสนามให้ย้อนกลับมาเป็นแบบจำลองทางธรณีวิทยา ดังนั้นการศึกษาแบบจำลองเพื่อการสำรวจครั้งนี้จะทำการสร้างแบบจำลองที่ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการศึกษาขนาด 1.60×1.60 ตารางกิโลเมตร โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 100 เมตร และระยะห่างของแนวขั้ววัดไฟฟ้า 200 เมตร ตามแผนผังของการติดตั้งขั้วไฟฟ้าในสนาม ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังของการติดตั้งขั้วไฟฟ้าในสนาม

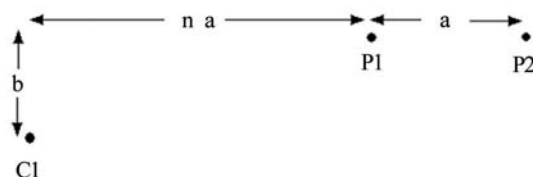
สำหรับรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Offset Pole - Dipole ที่ออกแบบโดย White, R. et al. [11] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพใช้ในการวัดค่าการสำรวจแบบ 3 มิติ (รูปที่ 3) โดย P1 และ P2 เป็นขั้ววัดไฟฟ้า C1 เป็นขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้า โดยค่าความลึกในการสำรวจจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของแท่งปล่อยและวัดกระแสไฟฟ้า (b และ na) ด้วยรูปแบบการวางขั้วไฟฟ้าแบบ Offset Pole - Dipole มีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น ในระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่เท่ากัน การวางขั้วไฟฟ้าแบบนี้ให้สัญญาณที่ดีกว่าและให้ความลึกในการสำรวจสูงกว่ารูปแบบการวางขั้วแบบอื่น ๆ

3. สำรวจภาคสนาม

การสำรวจภาคสนาม ตามแผนผังของการติดตั้งขั้วไฟฟ้าในสนาม (รูปที่ 2) ประกอบด้วยจุดปล่อยกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 8 แนว ซึ่งระยะห่างได้มีการปรับให้สะดวกในการสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงพื้นที่อุปสรรค โดยจุดปล่อยกระแสไฟฟ้าจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่งกระแสไฟฟ้า Zonge GTT-10 ดังรูปที่ 4 (ก)

และจุดวัดกระแสไฟฟ้า จำนวน 9 แนว ซึ่งจะวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่อง Resistivity Receiver (Scintrex IPR-12) ดังรูปที่ 4 (ข) ทั้งนี้แนวจุดปล่อยกระแสไฟฟ้ากำหนดให้ครอบคลุมพื้นที่การสำรวจ ขนาด 2.56 ตารางกิโลเมตร

การสำรวจเริ่มด้วยการปักหมุดกำหนดตำแหน่งของจุดปล่อยกระแสไฟฟ้าและจุดวัดกระแสไฟฟ้าด้วยเครื่องมือ RTK GPS แล้วดำเนินการติดตั้งขั้ววัดไฟฟ้า (Non-Polarized Electrode) และติดตั้งแท่งเหล็กที่เป็นขั้วปล่อยกระแสไฟฟ้าในสนาม อย่างไรก็ตาม 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

ค่าความต่างศักย์และค่ากระแสไฟฟ้าตลอดจนค่าพิกัด GPS ที่ได้จากการเก็บข้อมูลในภาคสนาม จะถูกตรวจสอบอีกครั้งก่อนการประมวลผลการสำรวจ เมื่อทำการตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว จะนำข้อมูลมาแปลงย้อนกลับหารูปลักษณะทางธรณีวิทยา (Invert Model) ในขั้นตอนนี้จะต้องเตรียมข้อมูลให้เป็นไปตามรูปแบบที่โปรแกรมประมวลผลได้กำหนดรูปแบบไว้ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าเสมือน (Apparent Resistivity) คำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (1)

$$\rho = 2\pi aR \quad (1)$$

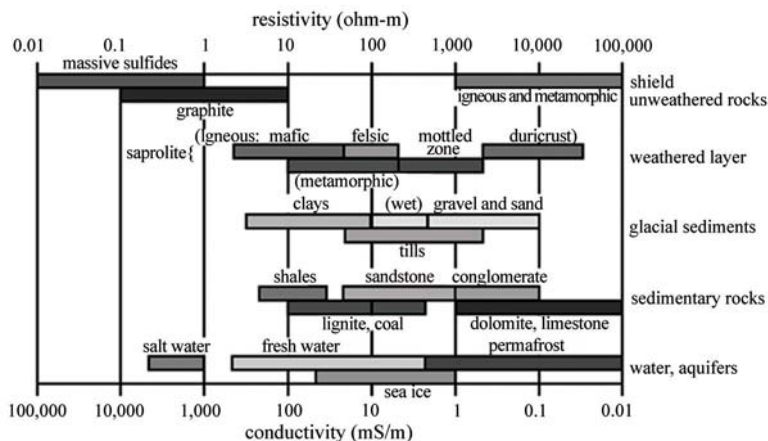
เมื่อ

- ρ คือ ความต้านทานไฟฟ้าเสมือน (Apparent Resistivity)
 a คือ ระยะห่างขั้วไฟฟ้า (Electrode Spacing)
 R คือ ค่าความต้านทาน (Resistance Value)

5. สร้างแบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบ 3 มิติ

ค่าที่ได้จากการสำรวจจะถูกนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม RES3DINV [5] เสร็จแล้วจะได้ค่าความต้านทานไฟฟ้าของตำแหน่งและระดับความลึกต่าง ๆ ที่สามารถนำไปแสดงผลด้วยโปรแกรมที่ใช้สร้างแบบจำลอง 3 มิติ เมื่อข้อมูลที่ได้รับการประมวลผลถูกแสดงในโปรแกรมสร้างแบบจำลองแล้ว ผลลัพธ์คือแบบจำลองของค่าความต้านทานไฟฟ้าเสมือน (Apparent Resistivity) แบบ 3 มิติ

จากแบบจำลองข้างต้น สามารถแปลความหมายผลการสำรวจจากรูป 3 มิติ โดยใช้หลักการแปลความหมายด้วยสีที่แสดงถึงค่าความต้านทานไฟฟ้า เช่นเดียวกับการสำรวจแบบ 2 มิติ [16] การแสดงผลด้วยสีที่มีความแตกต่างกันนั้นจะสามารถจำแนกสภาพทางธรณีวิทยาของจุดที่ทำการสำรวจได้โดยใช้คุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าที่แตกต่างกันของวัสดุทางธรณีวิทยาแต่ละชนิด กำหนดโดย Palacky, G. J. [15] ดังรูปที่ 5 ดังนั้น การสร้างแบบจำลองค่าความต้านทานไฟฟ้าในแต่ละช่วงของข้อมูลที่สอดคล้องกับค่าความต้านทานไฟฟ้าของกลุ่มวัสดุใต้ดิน จึงมีความสำคัญต่อการแปลผลข้อมูล



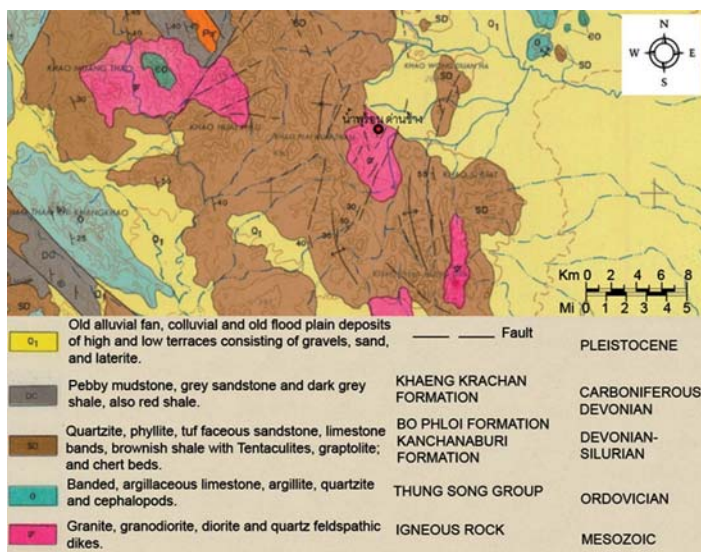
รูปที่ 5 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุทางธรณีวิทยา [15]

ผลการศึกษา

1. การศึกษารวบรวมข้อมูลและสำรวจจากสนามเบื้องต้น

จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของประชากรในพื้นที่พบว่า อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ตั้งอยู่บนฝั่งตะวันตกของแม่น้ำท่าจีน ในส่วนที่เป็นพื้นที่ดอน แห้งแล้ง และพื้นที่ภูเขา ประชาชนในอำเภอด่านช้าง ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมและอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรด้านต่าง ๆ สำหรับลักษณะทางธรณีวิทยา น้ำพุร้อนแห่งนี้ตั้งอยู่บนผนังของควอตซ์และเฟลสปาร์ ที่มีดินตะกอน

ปิดทับด้านบน อันเกิดจากการกัดเซาะผุพังของหินในบริเวณนั้นและสะสมตัวอยู่ในบริเวณเชิงเขาไม่ไกลจากตัวภูเขาซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของน้ำพุร้อนมากนัก จัดเป็นตะกอนยุคควอเทอร์นารีซึ่งประกอบไปด้วยทรายหยาบปนกรวดสลับกับทรายเป็นชั้นหนา การเรียกชื่อกลุ่มตะกอนเรียกตามลักษณะสัณฐานธรณีวิทยาที่สะสมตัว เช่น ตะกอนเศษหินเชิงเขา (Colluvium) บริเวณโดยรอบพื้นที่น้ำพุร้อนประกอบไปด้วย หินแกรนิต แกรโนไดโอไรต์ ไดโอไรต์ พนังแร่ควอทซ์และเฟลสปาร์ทิวไคไรต์ ยุคเมโสโซอิก (Mesozoic) ที่สามารถพบได้ง่ายบริเวณเนินเขาด้านทิศตะวันตกและตะวันออกเฉียงใต้ของบ่อน้ำพุร้อน [17]



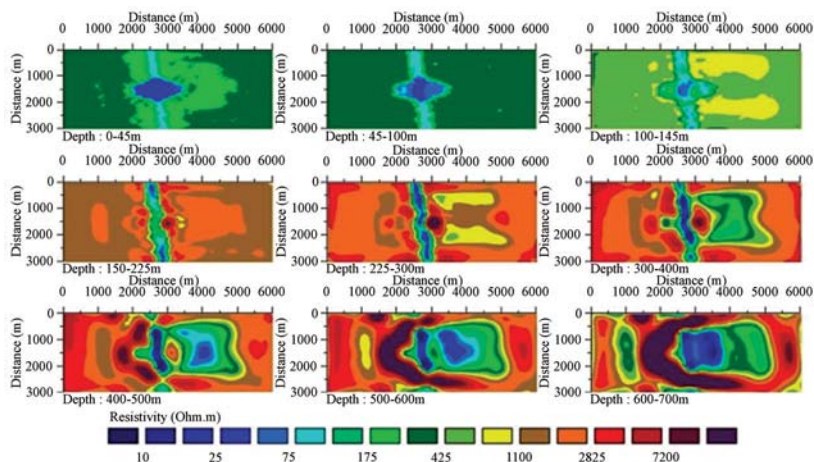
รูปที่ 6 แผนที่ธรณีวิทยาของแหล่งที่ตั้งน้ำพุร้อน อำเภอคำชะอี จังหวัดสุพรรณบุรี [17]

จากรูปที่ 6 แสดงแผนที่ทางธรณีวิทยาและตำแหน่งที่ตั้งของน้ำพุร้อน บ้านน้ำพุร้อน หมู่ 5 ตำบลคำชะอี อำเภอคำชะอี จังหวัดสุพรรณบุรี บนแผนที่ธรณีวิทยา จะพบว่าน้ำพุร้อนนั้นอยู่ในบริเวณที่เป็นหินแกรนิตและแนวสำรวจโดยส่วนใหญ่จะอยู่บนพื้นที่หินแกรนิต อีกทั้งยังมีแนวรอยเลื่อนบนพื้นที่การสำรวจจำนวน 4 ถึง 5 แนวรอยเลื่อน

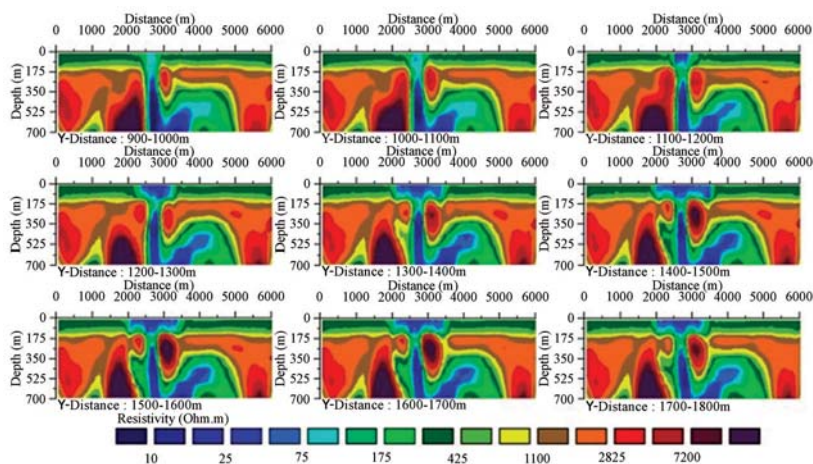
2. การจำลองการสำรวจ

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

การจำลองการสำรวจที่ได้จัดทำขึ้นนั้น สามารถทราบได้ถึงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เป็นไปได้ถึงแหล่งน้ำพุร้อนใต้ดินและการแสดงผลลัพธ์ที่เป็นประโยชน์ในขั้นตอนการวางแผนการสำรวจก่อนการสำรวจจริงในภาคสนาม

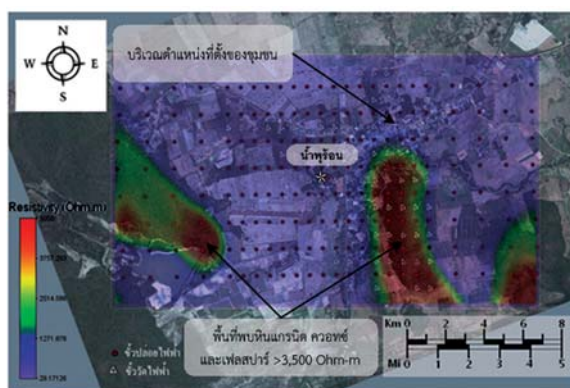


(ก) ภาพตัดแนวขวางของแบบจำลองน้ำพุร้อน



(ข) ภาพตัดแนวตั้งของแบบจำลองน้ำพุร้อน

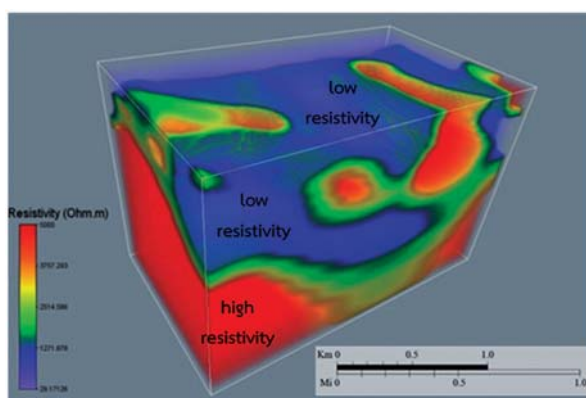
รูปที่ 7 ภาพตัดแนวขวางและแนวตั้ง แบบจำลองน้ำพุร้อน ประเภทที่ 2 จากภาพ 3 มิติ



รูปที่ 8 ผลการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าประกอบกับภาพถ่ายดาวเทียม

อภิปรายผลการศึกษา

จากรูปที่ 8 แสดงผลการสำรวจความต้านทานไฟฟ้าประกอบกับภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งเป็นภาพเชิงซ้อนที่แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของชุมชนจากภาพถ่ายทางอากาศกับแผนที่ความต้านทานไฟฟ้าที่สำรวจได้ เมื่อเปรียบเทียบแผนที่ความต้านทานไฟฟ้ากับแผนที่ทางธรณีวิทยาจะพบว่าบริเวณพื้นที่เป็นเนินเขา คือ จุดที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สูงมากกว่า 3,500 โอห์ม-เมตร (พิจารณาร่วมกับตารางที่ 1 และรูปที่ 6) แสดงให้เห็นถึงแนวหินแกรนิต พงันแร่ควอตซ์และเฟลสปาร์ [17] สำหรับตอนกลางของพื้นที่ พบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำกว่า คือมีค่าอยู่ระหว่าง 30 - 500 โอห์ม-เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวการไหลซึมของน้ำใต้ดินสู่ผิวดินในตำแหน่งที่ตั้งของบ่อน้ำพุร้อน อีกทั้งค่าความต้านทานไฟฟ้าง่ายยังสามารถแปลความหมายที่แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของดินตะกอนและรอยเลื่อนหรือชั้นหินผู้ได้อีกด้วย

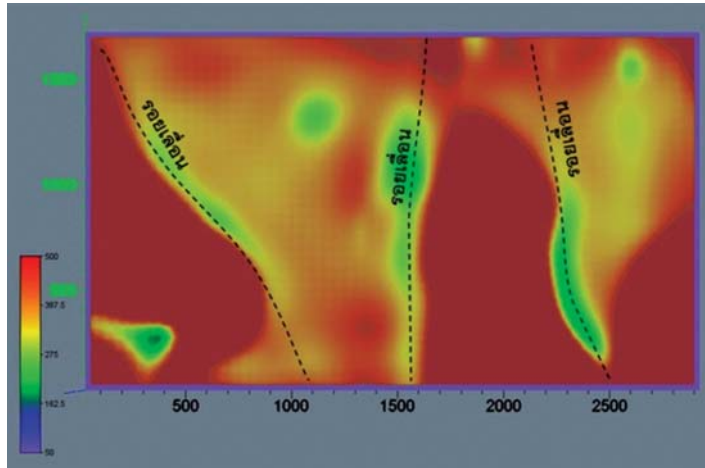


รูปที่ 9 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาบ่อน้ำพุร้อนแบบ 3 มิติ

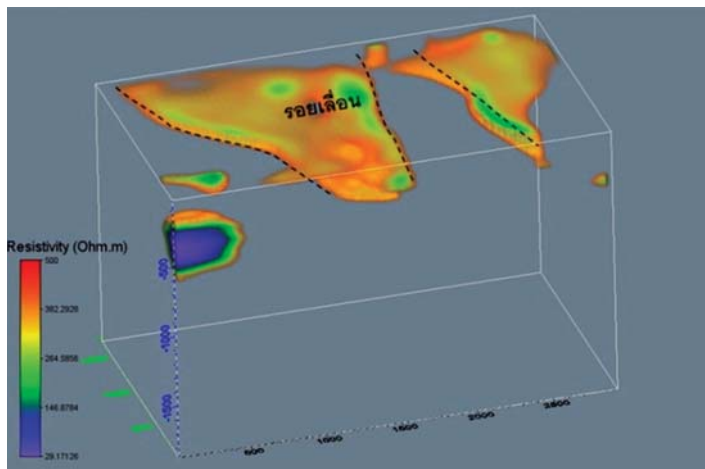
จากการแสดงผลค่าความต้านทานไฟฟ้าเสมือนในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยา สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงให้เห็นสภาพทางธรณีวิทยาได้ชัดเจนมากกว่าการแสดงผลแบบ 2 มิติ โดยพื้นที่สีน้ำเงิน คือบริเวณที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุที่ช่วยให้กระแสไฟฟ้าไหลเวียนได้ง่าย เช่น น้ำ เป็นต้น สำหรับพื้นที่สีแดง คือบริเวณที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูง แสดงให้เห็นว่าเป็นตำแหน่งของหินหรือพองแร่ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วนของการสำรวจที่มีความต้านทานไฟฟ้าไม่เกิน 500 โอห์ม-เมตร (ไม่แสดงผลตำแหน่งหิน) ณ ความลึก 50 เมตร สามารถแสดงให้เห็นถึงแนวรอยเลื่อนของชั้นหินเป็นแนว เหนือ - ใต้ พาดผ่านกลางพื้นที่สำรวจ น้ำพุร้อนจะแทรกอยู่ระหว่างแนวรอยเลื่อนของชั้นหินใต้ดิน ดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ทั้งหมดนี้สอดคล้องกับแผนที่ธรณีวิทยาของแหล่งน้ำพุร้อน อำเภอคำชะอี จังหวัดสุพรรณบุรี ตามข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี [17] ดังแสดงในรูปที่ 6

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

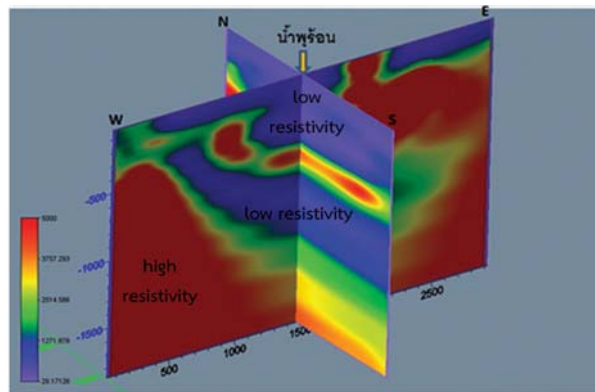
ทิศทางการไหลของน้ำพุร้อนแสดงให้เห็นได้จากรูปตัดในรูปที่ 13 จุดที่แสดงตำแหน่งของน้ำพุร้อนและรอยเลื่อนของชั้นหินใต้ดิน ซึ่งสมมติฐานได้ว่าลักษณะน้ำพุร้อนคานข้างเกิดขึ้นจากแหล่งความร้อนที่อยู่ลึกในระดับที่มากกว่า 2,000 เมตร โดยเกิดขึ้นจากน้ำใต้ดินจะไหลลงไปตามแนวรอยเลื่อนและรอยแตกของชั้นหิน เมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนด้านใต้แล้วน้ำร้อนจึงไหลย้อนกลับขึ้นมาตามแนวรอยเลื่อนและรอยแตกของชั้นหินเพื่อไหลเก็บกักสะสมในชั้นน้ำใต้ดินที่อยู่ในระดับความลึกประมาณ 1,250 เมตร แล้วค่อย ๆ ไหลซึมขึ้นมาบนผิวดิน



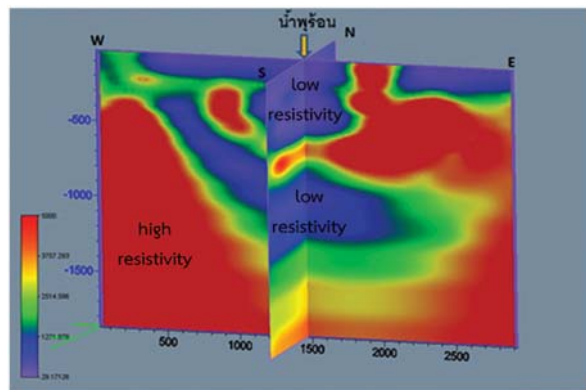
รูปที่ 10 รูปตัดที่ความลึก 50 เมตร จำกัดการแสดงผลความต้านทานไฟฟ้าไม่เกิน 500 โอห์ม-เมตร



รูปที่ 11 แบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยา 3 มิติ จำกัดการแสดงผลความต้านทานไฟฟ้าไม่เกิน 500 โอห์ม-เมตร

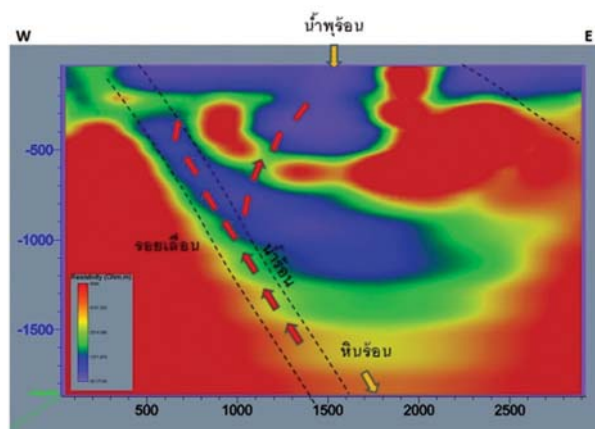


(ก) มุมมองทิศตะวันตกเฉียงใต้ (W - S)



(ข) มุมมองทิศตะวันออกเฉียงใต้ (E - S)

รูปที่ 12 รูปตัดแสดงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อน



รูปที่ 13 รูปตัดแสดงทิศทางการไหลของน้ำพุร้อน

สรุปผลการศึกษา

ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของน้ำพุร้อน อำเภอด่านช้าง มีลักษณะสอดคล้องกับแบบจำลองน้ำพุร้อนประเภทที่ 2 ดังรูปที่ 1 (ข) โดยเกิดขึ้นจากน้ำฝนและน้ำผิวดิน ไหลลงสู่ใต้ดินผ่านรอยเลื่อน รอยแตก และรูพรุนของหิน จนถึงความลึกระดับหนึ่ง หลังจากได้รับการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งพลังงานใต้พิภพ จนกลายเป็นน้ำร้อนแล้ว จากการกักตัวของชั้นหินหรือผนังแร่ น้ำร้อนดังกล่าวจะไหลกลับขึ้นสู่ผิวดินด้วยแรงดันสูง ไหลผ่านตามรอยเลื่อน รอยแตกของหิน เมื่อผสมกับน้ำใต้ดินซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า เกิดเป็นน้ำพุร้อนหรือบ่อน้ำอุ่น ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำพุร้อนชนิดนี้จึงไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส แหล่งน้ำพุร้อนแห่งนี้มีศักยภาพที่สามารถพัฒนาไปใช้ในการท่องเที่ยวและการสร้างห้องอบแห้งเพื่อประโยชน์ในด้านการเกษตร ตลอดจนการพัฒนาเป็นแหล่งสันตนาการและการท่องเที่ยวได้ในอนาคต ทั้งนี้ การขออนุมัติงบประมาณจากทางราชการหรือการสนับสนุนเงินลงทุนจากภาคเอกชนเพื่อพัฒนาแหล่งทรัพยากรธรรมชาติให้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวขึ้น หน่วยงานที่รับผิดชอบจะต้องมีข้อมูลการสำรวจที่น่าเชื่อถือได้ การศึกษานี้เป็นข้อมูลทางวิชาการที่ช่วยสนับสนุนให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดทำแผนงบประมาณได้

สำหรับปัญหาและข้อเสนอแนะนั้นพบว่า อุปสรรคของการสำรวจในพื้นที่กว้างมักเกิดปัญหากับประชาชนที่อยู่ในพื้นที่เสมอ เช่น การทำความเข้าใจกับประชาชนถึงวัตถุประสงค์ของการศึกษา การขออนุญาตเข้าไปในพื้นที่เขตพักอาศัย รวมทั้งพื้นที่ทำการเกษตรของประชาชนเพื่อวางสายนำสัญญาณ ตลอดจนการลดผลกระทบจากกิจกรรมการสำรวจต่อการใช้ชีวิตประจำวันของประชาชนในเขตพื้นที่ของการสำรวจ จากปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมด ผู้ดำเนินการศึกษาได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการทำความเข้าใจและพูดคุยกับผู้นำชุมชน ตลอดจนการให้ข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ เมื่อมีข้อสงสัยและสอบถามจากประชาชนในพื้นที่จนกระทั่งสามารถทำงานได้สำเร็จครบถ้วนตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

References

- [1] Pan-Aram, R. Wongwiset, 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 11th 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**. (1st Edition). Elsevier. New York. pp. 628-630
- [14] Raksaskulwong, M. (2008). Thailand Geothermal Energy: Development History and Current status. **Proceedings of the 8th 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)



ปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงจากเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์
ฟลูอิดไคซ์เบด

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

วิริยะ แคนทน^{1*} และเกียร ดวงอุปมา¹

Received: October, 2017; Accepted: January, 2018

บทคัดย่อ

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงของเหง้ามันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดเป็นการศึกษาหาปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์และปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิปฏิกิริยา 5 ระดับ คือ 500 600 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส ต่อปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์และปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งแก๊สแอลพีจีคือแหล่งพลังงานความร้อนสำหรับอุ่นเครื่องก่อนทำการทดลองและระหว่างทดลองและอากาศถูกใช้เป็นแก๊สพา ปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์ได้จากการสมดุลมวลก่อนและหลังการทดลอง โดยมีเครื่องวิเคราะห์แก๊ส GC 8A สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊ส ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิปฏิกิริยา 900 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลได้ของแก๊สสูงสุดร้อยละ 90.9 โดยน้ำหนัก แต่แก๊สที่ได้มีค่าความร้อนต่ำสุดเป็น 12 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ขณะที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส คืออุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เพราะมีปริมาณผลได้ของแก๊สและปริมาณพลังงานของแก๊สร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ : ปริมาณพลังงาน; การผลิตแก๊สเชื้อเพลิง; แก๊สเชื้อเพลิง; เหง้ามันสำปะหลัง; ฟลูอิดไคซ์เบด

¹ Faculty of Agro Industrial Technology, Kalasin University

* Corresponding Author E - mail Address: 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

ปัจจุบันทั่วโลกต่างพัฒนาพลังงานทดแทนรูปแบบต่าง ๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานชีวมวล เพื่อรองรับปัญหาวิกฤติพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลในอนาคต ซึ่งพลังงานชีวมวลถือว่าเป็นพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพ เพราะพลังงานความร้อนที่ได้จากชีวมวลสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับอุตสาหกรรมโรงงานไฟฟ้า และอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ชีวมวลคือเศษวัสดุที่เหลือใช้จากการแปรรูปพืชให้เป็นผลิตภัณฑ์ เมื่อใช้พลังงานชีวมวลจึงทำให้เกิดการสมดุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาในขั้นตอนการสังเคราะห์แสงของพืช สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีชีวมวลในปริมาณมาก โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้รายงานไว้ สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี พ.ศ. 2559 มีผลผลิตหัวมันสำปะหลังสำหรับโรงงานอันดับ 2 ของโลก และเป็นอันดับ 1 ของอาเซียน ประมาณ 30 ล้านตัน หรือคิดเป็นเหง้ามันสำปะหลังประมาณ 14.7 ล้านตัน เมื่อคูณด้วยอัตราส่วนของเหง้ามันสำปะหลังต่อหัวมันสำปะหลัง 0.49 [1] วิธีกำจัดเหง้ามันสำปะหลังนี้เกษตรกรนิยมเผาจึงไม่ก่อให้เกิดคุณค่าทางพลังงาน หากนำเหง้ามันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ เช่น กระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับโรงงานไฟฟ้า [2] - [5] กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วสำหรับผลิตเชื้อเพลิงเหลว [6] - [11] และกระบวนการทอริแฟคชันสำหรับผลิตถ่านชาร์ [12] - [16] จะทำให้ชีวมวลมีคุณค่าทางพลังงานได้ โดยการแปรรูปชีวมวลด้วยกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนั้นได้รับความนิยมในการทำวิจัยอย่างมาก เพราะเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการดำเนินการ

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงหมายถึงกระบวนการทางเคมีความร้อนที่มีอุณหภูมิปฏิกิริยาประมาณ 500 - 1000 องศาเซลเซียส [17] โดยผลิตภัณฑ์หลักที่ได้คือแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งปัจจัยหลักของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงคือเครื่องปฏิกรณ์ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้ แบบแก๊สไหลลง (Downdraft) แบบแก๊สไหลขึ้น

(Updraft) แบบฟลูอิดไคซ์เบด (Fluidised - Bed) แบบแก๊สหมุนวน (Rotating Cone) และแบบตกอิสระ (Entrained - Flow) เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดมีอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงเพราะมีตัวกลางถ่ายโอนความร้อน จึงช่วยในการย่อยสลายทางเคมีความร้อนของชีวมวลให้กลายเป็นแก๊สได้สมบูรณ์ อีกทั้งการเชื่อมต่อเครื่องปฏิกรณ์นี้กับไซโคลน ชุดกรองไอร้อน และชุดควบแน่น ยังทำให้แก๊สเชื้อเพลิงสะอาดขึ้น เพราะถ่านชาร์จะถูกแยกออกจากแก๊สด้วยไซโคลนแล้วเก็บในถังเก็บถ่านชาร์ ส่วนถ่านชาร์ขนาดเล็กจะถูกดักจับด้วยชุดกรองไอร้อน ขณะที่ทาร์ถูกควบแน่นด้วยชุดควบแน่นแต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าหากนำเตาหมันสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดจะส่งผลกระทบต่อปริมาณผลได้และองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง เพราะงานวิจัยที่ศึกษาการไพโรไลซิสแบบเร็วของเตาหมันสำหรับผลิตในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดเพื่อผลิตไบโอออยล์ที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 510 องศาเซลเซียส [18] พบว่าปริมาณผลได้ของไบโอออยล์สูงถึงร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสขึ้นเป็น 537 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 11 เป็น 14 โดยน้ำหนัก

ดังนั้นโครงการนี้จึงมุ่งเน้นการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงของเตาหมันสำหรับผลิตในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบด เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิปฏิกิริยา 5 ระดับ คือ 500 600 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส ที่มีต่อปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์ องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง และปริมาณพลังงานที่ได้จากแก๊สเชื้อเพลิงวัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ชีวมวล

ชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือเตาหมันสำหรับผลิต เป็นเศษวัสดุทางการเกษตรที่ได้จากไร่เพาะปลูก จึงมีขนาดใหญ่และมีดินติดมาด้วย ดังนั้นการเตรียมเตาหมันสำหรับผลิตจึงจำเป็นต้องบดละเอียดให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำไปคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 0.6 - 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปตากแดดและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นในชีวมวล

2. ตัวกลางถ่ายโอนความร้อน

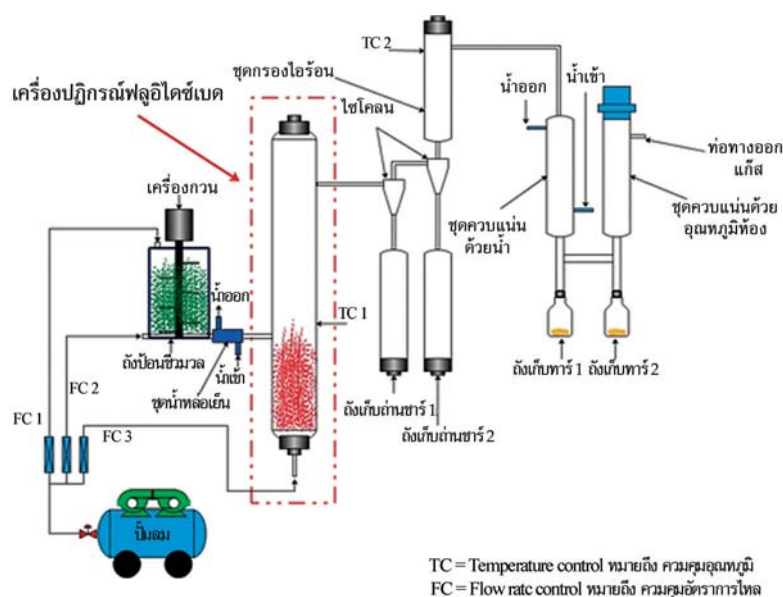
ทรายที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้มาจากร้านขายวัสดุก่อสร้างจึงมีน้ำผสมมาด้วย เพราะการเก็บรักษาทรายในร้านดังกล่าวคือเก็บในที่โล่งแจ้ง ดังนั้นการนำทรายไปใช้ในกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจึงจำเป็นต้องกำจัดน้ำที่มากับทรายออกก่อนเพราะน้ำจะส่งผลต่อตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง อีกทั้งทรายที่ซื้อมายังมีขนาดที่ไม่เท่ากันและมีสิ่งปนเปื้อนมากับทรายด้วย ดังนั้นการเตรียมทรายจึงจำเป็นต้องนำทรายมาตากแดดให้แห้ง จากนั้นคัดขนาดอนุภาค 0.4 - 0.6 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมกับการเป็นตัวกลางถ่ายโอนความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์ของงานวิจัยนี้ เพราะทรายขนาดที่เล็กกว่านี้เมื่อนำมาใช้ในการทดลองไม่สามารถรักษาอุณหภูมิได้ตามที่กำหนด เนื่องจากความสามารถในการจุความร้อนต่ำ จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดเถ้าหรือเศษวัสดุที่ปนเปื้อนทรายออก หลังจากนั้นนำทรายที่ผ่านการเผาไหม้มาคัดขนาด 0.4 - 0.6 มิลลิเมตร อีกครั้งก่อนนำไปใช้เป็นตัวกลางถ่ายโอนความร้อน

3. วิธีการทดลอง

ก่อนการทดลองต้องชั่งน้ำหนักของอุปกรณ์แต่ละชิ้น เริ่มจากการชั่งน้ำหนักของชีวมวล ตัวกลางถ่ายโอนความร้อน เครื่องปฏิกรณ์ ชุดกรองไอร้อน ไยแก้ว (5 กรัม) ชุดควบแน่น และถังเก็บทาร์ หลังจากนั้นต่อสายลมผ่านเกจวัดความดันผ่านเข้าสู่ชุดควบคุมอัตราการไหล (FC) ทั้ง 3 ตัว โดย (FC 1) เข้าฝาดบนของถังชีวมวล (FC 2) เข้าท่อลำเลียงด้านข้างของถังป้อนชีวมวล และ (FC 3) เข้าด้านล่างเครื่องปฏิกรณ์ในตำแหน่งฟลูอิดไคซ์เบด จากนั้นต่อสายยางของน้ำหล่อเย็นจากปั๊มน้ำไปยังชุดหล่อเย็น

ของท่อลำเลียงชีวมวลและชุดกรองไอร้อน ตามลำดับ ขั้นตอนต่อไปคือ ต่อเทอร์โมคัปเปิลจากชุดควบคุมเข้า (TC 1) ในตำแหน่งไฟโรไลซิสภายในเครื่องปฏิกรณ์ และ (TC 2) ในตำแหน่งภายในของชุดกรองไอร้อน และสุดท้ายนำตัวกลางถ่ายโอนความร้อน (ทราย) ผสมกับชีวมวลบรรจุในเครื่องปฏิกรณ์แล้วเผาชีวมวลที่ผสมทรายด้วยแก๊สแอลพีจี (LPG) เป็นเวลาประมาณ 30 นาที สังเกตที่อุณหภูมิปฏิกิริยา (TC 1) จนแน่ใจว่าตัวกลางถ่ายโอนความร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 500 600 700 800 และ 900 องศาเซลเซียส ตามเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งขนาดอนุภาคของทราย 0.4 - 0.6 มิลลิเมตร คือ ขนาดที่ผ่านการทดสอบในเครื่องปฏิกรณ์นี้แล้วว่าสามารถจุความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิในแต่ละระดับได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการ

เริ่มการทดลองโดยปรับอัตราการไหลของตำแหน่งฟลูอิดิซ์เบด (FC 3) 20 ลิตรต่อนาที จากนั้นป้อนชีวมวลผ่านท่อลำเลียงโดยควบคุมอัตราการไหล (FC 1) 5 ลิตรต่อนาที และ (FC 2) 10 ลิตรต่อนาที เพื่อให้ได้อัตราการป้อนชีวมวล 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิไฟโรไลซิสต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดโดยอุณหภูมิอาจเปลี่ยนแปลงได้อยู่ในช่วงประมาณ ± 15 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนดให้ลดอัตราการไหล (FC 1) บนฟาดังป้อนชีวมวลและเพิ่มอัตราการไหล (FC 2) เพื่อให้ชีวมวลลงท่อลำเลียงในปริมาณลดลง ซึ่งต้องควบคุมอัตราการไหลรวมระหว่าง (FC 1) และ (FC 2) ให้อยู่ที่ 15 ลิตรต่อนาที เพื่อควบคุมอัตราการป้อนของชีวมวลให้อยู่ที่ 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อแน่ใจว่าอุณหภูมิไฟโรไลซิสและการป้อนชีวมวลเรียบร้อยดีให้ทำการทดลองประมาณ 20 นาที แล้วเริ่มเก็บแก๊สระหว่างการทดลองในตำแหน่งท่อทางออกแก๊สทุก ๆ 10 นาที เพื่อให้ได้แก๊สที่มีความเข้มข้นและเพียงพอสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สต่อไป หลังจากทดลองครบ 1 ชั่วโมง ให้หยุดป้อนชีวมวลโดยปิดอัตราการไหล (FC 1) แต่ยังคงเปิด (FC 2) และ (FC 3) เป็นเวลาประมาณ 5 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีชีวมวลตกค้างอยู่ในระบบ ซึ่งสังเกตได้จากควันที่อยู่ในถังเก็บสารทั้ง 2 ตำแหน่งต้องไม่มีควันออกมา จากนั้นปิดอัตราการไหล (FC 2) และ (FC 3)



รูปที่ 1 แผนภาพหน่วยผลิตแก๊สเชื้อเพลิงโดยเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดิซ์เบด

4. การสมดุลมวล

เมื่อทดลองครบ 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เครื่องปฏิกรณ์และบริเวณที่ได้รับความร้อนเย็นตัวลง ด้วยอุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที จากนั้นสมดุลมวลโดยชั่งน้ำหนักของชีวมวล ตัวกลางถ่ายโอนความร้อน ถ่านชาร์ ไบแก๊ว และทาร์ โดยน้ำหนักของชีวมวลที่ลดลง คือ ปริมาณชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง ขณะที่น้ำหนักของตัวกลางถ่ายโอนความร้อนที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักของถ่านชาร์จากถังเก็บ และน้ำหนักของไบแก๊วที่เพิ่มขึ้น คือปริมาณผลได้ของถ่านชาร์ และน้ำหนักของทาร์จากถังเก็บ คือปริมาณผลได้ของทาร์ สำหรับปริมาณผลได้ของแก๊สเชื้อเพลิงได้จากการนำน้ำหนักของถ่านชาร์และทาร์รวมกันแล้วลบออกจาก 100

5. การวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊ส

องค์ประกอบแก๊สวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Shimadzu GC-8A ที่ติดตั้งกับเครื่องตรวจจับการนำความร้อน (Thermal Conductivity Detector, TCD) โดยมีคอลัมน์ คือ Porapak N (80/100 SS 2.3 mm I.D. $\times$ 1 m) และ Unibeads C (60/80 SS Col. 3 mm. I.D. $\times$ 2 m) และอาร์กอนที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.995 เป็นแก๊สพา ซึ่งแก๊สที่วิเคราะห์ได้ประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไฮโดรเจน (H₂) ไนโตรเจน (N₂) มีเทน (CH₄) เอทิลีน (C₂H₄) และเอทเธน (C₂H₆)

6. การคำนวณค่าความร้อนของแก๊ส

องค์ประกอบแก๊ส ประกอบด้วย ไฮโดรเจน (H₂) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน (CH₄) เอทิลีน (C₂H₄) และเอทเธน (C₂H₆) ซึ่งแก๊สเหล่านี้สามารถคำนวณได้ด้วยการนำสัดส่วนขององค์ประกอบแก๊สแต่ละชนิดคูณด้วยค่าความร้อนและความหนาแน่นของแก๊สแต่ละชนิดตามข้อมูลในตารางที่ 1 แล้วคำนวณค่าความร้อนตามสมการที่ (1) - (2)

ตารางที่ 1 สมบัติพื้นฐานของแก๊สเชื้อเพลิง

ชนิดแก๊ส	ค่าความร้อนแก๊สเชื้อเพลิงภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ (เมกะจูลต่อกิโลกรัม) [19]		ρ_i [20]
	HHV _i	LHV _i	
ไฮโดรเจน (H ₂)	142	120	0.081
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	10	10	0.717
มีเทน (CH ₄)	55	50	1.178
เอทิลีน (C ₂ H ₄)	51	48	1.145
เอทเธน (C ₂ H ₆)	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)
 ρ_i = ค่าความหนาแน่นแก๊ส (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

7. การคำนวณปริมาณพลังงานของแก๊ส

ปริมาณพลังงานของแก๊สที่ได้ คำนวณจากปริมาณผลได้ของแก๊สคูณด้วยค่าความร้อนต่ำของแก๊สซึ่งเกิดจากการนำสัดส่วนขององค์ประกอบแก๊สแต่ละชนิดคูณด้วยค่าความร้อนมาตรฐาน จากนั้นนำมาหารด้วยค่าความร้อนต่ำของชีวมวลดังสมการที่ (3)

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

เมื่อ

- EY = Energy Yield คือ ปริมาณพลังงาน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
 Y_{Gas} = Yield of gas คือ ปริมาณผลได้ของแก๊ส (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
 LHV_{Gas} = ค่าความร้อนต่ำของแก๊ส (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
 LHV_{BM} = ค่าความร้อนต่ำของชีวมวล (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)

ผลการทดลองและอภิปราย

1. สมบัติของเหง้ามันสำปะหลัง

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เหง้ามันสำปะหลังหลังอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส มีความชื้นร้อยละ 10.1 โดยน้ำหนัก และสารระเหยร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก โดยมีความชื้นที่สูงกว่าและสารระเหยต่ำกว่าเหง้ามันสำปะหลังในงานวิจัยของ Pattiya, A. [18] เล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากเหง้ามันสำปะหลังในงานวิจัยนี้มีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 13.2 โดยน้ำหนัก เพราะเป็นที่ทราบกันว่าเถ้าเกิดจากสารอนินทรีย์ที่ไม่สามารถระเหยตัวได้ ดังนั้นชีวมวลที่มีปริมาณเถ้าสูงจึงมีปริมาณสารระเหยต่ำ

ตารางที่ 2 สมบัติของเหง้ามันสำปะหลัง

การวิเคราะห์	เหง้ามันสำปะหลัง	
	งานวิจัยนี้	Pattiya, A. [18]
การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, ฐานแห้ง)		
ความชื้น ^ก	10.1	8.3
สารระเหย	75	77.7
คาร์บอนคงที่ ^ข	11.8	18.2

ตารางที่ 2 สมบัติของเหง้ามันสำปะหลัง (ต่อ)

การวิเคราะห์	เหง้ามันสำปะหลัง	
	งานวิจัยนี้	Pattiya, A. [18]
<i>การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, ฐานแห้ง)</i>		
เถ้า	13.2	4.1
<i>การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก, ฐานแห้งไม่คิดเถ้า)</i>		
คาร์บอน	48.4	51.6
ไฮโดรเจน	7.6	6.7
ไนโตรเจน	1.2	1.3
กำมะถัน	0.2	< 0.1
ออกซิเจน ^a	42.6	40.5
ความหนาแน่นรวม (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	263	N/A
ความหนาแน่นอนุภาค (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	1,025	N/A
<i>ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม, ฐานแห้ง)</i>		
ค่าความร้อนสูง (HHV)	15.5	23.7
ค่าความร้อนต่ำ (LHV)	13.8	18.5

^aฐานเปียก^bคำนวณจาก 100 - สารระเหย - เถ้า^cคำนวณจาก 100 - คาร์บอน - ไฮโดรเจน - ไนโตรเจน - กำมะถัน

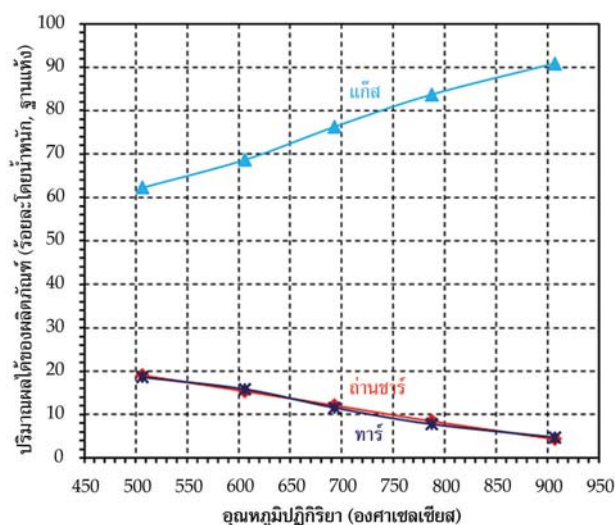
ผลวิเคราะห์สมบัติแบบแยกธาตุในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เหง้ามันสำปะหลังของงานวิจัยนี้มีปริมาณคาร์บอนต่ำและปริมาณออกซิเจนสูง เมื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าความร้อนจึงทำให้มีค่าความร้อนต่ำ นอกจากนี้ปัจจัยที่ทำให้มีค่าความร้อนต่ำนั้นเป็นผลมาจากชีวมวลมีปริมาณเถ้าสูง ซึ่งจะเห็นได้ว่า เหง้ามันสำปะหลังของงานวิจัยนี้มีปริมาณเถ้ามากกว่าร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก

2. ปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นจาก 506 เป็น 907 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 68.7 เป็น 90.9 โดยน้ำหนัก ขณะที่ปริมาณผลได้ของถ่านชาร์และทาร์ลดลงอย่างต่อเนื่องจากประมาณร้อยละ 19 เป็น 4 โดยน้ำหนัก ปริมาณแก๊สที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิไพโรไลซิสที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจากการสลายตัวทางเคมีความร้อนของชีวมวลได้สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Lanza, R. et al. [21] ที่รายงานว่า อุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 700 เป็น 900 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณผลได้ของแก๊สเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 65 เป็น 95 โดยน้ำหนัก

อย่างไรก็ตาม ปริมาณผลได้ของแก๊สเชื้อเพลิงจากเหง้ามันสำปะหลังในงานวิจัยครั้งนี้ก็สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Billaud, J. et al. [22] ที่รายงานว่า การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีเลื่อยขนาดอนุภาค 0.315 - 0.450 มิลลิเมตร ที่มีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก ในเครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ

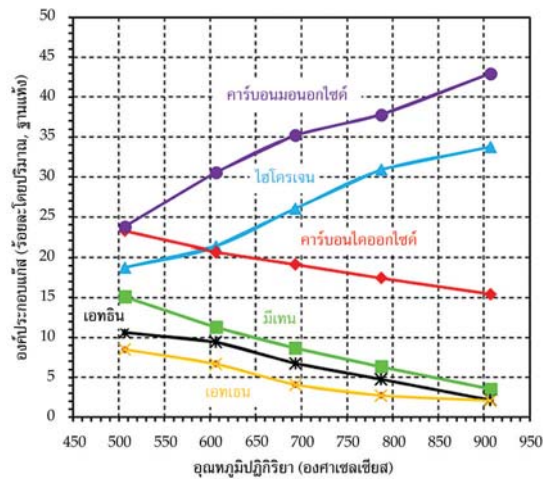
ที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 900 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลได้ของแก๊สร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไชน์เบดสำหรับงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการสลายตัวทางเคมีความร้อนสูงกว่า เครื่องปฏิกรณ์แบบคอกัสต์อย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าต้นทุนสำหรับพลังงานงานวิจัยนี้จะมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 13.2 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์

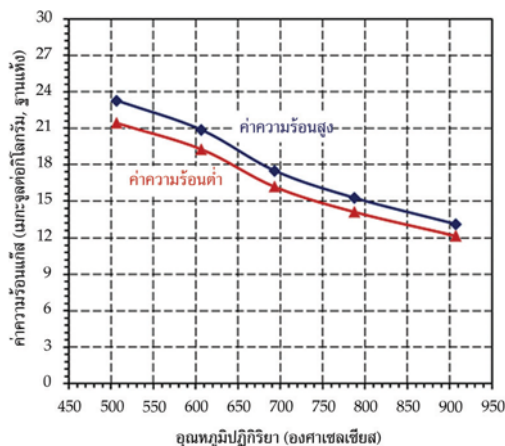
องค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 506 เป็น 907 องศาเซลเซียส ขณะที่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน เอทิน และเอเทน ลดลงอย่างชัดเจนตามอุณหภูมิปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวทางเคมีความร้อนของโครงสร้างแก๊สเชื้อเพลิงในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน เอทิน และเอเทน ทำให้โครงสร้างของไฮโดรเจนที่อยู่ในแก๊สเหล่านี้หลุดออกกลายเป็นแก๊สไฮโดรเจนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งการผลิตแก๊สเป็นกระบวนการที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ($2C + O_2 = 2CO$) จึงทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Chutichai, B. et al. [23] ที่รายงานว่า การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีเลื่อยในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไชน์เบดแบบหมุนเวียนที่อุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 900 องศาเซลเซียส องค์ประกอบของแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 43 เป็น 60 โดยปริมาตร และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5 เป็น 25 โดยปริมาตร ขณะที่องค์ประกอบของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงจากร้อยละ 35 เป็น 15 โดยปริมาตร และแก๊สมีเทนลดลงจากร้อยละ 18 เป็น 0 โดยปริมาตร

เมื่อนำองค์ประกอบแก๊สจากรูปที่ 3 มาคำนวณค่าความร้อนของแก๊สตามสมการที่ (1) และ (2) จะได้ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงดังรูปที่ 4 ที่แสดงให้เห็นว่า ค่าความร้อนของแก๊สลดลงอย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจาก 506 เป็น 907 องศาเซลเซียส เพราะว่าองค์ประกอบแก๊สในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน เอทิน และเอเทน มีปริมาณลดลงจึงส่งผลให้ค่าความร้อนของแก๊สลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นที่ทราบว่าแก๊สเหล่านี้มีค่าความร้อนและความหนาแน่นสูง เมื่อแก๊สเหล่านี้มีปริมาณลดลงจึงส่งผลให้ค่าความร้อนของแก๊สลดลง



รูปที่ 3 ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิง (ไม่คิดแก๊สพาในระบบ)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากเตาหมันสำหรับผลิตในงานวิจัยครั้งนี้กับงานวิจัยของ Chutichai, B. et al. [23] ที่ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีเลื่อยในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไชเบคแบบหมุนเวียน พบว่าค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากงานวิจัยนี้สูงกว่า ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากงานวิจัยนี้ได้แก๊สเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของเอทิลีน และเอทิลีน ขณะที่งานวิจัยของ Chutichai, B. et al. [23] ตรวจไม่พบองค์ประกอบแก๊สเหล่านี้ เพราะว่าเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไชเบคแบบหมุนเวียนมีระบบเผาไหม้ถ่านชาร์ที่เคลือบบนตัวกลางถ่ายโอนความร้อน จึงอาจเป็นไปได้ว่าแก๊สเอทิลีนและเอทิลีนถูกเผาไหม้ในระบบนี้จึงทำให้องค์ประกอบแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากงานวิจัยของ Chutichai, B. et al. [23] สูงกว่าแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากงานวิจัยนี้อย่างชัดเจน

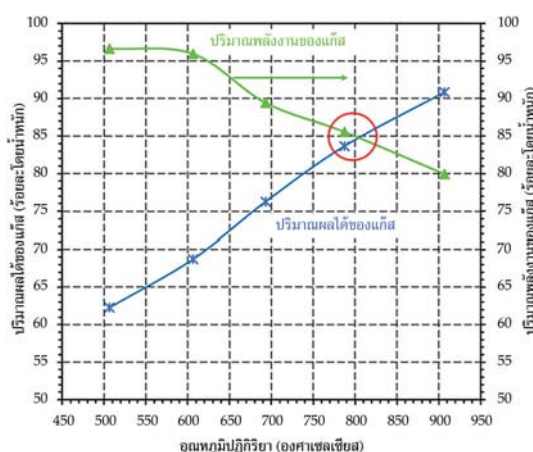


รูปที่ 4 ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง

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

ปริมาณผลได้ของแก๊สที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 62.3 เป็น 90.9 โดยน้ำหนัก โดยจะเห็นว่าปริมาณพลังงานที่ได้มีผลกระทบโดยตรงมาจากค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง ดังนั้นค่าความร้อนของแก๊สลดลงจึงทำให้ปริมาณพลังงานลดลงเช่นกัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลได้ของแก๊สเชื้อเพลิงกับปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงในรูปที่ 5 จะเห็นว่า อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิปฏิกิริยาที่เหมาะสมทั้งปริมาณผลได้ของแก๊สเชื้อเพลิงและปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเต้าน้ำมันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบด เพราะมีปริมาณผลได้ของแก๊สร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก และปริมาณพลังงานของแก๊สร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก จึงเป็นอุณหภูมิปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดที่อัตราการป้อนชีวมวล 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง



รูปที่ 5 ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อปริมาณผลได้และปริมาณพลังงานของแก๊สเชื้อเพลิง

สรุปผลการทดลอง

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากเต้าน้ำมันสำปะหลังในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบดที่อุณหภูมิปฏิกิริยา 900 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลได้ของแก๊สสูงสุทธ้อยู่ที่ 90.9 โดยน้ำหนัก แต่ผลวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สพบว่า แก๊สในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน คือ มีเทน เอทิลีน และเอทเธน มีปริมาณลดลงส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำลงต่ำสุดเป็น 12 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เมื่ออุณหภูมิปฏิกิริยาที่เหมาะสมพบว่า อุณหภูมิปฏิกิริยา 800 องศาเซลเซียส คือ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ เพราะมีปริมาณผลได้ของแก๊สและปริมาณพลังงานของแก๊สร้อยละ 85 โดยน้ำหนัก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายกิตติวัฒน์ จันทรประทักษ์ นางสาวรฤทัย เสตสิงห์ และนายสุกอรธ นำนันทิต ที่ช่วยเก็บข้อมูลงานวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณบุคลากรในสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ทุกท่านที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

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 kWth 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.jaap.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] Sermiyagina, 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). Availble (https://www.engineeringtoolbox.com/heating-values-fuel-gases-d_823.html)
- [20] Çengel, Y. A. and Boles, M. A. (2006). **Thermodynamics: An Engineering Approach 5th 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 H₂O, CO₂ and O₂ 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



การศึกษาคุณสมบัติความแข็งและความทนต่อแรงกระแทกของพื้นอีพ็อกซีนาโนคอมโพสิตจากวัสดุทางเลือก

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

เชมจิต เสนา^{1*} ชัยภัทร เครือหงส์¹ และสายฝน เครือหงส์¹

Received: December, 2017; Accepted: February, 2018

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาของการเติมสารหรือวัสดุเสริมแรงลงในอีพ็อกซี ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตติงที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นงานไฟเบอร์กลาสเพื่อเป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ หรือใช้เคลือบพื้นผิว อีกทั้งใช้สำหรับปูพื้นโรงงานและสถานที่ต่าง ๆ ทำให้มีความสวยงาม สะอาดและคงทน โดยวัสดุที่ใช้เติมลงไปมีสองชนิดคือ เถ้าลอย ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือเป็นปริมาณมากจากการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหิน และวัสดุอีกชนิดหนึ่งคือ นาโนคาร์บอนรูปทัวทอมต่อกันคล้ายโซ่ ซึ่งเป็นรูปหนึ่งของนาโนคาร์บอนที่สามารถสังเคราะห์ได้จากวิธีอาคัยเปลวไฟจากการเผาไหม้โดยใช้ข้อดีของเถ้าลอยคือ ใช้เป็นสารเพิ่มปริมาตรและเพิ่มความแข็งแรง เนื่องจากมีส่วนผสมของซิลิกาและอลูมินา และนาโนคาร์บอนรูปทัวทอมต่อกันคล้ายโซ่ซึ่งมีความแข็งแรงของคาร์บอนและมีลักษณะใหม่เป็นโซ่ ทำให้คุณสมบัติทางกลเป็นที่น่าสนใจเมื่อเปรียบเทียบกับสารตัวเติมและเส้นใยเสริมแรงชนิดอื่น ๆ

คำสำคัญ : การทดสอบคุณสมบัติทางกล; อีพ็อกซีเรซิน; เถ้าลอย; นาโนคาร์บอนรูปทัวทอมต่อกันคล้ายโซ่; นาโนคอมโพสิต;

¹ 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 ในการแก้ปัญหานี้ได้มีการพัฒนาพลาสติกผสมขึ้นมา คือการนำอนุภาคหรือเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูงมาผสมกับพลาสติก ทำให้พลาสติกมีความแข็งแรงด้านต่าง ๆ สูงขึ้น และยังคงมีน้ำหนักเบา แต่ปัญหายังมีอยู่คือเมื่อเทียบกับโลหะจำพวกเหล็ก วัสดุผสมยังมีความแข็งแรงและความคงทนต่อการขีดข่วนด้อยกว่า ด้วยเหตุผลนี้จึงมีแนวคิดที่จะวิจัยพัฒนาให้วัสดุผสมมีความแข็งแรงมากขึ้น

คอมโพสิตหรือวัสดุผสม (Composite) เป็นวัสดุที่มีหลายเฟส ผลิตจากวัสดุที่เป็นองค์ประกอบสองชนิดหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน ประกอบด้วย วัสดุที่เป็นเนื้อพื้นเรียกว่าเมทริกซ์ และวัสดุที่เป็นส่วนเสริมแรงซึ่งกระจายตัวอยู่ในเนื้อพื้นโดยทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของเนื้อพื้นให้สูงขึ้น [2] พลาสติกผสม (Polymer Composite) หรือพลาสติกชนิดเสริมแรง มีโพลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ ผสมกับวัสดุเสริมแรง การเสริมแรงจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเรื่องความแข็งแรง ความแข็งแรง ความแข็งตึง หรือความสามารถในการยึดหดตัว โพลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็นได้ทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติง [3] พลาสติกที่เสริมแรงด้วยเส้นใย เส้นใยอาจมีความยาวต่อเนื่องตลอดความยาวของเมทริกซ์ หรือกรณีเส้นใยสั้นมีความยาวไม่ต่อเนื่อง เส้นใยอาจกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบหรือไม่เป็นระเบียบอยู่ในเมทริกซ์ ความแข็งแรงของวัสดุจะถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของเส้นใย สัดส่วนโดยปริมาตรของเส้นใย การเรียงตัว ความยาวและการกระจายตัวของเส้นใย ความแข็งแรงของพันธะซึ่งจะต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้แรงกระทำจากภายนอกสามารถแยกเส้นใยและเมทริกซ์ออกจากกัน นอกจากนี้ยังสามารถเติมสารต่าง ๆ เข้าไปในเมทริกซ์ เพื่อเพิ่มเนื้อวัสดุและทำให้คุณสมบัติด้านต่าง ๆ ดีขึ้นอีกด้วย

อีพ็อกซี (Epoxy) จัดอยู่ในกลุ่มเทอร์โมเซตติงโพลิเมอร์ (Thermosetting Polymer) คือ เมื่อผ่านกระบวนการผลิตในครั้งแรกแล้วจะมีความแข็งแรงทนทานเป็นอย่างมาก ไม่คืนรูป และไม่สามารถรีไซเคิลหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อีพ็อกซีเป็นโคโพลิเมอร์ (Copolymer) หมายความว่า เป็นโพลิเมอร์ชนิดที่ประกอบด้วย โมโนเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยทั่วไปอีพ็อกซีได้จากการทำปฏิกิริยาของบิสฟีนอลเอ (Bisphenol A) กับอีพิคลอโรไฮดรินโมโนเมอร์ (Epichlorohydrin Monomer) และสารเพิ่มความแข็งแรง (Hardener) ซึ่งเป็นสารประเภทโพลิเอมีน (Polyamine) โดยในการทำปฏิกิริยาอาจมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้าไปเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาด้วยได้ [4] ประโยชน์และการนำไปใช้ของอีพ็อกซีเรซิน คือ ใช้เป็นกาวและสารยึดติด อีพ็อกซีเรซินสามารถใช้ยึดติดกับวัสดุได้หลากหลายประเภท เช่น ไม้ เหล็ก ไฟเบอร์ แก้ว พลาสติก คอนกรีต เป็นต้น นิยมใช้เป็นสารเคลือบผิว ในการเคลือบผิวของอาคาร พื้นอาคาร พื้นโรงงาน เนื่องจากอีพ็อกซีมีคุณสมบัติทนต่อแรงกระแทก การขีดขีด เลียคลี ทนกรดและเบส ทนความร้อนได้ดี แต่ไม่ทนต่อ UV จึงมักถูกประยุกต์ใช้ภายในอาคาร นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ในด้านอื่น ๆ เช่น เป็นสารเคลือบภายในถังบรรจุสารเคมี ใช้เป็นแบบหล่อในการผลิตเครื่องมือต่าง ๆ ในทางอุตสาหกรรม อีพ็อกซียังถูกนำไปใช้ในระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าต่าง ๆ ใช้ในการผลิตมอเตอร์ หม้อแปลง เป็นต้น

เถ้าลอย หรือเถ้าปลิว (Fly Ash) คือเถ้าที่หลงเหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ มีขนาดเล็กและละเอียดมากประกอบด้วยสารหลักคือซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอลูมินา หรืออลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และออกไซด์ของธาตุอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบ เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผาถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจำนวนมาก และถือเป็นขยะอันตรายที่มักส่งผลกระทบต่อปัญหาทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์โดยเฉพาะบริเวณใกล้เคียง เถ้าลอยมีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ไปจนถึง 200 ไมครอน เถ้าลอยได้ถูกใช้เป็นสารตัวเติมที่เป็นทรงกลมมานานหลายปี โดยส่วนใหญ่ใช้ในการศึกษาของงานทางวิศวกรรมโยธา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีความแข็งแรงสูง [5] ในปัจจุบันได้มีการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และกระบวนการผลิตคอนกรีตต่าง ๆ

นาโนคาร์บอนรูปหัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ (Chain-Like Carbon Nono-Onions, CLCNOs) เป็นวัสดุนาโน คำนพบโดยบังเอิญมีลักษณะคล้ายนาโนคาร์บอนทรงกลมภายในเป็นชั้น ๆ และจับตัวกันเป็นลูกโซ่ เป็นวัสดุที่ใหม่และสังเคราะห์ได้ง่าย ราคาถูก จึงเป็นนาโนคาร์บอนหลักที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวิธีการสังเคราะห์สองวิธีการด้วยกันคือ วิธีตกตะกอนไอเคมี (CVD) และวิธีอาศัยเปลวไฟจากการเผาไหม้ [6]

ด้วยคุณสมบัติที่ดีในด้านต่าง ๆ ทั้งเถ้าลอยและนาโนคาร์บอนจึงถูกนำมาผสมกับวัสดุชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะโพลิเมอร์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกล ทางไฟฟ้า และทางความร้อน ในอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติของโพลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัว (โพลิเอสเตอร์เรซิน) ผสมกับเถ้าลอย พบว่าอนุภาคเถ้าลอยช่วยเพิ่มความแข็งแรงดึงหรือค่ามอดูลัสการดึงของเรซินทุกช่วงอุณหภูมิ ในขณะที่ความแข็งแรงการดึงสูงสุดจะมีค่าลดลง สืบเนื่องมาจากการขีดขวางความสม่ำเสมอของเนื้อวัสดุ โดยเถ้าลอย อีกทั้งความละเอียดของเถ้าลอยที่มากเกินไปทำให้การกระจายตัวของเถ้าลอยต่ำ และมีการเกาะกลุ่มกันเองของเถ้าลอย โดยได้มีการเติมเถ้าลอยเป็นปริมาณสูง (10 - 40 %) ลงในโพลิเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัวที่ผ่านการปรับปรุงผิว [5] การเติมเถ้าลอยที่ปริมาณมาก ๆ จะทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงมากขึ้น

แอ่นตัวน้อยลง (Stiffer) และมีเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดลดลง เช่นเดียวกับการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นวัสดุเฟสที่สามลงไปไนโพลีเอสเตอร์ [7] นอกจากนั้นยังได้มีการศึกษาถึงพฤติกรรมการขัดสีของโพลีเอสเตอร์คอมโพสิตที่ผสมเถ้าลอยและไฟเบอร์กลาส ความเสียหายที่ขึ้นกับแรงขัดสีและระยะทางการลื่นไถลของแรงนั้น จากการศึกษาพบว่าค่าความเสียหายจากการขัดสี (Wear Loss) จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อใช้แรงค่าที่สุทธกระทำบนวัสดุที่ผสมเถ้าลอยเป็นปริมาณสูงที่สุด [5]

โพลิเมอร์ชนิดอื่นที่นำมาใช้ผสมกับเถ้าลอยเพื่อเป็นคอมโพสิตเพื่อใช้งานได้อีกก็มี เช่น โพลีเอทิลีน ความหนาแน่นต่ำผสมกับเถ้าลอยที่ปริมาณสูง 10 - 50 % โดยน้ำหนัก พบว่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุผสมมีค่าสูงสุดที่ปริมาณเถ้าลอยเท่ากับ 20 % โดยน้ำหนัก [8] หรือในการผสมโพลีเอทิลีนเทอร์พาทเรทกับเถ้าลอยสามารถลดการหดตัวและเพิ่มสมบัติความต้านทานแรงกดได้สูงถึง 53 % [9] นอกจากนั้นยังได้ศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงในโพลีเอทิลีนจะทำให้ความสามารถในการขึ้นรูปได้น้อยกว่าเถ้าลอยในปริมาณเท่ากัน ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากผลของรูปร่างเถ้าลอยซึ่งมีลักษณะกลม [10] ได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ของการเพิ่มปริมาณการใช้เถ้าลอยเป็นสารตัวเติมของผลิตภัณฑ์โพลีเอทิลีนที่ขึ้นรูปจากกระบวนการแม่พิมพ์หมุนเหวี่ยง ซึ่งผลมกันทั้งแบบแห้งและแบบเปียก โดยใช้ปริมาณเถ้าลอยที่ 20 - 40 % โดยน้ำหนัก พบว่าการผสมแบบเปียก (Melt Blending) สามารถขึ้นรูปได้ดีกว่าแบบแห้ง (Dry Blending) ที่ปริมาณการผสมสูง ๆ แต่สมบัติเชิงกลโดยรวมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากโพลีเอทิลีนได้รับความเค้นเฉือนมากทั้งการผสมทั้งแบบแห้งและแบบเปียกซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเสื่อมสภาพของโมเลกุลและทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดต่ำลง และความสามารถเข้ากันได้ระหว่างโพลีเอทิลีนและเถ้าลอย ทำให้เนื้อวัสดุคอมโพสิตมีความไม่ต่อเนื่องและมีจุดบกพร่องเกิดขึ้น [11]

วัสดุคอมโพสิตระหว่างอีพ็อกซีเรซินและเถ้าลอยได้มีผู้ศึกษาไม่มากนัก แต่ก็ได้มีผลการศึกษาคล้ายกับโพลิเมอร์ชนิดอื่นคือ เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยในอีพ็อกซี จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง ค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น [5] ในขณะที่มีผลการศึกษาพฤติกรรมความทนต่อแรงกระแทกของอีพ็อกซี/เถ้าลอยคอมโพสิต โดยการปรับปรุงผิวเถ้าลอยด้วยสารต่าง ๆ พบว่าทำให้พลังงานในการดูดซับและการรับแรงกระแทกมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากมีพลังงานในการยึดเกาะสูงขึ้น เมื่อเทียบกับคอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวเถ้าลอย [12] นอกจากนั้นยังมีการศึกษาในส่วนของการเชื่อมโยงสายโซ่โดยการให้ความร้อนโดยตรงและการใช้คลื่นไมโครเวฟแก้อีพ็อกซีเรซินและเถ้าลอยที่ 20 และ 80 phr พบว่าการใช้คลื่นไมโครเวฟทำให้ระยะเวลาในการเชื่อมสายโซ่สั้นกว่า ความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดมีค่าสูงกว่า ขณะที่ค่ามอดูลัสแรงดึงและแรงคดมีค่าต่ำกว่าการให้ความร้อนโดยตรง และยังพบว่าค่าความทนต่อแรงกระแทกเมื่อผสมเถ้าลอยที่ 20 phr จะมีค่ามากกว่าเมื่อผสมเถ้าลอย 80 phr [13]

ในส่วนของนาโนคาร์บอน/โพลิเมอร์คอมโพสิตนั้น ได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่องทั้งคุณสมบัติทางกล ทางไฟฟ้าหรือทางความร้อน อีกทั้งโครงสร้างของนาโนคาร์บอนที่ต่างกันไป เช่น ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (MWNTs: Multi-Wall Carbon Nanotubes) และท่อคาร์บอนผนังชั้นเดียว (SWNTs: Single-Wall Carbon Nanotubes) ซึ่งสมัยก่อนสามารถสังเคราะห์ได้ช้าและมีราคาแพง เมื่อนำมาทำเป็นวัสดุผสมและขึ้นรูปในลักษณะต่าง ๆ จะเห็นว่าการเติมนาโนคาร์บอนลงไปทำให้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นหรือความแข็งดิ่งยืดหยุ่น (Elastic Stiffness) ของโพลิเมอร์สูงขึ้น ตัวอย่างเช่น การทดสอบคุณสมบัติทางกลของโพลีไครนิกับท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น (MWNTs) ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าโดยมีความยาวท่อคาร์บอนสองขนาดคือ 15 และ 50 ไมโครเมตร ใส่เป็นปริมาณเพียง 1 %w ทำให้ค่ามอดูลัส

ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์เพิ่มขึ้น 36 % และ 42 % นอกจากนั้นยังพบว่าทั้งสองกรณีให้ค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นประมาณ 25 % อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงและอัตราส่วนของท่อนาโนคาร์บอนจะมีความซับซ้อนมาก โดยพบว่าเมื่อมีท่อนาโนคาร์บอนน้อยกว่า 10 %v ความต้านทานแรงดึงจะลดลง แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณท่อนาโนคาร์บอนเกินกว่า 15 %v จนถึง 25 %v [14] สำหรับอีพ็อกซีนาโนคาร์บอนคอมโพสิตได้มีผู้ศึกษาคุณสมบัติทางกลของอีพ็อกซีผสมกับท่อนาโนคาร์บอนผงหลายชั้น และพบว่าค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของการกดมีมากกว่าการดึง ซึ่งอธิบายได้โดยใช้หลักการถ่ายโอนภาระหรือการกระจายความเค้นไปยังท่อนาโนคาร์บอนของการกดซึ่งดีกว่าการดึง [15] นอกจากนั้นยังได้มีการทดสอบอีพ็อกซีผสมกับท่อนาโนคาร์บอนและซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ปริมาณท่อนาโนคาร์บอน 0.1 % ถึง 1 % พบว่าทำให้มีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น มีอัตราการสึกหรอลดลง สำหรับประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ [16]

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าการผสมเถ้าลอยและนาโนคาร์บอนปริมาณมาก ๆ จะทำให้ความต้านทานแรงดึงและความทนต่อแรงกระแทกลดลง แต่จะเพิ่มความต้านทานแรงกด ค่าความแข็งแรงดึงหรือมอดูลัสความยืดหยุ่นทำให้วัสดุไม่แอ่นตัว นอกจากนั้นยังช่วยให้วัสดุผสมลดการหดตัว และสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้นได้

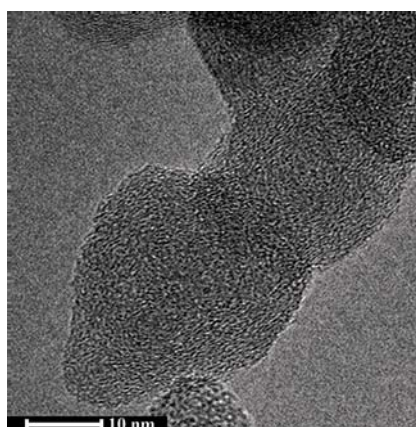
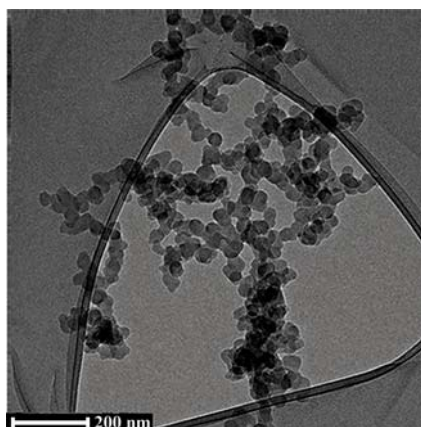
ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาวัสดุผสมชนิดสามเฟสหรือวัสดุที่ประกอบไปด้วย อนุภาคสามส่วนอยู่ด้วยกันคือ อีพ็อกซี เถ้าลอย และนาโนคาร์บอนรูปห้วทอมต่อกันคล้ายโซ่ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผสมสารตัวเดิม เพื่อเพิ่มความทนต่อการขีดข่วนและความแข็งแรง โดยใช้เถ้าลอยซึ่งมีซิลิกาเป็นส่วนผสม ผสมกับอีพ็อกซีเรซินเมตริกซ์ นอกจากนั้นยังผสมนาโนคาร์บอนเข้าไปอีกเพื่อให้มีความแข็งแรงยิ่งขึ้น มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงขึ้น อีกทั้งเป็นสารเพิ่มปริมาณและเป็นการนำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่ได้ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติความแข็งแรงและความทนต่อแรงกระแทกที่แปรผันไปตามอัตราส่วนหรือปริมาณส่วนผสมของสารตัวเดิมทั้งสองชนิดที่ปริมาณน้อย ๆ (ไม่เกิน 15 %) โดยให้ตัวแปรอื่นคงที่ อีกทั้งทำการส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของอีพ็อกซีคอมโพสิตดังกล่าว จากการศึกษาทำให้ทราบถึงปริมาณของสารตัวเดิม เพื่อช่วยทำให้คุณสมบัติทางกลบางด้านของอีพ็อกซีดีขึ้นโดยใช้ตัวเดิมทั้งสองชนิดที่ปริมาณไม่มากนัก ได้วัสดุที่มีความแข็งแรง มีน้ำหนักเบา ทนต่อการขีดข่วน จึงเป็นการช่วยให้สามารถเลือกวัสดุได้อย่างเหมาะสมกับงานชนิดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นงานหล่อ เคลือบผิว หรือปูพื้น ได้เป็นอย่างดี

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้

อีพ็อกซีเรซิน (Epoxy Resin) ชื่อทางการค้า Yb-128 จากบริษัท C-Society ประเทศไทย มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวใส มีค่าความหนาแน่น 1.16 g/mL เถ้าลอย (Fly Ash) จากโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ประเทศไทย มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลม ขนาดต่ำกว่า 5 ไมครอน และนาโนคาร์บอนรูปห้วทอมต่อกันคล้ายโซ่ (Chain-Like Carbon Nano-Onions, CLCNOs) นาโนคาร์บอนโครงสร้างหนึ่ง ที่สังเคราะห์ได้เองโดยใช้วิธีอาศัยเปลวไฟจากการเผาไหม้

การสังเคราะห์นาโนคาร์บอนรูปท่อนมอดอกันคล้ายโซ่ เริ่มจากการตัดแผ่นสแตนเลส 304 ขนาด $4 \times 4 \text{ cm}^2$ มาทำความสะอาดผิวหน้าแล้วแช่ด้วยสารละลายเอทานอลแล้ววางในอ่างอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที ปลอ่ยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปเก็บในโถสุญญากาศเพื่อรอการใช้งาน สำหรับเป็นตัวรองรับและตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์นาโนคาร์บอน ใช้เทียนไขทั่วไป (Candle Light Pratheep, Thailand) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ใส่เทียนขนาด 0.5 เซนติเมตร เป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอนและความร้อน โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นสแตนเลสกับไส้เทียนประมาณ 3 เซนติเมตร เพื่อให้ได้อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการเกิดนาโนคาร์บอนรูปท่อนมอดอกันคล้ายโซ่ตามที่ต้องการ โดยใช้เวลาในการสังเคราะห์ 5 นาที [6] นาโนคาร์บอนรูปท่อนมอดอกันคล้ายโซ่ที่สังเคราะห์ได้สามารถเห็นโครงสร้างได้จากรูปที่ 1 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM)



(ก) ภาพถ่าย TEM ที่กำลังขยาย 10000 เท่า (ข) ภาพถ่าย TEM ที่กำลังขยายสูง
รูปที่ 1 ลักษณะและคุณสมบัติของ CLCNOs ที่สังเคราะห์ได้บนแผ่นสแตนเลส 304 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีอาศัยเปลวไฟจากการเผาไหม้ของเทียนไข

2. การเตรียมชิ้นงานเพื่อการทดสอบทางกลและทางสัณฐานวิทยา

การเตรียมชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบสามารถเตรียมได้โดยใช้แม่พิมพ์ซิลิโคน ตามขนาดและจำนวนที่เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกแบบชาร์ปี ASTM D6110 และมาตรฐานการทดสอบความแข็ง ASTM D785 ผสมอีพ็อกซีเรซินและเถ้าลอยโดยใช้วิธีการตวงด้วยบีกเกอร์และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล จากนั้นคนให้เข้ากันใช้เวลาประมาณ 4 นาที จึงค่อยเติมตัวทำแข็งลงไป คนให้เข้ากันอีกประมาณ 4 นาที เทลงในแม่พิมพ์ซิลิโคน ทิ้งไว้ให้เย็นภายใต้อุณหภูมิห้องและดูดไล่ฟองอากาศออกโดยใช้ปั๊มสุญญากาศประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง การผสมอีพ็อกซีเรซินกับเถ้าลอยจะใช้อัตราส่วนผสม 1 2 3 5 10 และ 15 % โดยปริมาตร แล้วจึงนำไปทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งทั้งด้านบนและด้านล่างชิ้นงาน จากนั้นนำอัตราส่วนผสมที่ได้ค่าการทดสอบทางกลดีที่สุดมาใช้ในการทดสอบการผสมแบบสามเฟส (อีพ็อกซี เถ้าลอย และนาโนคาร์บอนรูปท่อนมอดอกันคล้ายโซ่) โดยการผสมอีพ็อกซี/

เถ้าลอยคอมโพสิตด้วยนาโนคาร์บอนรูปทัวทอมต่อกันคล้ายโซ่ลงไปอีกที่อัตราส่วนผสม 1 1.5 2 2.5 และ 3 % โดยปริมาตร ใช้วิธีการผสมและการขึ้นรูปเช่นเดียวกับอีพ็อกซี/เถ้าลอยคอมโพสิต แล้วนำไปทดสอบความแข็งแรง ส่วนการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกก็ใช้วิธีการเตรียมชิ้นงานแบบเดียวกันเพียงแต่ขนาดชิ้นงานมีขนาดต่างกัน

3. อุปกรณ์และสภาวะในการทดสอบ

3.1 การทดสอบทางกล การทดสอบความแข็งแรงจะใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรง 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 ในขณะที่เครื่องทดสอบการกระแทกเป็นแบบชาร์ปี ยี่ห้อ CEAST รุ่น Resil Impactor โดยต้องมีการทำรอยบากเสียก่อนด้วยเครื่องทำรอยบาก (Charpy Cutting Machine) ยี่ห้อ BLACKS จากนั้นนำมาทำการวัดความกว้างของฐานถึงรอยบากและความหนาของชิ้นงานด้วยไมโครมิเตอร์บันทึกข้อมูลไว้ ค้อนเหวี่ยงจะใช้ค้อนเหวี่ยงขนาด 2.75 จูล ซึ่งมีความเร็วในขณะกระทบ 3.46 เมตรต่อวินาที โดยการทดลองทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (23°C)

3.2 การทดสอบทางสัณฐานวิทยา เป็นการทดสอบเพื่อคุณลักษณะและการกระจายตัวของเถ้าลอยและอนุภาคนาโนคาร์บอนรูปทัวทอมต่อกันคล้ายโซ่โดยนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกมาพิจารณาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น 1450 ซึ่งก่อนทำการทดสอบต้องทำการเคลือบฉาบผิวด้วยทอง ด้วยเครื่องฉาบผิวด้วยทอง (Sputter Coater) ภายใต้ภาวะสุญญากาศและให้กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

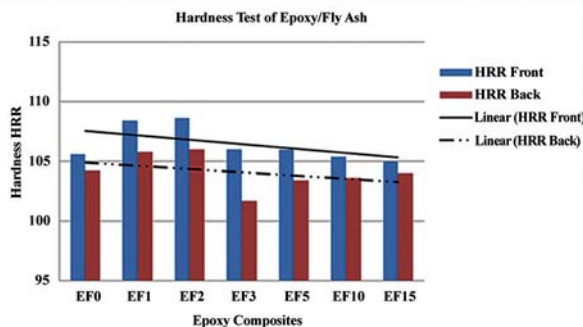
ผลการทดลอง

1. ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงเบร็คเวลล์ของอีพ็อกซี/เถ้าลอยและนาโนคาร์บอนรูปทัวทอมต่อกันคล้ายโซ่คอมโพสิต

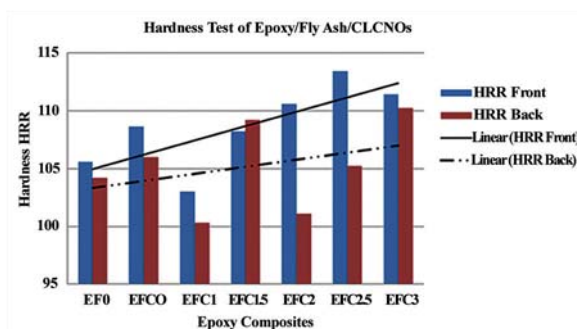
การทดสอบเริ่มจากการทดสอบความแข็งแรงเบร็คเวลล์ของชิ้นงานอีพ็อกซีคอมโพสิตผสมกับเถ้าลอยก่อน โดยอัตราส่วนผสมอยู่ที่ 0 - 15 % โดยปริมาตร (EF0 - EF15) โดยใช้จำนวนชิ้นงานหนึ่งชิ้นต่อหนึ่งตัวอย่าง นำมาครบบริเวณต่าง ๆ 5 จุด ด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน ระยะห่างระหว่างจุดควรห่างกันอย่างน้อย 3 เท่าของขนาดหัวกด ในที่นี้ใช้หัวบอลขนาด ½ นิ้ว แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่าความแข็งแรงเบร็คเวลล์สเกล R (HRR) จากนั้นนำค่าที่มีความแข็งแรงสูงที่สุด (ในที่นี้คืออัตราส่วนผสมเถ้าลอย 2 % โดยปริมาตร) ไปผสมกับนาโนคาร์บอนรูปทัวทอมต่อกันคล้ายโซ่ที่อัตราส่วนผสม 0 - 3 % โดยปริมาตร (EFC0 - EFC3 โดยที่ EF0 คือ อีพ็อกซีเรซินที่ไม่มีสารตัวเติมใด ๆ) แล้วทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงด้านบนและด้านล่างเพื่อศึกษาการตกตะกอนของอนุภาคอีกครั้ง (รูปที่ 2)

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงของอีพ็อกซี/เถ้าลอยคอมโพสิตสูงสุดอยู่ที่การผสมเถ้าลอย 2 % แต่โดยรวมแล้วมีแนวโน้มที่จะลดลงทั้งทางด้านบนและด้านล่างของชิ้นงานตามอัตราส่วนผสมเถ้าลอยที่เพิ่มมากขึ้น สาเหตุน่าจะเกิดจากลักษณะของเถ้าลอยที่มีลักษณะกลมจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคเพิ่มมากขึ้น หรือการจับตัวที่ไม่ค่อยดีนักของเถ้าลอยและอีพ็อกซี ส่วนด้านล่างที่ความแข็งแรงน้อยกว่าด้านบนอาจเป็นเพราะความขรุขระของพื้นผิวด้านล่างของพื้นที่เทอีพ็อกซีลงไปร่วมด้วย และภายหลัง

จากที่นำส่วนผสมนี้ไปผสมกับนาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่แล้วจะเห็นว่าค่าความแข็งมีการแกว่งตัวแต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งด้านบนและด้านล่างตามปริมาณนาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากนาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่มีลักษณะเป็นสายโซ่จับตัวกับอีพ็อกซีได้ดีกว่าเถ้าลอยและความแข็งกว่าเถ้าลอยมาก ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งขึ้นทั้งด้านบนและด้านล่าง



(ก) อีพ็อกซี/เถ้าลอย



(ข) อีพ็อกซี/เถ้าลอย/นาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่

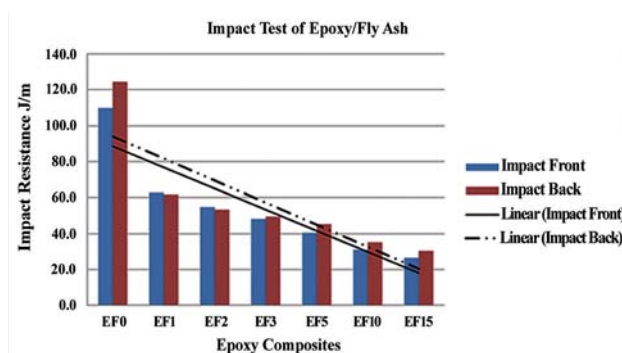
รูปที่ 2 ค่าความแข็งร็อกเวลล์สเกล R ของคอมโพสิตสองเฟสและสามเฟสด้านบนและด้านล่างขึ้นงาน

2. ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทกของอีพ็อกซี/เถ้าลอยและนาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่คอมโพสิต

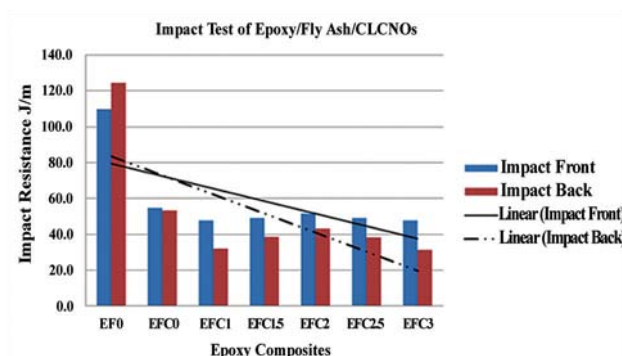
การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกแบบชาร์ปีของอีพ็อกซีคอมโพสิตกระทำเช่นเดียวกัน โดยทดสอบกับอัตราส่วนผสมต่าง ๆ กันของเถ้าลอยก่อน ทั้งลักษณะวางเอาด้านบนหงายขึ้นและด้านล่างหงายขึ้น (เพื่อศึกษาความแตกต่างที่เกิดจากการตกตะกอนและความขรุขระของพื้นผิว) แล้วจึงทดสอบการผสมกับนาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ต่อไป

ผลจากการทดสอบ (รูปที่ 3) จะเห็นว่าค่าพลังงานที่ทำให้เกิดการแตกหักของชิ้นงานวัสดุคอมโพสิต หรือค่าการทนต่อแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิต จะมีค่าน้อยกว่าอีพ็อกซีที่ไม่ผสมสารใด ๆ ก่อนข้างมาก และมีแนวโน้มว่าจะลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมของเถ้าลอยและนาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการผสมสารตัวเดิมทำให้การกระจายตัวของแรงภายนอกผ่านไปยังเถ้าลอยหรือนาโนคาร์บอนต้องผ่านรอยต่อระหว่างอนุภาคเถ้าลอย นาโนคาร์บอนและโพลิเมอร์

ทำให้คอมโพสิตรับแรงได้ไม่คืนนัก โดยผลของการตกตะกอนและลักษณะพื้นผิวจะไม่มีผลกับค่าความทนต่อแรงกระแทกในกรณีของเถ้าลอย แต่จะมีผลเมื่อใส่คาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่เข้าไป โดยค่าความทนต่อแรงกระแทกเมื่อวางเอาด้านบนของการหล่อขึ้นรูปขึ้นในการทดสอบแบบชาร์ปี จะมีค่ามากกว่าเมื่อเอาด้านล่างที่เกิดการตกตะกอนและมีพื้นผิวที่ขรุขระกว่าหงายขึ้นทดสอบ



(ก) อีพ็อกซี/เถ้าลอย

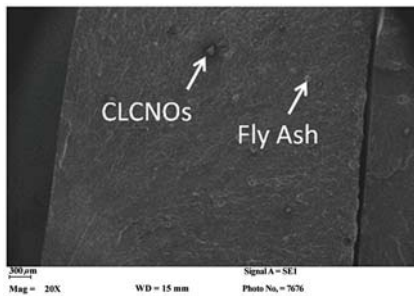


(ข) อีพ็อกซี/เถ้าลอย/นาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่

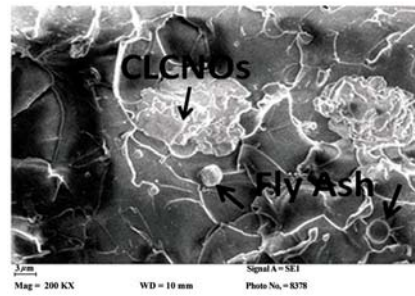
รูปที่ 3 ค่าการทนต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตสองเฟสและสามเฟสด้านบนและด้านล่างขึ้นงาน

3. ผลของการศึกษาทางสัณฐานวิทยา

จากการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะทำให้เห็นลักษณะผิวของรอยแตกภายหลังการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก โดยพฤติกรรมการแตกหักเป็นแบบเปราะ มีผิวแตกหักค่อนข้างขรุขระ จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นช่องว่างระหว่างเฟสเถ้าลอยนาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ และอีพ็อกซี ซึ่งช่องว่างระหว่างเฟสนี้เป็นเหตุทำให้การส่งผ่านแรงเป็นไปได้ยากและเกิดการแตกหักที่จุดนี้ (รูปที่ 4) ซึ่งจะเห็นอนุภาคของเถ้าลอยหรือหลุมของเถ้าลอยที่มีลักษณะกลมติดอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของรอยแตก ในขณะที่นาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ก็จะเป็นสายสั้น ๆ ต่อกันหรือจับกันเป็นกลุ่มตามรูปที่ 4



(ก) กำลังขยาย 20 เท่า



(ข) กำลังขยาย 2000 เท่า

รูปที่ 4 ลักษณะของรอยแตกเมื่อทำการทดสอบความทนต่อแรงกระแทกและรูปร่างของอนุภาคสารตัวเติม

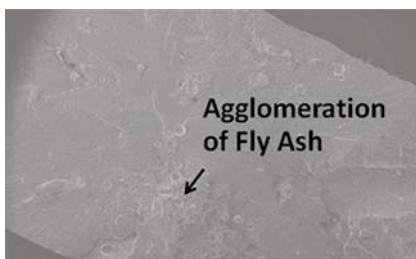
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าทั้งอนุภาคเถ้าลอยและนาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่มีแนวโน้มที่จะเกาะกลุ่มกันเอง (Self Agglomeration) เกิดการกระจายตัวในอีพ็อกซีได้ไม่ดีนัก อีกทั้งในการผสมกันระหว่างโพลีเมอร์และสารตัวเติม ในขณะที่ผสมโพลีเมอร์ได้รับความเค้นเฉือนและความร้อนในปริมาณสูง จึงทำให้โมเลกุลเสื่อมสภาพ เนื้อวัสดุผสมมีความไม่ต่อเนื่องและมีจุดบกพร่อง นอกจากนั้นยังมีฟองอากาศที่เกิดจากความชื้นที่มีอยู่ภายในเมทริกซ์และรอยต่อระหว่างเฟสเถ้าลอยหรือนาโนคาร์บอนกับโพลีเมอร์เมทริกซ์ ที่ไม่สามารถแพร่มาสู่บริเวณผิวของชิ้นงานได้ เนื่องจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากปฏิกิริยาเชื่อมโยงสายโซ่ระหว่างอีพ็อกซีเรซินกับสารเชื่อมโยง (Hardener) ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักก่อนเวลาอันสมควร

อภิปรายผลการศึกษา

นาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่เป็นวัสดุใหม่ที่มีโครงสร้างเป็นชั้น ๆ ต่อกันเป็นลูกโซ่ที่สังเคราะห์ได้ง่ายและยังไม่มีการศึกษาคุณสมบัติทางกลที่ขึ้นกับทิศทางการเรียงตัวของสายโซ่เมื่อเปรียบเทียบกับนาโนคาร์บอนชนิดอื่น ๆ การสังเคราะห์นาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่จะคล้ายกับการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนอื่น ๆ แต่จะเป็นการสังเคราะห์ในสภาวะที่มีออกซิเจน กระทำที่อุณหภูมิต่ำหรือปานกลาง (600 - 900 องศาเซลเซียส) เมื่อเทียบกับการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนชนิดอื่น นอกจากการใช้เตียนไซแล้วเชื้อเพลิงอื่น ๆ ที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์ เช่น เอทิลีน (C_2H_4) เอทิลเบนซีน ($C_6H_5CH_2CH_3$) และเอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) [17] บนตัวรองรับและตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น สแตนเลส 304 นิกเกิล เหล็ก เป็นต้น ข้อเสียของการใช้เตียนไซเป็นแหล่งกำเนิดคาร์บอนคือ นาโนคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้มีความบริสุทธิ์ต่ำและมีความบกพร่องของโครงสร้างสูง เป็นเพราะสารเติมแต่งสีและกลิ่นในเตียนไซ อุณหภูมิและการไหลเวียนของอากาศที่ไม่แน่นอน [18] ทำให้ได้โครงสร้างที่เป็นนาโนคาร์บอนรูปทัวหอมต่อกันคล้ายโซ่ไม่สม่ำเสมอเพราะปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตหรือการเกิดนาโนคาร์บอนคือ เวลา อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา และแหล่งของคาร์บอน [19] อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์นาโนคาร์บอนโดยอาศัยเปลวไฟจากกระบวนการเผาไหม้เป็นวิธีการที่น่าสนใจ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำ สะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการดำเนินการผลิตในระดับอุตสาหกรรม [20]

ปริมาณของสารตัวเติมที่นำไปใช้จริงจะขึ้นอยู่กับวิธีการขึ้นรูปหรือขบวนการผลิต ความต้องการความแข็งแรงด้านต่าง ๆ ของชิ้นงาน หรือลักษณะของการนำไปใช้งานของวัสดุคอมโพสิต ซึ่งถ้าเติมวัสดุคอมโพสิตด้วยอนุภาคต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะทำให้คุณสมบัติทางกลหลายด้านลดลง แต่จะมีบางด้านเพิ่มขึ้น แต่ในการศึกษากครั้งนี้จะเป็นการเติมสารตัวเติมสองอย่างผสมกัน และเป็นปริมาณไม่มากนัก (เฉลี่ยน้อยกว่า 15 % และนาโนคาร์บอนรูปท่อนมอดอลคาร์บอนน้อยกว่า 3 %) เพื่อดูคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและความทนต่อแรงกระแทก

ในการศึกษากครั้งนี้จึงนำเสนอเฉพาะคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงและความทนต่อแรงกระแทกของอิพ็อกซีเรซิน ซึ่งนิยมใช้ในการหล่อเทเป็นพื้นภายในอาคาร เช่น พื้นโรงงานต่าง ๆ ที่ต้องการความแข็งแรงและความทนต่อแรงกระแทกเมื่อมีของหล่นใส่หรือการกระทบกับพื้นเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ประกอบด้วย เช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงกด ความต้านทานแรงดัด เป็นต้น อีกทั้งจะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงและความทนต่อแรงกระแทกมีความแตกต่างกันระหว่างด้านบนและด้านล่างของการเทหล่อ จึงสมควรทำให้พื้นผิวที่จะทำการเทมีความเรียบมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อีกทั้งการตกตะกอนของเถ้าลอยที่มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าอิพ็อกซี ในขณะที่นาโนคาร์บอนรูปท่อนมอดอลคาร์บอนน้อยกว่าอิพ็อกซีจึงกระจายตัวได้ดีกว่าไม่ตกตะกอนและทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นทั้งด้านบนและล่างดังรูปที่ 5 เมื่อทำการเทพื้นจึงควรทำให้พื้นเรียบและให้อิพ็อกซีเรซินแห้งเร็วไม่เกิดการตกตะกอนเท่าที่จะเป็นไปได้



รูปที่ 5 ภาพถ่าย SEM ของการรวมตัวและตกตะกอนของเถ้าลอยในคอมโพสิต

คุณสมบัติของโพลิเมอร์คอมโพสิตนอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารตัวเติมแล้วยังขึ้นอยู่กับทิศทางการเรียงตัวของสารตัวเติมนั้น ๆ เช่นเดียวกับเส้นใยที่มีการเติมเข้าไปเพื่อการเสริมแรงทั้งชนิดเส้นใยสั้นและยาว ที่แสดงคุณสมบัติทางกลแตกต่างกันไปตามทิศทางการเรียงตัวของเส้นใย อีกทั้งขบวนการผลิต ไม่ว่าจะเป็นการหล่อ การฉีด หรือการขึ้นรูปเป็นชิ้น ๆ จึงต้องมีการศึกษาคุณสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตและการเรียงตัวของสารตัวเติมและสารเสริมความแข็งแรงตามขบวนการผลิตแต่ละประเภทที่แตกต่างกันไป

สรุปผล

จากการศึกษาพบว่า การเติมเถ้าลอยเป็นปริมาณ 2 % และนาโนคาร์บอนรูปท่อนมอดอลคาร์บอนน้อยกว่า 3 % โดยปริมาตร จะทำให้ค่าความแข็งแรงร็อกเวลล์สเกลอาร์ของวัสดุคอมโพสิตมากที่สุด แต่จะลดลง

เมื่อปริมาณเถ้าลอยมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ถ้าเดิมนาโนคาร์บอนรูปทรงแท่งท่อนค้ำยันใช้ที่ผู้วิจัยสังเคราะห์ได้จากวิธีอาศัยเปลวไฟจากการเผาไหม้ปริมาณน้อย ๆ ลงไป ค่าความแข็งแรงหรือเคลล์สเกลลาร์ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณนาโนคาร์บอนรูปทรงแท่งท่อนค้ำยันที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความแข็งแรงทางด้านบนและด้านล่างซึ่งเป็นบริเวณที่ตกตะกอนอีกทั้งมีความขรุขระของพื้นผิวที่เคลือบจะเห็นว่าพื้นผิวทางด้านบนมีค่าความแข็งแรงหรือเคลล์สเกลลาร์สูงกว่าด้านล่างที่มีการตกตะกอนและพื้นผิวขรุขระกว่า ในส่วนของความทนต่อแรงกระแทก ค่าความทนต่อแรงกระแทกจะมากที่สุดเมื่อไม่ได้เติมสารเติมแต่งใด ๆ เลย และลดลงตามปริมาณการผสมเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น ไม่มีความแตกต่างระหว่างการทดสอบชิ้นงานทั้งด้านบนและด้านล่าง ในขณะที่ค่าความทนต่อแรงกระแทกจะลดลงและไม่มีความแตกต่างกันมากนักตามปริมาณนาโนคาร์บอนรูปทรงแท่งท่อนค้ำยันที่เพิ่มขึ้น และเห็นความแตกต่างระหว่างด้านบนและด้านล่างชิ้นงานชัดเจนกว่า โดยเมื่อทงายด้านบนที่ไม่เกิดการตกตะกอนและผิวเรียบกว่าทงายขึ้นเพื่อทำการทดสอบจะมีค่าการดูดซับแรงกระแทกหรือความทนต่อแรงกระแทกมากกว่าเมื่อทงายด้านล่างขึ้น การศึกษาในครั้งนี้จึงได้ทราบผลของการเติมเถ้าลอยและนาโนคาร์บอนรูปทรงแท่งท่อนค้ำยันเป็นปริมาณน้อย ๆ ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับการเติมในปริมาณมากของงานวิจัยที่ผ่านมา อีกทั้งค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นเมื่อเติมนาโนคาร์บอนรูปทรงแท่งท่อนค้ำยันลงไปในอีพ็อกซีเมทริกซ์ ทำให้วัสดุคอมโพสิตนี้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ทนต่อการขีดข่วนได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่นสำหรับทุนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมีและภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ 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) (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., Mitprasertporn, 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 48th 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)



การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปลาตะบิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง
ในพื้นที่อำเภอสენา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

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

วัชรภรณ์ ตันติพนาทิพย์^{1*}

Received: June, 2017; Accepted: December, 2017

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำของกระบวนการผลิตปลาตะบิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงในอำเภอสენา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยอาศัยแนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งในการวิเคราะห์และบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหนึ่งหน่วยผลผลิตปลาตะบิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงจำนวน 60 ฟาร์ม ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปลาตะบิมมีค่าเท่ากับ 4,460.77 ลิตร/ปลาตะบิม 1 กิโลกรัม ซึ่งมีการใช้ทรัพยากรน้ำตลอดกระบวนการผลิต (บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์) เท่ากับ 4,213.48 ลิตร/ปลาตะบิม 1 กิโลกรัม และปริมาณน้ำเสีย (เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 247.29 ลิตร/ปลาตะบิม 1 กิโลกรัม ดังนั้นแนวทางการลดปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากกระบวนการผลิตปลาตะบิมจากการทำฟาร์มเพาะเลี้ยงจึงควรมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรน้ำภายในฟาร์มเพาะเลี้ยง

คำสำคัญ : วอเตอร์ฟุตพริ้นท์; การผลิตปลาตะบิม; ฟาร์มเพาะเลี้ยง; จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

¹ 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

กิจกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นหนึ่งในภาคการผลิตอาหารหลักของประเทศไทย โดยเฉพาะการผลิตปลาทับทิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงที่สร้างรายได้หลักให้แก่ประชาชนทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นเขตเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศและมีจำนวนผลผลิตปลาทับทิมเป็นอันดับสองของจังหวัด [1] สืบเนื่องจากนโยบายที่ส่งเสริมการเพาะเลี้ยงปลาทับทิมเป็นอาชีพหลักและอาชีพเสริมจากทั้งภาครัฐบาลและเอกชน โดยการให้ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการเลี้ยงปลาทับทิม การจัดหาลูกพันธุ์อาหาร ตลาดจำหน่ายผลผลิตและยังคอยติดตามดูแลกลุ่มเกษตรกรอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาทับทิมในพื้นที่อำเภอเสนา [2] ขณะเดียวกันการดำเนินกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทยยังคงมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านจำนวนและขนาดของพื้นที่ฟาร์มเพาะเลี้ยง รวมถึงอุตสาหกรรมการผลิตอาหารประเภทเนื้อสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นผลจากความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีและเทคนิคการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทำให้เกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตสัตว์น้ำที่มีคุณภาพและปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศที่เพิ่มสูงขึ้น

ในทางกลับกันเมื่อกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาทับทิมเพิ่มจำนวนขึ้นย่อมส่งผลให้ความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำเพิ่มขึ้นด้วย [3] โดยเฉพาะช่วงของการเลี้ยงปลาในฟาร์มเพาะเลี้ยง ทั้งยังก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางน้ำจากเศษอาหารตกค้างภายในบ่อเลี้ยง การใช้ยารักษาโรคและสารเคมี การเปลี่ยนถ่ายน้ำและการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่มีการระบายน้ำเสียออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งส่งผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด [4] - [5] จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำและนโยบายส่งเสริมให้ผู้ใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมได้ตระหนักถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการ รวมถึงการมีส่วนร่วมรับผิดชอบเพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรน้ำที่เหมาะสมมากขึ้น โดยการพัฒนาแนวทางวิเคราะห์

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

จากแนวคิดการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทำให้ภาคประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่างได้รับความสนใจในฐานะของการเป็นผู้ใช้ทรัพยากรน้ำรายใหญ่โดยเฉพาะประเทศไทย เนื่องจากเป็นประเทศที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์ประมงรายใหญ่ของโลก แต่กลับมีการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในกิจกรรมประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำค่อนข้างน้อย [9] - [10] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตปลาตะเพียนจากฟาร์มเพาะเลี้ยง ซึ่งมีขอบเขตการพิจารณาครอบคลุมเฉพาะในขั้นตอนของการเลี้ยงปลาตะเพียนในบ่อดินเท่านั้น เนื่องจากสามารถวิเคราะห์ปริมาณและควบคุมการใช้น้ำทรัพยากรน้ำตลอดกระบวนการผลิตเนื้อปลาตะเพียนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพโดยการวิจัย ครังนี้มุ่งหวังที่จะนำผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาทั้งด้านปริมาณ แหล่งที่มา และรูปแบบความต้องการใช้น้ำในระยะของการเลี้ยงปลาตะเพียนไปใช้ในการจัดสรรและใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำในกระบวนการเลี้ยงปลาตะเพียนหรือสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษาและการเก็บข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการดำเนินกิจกรรมภายในฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาตะเพียนของอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยใช้ฐานข้อมูลเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงปลาตะเพียนที่ขึ้นทะเบียนกับสำนักงานประมงจังหวัดพระนครศรีอยุธยาในปี พ.ศ. 2555 จำนวน 73 ฟาร์ม ด้วยวิธีการสุ่มเลือกแบบเฉพาะเจาะจงเพื่อให้ครอบคลุมฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาตะเพียนในบ่อดินทั้งขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดจำนวนตัวอย่างฟาร์มทั้งสิ้น 60 ฟาร์ม จากการประยุกต์ใช้วิธีกำหนดขนาดตัวอย่างของ Krejcie, R. V. and Morgan, E. W. [11] และ Yamane, T. [12] การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยวิธีสัมภาษณ์ (Interview) เกษตรกรผู้เลี้ยงปลาตะเพียนในแต่ละฟาร์มเป็นจำนวน 3 ครั้ง ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2560

การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเลี้ยงปลาตะเพียน ได้แก่ รูปแบบการเพาะเลี้ยง ระยะเวลาเลี้ยง ประเภทและปริมาณการให้อาหารสัตว์น้ำ ผลผลิตปลาตะเพียน การใช้น้ำทรัพยากรน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ปริมาณของเสียและน้ำเสียที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการผลิตเนื้อปลาตะเพียน รวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น

2. การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตปลาตะเพียนจากฟาร์มเพาะเลี้ยง

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ถูกจัดเป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำทรัพยากรน้ำจากกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยสามารถคำนวณได้จากปริมาณน้ำทั้งหมดที่ถูกนำมาใช้จากผลรวมของทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่ของกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ทั้งยังแสดงถึงแหล่งที่มาของน้ำใช้และน้ำเสียที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปจะแสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี [13] - [14] ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพภูมิศาสตร์และช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ดังนั้นการศึกษาในพื้นที่ใด ๆ และช่วงเวลาที่แตกต่างกันจะทำให้ปริมาณความต้องการใช้น้ำทรัพยากรน้ำมีค่าแตกต่างกัน

การคำนวณปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่นิยมใช้กันแพร่หลายเป็นวิธีประเมินของ Water Footprint Network (WFN) ซึ่งเป็นการคำนวณผลรวมปริมาณการใช้ทรัพยากรน้ำทั้ง 3 ประเภท [7] คือ

1) กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green Water Footprint: WFGreen) คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ซึ่งจากการสำรวจพบว่าไม่มีข้อมูลการใช้น้ำในส่วนดังกล่าว จึงไม่มีการคำนวณปริมาณกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการศึกษาครั้งนี้

2) บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue Water Footprint: WFBlue) คือ ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำจากระบบชลประทานที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ในที่นี้หมายถึงปริมาณน้ำทั้งหมดที่เกษตรกรนำมาใช้ตลอดกระบวนการเลี้ยงปลาบ่อบ่มในฟาร์มประมง

3) เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Gray Water Footprint: WFGray) คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าและบริการให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน ในที่นี้หมายถึงปริมาณน้ำดีที่ถูกนำมาใช้ในการเจือจางน้ำเสียตลอดกระบวนการเพาะเลี้ยงปลาบ่อบ่มให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน

การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาจากการใช้ทรัพยากรน้ำจากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งขอบเขตของงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดกระบวนการผลิตปลาบ่อบ่มในระยะของฟาร์มเพาะเลี้ยงเท่านั้น (รูปที่ 1) ดังนั้นปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตปลาบ่อบ่มจากกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงจำนวน 60 ฟาร์ม สามารถคำนวณได้จากผลรวมของบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยแสดงในหน่วยลิตร/ผลผลิตปลาบ่อบ่ม 1 กิโลกรัม ดังสมการที่ (1) - (5)

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

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

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

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

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

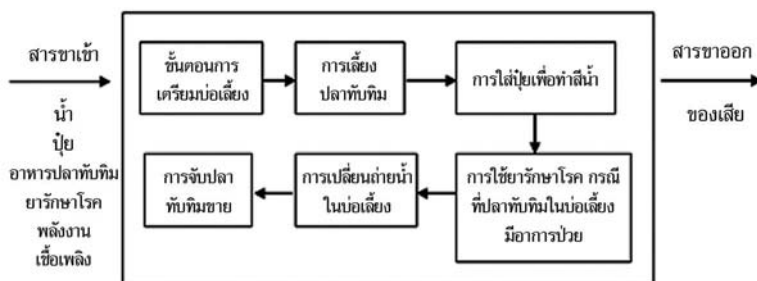
โดย

$WF_{prod}(p)$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปลาบ่อบ่ม (ลิตร/ปลาบ่อบ่ม 1 กิโลกรัม)

$WF_{prod}(i)$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบและทรัพยากรทั้งหมดในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาบ่อบ่ม (ลิตร/ปลาบ่อบ่ม 1 กิโลกรัม)

$WF_{proc}(p)$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตปลาบ่อบ่มจากฟาร์มเพาะเลี้ยงทั้งทางตรงและทางอ้อม (ลิตร/ปลาบ่อบ่ม 1 กิโลกรัม)

- $f_p(p, i)$ คือ สัดส่วนมวลของผลิตภัณฑ์ปลาตะเพียน (Product Fraction)
 $f_v(p)$ คือ สัดส่วนมูลค่าของผลิตภัณฑ์ปลาตะเพียน (Value Fraction)
 $W(p)$ คือ ผลผลิตปลาตะเพียน (กิโลกรัม)
 $W(i)$ คือ การใช้อาหาร ยารักษาโรค และปุ๋ย (กิโลกรัม)
 $price(p)$ คือ ราคาของผลิตภัณฑ์ปลาตะเพียน (บาทต่อกิโลกรัม)



รูปที่ 1 แผนผังการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตปลาตะเพียนจากกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยง

3. การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเนื้อปลาตะเพียนจากฟาร์มเพาะเลี้ยงสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้ทรัพยากรน้ำและมลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นจากการดำเนินกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาตะเพียน [15]

1) ปริมาณน้ำที่ตลอดกระบวนการผลิตปลาตะเพียนจากฟาร์มเพาะเลี้ยง

น้ำที่ที่เกิดขึ้นตลอดระยะการเลี้ยงปลาตะเพียนในบ่อดินมีค่าเท่ากับผลรวมของปริมาณน้ำที่ทั้งหมด ได้แก่ การเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างเลี้ยงปลาตะเพียน การคักขนาด การประเมินอัตราการรอดของปลาตะเพียนในบ่อเลี้ยงและการเก็บเกี่ยวผลผลิตปลาตะเพียน ดังแสดงในสมการที่ (6)

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

โดย

- WT คือ น้ำที่ที่เกิดขึ้นจากฟาร์มเลี้ยงปลาตะเพียน (ลิตร)
 TW คือ น้ำที่ทั้งหมดของการผลิตปลาตะเพียน (ลิตร/ปลาตะเพียน 1 กิโลกรัม)
 $W(p)$ คือ ผลผลิตปลาตะเพียน (กิโลกรัม)

2) ปริมาณน้ำที่จากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาตะเพียนที่ถูกระบายสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

น้ำที่จากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาตะเพียนที่ถูกระบายออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ น้ำที่จากฟาร์มเพาะเลี้ยงที่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียและน้ำที่จากฟาร์มเพาะเลี้ยงที่มีระบบบำบัดน้ำเสีย 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	น้ำทิ้งจากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาที่ระบายสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (ลิตร)
TW	คือ	น้ำทิ้งทั้งหมดจากการผลิตปลาที่ต้ม (ลิตร/ปลาที่ต้ม 1 กิโลกรัม)
$W(p)$	คือ	ผลผลิตปลาที่ต้ม (กิโลกรัม)
$\%W(n)$	คือ	ร้อยละของฟาร์มเพาะเลี้ยงที่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย (%)
$\%W(h)$	คือ	ร้อยละของฟาร์มเพาะเลี้ยงที่มีระบบบำบัดน้ำเสีย (%)
$\%W(o)$	คือ	ร้อยละของฟาร์มเพาะเลี้ยงที่ปล่อยน้ำเสียสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (%)

3) ปริมาณมลพิษที่เกิดจากฟาร์มเลี้ยงปลาที่ต้ม

ปริมาณมลพิษทั้งหมดจากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาที่ต้มในบ่อดินมีค่าเท่ากับผลรวมของปริมาณ การปล่อยมลพิษตลอดการเลี้ยงปลาที่ต้ม ได้แก่ การเปลี่ยนถ่ายน้ำ การคัดขนาดและประเมินอัตราการรอดของปลาที่ต้ม และการเก็บเกี่ยวผลผลิตปลาที่ต้ม [16] ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (8)

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

โดย

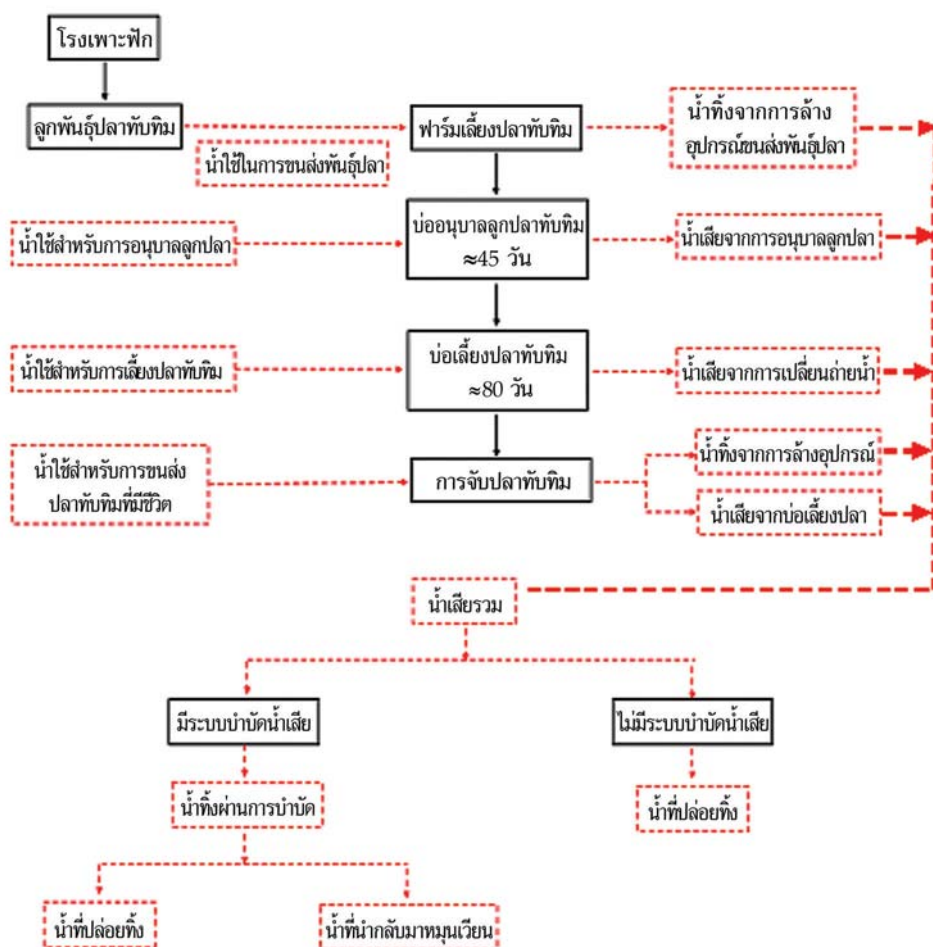
T_w	คือ	ปริมาณมลพิษจากฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาที่ต้มที่เกิดขึ้นจริง (ลิตร)
F_n	คือ	ค่าคงที่ของปริมาณมลพิษที่เกิดจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ (ลิตร/ปลาที่ต้ม 1 กิโลกรัม)
$W(p)$	คือ	ผลผลิตปลาที่ต้ม (กิโลกรัม)

สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) เป็นพารามิเตอร์พื้นฐานในการคำนวณค่าเกรยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ซึ่งถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามประกาศของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [15] ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าความเข้มข้นสูงสุดของมลสารที่ยอมรับได้ (C_{max}) อ้างอิงจากค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีค่าเท่ากับ 20 มก./ลิตร และค่าความเข้มข้นตามธรรมชาติ (C_{nat}) มีค่าเท่ากับ 0 มก./ลิตร [16]

ผลการวิจัย

1. การดำเนินกิจกรรมฟาร์มเลี้ยงปลาที่ต้มในอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ผลการศึกษากระบวนการผลิตอาหารประเภทเนื้อปลาที่ต้มในอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวนทั้งสิ้น 60 ฟาร์ม พบว่าการดำเนินกิจกรรมของฟาร์มเพาะเลี้ยงมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกันทั้งด้านวิธีและเทคนิคการเลี้ยงปลา อุปกรณ์และเครื่องจักร รวมถึงชนิดของอาหารสัตว์น้ำ ต่างกันเพียงแหล่งจัดซื้ออุปกรณ์ปลาที่ต้ม ปริมาณการให้อาหารสัตว์น้ำและขนาดของฟาร์มเพาะเลี้ยง นอกจากนี้ยังพบว่าการดำเนินกิจกรรมภายในฟาร์มเพาะเลี้ยงล้วนมีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำและก่อให้เกิดน้ำเสียตลอดกระบวนการเลี้ยงปลาที่ต้ม สำหรับเทคนิคด้านการดูแลรักษาและควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ต้มสามารถแสดงในรูปแบบที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการใช้ทรัพยากรน้ำและแหล่งกำเนิดน้ำเสียตลอดการผลิตปลาตะเพียนจากฟาร์มเพาะเลี้ยง

2. รายการบัญชีด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเนื้อปลาตะเพียนจากกิจกรรมประมง

รายการบัญชีด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตอาหารประเภทเนื้อปลาตะเพียนสามารถคำนวณในรูปของผลผลิตปลาตะเพียนจำนวน 1 กิโลกรัม พบว่ามีสารขาเข้า ได้แก่ ลูกพันธุ์ปลาตะเพียน อาหาร ปริมาณน้ำใช้ ระยะเวลาในการเลี้ยง พลังงานไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง และแก๊ส LPG เป็นต้น ส่วนสารขาออก ได้แก่ ผลผลิตปลาตะเพียน ตะกอนเลนและน้ำเสีย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณความต้องการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม ตลอดกระบวนการผลิตปลาตะเพียนดังแสดงในตารางที่ 1

ผลการศึกษาการใช้ทรัพยากรน้ำในฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาตะเพียนพบว่า ตลอดกระบวนการผลิตเนื้อปลาตะเพียนมีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำ โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่หนึ่งเป็นการใช้น้ำสำหรับการขนส่งลูกพันธุ์ปลาตะเพียนจากโรงเพาะฟักมายังฟาร์มเพาะเลี้ยงและการทำความสะอาดภาชนะที่ใช้ในการขนส่ง ส่วนช่วงที่สองเป็นการใช้ทรัพยากรน้ำระหว่างการเลี้ยงปลาตะเพียนภายในฟาร์มเพาะเลี้ยง ซึ่งเป็นระยะที่มีการใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณมากที่สุด ได้แก่ น้ำที่ปล่อยลงบ่อเลี้ยงปลาตะเพียนและน้ำสะอาดสำหรับการเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการเลี้ยงปลาตะเพียนจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต

ตารางที่ 1 บัญชีรายการสารขาเข้าและขาออกตลอดกระบวนการผลิตปลาตะบิมจำนวน 1 กิโลกรัม
อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

	ประเภท	หน่วย	ฟาร์ม
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	ผลผลิตปลาตะบิม	กก./ไร่/ปี	4,026.00±3,109.74
	น้ำทิ้ง	ลูกบาศก์เมตร	4,157.48±2,368.63
	มูลปลาตะบิม	กก.	343.27±125.49

หมายเหตุ: * FCR (Feed Conversion Ratio) = อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในกระบวนการผลิตปลาตะบิม 1 กก.

* kWh = กิโลวัตต์ - ชั่วโมง

นอกจากนี้ กระบวนการผลิตเนื้อปลาตะบิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงยังก่อให้เกิดการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำน้อย โดยแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่หนึ่งเป็นการปล่อยน้ำทิ้งระหว่างการเลี้ยงปลาตะบิม ซึ่งเกษตรกรนิยมเปลี่ยนถ่ายน้ำจากบ่อเลี้ยงลงสู่แม่น้ำน้อยโดยตรง (ไม่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย) มีอัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำแต่ละครั้งประมาณ 35 - 40 % ของปริมาณน้ำทั้งหมดในบ่อเลี้ยง ซึ่งมีความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำเฉลี่ย 2 เดือนต่อครั้ง (อาจเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำในแม่น้ำน้อยและคุณภาพน้ำภายในบ่อเลี้ยง) ส่วนช่วงที่สองเป็นการปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาตะบิม เนื่องจากการคัดขนาดปลาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจำหน่ายเพื่อลดความหนาแน่นของปลาตะบิมในบ่อเลี้ยง ผลการศึกษาพบว่าเกษตรกรนิยมระบายน้ำออกจากบ่อเลี้ยงประมาณ 20 % ของปริมาณน้ำทั้งหมดในบ่อเลี้ยง สำหรับช่วงสุดท้ายเป็นการปล่อยน้ำทิ้ง (100 %) จากกิจกรรมการเก็บเกี่ยวผลผลิต ทั้งนี้สามารถแสดงข้อมูลปริมาณน้ำทั้งหมดที่ถูกนำมาใช้ตลอดกระบวนการผลิตปลาตะบิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยงในตารางที่ 2 ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาข้อมูลการใช้ทรัพยากรน้ำและปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการเลี้ยงปลาตะบิมพบว่า มีทรัพยากรน้ำบางส่วนที่หายไปอาจเนื่องจากอัตราการระเหยกลายเป็นไอและการรั่วซึมของน้ำภายในบ่อเลี้ยงปลาตะบิม

3. วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตปลาตะบิมจากฟาร์มเพาะเลี้ยง

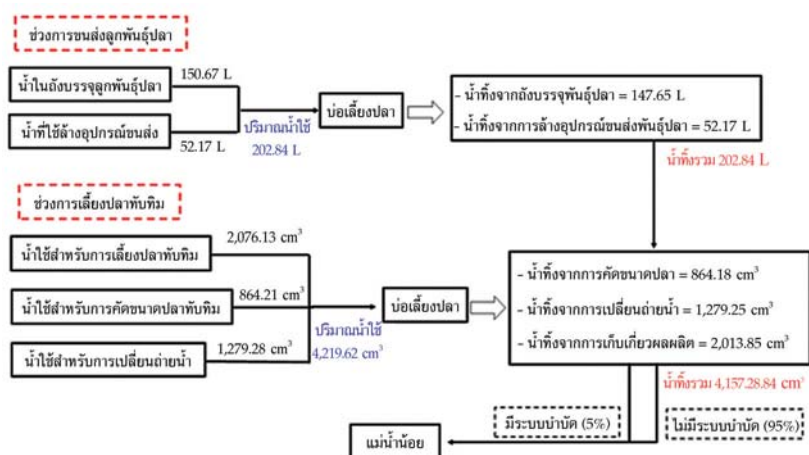
การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดกระบวนการผลิตอาหารประเภทเนื้อปลาตะบิมจากการดำเนินกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยงทั้ง 60 ฟาร์ม ในอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สามารถประเมินได้จากปริมาณการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมในรูปของบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ได้แก่ ทรัพยากรน้ำทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการเลี้ยงตั้งแต่หน้าที่ใช้บรรจุน้ำในปลา น้ำที่ใช้ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงในฟาร์มประมง รวมถึงน้ำที่ใช้ในการทำความสะดวกอุปกรณ์ สำหรับปริมาณน้ำทิ้งทั้งหมดที่ถูกระบายออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติสามารถคำนวณในรูปของเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่แสดงในรูปที่ 3

ผลการศึกษาปริมาณทรัพยากรน้ำที่ถูกนำมาใช้ตลอดกระบวนการผลิตเนื้อปลาตะบิลพบว่ามีการใช้ทรัพยากรน้ำสำหรับขั้นตอนการขนส่งลูกพันธุ์ปลาตะบิลจากโรงเพาะฟักมายังฟาร์มเพาะเลี้ยงทั้งหมด 202.84 ลิตร แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การใช้สำหรับบรรจุลูกพันธุ์ปลาตะบิล (150.67 ลิตร) และการใช้สำหรับล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ที่ใช้ในการขนส่งลูกพันธุ์ปลาตะบิล (52.17 ลิตร) นอกจากนี้ยังมีการปล่อยน้ำเสียสำหรับกิจกรรมขนส่งลูกพันธุ์ปลาตะบิลเท่ากับ 199.82 ลิตร ดังนั้น ผลประเมินปริมาณบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สำหรับขั้นตอนการขนส่ง ลูกพันธุ์ปลาตะบิลเท่ากับ 2.44 ลิตร/ปลาตะบิล 1 กิโลกรัม และปริมาณเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 2.40 ลิตร/ปลาตะบิล 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 2 การใช้ทรัพยากรน้ำและน้ำทิ้งตลอดกระบวนการผลิตปลาตะบิลจากฟาร์มเพาะเลี้ยง อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

รายการ	ปริมาตรน้ำที่ใช้ (m ³)	สัดส่วนน้ำใช้ (%)	ปริมาตรน้ำทิ้ง (m ³)	สัดส่วนน้ำทิ้ง (%)
การขนส่งลูกพันธุ์ปลาตะบิล	0.15±0.01	0.004	0.15±0.01	0.004
การทำความสะอาดอุปกรณ์ ในการขนส่ง	0.05±0.01	0.001	0.05±0.01	0.001
บ่อเลี้ยง	2,076.13±1,171.29	49.199	-	-
การเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่าง เลี้ยงปลาตะบิล	1,279.28±781.96	30.316	1,279.25±781.96	30.77
การคัดขนาดปลาตะบิล	864.18±477.20	20.48	864.21±477.20	20.786
การเก็บเกี่ยวผลผลิตปลาตะบิล	-	-	2,013.85±1,136.16	48.439
ค่าเฉลี่ย	4,219.80±2,430.48	100	4,157.51±2,395.34	100

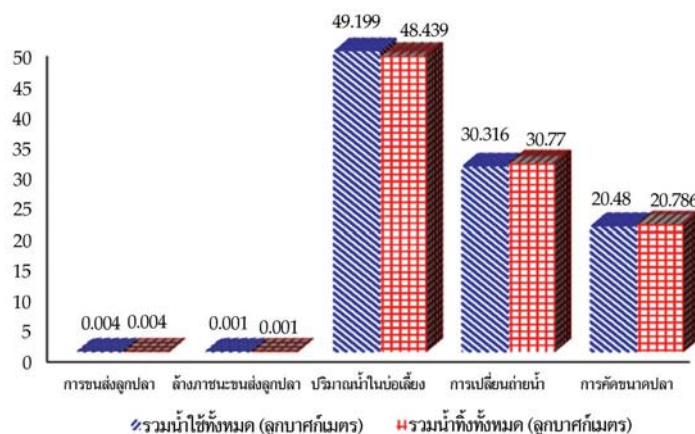
หมายเหตุ: m³ = ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 3 ปริมาณน้ำใช้ตลอดกระบวนการผลิตปลาตะบิลจากฟาร์มเพาะเลี้ยง ณ อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าตลอดระยะเวลา 4 - 6 เดือนของการเลี้ยงปลาตะเพียนในฟาร์มเพาะเลี้ยง เป็นระยะที่มีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 4,219,627 ลิตร โดยสามารถแบ่งลักษณะความต้องการใช้น้ำออกเป็น 3 ลักษณะ คือ ทรัพยากรน้ำสำหรับใช้เติมเข้าสู่บ่อเลี้ยง เนื่องจากขนาดบ่อเลี้ยงมีความหลากหลายจึงทำให้ปริมาณความต้องการใช้น้ำในแต่ละฟาร์มเพาะเลี้ยงมีความแตกต่างกัน สำหรับการศึกษานี้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลความต้องการใช้น้ำสำหรับเติมเข้าสู่บ่อเลี้ยงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,076,133 ลิตร ทั้งนี้ระหว่างการเลี้ยงปลาตะเพียนต้องการใช้น้ำสะอาดสำหรับการเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยเฉลี่ย 864,183 ลิตร/ครั้ง จากการคัดขนาดและการคัดแยกเพศปลาตะเพียน นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยงเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาตะเพียนโดยมีอัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำเฉลี่ย 2 - 3 ครั้งต่อรอบการเลี้ยง ความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำจะขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงและคุณภาพน้ำของแม่น้ำน้อย โดยแต่ละครั้งจะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเท่ากับ 1,279,250 ลิตร สำหรับลักษณะสุดท้ายของการใช้ทรัพยากรน้ำเป็นการระบายน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาตะเพียนเมื่อครบระยะการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยปริมาณน้ำทิ้งที่ถูกระบายออกจากบ่อเลี้ยงเท่ากับ 2,013,849 ลิตร และเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษแก่น้ำน้อยมากที่สุดในบ่อเลี้ยง เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย (95 %) ก่อนปล่อยน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงปลาตะเพียนสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งนี้ผลประเมินปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉพาะระยะของการเลี้ยงปลาตะเพียนในฟาร์มประมาณ 4 - 6 เดือน แสดงค่าบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 4,211.04 ลิตร/ปลาตะเพียน 1 กิโลกรัม และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 244.89 ลิตร/ปลาตะเพียน 1 กิโลกรัม

ข้อมูลการใช้ทรัพยากรน้ำและการปล่อยน้ำทิ้งตลอดกระบวนการผลิตปลาตะเพียนจากฟาร์มเพาะเลี้ยง สามารถแสดงสัดส่วนการใช้น้ำและปริมาณน้ำทิ้งในรูปที่ 4



รูปที่ 4 สัดส่วนการใช้น้ำของการผลิตปลาตะเพียนจากกิจกรรมฟาร์มเพาะเลี้ยง อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ผลประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดกระบวนการผลิตปลาตะเพียนจากฟาร์มเพาะเลี้ยงในอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สามารถสรุปข้อมูลได้ 2 ส่วน คือ บวอเตอร์ฟุตพริ้นท์และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ส่วนกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นไม่มีการประเมิน เนื่องจากไม่มีรายงานการใช้

ทรัพยากรน้ำในส่วนของน้ำฝนในกระบวนการผลิต ดังนั้น จึงสรุปผลการประเมินได้ว่าตลอดระยะเวลาการเลี้ยงปลาตะเพียนในฟาร์มเพาะเลี้ยงมีค่าบวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 4,213.48 ลิตร/ปลาตะเพียน 1 กิโลกรัม และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เท่ากับ 247.29 ลิตร/ปลาตะเพียน 1 กิโลกรัม ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตปลาตะเพียนจากฟาร์มเพาะเลี้ยง (Product Fraction; PF) มีค่ารวมเท่ากับ 4,460.77 ลิตร/ปลาตะเพียน 1 กิโลกรัม

การอภิปรายผล

ผลการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตอาหารประเภทเนื้อปลาตะเพียนจากฟาร์มเพาะเลี้ยงจำนวน 60 ฟาร์มในอำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่ามีการใช้ทรัพยากรน้ำปริมาณมากที่สุด 4,219,780 ลิตร โดยเฉพาะน้ำสะอาดที่สูบเข้าบ่อเลี้ยง (2,076,130 ลิตร) และน้ำสะอาดสำหรับการเปลี่ยนถ่ายน้ำ (1,279,280 ลิตร) เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมเปลี่ยนถ่ายน้ำเฉลี่ย 2 - 3 ครั้งต่อรุ่น (คิดเป็นร้อยละ 75) แต่พบข้อมูลการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบางรายที่มีความถี่มากกว่า 5 ครั้งต่อรุ่น (คิดเป็นร้อยละ 25) สืบเนื่องจากปัญหาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลาตะเพียนที่เลี้ยง ซึ่งเป็นผลจากการให้อาหารสัตว์น้ำในปริมาณมาก อัตราการปล่อยปลาตะเพียนที่มีความหนาแน่นสูง รวมถึงคุณภาพน้ำและปริมาณน้ำในแม่นํ้าน้อย เป็นต้น สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Rong, H. et al. [17] ที่สรุปว่าคุณภาพน้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำและคุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้สัตว์น้ำเกิดความเครียด ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยง ขณะที่ความหนาแน่นของสัตว์น้ำ ปริมาณการให้อาหารสัตว์น้ำและการขับถ่ายของเสียจะแปรผันโดยตรงต่ออัตราการเปลี่ยนถ่ายน้ำในบ่อเลี้ยงด้วย นอกจากนี้กิจกรรมเพาะเลี้ยงปลาตะเพียนจากฟาร์มเพาะเลี้ยงยังก่อให้เกิดน้ำเสียที่ถูกระบายออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเท่ากับ 4,157,480 ลิตร และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำในแม่นํ้าน้อยอย่างยิ่งโดยเฉพาะกิจกรรมการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ปล่อยน้ำเสียออกสู่แม่นํ้าน้อยโดยไม่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย (2,076,850 ลิตร) ทั้งยังสร้างความกังวลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพน้ำแก่ประชาชนที่อาศัยในบริเวณแม่นํ้าน้อย

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตปลาตะเพียนจากฟาร์มเพาะเลี้ยงนี้มีค่ารวมเท่ากับ 4,460.77 ลิตร/ปลาตะเพียน 1 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกิจกรรมประมงในประเทศจีน โดยการศึกษาของ Yuan, Q. et al. [18] ที่รายงานปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ บวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 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 โดยเฉพาะกระบวนการผลิตอาหารสัตว์น้ำและขั้นตอนการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแต่ละชนิด ซึ่งควรให้ความสำคัญและเร่งทำการศึกษาวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในสัตว์น้ำเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ เพื่อให้สามารถหาแนวทางลดการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน [19] - [20] นอกจากนี้ปัจจัยที่มีผลต่อความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นในกิจกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณอาหารที่สัตว์น้ำควรบริโภคในแต่ละช่วงอายุ ซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักตัวของสัตว์น้ำและมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ตามอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำชนิดนั้น ๆ [21] - [22]

ดังนั้นการพิจารณาในเชิงผลกระทบต่อความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำตลอดกระบวนการผลิตอาหารประเภทเนื้อปลาที่บริโภคสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบการดำเนินกิจกรรมของฟาร์มเพาะเลี้ยงปลาที่บริโภคในพื้นที่อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณสูง (4,219,780 ลิตร) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตปลาที่จับได้เพียง 4,026 กิโลกรัม/ไร่/ปี ซึ่งอาจเป็นผลมาจากขนาดของบ่อเลี้ยงที่ค่อนข้างเล็กทำให้อัตราการปล่อยปลาที่บริโภคพื้นที่เพาะเลี้ยงค่อนข้างน้อยในบางฟาร์มเพาะเลี้ยง ขณะที่ข้อมูลจากผลสำรวจฟาร์มเพาะเลี้ยงบางฟาร์มกลับพบอัตราการปล่อยปลาที่บริโภคพื้นที่เพาะเลี้ยงค่อนข้างหนาแน่น ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการรอดตายของปลาที่บริโภคเมื่อถึงระยะของการเก็บเกี่ยวผลผลิต ขณะเดียวกันการปล่อยปลาที่บริโภคในอัตราที่หนาแน่นนั้นย่อมแปรผันโดยตรงต่อความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องหาแนวทางในการลดปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตเนื้อปลาที่บริโภคจากกระบวนการเพาะเลี้ยงในฟาร์ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะของการเลี้ยงปลาที่บริโภคในบ่อดินด้วยการพัฒนาเทคนิคการเพาะเลี้ยงปลาที่บริโภคเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ เช่น การพิจารณาความหนาแน่นของปลาที่บริโภคต่อพื้นที่ของบ่อเลี้ยง การบริหารจัดการระบบน้ำภายในฟาร์ม การควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงในแต่ละฤดูกาล การกำหนดปริมาณการให้อาหารสัตว์น้ำที่เหมาะสม เป็นต้น เพื่อลดความถี่ของการเปลี่ยนถ่ายน้ำระหว่างการเลี้ยงปลาที่บริโภค ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรมีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในส่วนนี้ลดน้อยลงและยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

นอกจากนี้เกษตรกรควรหมั่นตรวจสอบคุณภาพน้ำภายในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถวางแผนการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสม ขณะเดียวกันควรมีการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้สามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาหมุนเวียนใช้ประโยชน์ภายในฟาร์มเพาะเลี้ยงอีกครั้ง โดยเฉพาะความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในกิจกรรมการเปลี่ยนถ่ายน้ำหรือการเติมน้ำเข้าสู่บ่อเลี้ยงจากกิจกรรมการคัดแยกขนาดและการคัดแยกเพศปลาที่บริโภค ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้ทรัพยากรน้ำค่อนข้างสูงและยังเป็นการลดปริมาณน้ำทิ้งที่จะถูกระบายออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินความเหมาะสมของปริมาณทรัพยากรน้ำหรือพื้นที่เลี้ยงต่ออัตราการปล่อยปลาที่บริโภค ซึ่งแนวทางดังกล่าวข้างต้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในกิจกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ ได้ โดยการใช้ฐานข้อมูลการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่เหมาะสม

บทสรุป

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดกระบวนการผลิตเนื้อปลาที่บริโภคจากฟาร์มเพาะเลี้ยงจำนวน 60 ฟาร์มในพื้นที่อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีผลรวมเท่ากับ 4,460.77 ลิตร/ปลาที่บริโภค 1 กิโลกรัม ซึ่งจำแนกออกเป็นปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (4,213.48 ลิตร/ปลาที่บริโภค 1 กิโลกรัม) และปริมาณเกรยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (247.29 ลิตร/ปลาที่บริโภค 1 กิโลกรัม) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมประมงดังกล่าวล้วนมีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำในปริมาณสูง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตปลาที่บริโภคที่ได้จากการเพาะเลี้ยง สืบเนื่องจากรูปแบบการบริหารจัดการฟาร์มเพาะเลี้ยงของเกษตรกรที่ยังขาดข้อมูลพื้นฐานด้านปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาที่บริโภค ดังนั้นผลการศึกษาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในครั้งนี้จะสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นที่ต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบการเพาะเลี้ยงปลาที่บริโภคในบ่อดิน โดยการแนะนำ

และส่งเสริมให้เกษตรกรมีการวางแผนและพิจารณาความเหมาะสมด้านการบริหารจัดการฟาร์มเพาะเลี้ยงที่มีการใช้ทรัพยากรน้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ การเลือกชนิดของสัตว์น้ำ การออกแบบขนาดบ่อเลี้ยง การคำนวณปริมาณทรัพยากรน้ำที่เหมาะสมต่อการเติมในบ่อเลี้ยงในแต่ละกิจกรรม เทคนิคการคำนวณความหนาแน่นของสัตว์น้ำที่เลี้ยงต่อขนาดบ่อเลี้ยงหรือปริมาณน้ำภายในบ่อเลี้ยง ชนิดและปริมาณการให้อาหารสัตว์น้ำ 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**. (2nd 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] Gjerdem, 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



ระดับความเข้มของผ้าฝ้ายย้อมสีครามธรรมชาติกับการป้องกันรังสียูวี

Intensity of Natural Indigo Dyed Cotton Fabrics with UV Protection

อ้อยทิพย์ ผู้พัฒน์^{*}

Received: November, 2015; Accepted: January, 2018

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้คือ 1) ศึกษาลักษณะโครงสร้าง สมบัติทางกายภาพ และค่าสีของผ้าฝ้ายย้อมสีครามธรรมชาติที่มีระดับความเข้มของสีต่างกัน 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของผ้าจากการย้อมผ้าฝ้ายทอลายริบด้วยฟุ้ง โดยย้อมผ้าฝ้ายตัวอย่าง 3 ชุด ตามจำนวนการย้อมซ้ำ (1 5 และ 9 ครั้ง) แล้วนำแต่ละชุดมาทดสอบจำนวนเส้นด้าย ความหนา การซึมผ่านของอากาศ วัดค่าสีและวัดผลการป้องกันรังสียูวี พบว่าผ้าตัวอย่างที่มีระดับความเข้มของสีต่างกัน มีจำนวนเส้นด้ายยืน และความหนาใกล้เคียงกัน มีจำนวนเส้นด้ายฟุ้งแตกต่างกันเล็กน้อย เช่นเดียวกับค่าการซึมผ่านของอากาศ ขณะที่ค่าสีของผ้าตัวอย่างมีสีน้ำเงินเข้มและสดใส มีค่า L^* ลดลงเมื่อจำนวนครั้งของการย้อมซ้ำที่เพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีอยู่ที่ระดับดีมาก นอกจากนี้พบว่าจำนวนครั้งของการย้อมซ้ำมีผลต่อค่า UV-A transmittance % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีผลต่อค่า UV-B transmittance %, UV-A blockage % และ UV-B blockage % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ : ผ้าฝ้าย; สีครามธรรมชาติ; รังสียูวี

¹ 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 dyeing 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 from 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 รังสีอัลตราไวโอเลตหรือรังสียูวี (Ultraviolet Radiation or UV) เป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแสงที่มองเห็นได้กับรังสีเอ็กซ์ ซึ่งประกอบด้วย อัลตราไวโอเลตเอ (UV-A) มีช่วงความยาวคลื่น 315 - 380 นาโนเมตร อัลตราไวโอเลตบี (UV-B) มีช่วงความยาวคลื่น 280 - 315 นาโนเมตร และอัลตราไวโอเลตซี (UV-C) มีช่วงความยาวคลื่น 100 - 280 นาโนเมตร [1] รังสียูวีสามารถทำปฏิกิริยาเคมีที่ผิวหนัง ทำให้เกิดประโยชน์และโทษต่อมนุษย์ การได้รับรังสียูวีจะช่วยลดการเกิดโรคติดเชื้อ แต่ถ้าได้รับในปริมาณที่สูงมากเกินไปจะทำให้ดวงตาและผิวหนังถูกทำลายอย่างเฉียบพลัน [2] ปัจจุบันมนุษย์ต้องเผชิญกับแสงยูวีมากขึ้นทุกวัน ถ้าร่างกายมนุษย์ได้รับแสงแดดมากเกินไปจะทำให้เกิดอันตรายได้ คือ ทำให้ผิวหนังแสบร้อน แดง (Erythema) ผิวหนังไหม้ (Sun Burn) มีริ้วรอยก่อนวัยอันควร (Skin Ageing) สายตาเสีย และร้ายแรงที่สุดคือเป็นมะเร็งผิวหนัง [3] กล่าวว่า มะเร็งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับต้น ๆ ของคนไทยร้อยละ 5 ของมะเร็งที่พบทั้งหมด คือ มะเร็งผิวหนัง มีสาเหตุสำคัญมาจากการที่ผิวหนังได้รับแสงอัลตราไวโอเลตหรือรังสียูวีเป็นเวลานาน ๆ ซึ่งการป้องกันมะเร็งผิวหนังสามารถทำได้โดยการสวมใส่เสื้อผ้าที่มิดชิดและหลีกเลี่ยงแสงแดดในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีรังสียูวีสูงสุด

ปัจจุบันมนุษย์คำนึงถึงความปลอดภัย สุขภาพ และความสบายในการสวมใส่เสื้อผ้ามากขึ้น [4] ซึ่งสอดคล้องกับ [5] ที่อธิบายไว้ว่าถึงแม้รังสียูวีจะมีอันตรายต่อมนุษย์มากเพียงใดมนุษย์ก็ยังปกป้องตนเอง

จากอันตรายเหล่านี้ได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น สวมใส่เสื้อผ้าให้มิดชิด ทาผิวด้วยครีมกันแดด หรือ ใส่แว่นตากันแดด วัสดุเหล่านี้ต่างมีความสามารถป้องกันรังสียูวีได้โดยการช่วยดูดซับรังสียูวีไว้ หรือ สะท้อนออกไป [6] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ [7] ที่พบว่าการย้อมด้วยสีธรรมชาติช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้าย ผ้าย้อมสีธรรมชาติบางสีสามารถป้องกันรังสียูวีได้ ผ้าสีเข้มจะป้องกันรังสียูวีได้ดีกว่าผ้าสีอ่อน และในบรรดาสีย้อมจากธรรมชาติ สีจากต้นครามเป็นสีที่ได้รับความนิยมจนได้รับการยอมรับว่าเป็นราชาแห่งสีย้อม เพราะให้สีเข้ม ทนทาน ไม่ต้องใช้สารช่วยติด [8] ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับผลการศึกษาประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ พบว่าผ้าฝ้ายย้อมสีครามธรรมชาติ มีประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีได้ดีมาก จนถึงดีเยี่ยม [9]

การใช้สีย้อมธรรมชาติในประเทศไทยมีมานาน สีย้อมธรรมชาติที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสีที่สกัดได้จาก เนื้อไม้ เปลือกไม้ ใบ ราก และผลของพืช มีวิธีย้อมแตกต่างกัน [10] และมีสมบัติทางด้านความคงทนของสีแตกต่างกันด้วย [11] ปัจจุบันมีการใช้สีย้อมธรรมชาติมากขึ้น เนื่องจากการคำนึงถึงความปลอดภัยในสุขภาพ และการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของสีธรรมชาติ [12] นอกจากนี้ผ้าย้อมสีธรรมชาตินี้ยังมีคุณสมบัติพิเศษอื่น ๆ อาทิ ผ้าย้อมสีเปลือกมังคุดสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดี [13]

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายย้อมสีครามธรรมชาติ ที่มีระดับความเข้มแตกต่างกันตามจำนวนครั้งของการย้อมซ้ำที่ต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเสื้อผ้าป้องกันรังสียูวีจากผ้าย้อมครามต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาลักษณะโครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของผ้าฝ้ายย้อมสีครามธรรมชาติที่มีจำนวนครั้งในการย้อมซ้ำต่างกัน
2. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติที่มีจำนวนครั้งของการย้อมซ้ำต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. อุปกรณ์และวิธีการ

1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ผ้าตัวอย่าง คือ ผ้าฝ้าย 100 เปอร์เซ็นต์ ทอจากด้ายฝ้ายเบอร์ 20/1 ทั้งแนวด้ายพุ่งและแนวด้ายยืน ทอลายริบด้ายพุ่ง (Filling Rib Weave) ด้วยเครื่องจักรที่ใช้ในการทอผ้าตัวอย่างสีย้อมที่ใช้สำหรับย้อมผ้าตัวอย่าง คือ แป้งครามธรรมชาติที่ได้จากการหมัก โดยมีกรรมวิธีดังนี้ มัดกึ่งและใบของต้นครามที่เก็บได้เป็นกำ นำไปบรรจุในภาชนะที่มีฝาปิด ให้มีปริมาณ 3 ใน 4 ส่วนของภาชนะ เติมน้ำสะอาดให้ท่วมฟองกึ่งและใบของต้นคราม แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามกำหนดเวลาแล้ว แยกเอาฟองของกึ่งและใบของต้นครามและเศษต่าง ๆ ทิ้ง ให้เหลือแต่ส่วนที่เป็นน้ำ เดิมปูนแดงหรือปูนขาว กวนแรง ๆ ในขณะที่เดิมปูนทำให้เกิดฟองมาก ๆ เพื่อจะได้เนื้อคราม (Indigo Cake) มากขึ้น ปล่อยให้ตกตะกอนแล้วรินน้ำทิ้ง เหลือเฉพาะแป้งคราม (ลักษณะเป็นโคลน)

การก่อหม้อคราม เป็นการเตรียมสารละลายย้อมคราม ตามสูตรหรือวิธีการในสัดส่วนที่พอเหมาะ ดังนี้

เนื้อคราม (แบ่งคราม)	500	กรัม
น้ำด่าง	2	ลิตร
น้ำขาวข้าว	4	ลิตร
มะขามหนึ่ง	200	กรัม / น้ำ 2 ลิตร
ปูน	500	กรัม

1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.2.1 อุปกรณ์สำหรับทอผ้าตัวอย่าง ประกอบด้วย เครื่องลงแบ่งเส้นด้าย เครื่องสืบเส้นด้ายยืน และเครื่องทอผ้าตัวอย่าง

1.2.2 อุปกรณ์สำหรับการหมักครามและการย้อมสี ประกอบด้วย ถังมีฝาปิด หม้อดินชั้น ล้อมกวนคราม และตะแกรงกรองคราม

1.2.3 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบลักษณะโครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของผ้าตัวอย่าง ประกอบด้วย เครื่องทดสอบจำนวนเส้นด้ายต่อนิ้ว เครื่องทดสอบความหนา และเครื่องทดสอบการซึมผ่านของอากาศ

1.2.4 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบสีของผ้าตัวอย่าง ประกอบด้วย เครื่องทดสอบการชัก เครื่องทดสอบแสง และเครื่องวัดค่าสี

1.2.5 อุปกรณ์สำหรับการทดสอบค่าการป้องกันรังสียูวี

1.3 วิธีย้อมผ้าตัวอย่าง

ในการย้อมผ้าตัวอย่างด้วยสีครามธรรมชาติ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.3.1 เตรียมน้ำย้อมหรือการก่อหม้อคราม โดยใช้เนื้อครามประมาณ 1 ถ้วยน้ำพริก หรือ 1 กะลามะพร้าว (ตามกรรมวิธีของคนโบราณ) และเติมน้ำด่าง (เตรียมได้จากการเผาหัวกล้วย ก้านมะพร้าว แล้วนำเถ้าที่ได้มาละลายน้ำ) ปริมาณ 1 ลิตร กวนส่วนผสมให้เข้ากัน เมื่อครามขึ้นคื่น้ำสีที่ได้จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวแกมเหลือง

1.3.2 ย้อมผืนผ้า ทำโดยการจุ่มผืนผ้าที่ผ่านการมาฝ้ายแล้ว (ทูปให้นุ่ม) ลงในหม้อน้ำย้อม ใช้มือบีบผ้าที่อยู่ในน้ำย้อมเลื่อนไปมาให้ทั่วทั้งผืนผ้า สังเกตน้ำย้อมจะใสขึ้น สีเหลืองจางลง สีเขียวเข้มขึ้น จึงยุติการย้อม บีบผืนผ้าให้หมดและตากเพื่อให้ผืนผ้าสัมผัสอากาศให้มากที่สุด สีที่ได้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ย้อมซ้ำในน้ำครามหม้ออื่นให้ครบตามจำนวนครั้งที่กำหนด

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^* ใช้ระบุสีอยู่ตำแหน่งใดใน 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

Australian Standard AS/NZS 4399 UV Protection Categories		
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 และสีของผ้าตัวอย่าง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2 - 7 อธิบายดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยจำนวนเส้นด้ายต่อนิ้ว ความหนา และการซึมผ่านของอากาศของผ้าตัวอย่าง

การย้อมซ้ำ	จำนวนเส้นด้ายต่อนิ้ว		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

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีครามธรรมชาติที่มีโครงสร้างการทอลายริบ ที่ย้อม 1 5 และ 9 ครั้ง มีจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งใกล้เคียงกัน ผลการศึกษาขนาดความหนาพบว่า ผ้าตัวอย่างมีความหนาเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งของการย้อมซ้ำ ผลการศึกษาการซึมผ่านของอากาศ พบว่า ผ้าตัวอย่างที่มีการย้อมเพียง 1 ครั้ง มีการซึมผ่านของอากาศได้มากที่สุด

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยค่า L^* ของผ้าตัวอย่างที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ

การย้อมซ้ำ	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

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่า ค่า L^* (ระดับความมืด - ความสว่างของสี) ของผ้าตัวอย่างที่ได้มีค่าต่ำกว่า 50 ซึ่งแสดงว่าสีค่อนข้างเข้ม และมีค่าลดลงตามจำนวนครั้งของการย้อมซ้ำ ผ้าตัวอย่างที่มีสีเข้มที่สุด คือ ผ้าที่ย้อมซ้ำ 9 ครั้ง รองลงมาคือ ผ้าที่ย้อมซ้ำ 5 ครั้ง และที่มีระดับความเข้มน้อยที่สุดคือ ผ้าตัวอย่างที่ย้อม 1 ครั้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยค่า a^* ของผ้าตัวอย่างที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ

การย้อมซ้ำ	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

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

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยค่า b^* ของผ้าตัวอย่างที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ

การย้อมซ้ำ	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 (-) ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน ที่เป็นไปตามลักษณะของสีที่ได้จากการย้อมครามธรรมชาติ

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยค่า C^* ของผ้าตัวอย่างที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ

การย้อมซ้ำ	สภาวะการทดสอบ ค่า C^*		
	ก่อนการซัก	หลังการซัก	หลังการอบแสง
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^* ก่อนซักสูง และมีค่าสูงขึ้นหลังการซัก ซึ่งแสดงว่าผ้ามีความสดใสมากขึ้น (มีความเป็นสีน้ำเงินสดมากขึ้น) แต่หลังการอบแสงพบว่า ค่า C^* อยู่ในระดับใกล้เคียงกับผ้าตัวอย่างที่มีการย้อมทั้ง 3 ระดับ ที่ทดสอบก่อนการซัก

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยค่า h^* ของผ้าตัวอย่างที่ย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ

การย้อมซ้ำ	สภาวะการทดสอบ ค่า h^*		
	ก่อนการซัก	หลังการซัก	หลังการอบแสง
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 ซึ่งเป็นตัวเลขที่ใช้ระบุว่ามีตำแหน่งอยู่ที่ใดในกราฟ ถ้าค่า h^* เท่ากับ 0 องศา (360 องศา) แสดงว่าสีอยู่ในตำแหน่งสีแดง ถ้าค่า h^* เท่ากับ 90 องศา แสดงว่าสีอยู่ในตำแหน่งสีเหลือง ถ้าค่า h^* เท่ากับ 180 องศา แสดงว่าสีอยู่ในตำแหน่งสีเขียว และถ้าค่า h^* เท่ากับ 270 องศา แสดงว่าสีอยู่ในตำแหน่งสีน้ำเงิน จากผลที่แสดงค่า h^* ที่ได้สรุปผ้าตัวอย่างมีสีในตำแหน่งสีน้ำเงิน และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกสภาวะการทดสอบ ซึ่งเป็นไปตามลักษณะสีที่ได้จากการย้อมด้วยสีครามธรรมชาติ

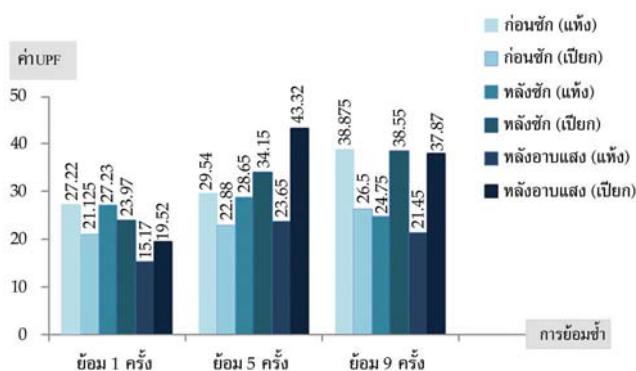
2. ประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวี ประสิทธิภาพการป้องกันรังสียูวีของผ้าตัวอย่างแสดงในรูปแบบที่ 1-5 อธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.1 ผลการทดสอบค่า Ultraviolet Protection Factor (UPF) ของผ้าตัวอย่าง

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

การทดสอบในสภาวะแห้งของผ้าตัวอย่างก่อนการซักมีค่า UPF สูงที่สุด (27.22) ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก ส่วนผ้าตัวอย่างที่ย้อมซ้ำ 5 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวีในสภาวะเปียกก่อนการซัก มีค่า UPF ต่ำที่สุด (20.60) ซึ่งอยู่ในระดับดี ในขณะที่การทดสอบในสภาวะเปียกของผ้าตัวอย่าง หลังการอาบแสงมีค่า UPF สูงที่สุด (43.22) ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม และผ้าตัวอย่างที่ย้อมซ้ำ 9 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวีในสภาวะแห้งหลังการอาบแสงมีค่า UPF ต่ำที่สุด (21.45) ซึ่งอยู่ในระดับดี ในขณะที่การทดสอบในสภาวะแห้งก่อนการซักมีค่า UPF สูงที่สุด (38.87) ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก โดยพบว่าค่า UPF มีความใกล้เคียงกับการทดสอบที่สภาวะเปียกหลังการซักและหลังการอาบแสง

จำนวนครั้งของการย้อมซ้ำ (ระดับความเข้มของสี) พบว่า ไม่มีผลต่อค่า UPF ที่ทดสอบ ก่อนซักทั้งในสภาวะแห้งและเปียก แต่จำนวนครั้งของการย้อมซ้ำ (ระดับความเข้มของสี) พบว่า มีผลต่อค่า UPF ที่ทดสอบหลังการซักและหลังการอาบแสง ทั้งในสภาวะแห้งและเปียกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01



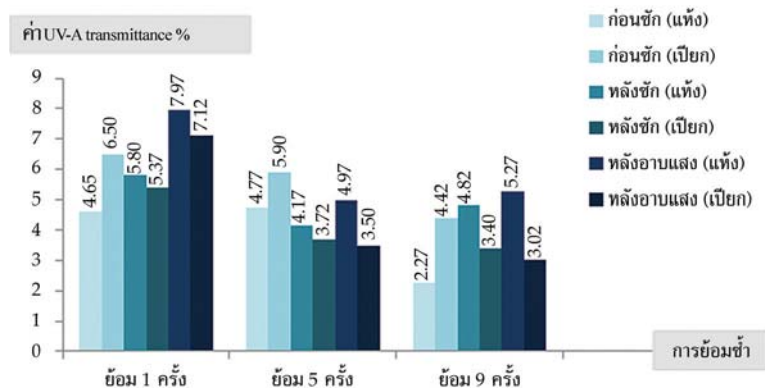
รูปที่ 1 ค่า UPF ของผ้าตัวอย่างที่ทดสอบก่อนซัก หลังซัก และหลังอาบแสง

2.2 ผลการทดสอบค่า UV-A transmittance % ของผ้าตัวอย่าง

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าผ้าตัวอย่างมีค่า UV-A transmittance % อยู่ระหว่าง 2.27 ถึง 7.97 เมื่อพิจารณาในระดับความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอ (UV-A) ของผ้าตัวอย่าง พบว่าผ้าที่ย้อม 1 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอในสภาวะแห้ง หลังการอาบแสงมีค่า UV-A transmittance % สูงที่สุด (7.97) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอได้ต่ำที่สุด เพราะยอมให้รังสียูวีเอทะลุผ่านผ้าได้มากที่สุด ในขณะที่การทดสอบในสภาวะแห้งของผ้าทดลองก่อนการซักมีค่า UV-A transmittance % น้อยที่สุด (4.65) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอได้ดี เพราะยอมให้รังสียูวีเอทะลุผ่านผ้าได้ต่ำที่สุดของการทดสอบในสภาวะอื่น ๆ ส่วนผ้าตัวอย่างที่ย้อมซ้ำ 5 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอ ในสภาวะเปียกก่อนการซัก มีค่า UV-A transmittance % สูงที่สุด (5.90) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอได้ต่ำที่สุด เพราะยอมให้รังสียูวีเอทะลุผ่านผ้าได้มากที่สุด ในขณะที่การทดสอบในสภาวะเปียกหลังการอาบแสงของผ้าตัวอย่าง มีค่า UV-A transmittance % น้อยที่สุด (3.50) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอได้ดี เพราะยอมให้รังสียูวีเอทะลุผ่านผ้าได้ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบในสภาวะอื่น ๆ และผ้าตัวอย่างที่ย้อมซ้ำ

9 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอในสภาวะแห้งหลังการอบแสง มีค่า UV-A transmittance % สูงที่สุด (5.27) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอได้ต่ำที่สุด เพราะยอมให้รังสียูวีเอทะลุผ่านผ้าได้มากที่สุด ในขณะที่การทดสอบในสภาวะแห้งก่อนการซักของผ้าตัวอย่างมีค่า UV-A transmittance % น้อยที่สุด (2.27) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอได้ดี เพราะยอมให้รังสียูวีเอทะลุผ่านผ้าได้ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบในสภาวะอื่น ๆ

จำนวนครั้งของการย้อมซ้ำ (ระดับความเข้มของสี) พบว่า มีผลต่อค่าระดับความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีเอ (UV-A) ของผ้าตัวอย่าง เมื่อทดสอบในสภาวะแห้งหลังการซัก อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ส่วนการทดสอบก่อนการซักทั้งในสภาวะแห้งและเปียก หลังการซักในสภาวะเปียก และหลังการอบแสงทั้งในสภาวะแห้งและเปียก มีผลต่อค่า UV-A transmittance % อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01



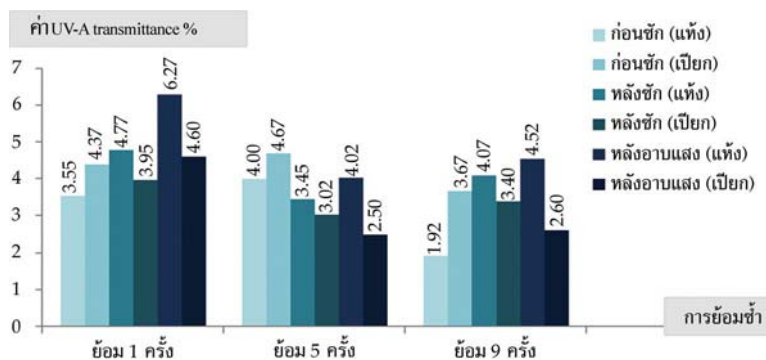
รูปที่ 2 ค่า UV-A transmittance % ที่ทดสอบก่อนซัก หลังซัก และหลังอบแสง

2.3 ผลการทดสอบค่า UV-B transmittance % ของผ้าตัวอย่าง

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าผ้าตัวอย่างมีค่า UV-B transmittance % อยู่ระหว่าง 1.92 ถึง 6.27 เมื่อพิจารณาความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีบี (UV-B) ของผ้าตัวอย่าง พบว่าผ้าที่ย้อม 1 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีบีในสภาวะแห้ง หลังการอบแสงมีค่า UV-B transmittance % สูงที่สุด (6.27) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีบีได้ต่ำที่สุด เพราะยอมให้รังสียูวีบีทะลุผ่านผ้าได้มากที่สุด ในขณะที่การทดสอบในสภาวะแห้งของผ้าตัวอย่างก่อนการซักมีค่า UV-B transmittance % น้อยที่สุด (3.55) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีบีได้ดี เพราะยอมให้รังสียูวีบีทะลุผ่านผ้าได้ต่ำที่สุดกว่าการทดสอบในสภาวะอื่น ๆ ส่วนผ้าตัวอย่างที่ย้อมซ้ำ 5 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีบีในสภาวะเปียกก่อนการซัก มีค่า UV-B transmittance % สูงที่สุด (4.67) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสียูวีบีได้ต่ำที่สุด เพราะยอมให้รังสียูวีบีทะลุผ่านผ้าได้มากที่สุด ในขณะที่การทดสอบในสภาวะเปียกหลังการอบแสงของผ้าตัวอย่าง มีค่า UV-B transmittance % น้อยที่สุด (2.50) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถ

ในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีวีบีได้ดี เพราะยอมให้รังสีวีบีทะลุผ่านผ้าได้ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบในสภาวะอื่น ๆ และผ้าตัวอย่างที่ย้อมซ้ำ 9 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีวีบีในสภาวะแห้งหลังการอาบแสงมีค่า UV-B transmittance % สูงที่สุด (5.52) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีวีบีได้ต่ำที่สุด เพราะยอมให้รังสีวีบีทะลุผ่านผ้าได้มากที่สุด ในขณะที่การทดสอบในสภาวะแห้งก่อนการซักของผ้าตัวอย่างมีค่า UV-B transmittance % น้อยที่สุด (1.92) ซึ่งมีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีวีบีได้ดี เพราะยอมให้รังสีวีบีทะลุผ่านผ้าได้ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบในสภาวะอื่น ๆ

จำนวนครั้งของการย้อมซ้ำ (ระดับความเข้มข้นของสี) พบว่า มีผลต่อค่าระดับความสามารถในการป้องกันการทะลุผ่านของรังสีวีบี (UV-B) ของผ้าตัวอย่าง เมื่อทดสอบก่อนการซักทั้งในสภาวะแห้งและเปียกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เช่นเดียวกับการทดสอบหลังการอาบแสงทั้งในสภาวะแห้งและเปียกพบว่า จำนวนครั้งของการย้อมซ้ำมีผลต่อค่า UV-B transmittance % อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 แต่การทดสอบหลังการซักทั้งในสภาวะแห้งและเปียกโดยพบว่า จำนวนครั้งของการย้อมซ้ำไม่มีผลต่อค่า UV-B transmittance %

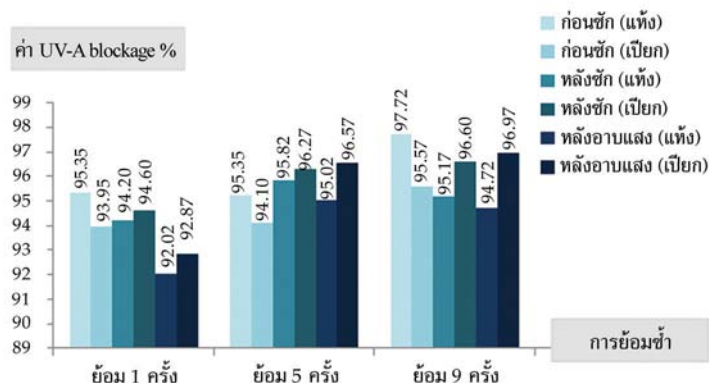


รูปที่ 3 ค่า UV-B transmittance % ที่ทดสอบก่อนซัก หลังซัก และหลังอาบแสง

2.4 ผลการทดสอบค่า UV-A blockage % ของผ้าตัวอย่าง

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าผ้าตัวอย่างมีค่า UV-A blockage % อยู่ระหว่าง 92.02 ถึง 97.72 เมื่อพิจารณาระดับความสามารถในการบล็อกรังสีวีเอ (UV-A) ของผ้าตัวอย่างพบว่า ผ้าที่ย้อม 1 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการบล็อกรังสีวีเอมีค่า UV-A blockage % อยู่ในระดับดี ในการทดสอบก่อนและหลังการซักทั้งในสภาวะแห้งและเปียก แต่การทดสอบหลังการอาบแสง พบว่ามีค่า UV-A blockage % อยู่ในระดับพอใช้ ซึ่งมีความหมายว่าผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการบล็อกรังสีวีเอได้น้อยที่สุด ส่วนผ้าตัวอย่างที่ย้อมซ้ำ 5 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการบล็อกรังสีวีเอมีค่า UV-A blockage % อยู่ในระดับดี และดีมาก โดยพบว่าที่การทดสอบหลังการอาบแสงในสภาวะเปียกมีค่า UV-A blockage % สูงสุด (96.57) มีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการบล็อกรังสีวีเอได้ดีที่สุด ส่วนผ้าตัวอย่างที่ย้อมซ้ำ 9 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการบล็อกรังสีวีเอมีค่า UV-A blockage % อยู่ในระดับดี ดีมาก และดีเยี่ยม โดยพบว่าที่การทดสอบก่อนการซักในสภาวะแห้งมีค่า UV-A blockage % สูงสุด (97.72) มีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการบล็อกรังสีวีเอได้ดีที่สุด

จำนวนครั้งของการย้อมซ้ำ (ระดับความเข้มของสี) พบว่า มีผลต่อค่าระดับความสามารถในการบล็อกรังสียูวีเอของผ้าตัวอย่าง เมื่อทดสอบก่อนการซักในสภาวะแห้งอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และในสภาวะเปียกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 เช่นเดียวกับการทดสอบหลังการอาบแสงทั้งในสภาวะแห้งและเปียก และการทดสอบหลังการซักในสภาวะเปียกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 และมีเพียงการทดสอบหลังการซักในสภาวะแห้งเท่านั้นที่พบว่าจำนวนครั้งของการย้อมซ้ำ (ระดับความเข้มของสี) ไม่มีผลต่อค่าระดับความสามารถในการบล็อกรังสียูวีเอของผ้าตัวอย่าง

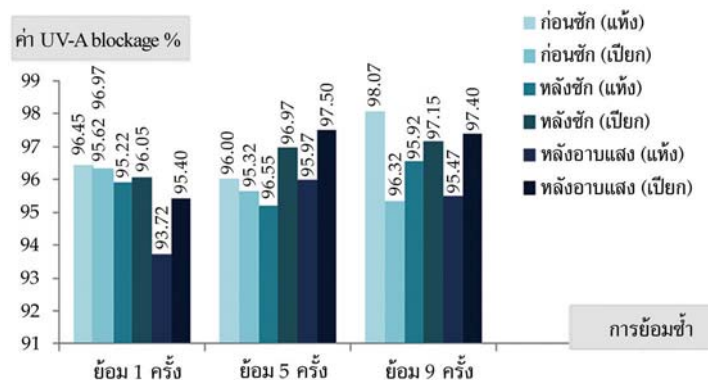


รูปที่ 4 ค่า UV-A blockage % ที่ทดสอบก่อนซัก หลังซัก และหลังอาบแสง

2.5 ผลการทดสอบค่า UV-B blockage % ของผ้าตัวอย่าง

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าผ้าตัวอย่างมีค่า UV-B blockage % อยู่ระหว่าง 93.72 ถึง 98.07 เมื่อพิจารณาจากระดับความสามารถในการบล็อกรังสียูวีบี (UV-B) ของผ้าตัวอย่าง พบว่าผ้าที่ย้อม 1 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการบล็อกรังสียูวีบีมีค่า UV-B blockage % อยู่ในระดับดี และดีมาก โดยการทดสอบก่อนซักในสภาวะแห้งมีค่า UV-B blockage % สูงสุด (96.45) ซึ่งมีความหมายว่าผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการบล็อกรังสียูวีบีได้ดีที่สุด ส่วนผ้าตัวอย่างที่ย้อมซ้ำ 5 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการบล็อกรังสียูวีบีมีค่า UV-B blockage % อยู่ในระดับดี ดีมาก และดีเยี่ยม โดยพบว่าผลการทดสอบหลังการอาบแสงในสภาวะเปียกมีค่า UV-B blockage % สูงสุด (97.50) มีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการบล็อกรังสียูวีบีได้ดีที่สุด ส่วนผ้าตัวอย่างที่ย้อมซ้ำ 9 ครั้ง เมื่อทดสอบความสามารถในการบล็อกรังสียูวีบีพบว่ามีความ UV-B blockage % อยู่ในระดับดี ดีมาก และดีเยี่ยม เช่นเดียวกับผ้าตัวอย่างที่มีการย้อมซ้ำ 5 ครั้ง โดยพบว่าผลการทดสอบก่อนการซักในสภาวะแห้งมีค่า UV-B blockage % สูงสุด (98.07) มีความหมายว่า ผ้าตัวอย่างมีความสามารถในการบล็อกรังสียูวีบีได้ในระดับดีเยี่ยม

จำนวนครั้งของการย้อมซ้ำ (ระดับความเข้มของสี) พบว่ามีผลต่อค่าระดับความสามารถในการบล็อกยูวีบีของผ้าตัวอย่าง เมื่อทดสอบก่อนการซักทั้งในสภาวะแห้งและเปียกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และการทดสอบหลังการอาบแสงทั้งในสภาวะแห้งและเปียกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 ส่วนการทดสอบหลังการซักทั้งในสภาวะแห้งและเปียกพบว่า จำนวนครั้งของการย้อมซ้ำ (ระดับความเข้มของสี) ไม่มีผลต่อค่าระดับความสามารถในการบล็อกรังสียูวีบีของผ้าตัวอย่าง



รูปที่ 5 ค่า UV-B blockage % ที่ทดสอบก่อนซัก หลังซัก และหลังอาบแสง

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. สรุป

ผลการวิจัยพบว่าผ้าตัวอย่างที่มีจำนวนการย้อมซ้ำที่ต่างกัน มีจำนวนเส้นด้ายยืน และความหนาใกล้เคียงกันมีจำนวนเส้นด้ายพุ่งแตกต่างกัน มีการซึมผ่านของอากาศแตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนค่าสีพบว่าผ้าตัวอย่างมีสีน้ำเงินเข้มและสดสีมีค่า L^* ลดลงเมื่อจำนวนครั้งของการย้อมซ้ำเพิ่มขึ้น ความสามารถในการป้องกันรังสียูวีผ้าฝ้ายย้อมสีครามธรรมชาติพบว่า ผ้าทอลายริบป้องกันรังสียูวีได้ระดับที่ดีมากถึงดีเยี่ยม โดยมีผลต่อค่า UV-A และ UV-B transmittance %, UV-A และ UV-B blockage % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสรุปได้ว่าระดับความเข้มของการย้อมสีจากครามธรรมชาติ มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของสิ่งทอ

2. ข้อเสนอแนะ

ผลจากการวิจัยพบว่า ระดับความเข้มของผ้าฝ้ายย้อมสีครามจากธรรมชาติในผ้าทอริบด้ายพุ่งหรือผ้าที่มีโครงสร้างการทอลายขัดที่ย้อม 1 ครั้ง (มีระดับสีอ่อนที่สุด) มีความสามารถในการป้องกันรังสียูวีได้น้อยที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่า UPF ดังนั้นเพื่อต้องการเน้นประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้ายย้อมสีครามจากธรรมชาติ ผู้วิจัยเสนอแนะให้มีระดับความเข้มของสีที่เกิดจากการย้อมซ้ำไม่น้อยกว่า 5 ครั้งขึ้นไป สำหรับการเลือกใช้ผ้าที่มีโครงสร้างผ้าการทอริบด้ายพุ่งหรือผ้าที่มีโครงสร้างการทอลายขัด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ด้านการสนับสนุนและส่งเสริมการดำเนินงานวิจัยของบุคลากรในสังกัดมหาวิทยาลัยฯ และขอบคุณภูมิปัญญาการย้อมสีครามธรรมชาติ จากอำเภอพรรณานิคม 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**. 52th 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] Seangwattananrote, 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 Ultrasonic 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 Kongkachuichay, 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] Seangwattananrote, U. (2003). **UV Protecting Clothes**. Cut and Sew. pp. 24-26



คุณภาพน้ำหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รुकล้าคลองโองอ่าง

Water Quality After Removing Shops at Klong Ong Ang

อุทุมพร สมพงษ์^{1*}

Received: July, 2017; Accepted: December, 2017

บทคัดย่อ

คลองโองอ่างเป็นคลองประวัติศาสตร์ของกรุงเทพมหานครที่มีร้านค้ารูกล้าพื้นที่คลองมาเป็นเวลาเกือบ 30 ปี ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบายน้ำ ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ปี 2558 กรุงเทพมหานครจึงได้ใช้กฎหมายดำเนินการรื้อถอนร้านค้าที่รูกล้า ดังนั้น งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในคลองโองอ่าง ได้แก่ การรื้อถอนร้านค้าที่รูกล้าพื้นที่คลอง เดือนที่เก็บตัวอย่าง และการปิดเปิดประตูระบายน้ำ และระบุประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน คุณภาพน้ำที่ศึกษาประกอบด้วย สี กลิ่น ความขุ่น การละลายน้ำของออกซิเจน (DO) ความสกปรกของน้ำในรูปสารอินทรีย์ (BOD) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (TCB) และแบคทีเรียฟิคัลโคลิฟอร์ม (FCB) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำ 3 ครั้ง ในเวลา 6 เดือน และเก็บตัวอย่าง 2 เวลา ได้แก่ ก่อนเปิดและหลังปิดประตูระบายน้ำ ผลการวิจัยพบว่า น้ำคลองมีสีเขียว ขุ่น และไม่มีการเปลี่ยนแปลงในค่า DO อยู่ในช่วง 3.12 - 5.49 มก./ล. ค่า BOD อยู่ในช่วง 4.39 - 14.03 มก./ล. ค่า TCB อยู่ในช่วง 1.95×10^5 - 1.95×10^6 MPN/100 มล. และค่า FCB อยู่ในช่วง 6.65×10^4 - 6.37×10^5 MPN/100 มล. ขณะที่ DO และ FCB มีค่าสูงกว่าข้อมูลก่อนการรื้อถอนในปี พ.ศ. 2526 2541 และ 2555 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 DO ยังมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่ FCB มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ส่วน WQI (Water Quality Index) มีค่าเป็น 24.01 จึงจัดว่าคลองโองอ่างเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5 ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในการคมนาคมเท่านั้น

คำสำคัญ : คลองโองอ่าง; คุณภาพน้ำ; รื้อถอน

¹ Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University Of Technology Rattanakosin, Bangkok

* Corresponding Author E - mail Address: utumporn.som@rmutr.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 1.95×10^5 - 1.95×10^6 MPN/100 mL, and FCB was 6.65×10^4 - 6.37×10^5 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

คลองโอ่งอ่างเป็นคลองรอบกรุงที่มีประตูลอยน้ำออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยา เป็นคลองประวัติศาสตร์ของกรุงเทพมหานครที่ได้รับการขึ้นทะเบียนจากกรมศิลปากรให้เป็นโบราณสถานสำคัญ เพราะเล็งเห็นว่ามีความสำคัญต่อบ้านเมืองด้านยุทธศาสตร์และประวัติศาสตร์ของกรุงรัตนโกสินทร์ และสะท้อนให้เห็นลักษณะความเจริญด้านสถาปัตยกรรม จึงสมควรที่จะอนุรักษ์ไว้ [1] คลองโอ่งอ่างเคยประสบปัญหาต่าง ๆ ได้แก่ ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางน้ำ เสียง และอากาศ เป็นต้น และปัญหาดังกล่าวเหล่านี้จะเกิดจากการตั้งร้านค้าริมฟากที่คลองโอ่งอ่างกว่า 500 ราย เป็นเวลาเกือบ 30 ปี จึงมีการแก้ไขโดยมีประกาศจากกรุงเทพมหานครให้มีการรื้อถอนในวันที่ 20 ตุลาคม 2558 ที่ผ่านมา [2]

น้ำเสีย คือ น้ำที่ได้รับผลกระทบในด้านคุณภาพ มีสีและกลิ่นที่น่ารังเกียจ เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำลายระบบนิเวศธรรมชาติ แหล่งเกษตรกรรม แหล่งประมง และแหล่งชุมชน เป็นแหล่งของเชื้อโรคต่าง ๆ สุ่มนุษย์ สัตว์ และพืช และทำลายทัศนียภาพและการท่องเที่ยวด้วย [3] การตรวจสอบคุณภาพน้ำทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีการทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ แล้วนำคุณภาพน้ำต่าง ๆ มาคำนวณเป็น WQI เพื่อประเมินความสกปรกของน้ำหรือบ่งชี้ประเภทของแหล่งน้ำ

จากการศึกษาสภาวะแวดล้อมของน้ำของตัวแทนคลองหลักในกรุงเทพมหานคร 4 คลอง คือ คลองหลอด (คลองคูเมืองเดิม) คลองบางลำพู - คลองโองอ่าง คลองผดุงกรุงเกษม และคลองบางกอกใหญ่ (คลองบางหลวง) พบว่า คลองดังกล่าวมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยค่า DO ในฤดูน้ำน้อย มีค่าอยู่ในช่วง 0.9 - 1.4 มก./ล. ฤดูน้ำมากมีค่าอยู่ในช่วง 1.4 - 2.5 มก./ล. มีความสกปรกในน้ำมาก โดยค่า BOD ในฤดูน้ำน้อยอยู่ในช่วง 12.14 - 29.58 มก./ล. ฤดูน้ำมากมีค่าในช่วง 7.34 - 14.46 มก./ล. และยังมีค่า FCB สูงเกินมาตรฐานมาก คือ อยู่ในช่วง 104 - 1016 MPN/100 มล. [4] นอกจากนี้ ยังมีการรายงานผลการติดตามในคลองบางลำพู - คลองโองอ่าง พบว่า คุณภาพน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยค่า DO ในฤดูน้ำมากและน้ำน้อยอยู่ในช่วง 1.5 - 3.0 และ 0.8 - 1.8 มก./ล. ส่วน BOD ฤดูน้ำมาก และน้ำน้อยอยู่ในช่วง 5.1 - 6.3 และ 5.4 - 8.5 มก./ล. และ FCB ในฤดูน้ำมากและน้ำน้อยอยู่ในช่วง 2.4×10^4 - 3.0×10^4 และ 1.6×10^4 - 3.3×10^4 MPN/100 มล. [5] สำนักงานสถิติแห่งชาติได้รายงานสถิติ สิ่งแวดล้อมของประเทศไทยเกี่ยวกับคุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี พ.ศ. 2539 - 2544 พบว่า ทุกคลองมีค่า DO ต่ำกว่า 3 มก./ล. ซึ่งจัดเป็นน้ำเสีย [6] สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในปี พ.ศ. 2555 [7] พบว่า คุณภาพน้ำคลองรอบกรุงบริเวณประตูระบายน้ำ คลองโองอ่างมีค่า DO เป็น 2.6 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน BOD เป็น 33 มก./ล. ที่สูงกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน และ TCB เป็น 4.04×10^7 MPN/100 มล. ที่สูงกว่ามาตรฐาน คุณภาพน้ำผิวดินเช่นเดียวกัน

จากสภาพปัญหาบริเวณคลองโองอ่างและคลองรอบกรุงดังกล่าว จึงมีผู้ศึกษาวิจัยข้างต้นเพื่อเป็นการ ตรวจสอบคุณภาพน้ำอันจะเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงปัญหามลพิษทางน้ำ เป็นเฝ้าระวังปัญหาน้ำเสียที่อาจเกิดขึ้น และเป็นข้อมูลในการวางแผน การบริหารจัดการน้ำคลองดังกล่าว ดังนั้น หลังการรื้อถอนร้านค้าตั้งรูก้า พื้นที่คลองโองอ่างแล้ว จึงควรมีการศึกษาวิจัยต่อเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในคลองโองอ่าง เปรียบเทียบกับ คุณภาพน้ำก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รูก้า และระบุประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการน้ำคลองโองอ่างที่กำลังจะเป็นตลาดน้ำหรือย่านการค้าในเร็ว ๆ นี้

วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรต้น 3 ปัจจัย ได้แก่ เดือนและเวลาที่เก็บตัวอย่าง และการรื้อถอนร้านค้าที่รูก้า คลองโองอ่าง ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยตัวแปรต้น 2 ปัจจัยแรก คือ เดือนและเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำ ทำการวิจัยโดยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบสุ่มด้วยบล็อกสมบูรณ์ (Factorial in Randomize Completed Block Design; Factorial in RCBD และมีบล็อก 3 บล็อก คือ จุดที่เก็บตัวอย่างน้ำซึ่งเป็นสะพานที่อยู่ในบริเวณที่เคยมีการตั้งร้านค้าที่รูก้าคลองโองอ่าง จำนวน 3 จุด และมีจำนวนซ้ำภายในบล็อกจำนวน 3 ซ้ำ คือ จำนวนตัวอย่างที่เก็บเป็น 3 ตัวอย่างต่อจุด ส่วนตัวแปรต้น อีก 1 ปัจจัย คือ การรื้อถอนร้านค้าที่รูก้าคลองโองอ่าง ทำการวิจัยโดยจะนำข้อมูลจากการวิจัยในครั้งนี้ (ปี พ.ศ. 2559 - 2560) ซึ่งเกิดขึ้นหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รูก้าคลองในปี พ.ศ. 2558 มาเปรียบเทียบกับ วิธีของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference; LSD) กับข้อมูลที่มีการสำรวจไว้แล้ว ในปี พ.ศ. 2526 2541 และ 2555 เกิดขึ้นก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รูก้าคลองดังกล่าว

1. การเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำทำโดยเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 54 ตัวอย่าง ดังนี้ เก็บตัวอย่างน้ำ 3 เดือนต่อครั้ง จำนวน 3 ครั้ง เป็นเวลา 6 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560 เก็บตัวอย่างน้ำ 2 เวลา ได้แก่ ก่อนเปิดและหลังปิดประตูระบายน้ำ เก็บตัวอย่างน้ำจาก 3 จุดจาก 3 สะพานที่เคยอยู่ในบริเวณที่เคยมีการตั้งร้านค้าที่รูกาล้างคลองโอง่าง ได้แก่ สะพานบพิตรพิมุข สะพานหัน และสะพานเหล็ก และเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่างต่อจุด โดยเก็บที่ความลึก 30 ซม. และอยู่กึ่งกลางความกว้างคลอง ภายใน 1 ชม. ก่อนเปิดและหลังปิดประตูระบายน้ำ ซึ่งมีเวลาต่างกันในแต่ละครั้งของการเปิดปิดประตูและไม่ได้เปิดปิดทุกวัน

2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพทำได้โดยการสังเกตแล้วบันทึกสี กลิ่น และความขุ่นของตัวอย่างน้ำ ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมีและชีวภาพ ทำได้โดยนำตัวอย่างที่เก็บได้มาแบ่งใส่ขวดสำหรับการวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ดังที่กล่าวต่อไป ส่งขวดตัวอย่างน้ำไปยังห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม 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 (อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส) แล้ววิเคราะห์ด้วยวิธี 5-Days BOD Test 5220 B. [8]
- 3) TCB โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 150 มล. ด้วยขวดแก้วทนความร้อนพิเศษ (Duran) ที่นั่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว แล้วเก็บในน้ำแข็ง (อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส) แล้ววิเคราะห์ด้วยวิธี Total Coliform Procedure 9221 E. [8]
- 4) FCB โดยเก็บตัวอย่างน้ำเช่นเดียวกับแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (TCB) แล้ววิเคราะห์ด้วยวิธี *Escherichia Coli* Procedure 9221 F. [8]

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

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

การระบุประเภทของแหล่งน้ำผิวดินทำได้โดยคำนวณ WQI โดยใช้ข้อมูล DO BOD TCB และ FCB แล้วนำมาเปรียบเทียบกับช่วง WQI และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่กำหนดให้สำหรับแหล่งน้ำผิวดินแต่ละประเภท การคำนวณค่า WQI ทำได้โดยคำนวณคะแนนของแต่ละค่าพารามิเตอร์ตามสูตรการคำนวณของกรมควบคุมมลพิษ [9] โดยแต่ละพารามิเตอร์และแต่ละช่วงค่าเฉลี่ยจะมีสูตรการคำนวณที่แตกต่างกันไป แล้วนำคะแนนของแต่ละค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาคำนวณค่า WQI ได้จากสมการที่ (1)

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

ส่วนการวิเคราะห์หิทธิพลของการรื้อถอนร้านค้าที่รูก้าพื้นที่คลอง ทำโดยเปรียบเทียบข้อมูลคุณภาพน้ำทั้ง 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ DO BOD TCB และ FCB ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รูก้าคลองโอง่าง กับหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รูก้าคลองโอง่าง ซึ่งข้อมูลคุณภาพน้ำก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รูก้าคลองโอง่างนั้นได้จากสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร และงานวิจัยที่สืบค้นได้ ในปี พ.ศ. 2526 2541 และ 2555 ส่วนข้อมูลคุณภาพน้ำหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รูก้าคลองโอง่างเป็นข้อมูลจากการวิจัยในครั้งนี้ คือ ในปี พ.ศ. 2559 - 2560 การเปรียบเทียบทำโดยตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทีละคู่ด้วยวิธีของฟิชเชอร์ (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 แต่เมื่อพิจารณาค่า BOD พบว่า ในแต่ละเดือนที่เก็บตัวอย่างน้ำค่า BOD มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 หรือกล่าวได้ว่าเดือนที่เก็บตัวอย่างน้ำมีอิทธิพลต่อค่า BOD อย่างยิ่ง จากนั้นเมื่อนำค่าเฉลี่ย BOD ในแต่ละเดือนไปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของฟิชเชอร์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ไม่ได้แสดงในตารางที่ 1 พบว่าเดือนที่ 1 และ 3 มีปริมาณ BOD ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ 11.49 และ 13.58 มก./ล. ซึ่งค่าทั้งสองมากกว่าค่า BOD ในเดือนที่ 6 (4.78 มก./ล.) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยค่า BOD จากทุกเดือนและทุกเวลา มีค่าสูงกว่ามาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 2 3 และ 4 ที่ระบุไว้ในตารางที่ 2 ว่าเป็น <1.50 <2.00 และ <4.00 มก./ล. ตามลำดับ ส่วนน้ำผิวดินประเภทที่ 1 และ 5 ไม่ได้ระบุเกณฑ์ค่า BOD ไว้ดังตารางที่ 2 แสดงว่า น้ำจากการวิจัยมีความสกปรกในรูปสารอินทรีย์สูงกว่ามาตรฐาน ผลดังกล่าวสอดคล้องกับคุณภาพน้ำ

ทางกายภาพ (ตารางที่ 1) ได้แก่ สี กลิ่น และความขุ่น 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) ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวเป็นช่วงปริมาณน้ำน้อย ซึ่งเดือนที่ 6 เป็นช่วงปริมาณน้ำมากนั้นมีผลโดยตรงกับความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้วัดค่า BOD ได้น้อยลงและน้ำใสไม่มีสี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการศึกษาสภาวะแวดล้อมทางน้ำของตัวแทนคลองหลักในกรุงเทพมหานคร [4] ที่พบว่า ค่า BOD ในฤดูน้ำน้อย (12.14 - 29.58 มก./ล.) มีค่ามากกว่าค่า BOD ในฤดูน้ำมาก (7.34 - 14.46 มก./ล.) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัย เรื่อง การศึกษาคุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาตามพระราชเสาวนีย์ของสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ [11] ที่พบการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ แต่ละเดือนในรอบปีระหว่างปี พ.ศ. 2552 - 2553 ของแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ซึ่งเป็นหลักฐานว่า คุณภาพน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลของฤดูกาลหรือปริมาณน้ำหรือน้ำฝน

2. อิทธิพลของการเปิดปิดประตูระบายน้ำต่อคุณภาพน้ำ

อิทธิพลของการเปิดปิดประตูระบายน้ำต่อคุณภาพน้ำพบว่า การเปิดปิดประตูระบายน้ำมีผลต่อค่า DO โดยทำให้ค่าเฉลี่ย DO ของก่อนเปิดประตูระบายน้ำและหลังปิดประตูระบายน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ระดับนัยสำคัญ 0.05) ดังตารางที่ 1 โดยค่าเฉลี่ย DO ก่อนเปิดประตูระบายน้ำมีค่าเท่ากับ $5.72 + 0.66$ มก./ล. มากกว่าค่าเฉลี่ย DO หลังปิดประตูระบายน้ำซึ่งมีค่าเท่ากับ $4.39 + 1.11$ มก./ล. ซึ่งค่า DO ดังกล่าวยังอยู่ในมาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 3 และ 4 ที่ระบุค่า DO เป็น >4.00 และ >3.00 มก./ล. ดังตารางที่ 2 อย่างไรก็ตามการเปิดปิดประตูระบายน้ำไม่มีผลต่อค่า BOD TCB และ FCB ซึ่งผลของค่าเฉลี่ย DO ของก่อนเปิดและหลังปิดประตูระบายน้ำในงานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การจัดการคุณภาพน้ำในคลองราชาธิวาส เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร พบว่าค่า DO ของก่อนและหลังการระบายน้ำเท่ากับ 2.36 และ 2.08 มก./ล. ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [12] แต่ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การศึกษาคุณภาพน้ำและผลกระทบของการใช้งานเขื่อนในแม่น้ำบางปะกง [13] ที่พบว่า DO บริเวณด้านเหนือเขื่อนทดน้ำบางปะกงกรณีที่มีการเปิดบานประตูเขื่อนทดน้ำบางปะกงมีค่าต่ำกว่ากรณีที่มีการทึบบานประตูเขื่อนและกรณีที่มีการปิดบานประตูเขื่อน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าแม้ว่าการเปิดประตูระบายน้ำหรือประตูเขื่อนจะเป็นการเพิ่มอัตราการไหลเวียนของน้ำในคลองหรือแหล่งน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนควรจะเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากแม่น้ำเจ้าพระยามีสารอินทรีย์หรือความสกปรกมากกว่าแม่น้ำบางปะกงในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การศึกษาคุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาตามพระราชเสาวนีย์ของสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ [11] ที่พบว่า แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างในปี พ.ศ. 2552 - 2553 ซึ่งมีคุณภาพน้ำบางประการ ได้แก่ BOD แอมโมเนีย และสังกะสีสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้น เมื่อเปิดประตูระบายน้ำทำให้น้ำในแม่น้ำเข้ามายังในคลองมีการเพิ่มขึ้นของออกซิเจนจากการไหลของน้ำ แต่ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นก็อาจถูกใช้โดยจุลินทรีย์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้ DO เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปิดประตูระบายน้ำ

ตารางที่ 1 อิทธิพลของเดือนและเวลาที่เก็บตัวอย่างน้ำต่อคุณภาพน้ำในคลองโฮ่งอ่าง

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ยในเดือนที่								F-value		
	1 (ธ.ค.)		3 (ก.พ.)		6 (พ.ค.)		เฉลี่ย				
	ก่อนเปิดประตูระบายน้ำ	หลังปิดประตูระบายน้ำ	ก่อนเปิดประตูระบายน้ำ	หลังปิดประตูระบายน้ำ	ก่อนเปิดประตูระบายน้ำ	หลังปิดประตูระบายน้ำ	ก่อนเปิดประตูระบายน้ำ	หลังปิดประตูระบายน้ำ	เดือน	เวลา	เดือน x เวลา
สี กลิ่น ความขุ่น	เขียว	เขียว	เขียว	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	-	-	-	-	-
	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	-	-	-	-	-
	ขุ่น	ขุ่น	ขุ่น	ใส	ใส	ใส	-	-	-	-	-
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	4.39±1.11	0.417	7.882*	2.182
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	9.58±4.43	24.800***	0.889	2.738
TCB (x10 ⁴ MPN/100มล.)	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	108.44±77.29	3.615	0.109	12.084*
FCB (x10 ⁴ MPN/100มล.)	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 การเปรียบเทียบคุณภาพก่อนและหลังการรื้อถอนราคาทรัพย์สินที่คลอบและมาตรฐานวิศวกรรม

พารามิเตอร์	มาตรฐานนาฬิกาวินประเภท ¹					ค่าเฉลี่ย			หลังการรื้อถอนน้ำผิวดำ (ข้อมูลจากกรวิจัย; 2559 - 2560)
	มาตรฐานนาฬิกาวินประเภท ¹					ก่อนการรื้อถอนน้ำผิวดำ (ข้อมูลที่เคยมีผู้สำรวจไว้)			
						2526 ²	2541 ³	2555 ⁴	
	1	2	3	4	5				
DO (มก./ล.)	N	>6.00	>4.00	>3.00	-	1.55 ^b ±0.57	1.78 ^b ±0.67	2.60 ^{ab} ±0.00	5.06 ^a ±1.41
BOD (มก./ล.)	N	<1.50	<2.00	<4.00	-	12.38 ^b ±7.31	6.33 ^b ±0.88	33.00 ^a ±0.00	5.95 ^b ±3.67
TCB (×10 ⁴ MPN/100 มล.)	N	<0.50	<2.00	-	-	-	-	4.040.00 ^a ±0.00	90.81 ^b ±7.15
FCB (×10 ⁴ MPN/100 มล.)	N	<0.1	<0.4	-	-	5.60 ^b ±0.71	2.43 ^b ±0.85	-	28.66 ^a ±2.23
WQI	91-100	71-90	61-70	31-60	0-30	-	-	-	24.01

คือ มาตรฐานน้ำฟิวดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 8 (2537) ที่ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน [14]

คือ ข้อมูลคุณภาพน้ำในคลองเอื้องอ่างที่เคยผู้สำรวจในปี พ.ศ. 2526 2541 และ 2555 คือ ธรรมบุญ โรจนบุรานนท์ [4] วาสนา เอื้อวงศ์จ๊ะ [5]^{2,3,4} และสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร [6]

^{a, b} คือ ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference; LSD)

3. อิทธิพลของการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าคลองโองอ่าง

อิทธิพลของการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองต่อคุณภาพน้ำพิจารณาจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำจากการวิจัยในครั้งนี้ที่ทำในระหว่างปี พ.ศ. 2559 - 2560 ซึ่งเกิดขึ้นหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองในปี พ.ศ. 2558 กับค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำของงานวิจัยการสำรวจอื่น ๆ ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลอง ได้แก่ ปี พ.ศ. 2526 2541 และ 2555 ดังตารางที่ 2 พบว่า การรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าคลองโองอ่างมีอิทธิพลต่อ DO TCB และ FCB โดยค่าเฉลี่ย DO หลังการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองมีค่าเท่ากับ 5.06 มก./ล. สูงกว่าค่าเฉลี่ย DO ก่อนรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าคลองโองอ่างทั้ง 3 ปี ได้แก่ 2526 2541 และ 2555 มีค่าเท่ากับ 1.55 1.78 และ 2.60 มก./ล. ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ย DO หลังการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองอยู่ในมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 (>4.00 มก./ล.) แต่ค่าเฉลี่ย DO ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองนั้นมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของน้ำผิวดินประเภทที่ 4 (>3.00 มก./ล.) สำหรับค่าเฉลี่ย TCB พบว่า หลังการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองมีค่าเฉลี่ย TCB เท่ากับ 90.81×10^4 MPN/100 มล. ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และ 3 ($<0.5 \times 10^4$ และ $<2.0 \times 10^4$ MPN/100 มล.) แต่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย TCB ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองที่มีค่าเท่ากับ $4,040 \times 10^4$ MPN/100 มล. ขณะที่ค่าเฉลี่ย TCB ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองก็สูงกว่ามาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และ 3 ด้วย ค่าเฉลี่ย TCB ทั้งก่อนและหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองที่สูงกว่ามาตรฐานน้ำผิวดินนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การบำบัดน้ำเสียด้วยโอเอี่ยมก่อน: กรณีศึกษา น้ำเสียตัวอย่างจากคลองแสนแสบ [15] ที่พบว่า น้ำในคลองแสนแสบก่อนการบำบัดด้วยโอเอี่ยมก่อนมีค่าเฉลี่ย TCB เท่ากับ 13.00×10^4 MPN/100 มล. สูงกว่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน ส่วนค่า FCB นั้นพบว่า หลังการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองมีค่าเฉลี่ย FCB เท่ากับ 28.66×10^4 MPN/100 มล. สูงกว่ามาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และ 3 ($<0.1 \times 10^4$ และ $<0.4 \times 10^4$ MPN/100 มล.) และสูงกว่าค่าเฉลี่ย FCB ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองในปี พ.ศ. 2526 และ 2541 ที่มีค่าเท่ากับ 5.60×10^4 และ 2.43×10^4 MPN/100 มล. ค่าเฉลี่ย FCB ก่อนการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองก็สูงกว่ามาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และ 3 เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีผู้ใดศึกษาวิจัยเกี่ยวกับอิทธิพลของการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองต่อคุณภาพน้ำ พบแต่นโยบายการจัดการน้ำในคลองแม่ข่า จ.เชียงใหม่ ที่ให้มีการรื้อถอนอาคารและสิ่งก่อสร้างที่รुक้าพื้นที่คลองเพื่อแก้ไขปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้น [16] อย่างไรก็ตาม น้ำในคลองโองอ่างทั้งก่อนและหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้าพื้นที่คลองมีการปนเปื้อนของเชื้อโรค (TCB) และเชื้อในอุจจาระ (FCB) ในระดับที่สูงกว่ามาตรฐานมาก จากการสังเกตพบว่า มีท่อน้ำทิ้งจำนวนเกิน 100 ท่อไหลลงสู่คลอง จึงน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้มีปริมาณแบคทีเรียดังกล่าวสูงกว่ามาตรฐาน

4. การบ่งชี้ประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน

การบ่งชี้ประเภทของแหล่งน้ำผิวดินโดยพิจารณาจากค่า WQI ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.01 แสดงว่าคลองโองอ่างจัดเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5 จัดเป็นแหล่งน้ำที่รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคมเท่านั้น ไม่เหมาะแก่การอุปโภคบริโภค การเกษตร อุตสาหกรรม การคงอยู่ของสิ่งมีชีวิต การอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ ต่างจากงานวิจัยเรื่อง การศึกษาคุณภาพน้ำด้านเชื้อแบคทีเรียของแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีผลต่อการสาธารณสุข [17] ที่ศึกษาความผันแปรของคุณภาพน้ำด้านแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและแบคทีเรียฟัลโคลิฟอร์มจากแม่น้ำเจ้าพระยา 3 ตอน คือ ตอนบน ตอนกลาง และตอนล่าง รวม 17 สถานี 134 ตัวอย่าง

ในปี พ.ศ. 2556 - 2557 พบว่า แม่น้ำเจ้าพระยาทั้ง 3 ตอน จัดเป็นแหล่งน้ำผิวดินได้ 3 ประเภท คือ แหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 3 และ 4 ตามปริมาณเชื้อแบคทีเรียทั้งสอง ดังนั้น แม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน จัดเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และ 3 ร้อยละ 58 และ 42 ส่วนแม่น้ำเจ้าพระยาตอนกลางจัดเป็น แหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และ 3 ร้อยละ 55 และ 45 และแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างจัดเป็นแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 และ 4 ร้อยละ 71 และ 29 โดยไม่มีบริเวณใดเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5 สาเหตุอาจเป็น เพราะว่าคลองโง่งอ่างเป็นคลองที่มีการปล่อยน้ำจากท่อน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและร้านค้าลงสู่ แหล่งน้ำมาก จึงทำให้มีการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียทั้งสองมากดังกล่าวจนทำให้คำนวณได้ค่า WQI ต่ำจนจัดอยู่ในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5

5. แนวทางการใช้ประโยชน์จากการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำ ได้แก่ เดือนที่เก็บตัวอย่างน้ำ การเปิดปิด ประตูระบายน้ำ และการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้ำพื้นที่คลอง ซึ่งการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้ำพื้นที่คลองก็ได้ ดำเนินการแล้วและส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเป็นไปในทางที่ดีขึ้นกว่าก่อนรื้อถอนร้านค้า ที่รुक้ำพื้นที่คลอง การเปิดปิดประตูระบายน้ำนั้นสามารถควบคุมได้ โดยควรมีการเฝ้าระวังหรือตรวจติดตาม คุณภาพน้ำควบคู่ไป แต่เดือนที่เก็บตัวอย่างน้ำหรือฤดูกาลที่มีน้ำมากน้อยก็เป็นปัจจัยที่ไม่อาจควบคุมได้ หากเป็นไปได้ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจเกี่ยวข้องต่อคุณภาพน้ำด้วย เช่น ท่อน้ำทิ้ง เป็นต้น เมื่อพิจารณาในคุณภาพน้ำด้านชีวภาพที่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินทั้งก่อนและหลัง การรื้อถอน ร้านค้าที่รुक้ำพื้นที่คลองนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรร่วมมือกันปรับปรุงคุณภาพน้ำทางชีวภาพให้ดีขึ้น เช่น การจัดการท่อน้ำทิ้งที่ลงสู่คลอง และการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเปิดปิดประตูระบายน้ำที่เหมาะสม เป็นต้น หากทำได้จะทำให้ชุมชนปลอดภัย น่ายอยู่ และยังส่งเสริมให้เป็นแหล่งการค้าและการท่องเที่ยวที่สำคัญได้ เนื่องจากเป็นคลองประวัติศาสตร์ใกล้แหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ ๆ เช่น วัด และพิพิธภัณฑ์ รวมทั้งใกล้ย่าน การค้าที่สำคัญ ๆ ได้แก่ ปากคลองตลาด สำเพ็ง และพาหุรัด จึงมีโอกาที่กรุงเทพมหานครจะสนับสนุน ให้เป็นชุมชนเพื่อการค้าและการท่องเที่ยว

ปัจจุบันคลองโง่งอ่างไม่ได้ใช้ประโยชน์ในด้านการคมนาคมการอุปโภคบริโภค การเกษตร อดสาหกรรม การอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต การอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ จึงสามารถเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ได้ แต่อย่างไรก็ตามโอกาสที่เชื้อก่อโรคและเชื้อจากอุจจาระจะแพร่สู่ แม่น้ำเจ้าพระยามีมากอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไปได้ เพราะมีการเปิดปิดประตูระบายน้ำอยู่เป็นประจำ อีกทั้งยังมีโอกาสที่สัตว์บางชนิดที่พบ เช่น ตะกวด เป็นต้น จะนำเชื้อโรคจากน้ำคลองขึ้นมาบริเวณริมตลิ่ง ซึ่งเป็นชุมชนและร้านค้าและมีผู้คนเดินไปมาค่อนข้างมาก จึงมีโอกาสติดเชื้อได้

บทสรุป

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในคลองโง่งอ่าง ได้แก่ เดือนที่เก็บตัวอย่างน้ำมีผลต่อปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ การเปิดปิดประตูระบายน้ำมีผลต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำ และการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้ำพื้นที่คลองมีผลต่อ ปริมาณออกซิเจนในน้ำ ปริมาณแบคทีเรียก่อโรคและปริมาณแบคทีเรียจากอุจจาระ น้ำในคลองโง่งอ่าง ทั้งก่อนและหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้ำพื้นที่คลองมีคุณภาพด้านชีวภาพที่ต่ำกว่ามาตรฐานมาก นอกจากนั้นยังพบว่า น้ำในคลองโง่งอ่างหลังการรื้อถอนร้านค้าที่รुक้ำพื้นที่คลองจัดเป็นแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภทที่ 5 ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคมเท่านั้น ไม่เหมาะแก่การอุปโภคบริโภค การเกษตร อุตสาหกรรม การคงอยู่ของสิ่งมีชีวิต การอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ประจำปี พ.ศ. 2560 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และขอขอบคุณความร่วมมือจากสำนักการระบายน้ำ 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-ongang>) (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) (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**. 2nd 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) (in Thai)



การเปรียบเทียบเทคนิคอนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ราคาทองและราคาน้ำมัน

Comparison of Time Series Techniques for Predicting Gold and Oil Prices

วิบล ญีก¹ และจारी ทองคำ^{1*}

Received: October, 2017; Accepted: January, 2018

บทคัดย่อ

การพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมันจากการอ้างอิงราคาตลาดโลกนั้นเป็นงานวิจัยที่ท้าทาย โดยการพยากรณ์ราคาทอง และราคาน้ำมันที่ถูกต้องหรือใกล้เคียงกับราคาจริงที่สุดนั้น จะทำให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่งต่อนักลงทุน ปัจจุบันเทคนิคอนุกรมเวลาเข้ามามีบทบาทในการพยากรณ์ข้อมูลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน โดยใช้ข้อมูลราคาทองคำ และราคาน้ำมันดิบตั้งแต่วันที่ 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 ได้ถูกนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ และชุดข้อมูลทดสอบ 13 รอบ ของ Sliding Windows ถูกนำมาใช้เพื่อลดความแปรปรวนของผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) และ Root Mean Square Error (RMSE) ได้ถูกนำมาใช้ในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองจากการศึกษาพบว่า เทคนิค SMOR มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมันที่มีค่า MAE ต่ำสุดถึง 14.21 ± 5.35 และ 1.65 ± 0.75

คำสำคัญ : ราคาน้ำมัน; ราคาทอง; เทคนิคอนุกรมเวลา

¹ 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 ± 5.35 and 1.65 ± 0.75 .

Keywords: Oil Prices; Gold Prices; Time Series Techniques

บทนำ

ราคาทองคำและราคาน้ำมันมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ และระบบการเงินของแต่ละประเทศเป็นอย่างยิ่ง [1] - [2] การพยากรณ์ราคาน้ำมันและทองคำเป็นงานวิจัยที่ทำหาย เนื่องจากการพยากรณ์ราคาทองคำและน้ำมันเป็นปัญหาที่ซับซ้อน ซึ่งเกิดจากความไม่เป็นเชิงเส้นและพฤติกรรมของชุดข้อมูลแบบไดนามิก [3] - [4] ซึ่งข้อมูลราคาทองคำและราคาน้ำมันจัดเป็นข้อมูลอนุกรมเวลา

การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์เหตุการณ์ในอนาคตตามลำดับของเวลา โดยส่วนใหญ่ใช้เทคนิคถ่วงเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) เทคนิคการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) และเทคนิค Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) [5] ปัจจุบันเทคนิคใหม่เข้ามามีบทบาทในการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาเพื่อพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตตามช่วงเวลา ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลอง มีนักวิจัยนิยมใช้เทคนิคอนุกรมเวลามาทำการพยากรณ์ราคาทองในอนาคต 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 ให้ความ RMSE และ MAE ต่ำสุดแต่ไม่มีนัยสำคัญของความแตกต่างจากเทคนิคอื่น ส่วน Dubey, A. D. [2] ได้ทำการทดลองพบว่าเทคนิค Support Vector Machine Regression (SVMR) ให้ความ RMSE และ MAE ที่ต่ำสุด แต่ Yang, J. -F., Zhai, Y. -J., Xu, D. -P., and Han, P. [7] ได้แสดงให้เห็นว่า เทคนิค

SMOR สามารถสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์จำนวนของจุดยอดบนดวงอาทิตย์ ได้ผลการทดลองดีกว่า SVMR และ Neural Network

ในงานวิจัยนี้ข้อมูลอนุกรมเวลาของราคาทองคำ 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 ปีได้รับการประเมินว่าเป็นสกุลเงินสากลสินค้าโภคภัณฑ์การลงทุนหรือเพียงแค่วัตถุแห่งความงาม สภาพทองคำโลกได้ประมาณการว่าจำนวนเงินที่เคยทำเหมืองทองคำทั้งหมดอยู่ที่ 174,100 เมตริกตัน ในปี พ.ศ. 2552 [8] ซึ่งทองคำถือเป็นหนึ่งในสินทรัพย์ที่ดีที่สุดในการดำเนินธุรกิจ ราคาทองคำผันผวนทุกวันและส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจหรือธุรกิจ 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 ตามด้วยประเทศจีนและ Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) อเมริกา และ OECD ภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกเป็นภูมิภาคเดียวที่คาดว่าจะเห็นการลดลงของความต้องการใช้น้ำมันในปี พ.ศ. 2560 [9] ซึ่งข้อมูลราคาทองคำ และราคาน้ำมันดิบนี้จัดเป็นข้อมูลอนุกรมเวลา

2.2 การพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน

การพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมันซึ่งเป็นราคาอ้างอิงจากตลาดโลกนั้นเป็นงานวิจัยที่ท้าทาย มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการวิจัยการพยากรณ์ราคาทองคำ เช่น ในปี ค.ศ. 2003 Ongsritrakul, P. and Soonthornphisaj, N. [10] ได้ทำการแสดงการนำเอา Support Vector Machine Regression มาทำการพยากรณ์ราคาทองคำ ผลปรากฏว่าแบบจำลองสร้างจากเทคนิค SVMR สามารถพยากรณ์ได้ใกล้เคียงกับราคาจริง ต่อมาในปี 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., ShanyingXu, and Wang, S. [12] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกด้วยเทคนิค 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 ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ราคาน้ำมัน ผลปรากฏว่าแบบจำลองสามารถพยากรณ์ราคาน้ำมันได้ดี ต่อมา ในปี ค.ศ. 2017 Nwulu, N. I. [13] ได้นำเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ราคาน้ำมันดิบในหนึ่งสัปดาห์ พบว่าเทคนิค M5P ให้ค่า RMSE ต่ำสุด

2.3 อนุกรมเวลา

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

2.4 เทคนิคในอนุกรมเวลา

ในงานวิจัยนี้ได้นำเอา 6 เทคนิคที่มีประสิทธิภาพในอนุกรมเวลาได้แก่ 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] เป็นเทคนิคถดถอยพื้นฐานวิธีที่ใช้กันมากในทางสถิติที่ใช้ในอนุกรมเวลาเพื่อหาแนวโน้มของข้อมูลในอนาคตด้วยสมการเชิงเส้น

Multi-Layer Perceptron (MLP) [15] เป็นเทคนิคที่มีรูปแบบเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) แบบ Feedforward ซึ่งจะจับคู่ระหว่างชุดข้อมูลนำเข้าและชุดของผลลัพธ์ที่เหมาะสม เทคนิคนี้ประกอบด้วย โหนดหลายชั้นในกราฟกำกับ โดยแต่ละชั้นจะเชื่อมต่อกับโหนดหนึ่งต่อไปอีกโหนด แต่ละโหนดจะเป็นเซลล์ประสาท หรือส่วนการประมวลผล ที่มีฟังก์ชันการเปิดใช้งานแบบไม่เชิงเส้น MLP ได้ทั้งการจำแนกและวิเคราะห์ข้อมูลการถดถอยเชิงเส้นตรง

Radial Basis Function (RBF) [15] เป็นเทคนิคในฟังก์ชันเครือข่ายพื้นฐานเกี่ยวกับแวนรัสมิเป็นฟังก์ชันการเปิดใช้งาน ผลลัพธ์ของเครือข่ายคือการรวมกันเชิงเส้นของฟังก์ชันพื้นฐานเกี่ยวกับรัสมิของอินพุตและพารามิเตอร์ของเซลล์ประสาท Radial พื้นฐานเครือข่ายฟังก์ชันมีการใช้จำนวนมาก รวมทั้งการประมาณค่าการทำนายอนุกรมเวลาการจำแนกและการควบคุม

Reduced Error Pruning Tree (REPT) [16] เป็นเทคนิคในการสร้างต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) ด้วยเทคนิค C4.5 และใช้การเรียนรู้เกี่ยวกับเครื่องจักรในการลดขนาดของต้นไม้ตัดสินใจโดยการตัดส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้และลดความผิดพลาดในการพยากรณ์

Support Vector Machine Regression (SVMR) [17] เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการของ Support Vector Machine ด้วยการสนับสนุนเวกเตอร์แบบถดถอย ซึ่งเป็นที่นิยมในการจำแนกข้อมูล เทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลแบบเชิงเส้น และแบบไม่เชิงเส้น โดยการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์กำลังสอง (Quadratic Programming: QP) มีการใช้ฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel) ชนิดต่าง ๆ เช่น เคอร์เนลเชิงเส้น (Linear Kernel) เคอร์เนลโพลีโนเมียล (Polynomial Kernel) เคอร์เนลเรเดียล (Radial Kernel) และเคอร์เนลซิกมอด (Sigmoid Kernel)

Sequential Minimal Optimization Regression (SMOR) [18] เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาจากเทคนิคเครื่องเวกเตอร์สนับสนุน (Support Vector Machine) เทคนิคนี้ สามารถใช้ได้ทั้งในงานจำแนก และถดถอย เคอร์เนลเชิงเส้น โดยมีการนิยาม Margin เป็นผลรวมของระยะห่างของเส้นตรงที่เป็นไฮเปอร์เพลนเส้นที่ไปถึงเส้นตรงที่ผ่านปัจจัยนำเข้าที่ใกล้ที่สุด และขนาดกับไฮเปอร์เพลนของทั้งสองกลุ่ม โดยระยะที่อาจมองเป็นเวกเตอร์มีชื่อว่า ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซ์ เทคนิคนี้จะเลือกไฮเปอร์เพลนที่มีค่า Margin สูงสุด ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เคอร์เนลโพลีโนเมียล (Polynomial Kernel) ซึ่งเป็นเคอร์เนลที่มีความนิยม

วิธีการดำเนินการวิจัย

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

1. รวบรวมข้อมูล

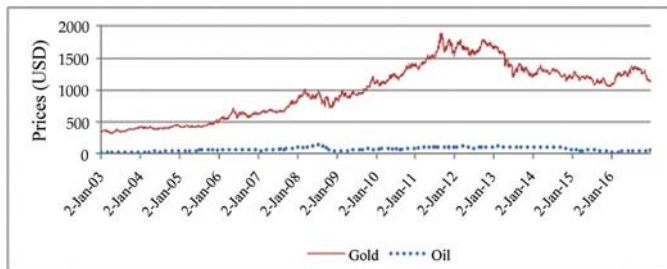
ในงานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลจากเว็บไซต์ www.gold.org และ www.opec.org ข้อมูลนี้เก็บรวบรวมได้ทุกวันตั้งแต่วันที่ 2 มกราคม พ.ศ. 2546 ถึง 30 ธันวาคม พ.ศ. 2559 ข้อมูลถูกบันทึกเป็นรายวัน ยกเว้นวันสุดสัปดาห์และวันสำคัญต่าง ๆ ราคาของน้ำมันและทองคำมีหน่วยเป็นดอลลาร์สหรัฐอเมริกา (USD)

2. การเตรียมข้อมูล

การเตรียมข้อมูล คณะผู้วิจัยได้เริ่มจากการทำความสะอาดข้อมูลทำได้โดยรวบรวมและรวมข้อมูลตรวจสอบความซ้ำซ้อนของข้อมูล และข้อมูลที่สูญหาย โดยถ้าข้อมูลที่ซ้ำกันข้อมูลจะถูกลบออกให้เหลือเพียงข้อมูลที่ไม่ซ้ำ แล้วจึงจัดเรียงใหม่เพื่อการวิเคราะห์ ค่าบางส่วนของวันไม่ได้ระบุไว้ในระบบบันทึกดังกล่าวถูกลบไปแล้ว หลังจากการลบมีข้อมูลจำนวน 3,383 ดังตารางที่ 1 และสามารถแสดงการเคลื่อนไหวของราคาทองคำ 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

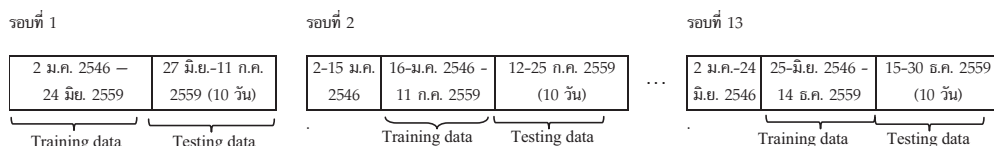
จากตารางที่ 1 และรูปที่ 1 เห็นได้ว่าราคาทองคำมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงถึง 430.76 ซึ่งเกิดจากความผันผวนของตลาดโลก ส่วนราคาน้ำมัน มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ และจัดว่ามีองค์ประกอบของอนุกรมเวลาในส่วนของการผันแปรเนื่องจากความผิดปกติ จึงเป็นการยากที่นำเอาเทคนิคปกติมาทำการวิเคราะห์ ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ค้นหาเทคนิคที่เหมาะสมในการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน

3. การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองพยากรณ์ราคาน้ำมันดิบ และราคาทองคำ เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือขายออกด้วยเทคนิคในอนุกรมเวลา 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 แล้วทำการเลื่อนหน้าต่างตามข้อมูล (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 ด้วยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) รวมเป็นจำนวน 13 รอบ แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (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 ต่ำแสดงว่าค่าพยากรณ์มีความใกล้เคียงกับค่าจริง ซึ่งหมายถึงแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูง ในทางกลับกันถ้าค่า MAE และ RMSE ค่าพยากรณ์มีความห่างจากค่าจริงสูงแสดงว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพต่ำ โดยผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมินดังนี้

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

ผลการศึกษา

จากการศึกษาสามารถแสดงผลการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน ในแต่ละรอบของการทดลองจากการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค LR, MLP, RBF, REPT, SVMR และ SMOR และแสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองนี้ด้วย ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำและราคาน้ำมัน

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 จะเป็นเส้นตรงที่มีค่าเดียว ซึ่งไม่เหมาะสมกับการพยากรณ์ราคาทองคำ เนื่องจากราคาน้ำมันทองคำมีค่าไม่คงที่ ยิ่งไปกว่านั้น เทคนิค RBF สามารถสร้างแบบจำลองที่พยากรณ์ราคาทองคำที่มีความใกล้เคียงกับราคาทองคำมากที่สุด แต่เทคนิค SVMR สร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำที่ใกล้เคียงกับค่าจริงของราคาทองคำต่ำที่สุด

จากตารางที่ 3 แสดงราคาเฉลี่ยของน้ำมัน และราคาจากการพยากรณ์ของราคาน้ำมันในรอบ 10 วัน ผลปรากฏว่าแบบจำลองที่สร้างจากเทคนิค LR MLP RBF และ SMOR สามารถพยากรณ์ราคาน้ำมันได้อย่างเหมาะสม ส่วน SVMR และเทคนิค REPT จะเป็นเส้นตรง ซึ่งไม่เหมาะสมกับการพยากรณ์ราคาน้ำมัน เนื่องจากราคาน้ำมันเป็นราคาที่ไม่คงที่ 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. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ยระหว่างราคาจากการพยากรณ์ และราคาจริงของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ และราคาน้ำมัน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ

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 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำ (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 $\pm$ 72.54	82.43 $\pm$ 71.42	184.03 $\pm$ 4.50	14.21 $\pm$5.35

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาทองคำจำนวน 13 รอบ ด้วยเทคนิค SMOR ให้ค่า 14.21 ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำสุด แต่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่าเทคนิค SVMR ต่อมาเทคนิค LR ได้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 19.78 อยู่ในระดับดี

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาน้ำมัน

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	1.65 $\pm$0.75

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของแบบจำลองในการพยากรณ์ราคาน้ำมันจำนวน 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	16.56 $\pm$5.54

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าพยากรณ์และค่าจริงของราคาทองคำ ผลปรากฏว่าเทคนิค SMOR สามารถสร้างแบบจำลองที่ให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองเป็น 16.56 ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำสุด อยู่ในลำดับดีแต่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงกว่าเทคนิค SVMR ต่อมาเทคนิค LR ให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองเท่ากับ 21.89 อยู่ในลำดับน้อย

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	1.88 ±1.12	3.87 ±2.74	40.74 ±4.57	40.71 ±4.53	22.31 ±0.32	1.91 ±0.73

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าพยากรณ์และค่าจริงของราคาทองคำ ผลปรากฏว่าเทคนิค LR สามารถสร้างแบบจำลองที่ให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองต่ำสุดเท่ากับ 1.88 รองลงมาคือ เทคนิค SMOR ให้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองเท่ากับ 1.91 แต่แบบจำลองจากเทคนิค LR มีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองสูงกว่าแบบจำลองจากเทคนิค SMOR อย่างไม่มีนัยสำคัญเมื่อทดสอบด้วย T-Test One Pair เท่ากับ 0.09

วิจารณ์และสรุป

ในการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ราคาทองคำและราคาน้ำมัน โดยแบบจำลองที่ใช้ประกอบด้วย ผลการพยากรณ์ และผลการทดลองพบว่า เทคนิค MLP สามารถพยากรณ์ราคาทองคำใกล้เคียงกับราคาทองคำจริง ส่วน RBF สามารถพยากรณ์ราคาทองคำใกล้เคียงกับราคาน้ำมันดิบ อย่างไรก็ตามเมื่อทำการประมวลผลความผิดพลาดในการพยากรณ์ ด้วย MAE และ RMSE พบว่า เทคนิค SMOR มีความเหมาะสมมากที่สุดในการพยากรณ์ราคาทองคำ ด้วยค่า MAE เท่ากับ 14.21 และค่า RMSE เท่ากับ 16.56 ซึ่งให้ผลเหมือนกับงานของ Yang, J. -F., Zhai, Y. -J., Xu, D. -P., and Han, P. [7] ในการพยากรณ์จำนวนของจุดบอดบนดวงอาทิตย์ พบว่า SMOR ได้ผลการทดลองดีกว่า SVMR และ Neural Network

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเว็บไซต์ www.gold.org และ 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. **8th International Symposium on Neural Networks, ISSN 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 3rd 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/)
- [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 13th 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

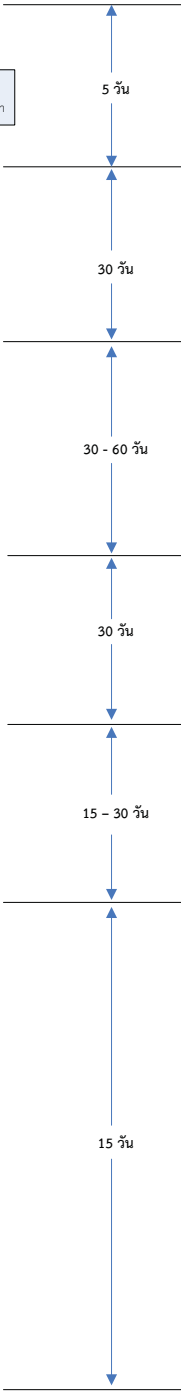
- [14] Peña, M. A., Brenning, A., and Liao, R., (2017). Classifying Fruit-Tree Crops by Landsat-8 time series. **2017 First IEEE International Symposium of Geoscience and Remote Sensing (GRSS-CHILE)**. pp. 1-4. DOI: 10.1109/GRSS-CHILE.2017.7995998
- [15] Frank, E. (2014). **Fully Supervised Training 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

ฝ่ายการดำเนินงานวารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



วารสาร มทร.อีสาน RMUTI JOURNAL

1. ประเภทของบทความที่ตีพิมพ์

- 1.1 บทความวิจัย (Research article) เป็นบทความที่ได้จากงานวิจัย
- 1.2 บทความวิชาการ (Academic article) เป็นบทความที่มีลักษณะดังนี้
 1. เป็นบทความจากการทบทวนเอกสาร ซึ่งเป็นผลมาจากการวิจัยหลาย ๆ ครั้ง ถือเป็นบทความที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง
 2. เป็นบทความนำเสนอกระบวนการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การทดสอบภาคสนาม รวมไปถึงเทคนิคการวิเคราะห์ที่ใหม่ ๆ
 3. เป็นบทความที่มาจากประสบการณ์ 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” “กิตติกรรมประกาศ” “เอกสารอ้างอิง” จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ
 - กรณีบทความภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 18 ตัวหนา
 - กรณีบทความภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา

- ชื่อหัวเรื่องรอง จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ

กรณีบทความภาษาไทย	ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา
กรณีบทความภาษาอังกฤษ	ขนาดตัวอักษร 10 ตัวหนา

- เนื้อหาในส่วนต่าง ๆ และคำสำคัญ

กรณีบทความภาษาไทย	ขนาดตัวอักษร 14
กรณีบทความภาษาอังกฤษ	ขนาดตัวอักษร 10

- ชื่อตาราง

กรณีบทความภาษาไทย ชื่อความ “ตารางที่ x” ใช้ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา วางด้านบน ชิดซ้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยชื่อตารางที่เป็นตัวอักษรขนาด 14 ไม่หนา

กรณีบทความภาษาอังกฤษ ชื่อความ “Table x” ใช้ขนาดตัวอักษร 10 ตัวหนา วางด้านบน ชิดซ้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยชื่อตารางที่เป็นตัวอักษรขนาด 10 ไม่หนา

- ชื่อรูปภาพ

กรณีบทความภาษาไทย ชื่อความ “รูปที่ x” ใช้ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา วางด้านล่างจัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยคำชื่อรูปที่เป็นตัวอักษรขนาด 14 ไม่หนา

กรณีบทความภาษาอังกฤษ ชื่อความ “Figure x” ใช้ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา วางด้านล่างจัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยคำชื่อรูปที่เป็นตัวอักษรขนาด 14 ไม่หนา

3. ส่วนประกอบของบทความแต่ละประเภท

3.1 บทความวิจัย จะประกอบไปด้วย

ก. ส่วนปก

1. ชื่อบทความ (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกระชับรัด ไม่ยาวเกินไป ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

2. ชื่อผู้เขียน (Authors) ชื่อเต็ม - นามสกุลเต็ม ของผู้เขียนทุกคน โดยให้รายละเอียดต้นสังกัดของผู้เขียนไว้ที่บรรทัดล่างสุดของหน้าแรก พร้อมทั้งระบุชื่อผู้เขียนประสานงาน (Corresponding Author) ด้วยการระบุ E-mail address ที่สามารถติดต่อได้ และให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ด้วยกำกับไว้ต่อท้ายนามสกุล และตัวเลขยก ให้เขียนไว้ต่อท้ายนามสกุล เพื่อระบุที่อยู่ของผู้เขียน

3. บทคัดย่อ (Abstract) ควรสั้น ตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา ประกอบไปด้วยเนื้อหา ได้แก่ วัตถุประสงค์ วิธีการ ผลการวิจัย และการอภิปรายผล เป็นต้น โดยเขียนลงใน 1 ย่อหน้า ถ้าบทความเป็นภาษาไทย จะต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย 1 ย่อหน้า และภาษาอังกฤษ 1 ย่อหน้า โดยให้ภาษาไทยขึ้นก่อน เนื้อความในบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษต้องมีความหมายเดียวกัน ความยาวของบทคัดย่อภาษาอังกฤษ กำหนดให้มีความยาวได้ไม่เกิน 300 คำ

4. คำสำคัญ (Key words) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่มีความหมายตรงกัน เป็นการกำหนดคำสำคัญที่สามารถไปใช้สืบค้นในระบบฐานข้อมูล กำหนดให้มีความสำคัญได้อย่างน้อย 3 คำ แต่ไม่เกิน 5 คำ

****หมายเหตุ :** เนื้อหาส่วนปกจะต้องเขียนให้อยู่ในกระดาษจำนวน 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 ต้องไม่ซ้ำซ้อนกัน รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาไทย ให้บรรยายเป็นภาษาไทย รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาอังกฤษ ให้บรรยายเป็นภาษาอังกฤษ

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

5. บทสรุป (Conclusion) สรุปประเด็น และสาระสำคัญของการวิจัย

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) เพื่อแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย อาจมีหรือไม่มีก็ได้

7. เอกสารอ้างอิง (References) เป็นรายการเอกสารที่ถูกอ้างไว้ในส่วนของเนื้อเรื่อง เพื่อใช้เป็นหลักในการค้นคว้าวิจัย จำนวนเอกสารที่นำมาอ้างอิงตอนท้ายต้องมีจำนวนตรงกับที่ถูกอ้างอิงไว้ในส่วนของเนื้อเรื่องที่ปรากฏในบทความเท่านั้น การจัดเรียงให้เรียงตามลำดับการอ้างอิงในเนื้อหา โดยให้ยึดถือรูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงตามที่ทางวารสาร 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 หรือการดำเนินการตามประเภทของบทความวิชาการ

3. ผลการศึกษา/ผลการดำเนินการ (Results) เป็นการเสนอผลอย่างชัดเจน ตามประเด็น โดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษาหรือดำเนินการ

4. สรุป (Conclusion) สรุปประเด็น และสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา

5. เอกสารอ้างอิง (References) ใช้รูปแบบที่วารสารกำหนด รายการการอ้างอิงต้องเขียนในรูปแบบภาษาอังกฤษเท่านั้น

4. การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องของบทความ (In-text Citations)

การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องใช้ ระบบตัวเลข (Numerical System) เท่านั้น โดยรายการอ้างอิงเอกสารให้จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ หมายเลขลำดับของเอกสารอ้างอิงในเครื่องหมายวงเล็บ กรอบสี่เหลี่ยม ตัวอย่างเช่น [1] เป็นต้น หากเป็นการอ้างอิงเอกสารหลายฉบับในเวลาเดียวกัน ให้ใส่หมายเลขอ้างอิงเรียงตามลำดับ จากนั้นน้อยไปหามาก 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.// ชื่อบรรณาธิการหรือผู้รวบรวม(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/ ชื่อเรื่องรายงานการประชุม.// 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 Ovidd 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. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

11) มีเฉพาะชื่อบรรณาธิการเป็นผู้รวบรวม

[X] ชื่อบรรณาธิการ หรือผู้รวบรวม หรือผู้เรียบเรียง.// (ปีที่พิมพ์.)/ /ชื่อหนังสือ.//เล่มที่ (ถ้ามี)//
ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี)//เมืองที่พิมพ์/:/สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

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

5. รูปแบบการใส่รูปภาพในเนื้อหาบทความ

- 1) ชื่อรูปภาพห้ามขึ้นต้นด้วยคำว่า “แสดง”
- 2) รูปภาพที่แสดงต้องมีคำอธิบายอยู่ในเนื้อหาบทความที่มีการระบุถึงรูปภavnั้น ๆ
- 3) คำอธิบายรูปภาพ ให้เขียนไว้ใต้รูปภาพแต่ละรูปภาพ โดยจัดรูปภาพไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
และคำอธิบายจัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ
- 4) ไฟล์ของรูปภาพต้องเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .jpg, .png, .tiff หรือ .eps เท่านั้น ความละเอียด
ไม่ต่ำกว่า 300 dpi
- 5) ลายเส้นที่ปรากฏบนรูปภาพต้องมีความคมชัด กรณีที่เป็นรูปภาพ ต้องระบุชื่อแกนต่าง ๆ
ให้ครบถ้วน
- 6) กรณีที่มีรูปภavn้อย ควรจัดให้รูปภavn้อยทั้งหมดอยู่ในหน้าเดียวกัน สำหรับบทความ
ภาษาไทย ให้เขียนคำบรรยายใต้ชื่อรูปภavn้อยแต่ละรูป และกำหนดลำดับของรูปภาพด้วยตัวอักษร ตัวอย่างเช่น



(ก) รูปภavn้อยที่ 1



(ข) รูปภavn้อยที่ 2

รูปที่ 1 ตัวอย่างการเขียนคำอธิบายรูปภาพ

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

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

8) ขนาดของรูปต้องไม่ใหญ่เกินกว่าความกว้างของหน้ากระดาษที่กำหนดไว้

6. รูปแบบการใส่ตารางในเนื้อหาบทความ

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

7. รูปแบบการใส่สมการในเนื้อหาบทความ

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

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

- 4) ทุกสมการต้องมีการอ้างถึงในเนื้อหา ให้ระบุเลขและเขียนไว้ในวงเล็บ เช่นเดียวกับที่ปรากฏในสมการ

8. การดำเนินงานของกองบรรณาธิการ

- 1) กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้นเกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป บทความที่ไม่ดำเนินการตามรูปแบบที่กำหนดจะไม่รับเข้าสู่กระบวนการพิจารณา โดยผู้ทรงคุณวุฒิ และจะส่งกลับเพื่อทำการแก้ไข
- 2) เจ้าของบทความที่ผ่านการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร จะต้องสมัครสมาชิกวารสาร มทร.อีสาน อย่างน้อย 1 ปี เพื่อเป็นการยืนยันการตีพิมพ์บทความลงในวารสาร
- 3) เมื่อบทความผ่านการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร และผู้เขียนได้ดำเนินการ และจัดเตรียมเอกสารต่าง ๆ อย่างถูกต้อง ครบถ้วนตามข้อกำหนดของวารสารเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้เขียนจะได้รับหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความเพื่อเป็นการยืนยัน
- 4) หากทางวารสารตรวจพบว่าบทความที่ถูกส่งเข้ามามีการคัดลอก หรือเผยแพร่ในที่อื่น ๆ ก่อนหน้า หรือมีการดำเนินการใด ๆ อันเป็นการกระทำที่ผิดจรรยาบรรณของนักวิจัย ทางวารสาร จะดำเนินการทำหนังสือแจ้งไปยังหน่วยงานต้นสังกัด และระงับการพิจารณาและรับบทความจากผู้เขียนบทความนั้นเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 5 ปี



หมายเลขสมาชิก

.....

(สำหรับเจ้าหน้าที่)

แบบฟอร์มการส่งบทความ

วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วันที่.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว)

ระดับการศึกษาสูงสุด ตำแหน่งทางวิชาการ

หน่วยงาน

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....โมบาย.....

e-mail.....

ขอส่ง ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ ☐ บทความจากวิทยานิพนธ์/สารนิพนธ์

ชื่อบทความ (ภาษาไทย)

.....

(ภาษาอังกฤษ)

.....

ชื่อผู้เขียนร่วม

1.

2.

3.

4.

สาขาหลักของบทความ (กรุณาเลือก)

☐ วิศวกรรมศาสตร์ ENG ☐ เกษตรศาสตร์ AGR ☐ สหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสถิติ IG

สาขารองของบทความ (สามารถเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)

☐ ไฟฟ้า ☐ อิเล็กทรอนิกส์ ☐ คอมพิวเตอร์

☐ สื่อสาร-โทรคมนาคม ☐ ลัทธิศาสตร์ ☐ ศิลปะและการออกแบบ

☐ วัสดุและโลหะ ☐ โยธา-สำรวจ ☐ สิ่งแวดล้อม

☐ พลังงาน ☐ สถาปัตยกรรม ☐ พืชไร่

☐ พืชสวน ☐ วิทยาศาสตร์การอาหาร ☐ ICT

☐ อุตสาหการ ☐ เคมี ☐ คณิตศาสตร์

☐ สถิติประยุกต์ ☐ เครื่องกล ☐ โภชนศาสตร์

☐ ฟิสิกส์ ☐ อื่น ๆ

ขอเสนอชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง

1. ชื่อ-สกุลตำแหน่งทางวิชาการ.....

คุณวุฒิ.....สาขาที่เชี่ยวชาญ.....

หน่วยงานที่สังกัด.....

ที่อยู่สำหรับส่งเอกสาร.....

หมายเลขโทรศัพท์.....Email.....

2. ชื่อ-สกุลตำแหน่งทางวิชาการ.....

คุณวุฒิ.....สาขาที่เชี่ยวชาญ.....

หน่วยงานที่สังกัด.....

ที่อยู่สำหรับส่งเอกสาร.....

หมายเลขโทรศัพท์.....Email.....

หมายเหตุ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องมีตำแหน่งทางวิชาการ ระดับ ผศ. ขึ้นไป หรือจบการศึกษาระดับปริญญาเอก และต้องไม่สังกัดหน่วยงานเดียวกับผู้ประพันธ์
2. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการเป็นผู้พิจารณาคัดเลือกผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อพิจารณาผลงานทางวิชาการ
3. เจ้าของบทความที่ผ่านการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร จะต้องสมัครสมาชิกวารสาร มทร.อีสาน อย่างน้อย 1 ปี เพื่อเป็นการยืนยันการตีพิมพ์บทความลงในวารสาร

ข้าพเจ้าได้รับทราบและยินดีปฏิบัติตามเงื่อนไขและข้อกำหนดต่าง ๆ ในแบบฟอร์มแนบท้าย ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ใน “คำแนะนำผู้เขียน” ที่ทางกองบรรณาธิการ วารสาร มทร.อีสาน ได้กำหนดขึ้น และยินดีให้กองบรรณาธิการมีสิทธิ์ที่จะไม่รับพิจารณา หากไม่จัดรูปแบบตามที่กำหนด ยินยอมให้มีสิทธิ์ในการเลือกสรรหาผู้กลั่นกรองโดยอิสระเพื่อพิจารณาคัดฉบับที่ข้าพเจ้า (และผู้แต่งร่วม) ส่งมา ยินยอมให้กองบรรณาธิการสามารถตรวจแก้ไขต้นฉบับดังกล่าวได้ตามที่เห็นสมควร และข้าพเจ้า “ขอรับรองว่า บทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน ไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาจากวารสารอื่น และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน”

หากข้าพเจ้ามีความประสงค์ในการขอยกเลิกการพิจารณาบทความหลังจากวันที่ได้รับหนังสือยืนยันการรับบทความ ข้าพเจ้ายินดีรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่มหาวิทยาลัยฯ ดำเนินการตามกระบวนการของวารสาร มทร.อีสาน ตามที่จ่ายจริง

ลงชื่อ.....

(.....)



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง
.....
โดย
.....

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

(.....)
บรรณาธิการ วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน



ใบสมัครสมาชิก
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

หมายเลขสมาชิก

.....
(สำหรับเจ้าหน้าที่)

วันที่สมัคร.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ที่อยู่ (สำหรับส่งวารสาร).....

รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....

โทรสาร.....

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

(ตัวอักษร).....

ซึ่งได้โอนเงินผ่านทางบัญชี ธนาคารกรุงไทย สาขาม.เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ชื่อบัญชี “วารสาร มทร.อีสาน”

บัญชีออมทรัพย์ เลขที่ 986-4-38484-8

หมายเหตุ กรุณาส่งหลักฐานการจ่ายเงินและใบสมัครสมาชิก 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).....
สังกัดหน่วยงาน
มีความประสงค์ขออนุญาตพิจารณาบทความเรื่อง
.....
.....
ที่ได้ส่งเข้ามายังวารสาร มทร.อีสาน เมื่อวันที่..... และยินยอม
รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตามกระบวนการของวารสาร มทร.อีสาน เป็นจำนวนเงิน บาท
(.....) โดยชำระเงินผ่านทางบัญชีวารสาร มทร.อีสาน
ธนาคารกรุงไทย สาขาม.เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ชื่อบัญชี “วารสาร มทร.อีสาน” บัญชีออมทรัพย์
เลขที่ 986-4-38484-8

หมายเหตุ กรุณาส่งหลักฐานการชำระเงินและหนังสือยืนยันการถอนบทความ มายังสถาบันวิจัยและพัฒนาที่
E-mail : rmuti.journal@gmail.com พร้อมเขียนชื่อ-นามสกุล ให้ชัดเจน ข้อมูลการชำระเงิน
จะมีผลสมบูรณ์ เมื่อทางวารสารได้มีการตรวจสอบเอกสารต่าง ๆ อย่างถูกต้องแล้วเท่านั้น

ลงชื่อ.....ผู้ถอนบทความ
(.....)



หนังสือยืนยันการชำระค่าตีพิมพ์
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....
สังกัดหน่วยงาน
มีความประสงค์ขอชำระค่าตีพิมพ์วารสาร มทร.อีสาน เรื่อง
.....
.....

เป็นค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์ที่เกินจากข้อกำหนดของวารสาร มทร.อีสาน

- ☐ จำนวนหน้า หน้า หน้าละ 400 บาท คิดเป็นเงิน บาท
☐ จำนวนรูปสี รูป รูปละ 50 บาท คิดเป็นเงิน บาท

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

หมายเหตุ กรุณาส่งหลักฐานการชำระเงินและหนังสือยืนยันการชำระค่าตีพิมพ์ มายังสถาบันวิจัยและพัฒนาที่
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, Muang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

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

RMUTI E-mail : rmuti.journal@gmail.com <http://ird.rmuti.ac.th/2015>