

การใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดิน Use of Biomass Fly Ash for Improvement of Surface Water Quality	1
จลนพลศาสตร์ในการอบแห้งกุ้งฝอยด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน Kinetic of Drying of Lanchester's Freshwater Prawn by Microwave-Hot air Combination	11
การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา TESTING FOR THE COEFFICIENT OF VARIATION IN FINE PARTICULATE MATTER (PM2.5) OF HAT YAI, SONGKHLA, THAILAND	23
การปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงและปากแม่น้ำท่าทอง อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี Heavy metals contamination in the sediments of cockle culture area and Tha Thong estuary, Bandon Bay, Surat Thani province	41
TRY IT ON: แอปพลิเคชันห้องลองเสื้อผ้าออนไลน์ผ่านโทรศัพท์มือถือ TRY IT ON : Mobile Application for Virtual Dressing Room	59
โมเดลสำหรับจำแนกความรู้สึกของความคิดเห็นโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ กรณีศึกษาเว็บไซต์จองโรงแรม Model for the Classification of Feelings of Reviews Using Techniques Decision Trees Case Studies Hotel Reservation Web Site	69

เจ้าของ ที่ปรึกษา	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทัศนาศรี ตรีโชติ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุมิตติ เคนชนะ	อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษณ์วรา รัตนโอภาส	รองคณบดีฝ่ายวิจัย บริการวิชาการและวิเทศสัมพันธ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลพัฒน์ รวมเจริญ	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

นโยบาย

1.วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา เป็นวารสารวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตีพิมพ์ครั้งแรกปี พ.ศ. 2563

2.วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา เป็นเอกสารวิชาการแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเผยแพร่ให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงแบบออนไลน์ได้แบบเสรี โดยผ่านกระบวนการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญโดยที่ผู้พิจารณาไม่ทราบชื่อผู้แต่งและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้พิจารณา (double-blind) ขอบเขตงานขอบเขตของบทความวิจัย/บทความวิชาการที่ลงตีพิมพ์ในวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ประกอบด้วย สาขาคณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี เทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม หรือ วิทยาศาสตร์ประยุกต์

วัตถุประสงค์

- 1.เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการและงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- 2.เพื่อเป็นสื่อส่งเสริมการสร้างความรู้และองค์ความรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- 3.เพื่อเป็นเวทีนำเสนอผลงานทางวิชาการของบุคลากรในมหาวิทยาลัยและบุคคลทั่วไป

ประเภทบทความ

วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ตีพิมพ์บทความฉบับเต็มในรูปแบบบทความวิชาการและบทความวิจัยตามขอบเขตงาน

กระบวนการพิจารณาบทความ

วารสารที่มีผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเนื้อหาบทความเพื่อลงตีพิมพ์จำนวน 2 ท่านตอบบทความ โดยที่ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนจะไม่ทราบชื่อ (double-blind) และบทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ที่ปรากฏในวารสารที่เป็นวรรณกรรมของผู้เขียน บรรณาธิการหรือมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยปีที่ 1 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2563 Vol.2 July – December 2020

ค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์

วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาไม่เก็บค่าธรรมเนียมในการตีพิมพ์
เกี่ยวกับวารสาร

ชื่อวารสาร : วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ISSNฉบับอิเล็กทรอนิกส์: 2730-2881

เว็บไซต์วารสาร: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/SciAndTechSkr>

กำหนดเผยแพร่ : เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม)

จัดพิมพ์โดย : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 160 หมู่ 4 ถนนกาญจนวนิช
ตำบลเขาปู่ช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000

บรรณาธิการที่ปรึกษา ประกอบด้วย

ศาสตราจารย์ ดร.วินัย ประถมพิกาญจน์

ศาสตราจารย์ ดร.ปรานี อ่านเปรื่อง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุเมติ เดชนะ

อาจารย์ ดร.มงคล เทพรัตน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระชัย แสงฉาย

รองศาสตราจารย์เทพกร พิทยาภินันท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ รอดเจริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิฐอาร์ณ ปิติมล

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

วิทยาลัยชุมชนปัตตานี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ ประกอบด้วย

รองศาสตราจารย์ ดร.รณสรพร ชินรัมย์

รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ แก้วพลอย

รองศาสตราจารย์นฤมล อัครเวศม์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีฐิต์พล หนูพรหม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรสา ภัทรไพฑูริย์ชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพัทธ์ มะกาเจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษณีย์ ภักดีตระกูลวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กุลยุทธ บุญเซ่ง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันประชา นวนสร้อย

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

หลักสูตรเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยรัตนภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษราคัม ทองเพชร

อาจารย์ พ.ท. ดร.นพ.กฤติณ ศีลนันท์

อาจารย์ ดร.ปฐมวดี ทองแก้ว

อาจารย์ ดร.พันธิการ์ วัฒนกุล

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ผู้ประเมินอิสระหรือพิชญพิจารณา (Peer review) ตรวจสอบทางวิชาการประจำฉบับ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิดา ไร่ทิพย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กฤษณ์วรรธินโอภาส

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภาวดี มากอ้น

อาจารย์ ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ

อาจารย์ ดร.ภัทรวรรณ เพชรแก้ว

อาจารย์ ดร.ศิริฉัตร ทิพย์ศรี

อาจารย์ ดร.พันธิการ์ วัฒนกุล

อาจารย์ ดร.สหพงศ์ สมวงศ์

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาวิทยาเขตสตูล

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

หลักสูตรเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยรัตนภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ฝ่ายจัดการ ประกอบด้วย

นางพิไลพร คงเรือง

นางอมรรัตน์ ชูชื่น

นางสาวยุพดี พันธุ์สะ

นางสุณี เพ็ชรนิล

นางสาวรสสุคนธ์ ราชแก้ว

นายประภัสสร นุ่นแก้ว

ปก นายป.พัน มนต์รี

พิมพ์ที่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

160 ม.4 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมืองสงขลา จ.สงขลา 90000

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
การใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดิน Use of Biomass Fly Ash for Improvement of Surface Water Quality <i>ชั้นวานี จิใจ และ รอวียะ ซอเต็ง</i>	1
จลนพลศาสตร์ในการอบแห้งกุ้งฝอยด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน Kinetic of Drying of Lanchester's Freshwater Prawn by Microwave-Hot air Combination <i>มงคลชัย คำปากดี ไผ่ตรี พลสงคราม วิรัตน์ หวังเชื่อนกลาง และการันย์ หอมชาติ</i>	11
การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ของ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา TESTING FOR THE COEFFICIENT OF VARIATION IN FINE PARTICULATE MATTER (PM2.5) OF HAT YAI, SONGKHLA, THAILAND <i>วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล</i>	23
การปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงและปากแม่น้ำท่า ทอง อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี Heavy metals contamination in the sediments of cockle culture area and Tha Thong estuary, Bandon Bay, Surat Thani province <i>เกวลิน รอดขวัญ วชิรี รวยรื่น และนรนนท์ ขำมณี</i>	41
TRY IT ON: แอปพลิเคชันห้องลองเสื้อผ้าออนไลน์ผ่านโทรศัพท์มือถือ TRY IT ON : Mobile Application for Virtual Dressing Room <i>ทัศนาว ประวิเศษ และธนาสัย สุนทรพันธุ์</i>	59
โมเดลสำหรับจำแนกรู้สึกของความคิดเห็นโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ กรณีศึกษาเว็บไซต์จองโรงแรม Model for the Classification of Feelings of Reviews Using Techniques Decision Trees Case Studies Hotel Reservation Web Site <i>มุกดา หมายนเหม สิทธิพงศ์ ต่อลิ้ม สารภี จุลแก้ว และสุภาวดี มากอ้น</i>	69
คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ	67

การใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดิน Use of Biomass Fly Ash for Improvement of Surface Water Quality

ชนวนี จิใจ^{1*} รอวีเยะ ซอเต็ง¹
Sunwanee Jijai^{1*} Roweeyah Sodeng¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดินโดยใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล เปรียบเทียบกับสารส้มเป็นสารสร้างตะกอน ทำการทดลองโดยจาร์เทส กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที 3 นาที กวนช้า 40 รอบต่อนาที 30 นาที และตกตะกอน 30 นาที วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการปรับปรุงทางด้านของแข็งละลายน้ำ การนำไฟฟ้า ความขุ่น อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง เปลี่ยนแปลงความเข้มข้น 6 ระดับ คือ 0, 10, 20, 30, 40, และ 50 ppm พบว่า ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ให้ประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำสูงสุดที่ 20 ppm โดยชุดที่ใช้สารส้มมีคุณภาพน้ำหลังการทดลองทางด้านของแข็งละลายน้ำ การนำไฟฟ้า ความขุ่น อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 41.10 ± 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร, 82.73 ± 0.12 โมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร, 6.66 ± 0.04 NTU, 30.00 ± 0.00 องศาเซลเซียส, และ 5.41 ± 0.26 ตามลำดับ ชุดที่ใช้เถ้าลอยมีค่าคุณภาพน้ำหลังการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 47.60 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร, 95.83 ± 1.53 โมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร, 9.31 ± 0.01 NTU, 30.00 ± 0.00 องศาเซลเซียส, และ 6.89 ± 0.25 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของชุดที่ใช้สารส้มสูงกว่าชุดที่ใช้เถ้าลอย โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 63.65 และ 49.22 ตามลำดับ

คำสำคัญ: เถ้าลอย โรงไฟฟ้าชีวมวล การปรับปรุงคุณภาพน้ำ น้ำผิวดิน

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

* Corresponding author e-mail: sunwanee.j@yru.ac.th

Abstract

The objective of this research was to study the surface water quality Improvement by biomass fly ash. This study compared the coagulant between alum (industrial grade) with biomass fly ash from power plant. The study of optimum dose, coagulants type and efficiencies. The Jar test was used in a coagulation and flocculation process with 100 RPM for rapid mixing for 3 minutes, then slower to 40 RPM of slow mixing for 30 minutes and settle for 30 minutes. The analysis of characteristic of water before and after process included 5 parameters; total dissolve solids, conductivity, turbidity, temperature and pH. The 6 levels of coagulant concentration changes were 0, 10, 20, 30, 40, and 50 ppm respectively.

The results showed that the optimum dose of 2 coagulants gave highest of efficiencies were 20 ppm. The water quality after the process use alum gave a total dissolve solids, conductivity, turbidity, temperature and pH average of 41.10 ± 0.20 mg/L, 82.73 ± 0.12 μ S/cm, 6.66 ± 0.04 NTU, 30.00 ± 0.00 °C, and 5.41 ± 0.26 respectively. And water quality after the process use biomass fly ash gave a total dissolve solids, conductivity, turbidity, temperature and pH average of 47.60 ± 0.00 mg/L, 95.83 ± 1.53 μ S/cm, 9.31 ± 0.01 NTU, 30.00 ± 0.00 °C, and 6.89 ± 0.25 respectively. The efficiency of turbidity removal uses alum higher than that the biomass fly ash from power plant gave an average of 63.65% and 49.22% respectively.

Keywords: Fly ash, biomass power plant, water quality Improvement, surface water

บทนำ

น้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ถึงจะพบมากถึง 3 ใน 4 ส่วนของพื้นโลก โดยส่วนใหญ่อยู่ในสภาพน้ำเค็มในทะเลและมหาสมุทรประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ เป็นน้ำแข็งตามขั้วโลก ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ และเป็นน้ำจืดตามแม่น้ำลำคลองต่าง ๆ ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ถ้าโลกเราปราศจากน้ำสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ บนโลกก็จะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้เลย (จิระพร จิตบำรุง, 2544) ดังนั้นทรัพยากรน้ำมีความสำคัญเนื่องจากน้ำเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด การใช้ประโยชน์จากน้ำมีการนำมาใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น การนำน้ำมาใช้ในการเกษตรกรรม อุตสาหกรรม บ้านเรือน นันทนาการและกิจกรรมต่าง ๆ รวมทั้งด้านสิ่งแวดล้อม น้ำที่มนุษย์นำมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ดังกล่าวนั้นจะเป็นน้ำจืด แต่น้ำจืดในโลกเรามีเพียง 2.5 % เท่านั้น ความต้องการน้ำมีมากกว่าน้ำจืดที่มีอยู่ในหลายส่วนของโลก และในอีกหลายพื้นที่ในโลกกำลังจะประสบปัญหาความไม่สมดุลของอุปสงค์และอุปทานของน้ำ (ชิตชล ผลารักษ์, 2551) ในปัจจุบันลักษณะคุณภาพของน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับลักษณะของดินและหินที่น้ำไหลผ่าน ส่วนมากจะมีคุณภาพทางกายภาพไม่ดีนัก คือ มักจะมีความขุ่น มีรส กลิ่น สีไม่ค่อยดี เนื่องจากน้ำผิวดินจะนำพาอนุภาคของสิ่งต่าง ๆ บนพื้นดินซึ่งเป็นทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ละลายเจือปนมาด้วย ตามธรรมชาติแล้วแหล่งน้ำผิวดินมักจะมีแบคทีเรียปนเปื้อนอยู่ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ คุณภาพของน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินมีการ

เปลี่ยนแปลงคุณภาพไปตามฤดูกาล เช่น ในฤดูฝน ปริมาณน้ำมาก อัตราการไหลของน้ำสูง เกิดการพัฒนาเอานุภาคสิ่งต่าง ๆ ลงมาปนเปื้อนในแหล่งน้ำผิวดินมาก ทำให้ความขุ่นของแหล่งน้ำสูงกว่าในฤดูแล้ง จึงต้องมีกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำซึ่งมีหลายวิธี คือ กระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางชีวภาพ และกระบวนการทางเคมี (ปราโมทย์ เชี่ยวชาญ, 2551)

จากลักษณะคุณภาพของแหล่งน้ำผิวดิน สามารถกำหนดกระบวนการหรือระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินได้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดความขุ่น สารแขวนลอย สี กลิ่น และจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเป็นสำคัญด้วยกระบวนการทางเคมี เพราะเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยการแยกสารต่าง ๆ หรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่บำบัด แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ เมื่อเติมสารเคมีลงในน้ำเสียแล้ว ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูง ดังนั้นกระบวนการทางเคมีจะเลือกใช้ก็ต่อเมื่อน้ำเสียไม่สามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพหรือชีวภาพ การทำให้เกิดตะกอน อาศัยหลักการเติมสารเคมีลงไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดกลุ่มตะกอนตกลงมา โดยทั่วไปสารแขวนลอยจะมีประจุลบ ดังนั้นสารเคมีที่เติมลงไปจึงเป็นประจุบวกเพื่อทำให้เป็นกลาง การแยกด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน ดังนั้นวิธีนี้จะเลือกใช้ก็ต่อเมื่อไม่สามารถแยกได้โดยกระบวนการทางชีวภาพหรือกายภาพ โดยส่วนมากสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนจะละลายน้ำ เช่น เกลือของสารประกอบต่าง ๆ เช่น เกลืออะลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) เกลือเหล็ก (FeCl_3 , FeSO_4) และเกลือของแคลเซียม ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ส่วนเกลือที่นำมาช่วยในการเกิดตะกอนได้ดียิ่งขึ้นนี้เป็นสารประกอบของ กลุ่ม Activated ของ Silica และ Polyelectrolytes โดยกระบวนการทางเคมีมีหลายวิธี โดยปกติการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำประปาที่ใช้แหล่งน้ำผิวดิน จะใช้กระบวนการสร้างรวมตะกอนทางเคมีโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดความขุ่น สารแขวนลอย สี กลิ่น และจุลินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการทางเคมี แต่ด้วยกระบวนการทางเคมีต้องเติมสารเคมีลงไปในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ดังนั้นจะมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูง สารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนจะละลายน้ำ เช่น เกลือของสารประกอบต่าง ๆ เช่น เกลืออะลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) เกลือเหล็ก (FeCl_3 , FeSO_4) และเกลือของแคลเซียม ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ส่วนเกลือที่นำมาช่วยในการเกิดตะกอนได้ดียิ่งขึ้นนี้เป็นสารประกอบของ กลุ่ม Activated ของ Silica และ Polyelectrolytes โดยกระบวนการทางเคมีมีหลายวิธีด้วยกัน (พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, 2541) และของเสียอีกประเภทหนึ่งที่เหลือทิ้งเป็นจำนวนมากในพื้นที่จังหวัดยะลา คือ ขี้เถ้าที่เหลือจากการกระบวนการผลิตของโรงไฟฟ้าชีวมวลยางพารา ในพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้มีโรงไฟฟ้าชีวมวลทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่เพื่อเผาไหม้ยางพาราในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องด้วยความต้องการพลังงานในประเทศมีสูงขึ้น จำนวนของโรงไฟฟ้าชีวมวลเหล่านี้ก็เพิ่มจำนวนมากขึ้นตามความต้องการใช้พลังงานของประเทศ และเศษเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าชีวมวลไม้ยางพาราเหล่านี้คือ ขี้เถ้าที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ต้องเข้าสู่พื้นที่ฝังกลบเป็นปริมาณมากต่อวัน เช่น ของโรงไฟฟ้ากัลปสินยะลากรีน ต้องใช้วัตถุดิบไม้โดยเฉลี่ย 800 ตันต่อวัน จากกระบวนการผลิตเกิดเป็นขี้เถ้าซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากโดยเฉลี่ย 15 ตันต่อวัน (โรงไฟฟ้ากัลปสินยะลากรีน, 2560) ดังนั้นผู้วิจัยได้เห็นความสำคัญของการปรับปรุงคุณภาพน้ำ จึงสนใจศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งที่มีเป็นจำนวนมากจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่ คือ ถ้ำลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลมาใช้ทดแทนสารสร้างตะกอนประเภทสารส้ม เพื่อใช้ในการกระบวนการสร้างรวมตะกอนทางเคมีในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เพื่อสามารถนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น ลดมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไปได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดินโดยใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลมีรายละเอียดวิธีการดำเนินการทดลองดังนี้

1. น้ำผิวดิน

น้ำผิวดินที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำจากแม่น้ำปัตตานีโดยเก็บเป็นแหล่งน้ำดิบก่อนที่จะเข้าสู่โรงผลิตน้ำประปาของเทศบาลนครยะลา

2. เถ้าลอย

เถ้าลอยที่ใช้ในการศึกษาเก็บตัวอย่างจากโรงไฟฟ้าชีวมวลไม้ยางพารา บริษัท กัลฟ์ ยะลา กรีน จำกัด ตำบลพร่อน อำเภอเมือง จังหวัดยะลา

3. สารส้มอุตสาหกรรม

ALUMINIUM SULFATE ($Al_2(SO_4)_3$) ชนิดผง ของบริษัท เซาท์เทิร์น เคมีคอลส์ จำกัด ใช้ตัวอย่างสารส้มที่ใช้จริงในระบบผลิตน้ำประปาของเทศบาลนครยะลา

4. การดำเนินการทดลอง

1) ทำการล้างเถ้าลอยที่ได้จากกระบวนการผลิตของโรงไฟฟ้าชีวมวล และร่อนผ่านตะแกรงคัดขนาดให้มีขนาดที่เท่ากันโดยใช้ตะแกรงขนาด 160 ไมครอน

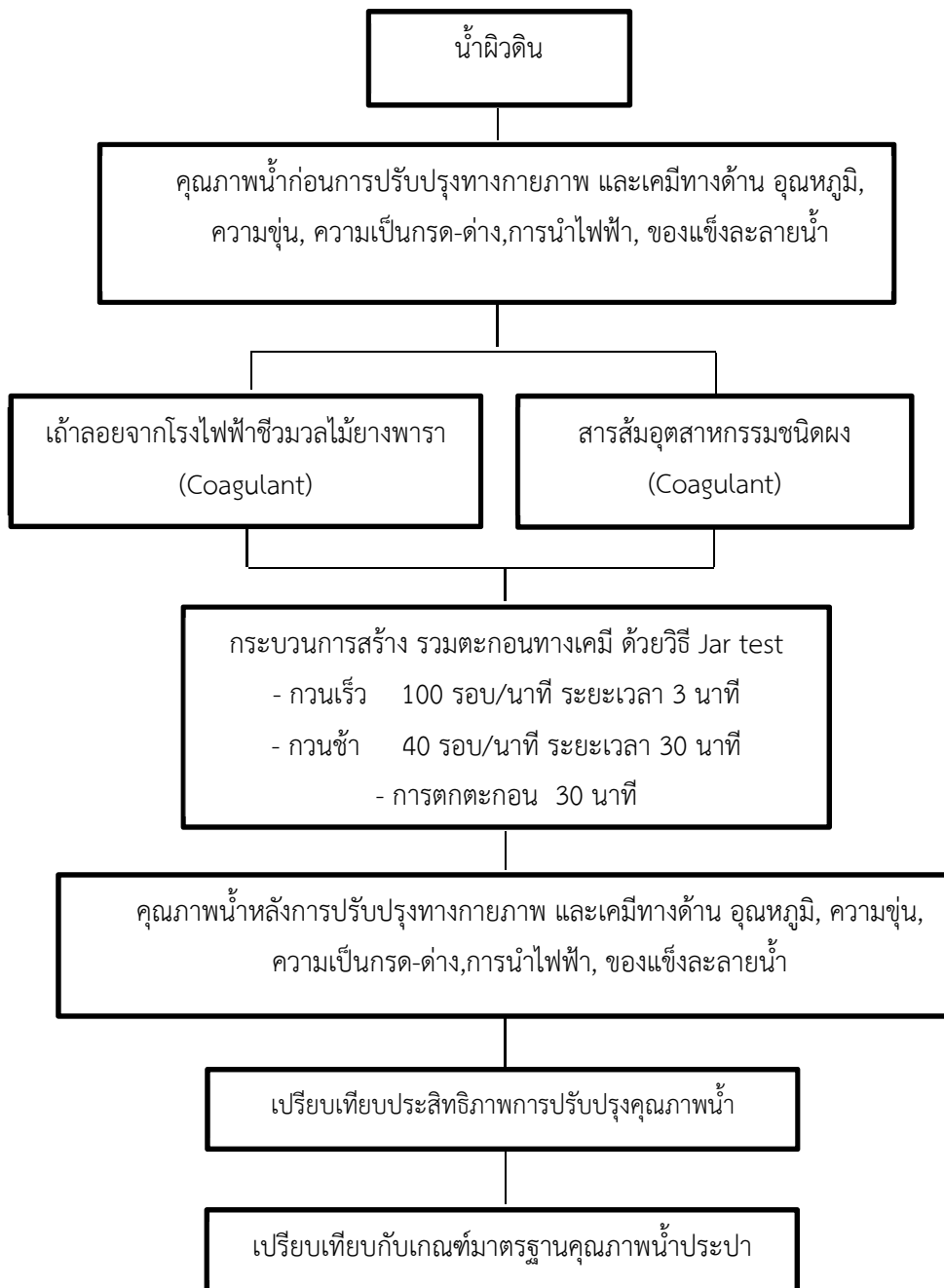
2) เตรียมสารส้มชนิดผงคำนวณปริมาณความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลอง โดยทำการทดลองความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 6 ระดับ คือ 0, 10, 20, 30, 40, 50 ppm

3) เก็บตัวอย่างน้ำผิวดินซึ่งเป็นน้ำดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำประปาของเทศบาลนครยะลา โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางด้านกายภาพและเคมีก่อนการทดลองปรับปรุงคุณภาพน้ำทางด้าน อุณหภูมิ, ความขุ่น, ความเป็นกรด-ด่าง, การนำไฟฟ้า และของแข็งละลายน้ำ

4) เตรียมเครื่องจลน์เพื่อใช้ในการดำเนินการทดลอง โดยทำการทดลองที่กวนเร็วความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ระยะเวลา 3 นาที กวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที ระยะเวลา 30 นาที และระยะเวลาการตกตะกอน 30 นาที โดยแต่ละชุดการทดลองทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ตัวอย่างในการดำเนินการทดลองวิเคราะห์ตัวอย่างก่อน และหลังการทดลองพารามิเตอร์ ทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ อุณหภูมิ, ความขุ่น, ความเป็นกรด-ด่าง, การนำไฟฟ้า และของแข็งละลายน้ำ ตามมาตรฐานในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและน้ำเสียโดย standard methods for examination of water and wastewater (APHA, 1999) รายละเอียดวิธีการดำเนินการทดลองดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วิธีการดำเนินการวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการดำเนินการปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดินก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาของเทศบาลนครยะลา ได้ดำเนินการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารส้มและเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล 6 ระดับความเข้มข้น คือ 0, 10, 20, 30, 40, 50 ppm ซึ่งมีรายละเอียดผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1-2 ดังนี้

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของน้ำก่อนและหลังการปรับปรุงของสารสร้างตะกอนประเภทสารส้ม

ความเข้มข้น (ppm)	ความเป็น กรด-ด่าง	พารามิเตอร์			
		ของแข็ง ละลายน้ำ (mg/l)	การนำไฟฟ้า (us/cm)	ความขุ่น (NTU)	อุณหภูมิ (°C)
0	6.75 ± 0.11	32.87 ±	65.60 ± 0.50	18.33 ±	29.00 ±
10	6.79 ± 0.04	0.05	68.83 ± 0.15	0.12	0.00
20	5.41 ± 0.26	34.47 ±	82.73 ± 0.12	9.92 ± 0.06	30.33 ±
30	4.65 ± 0.10	0.06	97.80 ± 0.53	6.66 ± 0.04	0.58
40	4.37 ± 0.07	41.10 ±	131.27 ± 0.06	8.89 ± 0.07	30.00 ±
50	4.47 ± 0.02	0.20	138.23 ± 0.25	8.95 ± 0.05	0.00
		49.37 ±		11.80 ± 0.10	30.00 ±
		0.25			0.00
		65.53 ±			29.00 ±
		0.12			0.00
		69.10 ±			31.00 ±
		0.00			0.00

จากตารางที่ 1 การปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดินก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาของเทศบาลนครยะลา โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสร้างรวมตะกอนของสารส้ม ที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, และ 50 ppm ตามลำดับ พบว่าค่าความขุ่นเฉลี่ยที่ดีที่สุดของน้ำที่ผ่านการปรับปรุง คือ 6.66 NTU ที่ปริมาณความเข้มข้นของสารส้ม 20 ppm เพราะเป็นปริมาณที่เหมาะสมของการปรับปรุงน้ำผิวดินที่ใช้ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่มีอยู่ในน้ำผิวดิน ซึ่งสารส้มเกิดเป็นไอออนบวกที่สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ในน้ำได้ดี และปริมาณสารสร้างรวมตะกอนที่พอดีทำให้ความขุ่นของน้ำผิวดินอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา คือมีความขุ่นไม่เกิน 10 NTU (กรมอนามัย, 2543) ส่วนค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดประจุที่ละลายในน้ำ การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยสารส้มใช้สารเคมี ดังนั้นเมื่อผสมน้ำเกิดประจุไอออนของซัลเฟต และอะลูมิเนียมแตกตัวจึงทำให้ค่าหลังการทดลองหรือหลังการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยสารเคมีสร้างตะกอนจึงมีค่าสูงกว่าน้ำดิบก่อนการทดลอง หรือที่ความเข้มข้น 0 ppm เช่นเดียวกันกับของแข็งละลายน้ำ ซึ่งการวัดของแข็งละลายน้ำ (TDS) ด้วยเครื่องเป็นการวัดผลรวมของประจุบวก และลบที่อยู่ในน้ำ ดังนั้นค่าของแข็งละลายน้ำจึงขึ้นอยู่กับค่าการนำไฟฟ้า แต่ทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาคือไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมอนามัย, 2543) สำหรับความเป็นกรด-ด่าง พบว่าสารส้มสามารถปรับปรุงน้ำผิวดินได้ดีที่พีเอชเป็นด่าง โดยที่ จารุวรรณ พันธุ์ชมภู (2559) กล่าวว่าเนื่องจากสารส้มเมื่อละลายน้ำแล้วจะแตกตัวให้ Al^{3+} และที่สภาพเป็นด่างทำให้หมู่ฟังก์ชันของน้ำผิวดินยังคงมีสภาพประจุเป็นลบจึงเกิดตะกอนกับสารส้มได้ดี และค่าความเป็นกรดต่างที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาคืออยู่ในช่วง 6.5 – 8.5 (กรมอนามัย, 2543) สำหรับการทดลองนี้พบว่าพีเอชหลังการทดลองมีค่าลดลงเนื่องจากการใช้สารส้ม

เมื่อละลายน้ำแล้วทำให้ซัลเฟตแตกตัวและเมื่อรวมตัวกับน้ำจึงทำให้มีค่าพีเอชลดต่ำลง ดังนั้นยังใส่สารส้มในความเข้มข้นที่สูงพีเอชหลังการทดลองยังมีค่าต่ำ การนำไปใช้งานในระบบการผลิตน้ำประปาจึงจำเป็นต้องปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้มีค่าเป็นกลาง ดังนั้นจึงต้องเติมปูนขาวในกระบวนการผลิตควบคู่กับการเติมปริมาณสารส้มสำหรับพารามิเตอร์ทางด้านอุณหภูมิจะเห็นได้ว่าการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกัน เพราะการทดลองทำการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิห้องปกติ

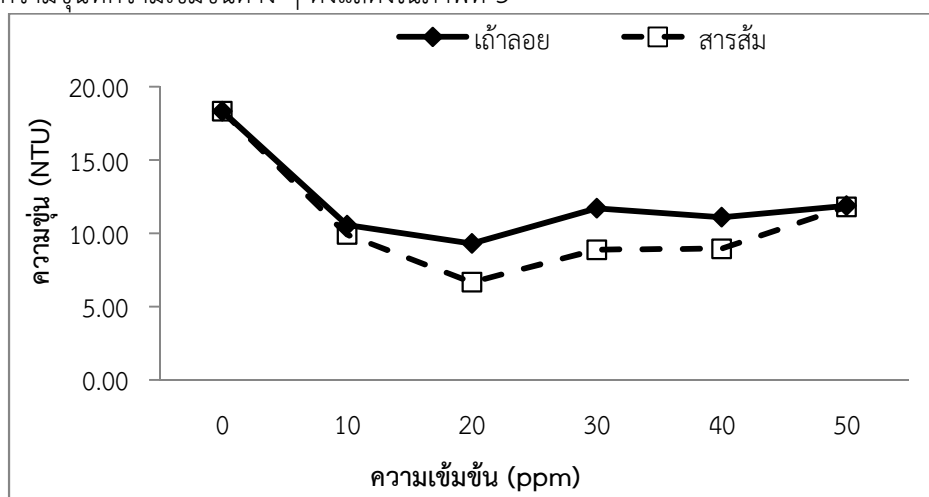
ตารางที่ 2 คุณลักษณะของน้ำก่อนและหลังการปรับปรุงของสารสร้างตะกอนประเภทเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลไม้ยาง

ความเข้มข้น (ppm)	พารามิเตอร์				
	ความเป็น กรด-ด่าง	ของแข็ง ละลายน้ำ (mg/l)	การนำไฟฟ้า (us/cm)	ความขุ่น (NTU)	อุณหภูมิ (°C)
0	6.75 ± 0.11	32.87 ±	65.60 ± 0.50	18.33 ±	29.00 ±
10	7.00 ± 0.29	0.05	70.90 ± 0.00	0.12	0.00
20	6.89 ± 0.25	35.40 ±	95.83 ± 1.53	10.56 ±	30.00 ±
30	6.82 ± 0.10	0.00	86.77 ± 0.06	0.03	0.00
40	6.84 ± 2.01	47.60 ±	103.77 ± 0.06	9.31 ± 0.01	30.00 ±
50	7.12 ± 0.06	0.00	109.33 ± 0.06	11.71 ±	0.00
		43.37 ±		0.25	30.00 ±
		0.06		11.09 ±	0.00
		51.90 ±		0.57	29.00 ±
		0.00		11.88 ±	0.00
		54.57 ±		0.01	30.33 ±
		0.23			0.58

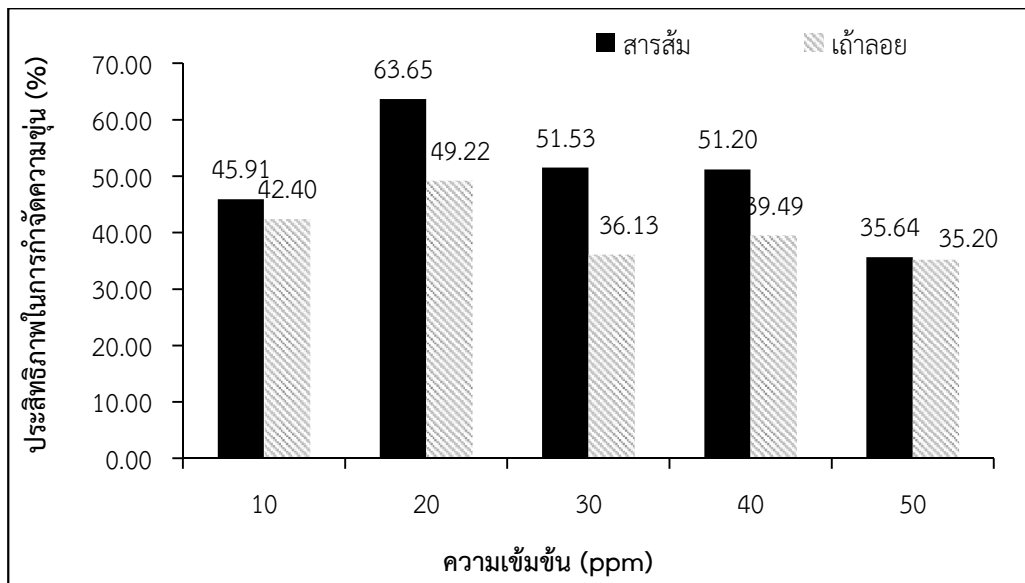
จากตารางที่ 2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดินก่อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำประปาของเทศบาลนครยะลา โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสร้างรวมตะกอนของเถ้าลอย ที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, และ 50 ppm ตามลำดับ พบว่าเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลสามารถปรับปรุงน้ำผิวดินได้ดีในระดับหนึ่ง ซึ่งกมลชนก กองกุลท (2560) กล่าวว่า เนื่องจากเถ้าลอยมีองค์ประกอบของสารออกไซด์ จึงสามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียรวมตัวกันเป็นฟล็อกและตกตะกอนลงสู่ถังได้ และมีลักษณะทางกายภาพที่มีพูนเล็ก ๆ เป็นจำนวนมาก และมีพื้นที่ผิวสูง ทำให้สารอินทรีย์ยึดเกาะติดผิวของเถ้าลอยก่อนตกตะกอนลงสู่ด้านล่าง ทำให้สามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ดี ซึ่งพบว่า ชุดการทดลองที่ความเข้มข้น 20 ppm มีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นได้ดีที่สุด โดยมีค่าความขุ่นหลังการทดลองโดยเฉลี่ย 9.31 ± 0.01 NTU และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาไม่เกิน 10 NTU (กรมอนามัย, 2543) สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างหลังการปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดินโดยเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลมีค่าพีเอชที่ไม่ลดต่ำลงมาก โดย

ด้วยคุณสมบัติของไส้ที่มีคุณสมบัติเป็นต่างจึงทำให้พีเอชหลังการทดลองของชุดที่ให้ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นได้ดีที่สุดคือ 20 ppm มีค่าพีเอชหลังการทดลองโดยเฉลี่ย 6.89 ± 0.25 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาคืออยู่ในช่วง 6.5 – 8.5 (กรมอนามัย, 2543) ดังนั้นไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอชให้กับระบบ จารุวรรณ พันธุ์ขมภู (2559) ได้รายงานว่าการนำเถ้าลอยมาใช้เป็นสารโคแอกกูแลนต์มีสภาวะที่เหมาะสมโดยไม่ต้องเติมสารเพื่อปรับค่าเป็นกรดต่างให้กับระบบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง พบว่าเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวลสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ดี โดยที่พีเอชหลังการปรับปรุงมีค่าไม่ลดลง สำหรับค่าการนำไฟฟ้า และของแข็งละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องการวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดประจุที่ละลายในน้ำ การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล คุณลักษณะของเถ้ามีองค์ประกอบของออกไซด์โลหะ ซึ่งเป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่ละลายน้ำแล้วให้อิออน เช่น กรดอินทรีย์ ต่าง และเกลือ ถ้ามีสารละลายปะปนอยู่ในปริมาณมากก็จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นด้วย สอดคล้องผลของการทดลองของกมลชนก กองกุลท (2560) คุณภาพน้ำทางด้านการนำไฟฟ้าหลังการทดลองจึงมีค่าสูงกว่าน้ำดิบก่อนการทดลอง เช่นเดียวกันกับของแข็งละลายน้ำ ซึ่งการวัดของแข็งละลายน้ำ (TDS) ด้วยเครื่องเป็นการวัดผลรวมของประจุบวก และลบที่อยู่ในน้ำ ดังนั้นค่าของแข็งละลายน้ำจึงขึ้นอยู่กับค่าการนำไฟฟ้า แต่ทุกตัวอย่างมีค่าซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมอนามัย, 2543) สำหรับอุณหภูมิ มีค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากการทดลองที่อุณหภูมิห้องโดยทั้งหมด

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารสร้างรวมตะกอนที่เหมาะสมระหว่างสารส้มกับเถ้าลอยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ พบว่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของสารสร้างตะกอนทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นได้ดีที่สุดที่ปริมาณความเข้มข้นของสารเท่ากับ 20 ppm โดยมีค่าความขุ่นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.66 ± 0.04 NTU และ 9.31 ± 0.01 NTU สำหรับสารสร้างตะกอนประเภทสารส้ม และเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยคุณภาพน้ำก่อนการปรับปรุงน้ำดิบมีค่าของความขุ่นโดยเฉลี่ย 23.43 ± 0.32 NTU โดยประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่นที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ความขุ่นที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารส้มกับเถ้าลอย

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดิน โดยใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล เปรียบเทียบกับสารส้มอุตสาหกรรมชนิดผงเป็นสารสร้างตะกอน โดยทำการทดลองด้วยจาร์เทสที่ อัตราการกวนเร็วความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ระยะเวลา 3 นาที กวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที ระยะเวลา 30 นาที และระยะเวลาการตกตะกอน 30 นาที ความเข้มข้นของสารสร้าง ตะกอนที่แตกต่างกัน 6 ระดับ คือ 0, 10, 20, 30, 40, และ 50 ppm พบว่า สารส้ม และเถ้าลอย จากโรงไฟฟ้าชีวมวลไม่เพียงพอสามารถลดความขุ่นของน้ำหลังการปรับปรุงคุณภาพทั้ง 2 ชุดให้ ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 20 ppm โดยที่สารส้มมีประสิทธิภาพสูง กว่าเถ้าลอยเล็กน้อย โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 63.65 และร้อยละ 49.22 สำหรับสารส้มและเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ตามลำดับ โดยที่ทั้ง 2 ชุดการทดลองมี ค่าความขุ่นหลังการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.66 ± 0.04 NTU และ 9.31 ± 0.01 NTU สำหรับสารสร้างตะกอนประเภทสารส้ม และเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ตามลำดับ ซึ่งผ่าน เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปាកำหนดไว้ไม่เกิน 10 NTU กรณีของพีเอชหลังการทดลองการใช้ เถ้าลอยไม่ต้องสิ้นเปลืองสารเคมีในการปรับค่าพีเอชหลังการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เนื่องจาก คุณสมบัติของเถ้ามีคุณสมบัติเป็นด่างดังนั้นไม่ทำให้พีเอชหลังการทดลองมีค่าลดลง การใช้สารส้ม ในการปรับปรุงจะทำให้พีเอชหลังการทดลองมีค่าลดลงยิ่งปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้นน้ำที่ผ่านการ ปรับปรุงจะมีค่าความเป็นกรด หรือพีเอชลดลง ดังนั้นเถ้าลอยชีวมวลจากโรงไฟฟ้าชีวมวลสามารถ นำไปใช้ในการสร้างตะกอนได้โดยมีข้อดีกว่าสารส้มคือไม่เปลืองสารเคมีในการปรับค่าพีเอชของน้ำ สำหรับการปรับปรุงคุณภาพ โดยค่าพีเอชหลังการทดลองมีค่าอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง ทำให้ไม่ สิ้นเปลืองสารเคมีลดค่าใช้จ่าย เป็นการใช้ประโยชน์จากของเสียที่มีอยู่ในท้องถิ่น ช่วยลดมลพิษที่ ออกสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการพัฒนายั่งยืนได้

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาโดยเปลี่ยนแปลงสารสร้างตะกอนชนิดอื่น ๆ และเพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงผลิตและปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา การประปาเทศบาลนครยะลา โรงไฟฟ้ากัลป์ยะลากรีน จังหวัดยะลา สำหรับการสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือในการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กมลชนก กองกุล, นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคนตา ตั้งคณานุรักษ์. (2560). ความสามารถของเถ้าลอยลิกไนต์ต่อการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยกระบวนการสร้างตะกอน และเปรียบเทียบกับบาร์ส้ม. *มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 6(2), 129-139
- จารุวรรณ พันธุ์ชมภู, คนตา ตั้งคณานุรักษ์. (2559). การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นสารสร้างตะกอน. *มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 7(14), 12-22
- จีระพร จิตบำรุง. (2544). *ความสำคัญของน้ำ*. ค้นเมื่อ 22 กันยายน 2561, จาก <http://www.nimt.or.th>.
- จิตชล ผลารักษ์. (2551). *ทรัพยากรธรรมชาติและการใช้ทรัพยากร* ภาควิชาชีววิทยา และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่: ประศกรมอนามัย. (2543). *เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา* คณะกรรมการการบริหารโครงการจัดให้มีน้ำสะอาดในชนบททั่วราชอาณาจักร
- ปราโมทย์ เชี่ยวชาญ. (2551). *การปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดิน*. จุลสารสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพออนไลน์ มุมวิชาการ ด้านอาชีวอนามัย และสิ่งแวดล้อม. ค้นเมื่อ 27 กันยายน 2561 จาก <https://www.stou.ac.th>
- พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. (2541). *การใช้ลานตากตะกอนในการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบบำบัดตะกอนโรงงานผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์*. (วิทยานิพนธ์ มหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- โรงไฟฟ้ากัลป์ยะลากรีน. (2560). รายงานประจำปี, โรงไฟฟ้ากัลป์ยะลากรีน, ยะลา
- APHA, A., WEF (Ed.). (1999). *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater* (20 ed.). Washington D.C.: American Public Health Association.

จลนพลศาสตร์ในการอบแห้งกุ้งฝอยด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน Kinetic of Drying of Lanchester's Freshwater Prawn by Microwave- Hot air Combination

มงคลชัย คำปากดี^{1*}, ไมตรี พลสงคราม¹, วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง¹ และการิณย์ หอมชาติ¹
Mongkolchai Kampagdee^{1*}, Maitree Polsongkram¹, Virat Whangkuanklang¹ and
Karan Homchad¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา จลนพลศาสตร์, ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ และค่าสีในการอบแห้งกุ้งฝอยด้วยลมร้อน ไมโครเวฟ และไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่เงื่อนไขการทดลองอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 °C ความหนาแน่นไมโครเวฟ 3 ระดับ คือ 3, 4.5 และ 6 Wg⁻¹ และความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่ความเร็วลมคงที่ 1 ms⁻¹ กุ้งฝอยมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 70 %w.b. ทำการทดลองอบแห้งกุ้งฝอยจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 20 %w.b. ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียวที่อุณหภูมิลมร้อน 70 °C ใช้เวลาอบแห้งสั้นที่สุด 60 min การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟ 6 Wg⁻¹ ที่ใช้เวลาอบแห้งน้อยที่สุด 28 min และการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ความหนาแน่นไมโครเวฟ 6 Wg⁻¹ ร่วมกับอุณหภูมิลมร้อน 70 °C ใช้เวลาอบแห้งน้อยที่สุด 16 min สำหรับค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะการอบแห้งกุ้งฝอยที่ดีที่สุด คือ การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟ 6 Wg⁻¹ เพียงอย่างเดียว มีอัตราการใช้พลังงานในการระเหยน้ำ เท่ากับ 4.4 kJg⁻¹ ค่าสีการอบแห้งด้วยลมร้อนมีค่าความสว่าง L* มากกว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟและไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน สำหรับค่าสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) จะมีค่าสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมจะมีค่าสูงขึ้นตามความหนาแน่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น สำหรับเงื่อนไขการอบแห้งกุ้งที่ดีที่สุดคือ การอบแห้งกุ้งด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียวที่เงื่อนไขการทดลองความเข้มข้น 6 Wg⁻¹ ซึ่งใช้เวลาอบแห้ง 28 min และมีอัตราการใช้พลังงานในการระเหยน้ำ เท่ากับ 4.4 kJg⁻¹

คำสำคัญ : กุ้งฝอย, ไมโครเวฟ, การอบแห้ง, การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

*Corresponding author e-mail: mongkolchai.ka@gmail.com

Abstract

This research is study of kinetics, specific energy consumption and color of lanchester's freshwater prawn of drying by microwave-hot air combination. There different condition were hot air microwave 3 level are 50, 60 and 70 °C, density microwave 3 level are 3, 4.5 and 6 Wg⁻¹ and density microwave-hot air combination. The hot air velocity for all experiment was fixed at 1 ms⁻¹. The study drying of lanchester's freshwater prawn, The initial moisture content was about of 70 percent wet basis until the final moisture content to 20 °C wet basis. The results showed that hot air drying takes the shortest drying time about 60 min at hot air temperature 70 °C, density microwave drying takes the shortest time about 28 min at density microwave 6 Wg⁻¹ and microwave-hot air combination drying takes the minimum drying time about 16 min at microwave density 6 Wg⁻¹ with the hot air temperature 70 °C combination. For specific energy consumption, lobster drying showed that The best specific energy consumption is the drying condition by microwave density at 6 Wg⁻¹. The energy consumption rate in the water evaporator is 4.4 kJg⁻¹. Color value of hot air drying, L * brightness, rather than microwave and microwave-hot air combination. For the red color (a *) and the yellow color (b *) will be higher than hot air drying by will be higher as the microwave density increases. For shrimp drying conditions, the best is Microwave drying of shrimp by microwave alone at the 6 Wg⁻¹ concentration test condition. The drying time was 28 min and the energy consumption rate in the water evaporator was 4.4 kJg⁻¹.

Key word: lanchester's freshwater prawn, Microwave, Drying, drying of microwave-hot air combination

บทนำ

กุ้งฝอย (*Macrobrachium lanchesteri*) เป็นกุ้งน้ำจืดขนาดเล็กที่พบได้ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ซึ่งนิยมนำมาทำอาหารกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายรูปแบบ นอกจากนี้กุ้งฝอยยังนิยมนำมาแปรรูปทำเป็นกุ้งแห้งเพื่อให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน โดยที่กุ้งสามารถรักษารสชาติและสีของกุ้งไว้ได้โดยไม่ทำให้เกิดเน่าเสีย

การอบแห้งด้วยวิธีการพาความร้อนเป็นวิธีดั้งเดิมที่ได้รับความนิยมและมีการใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมาตั้งแต่อดีต ซึ่งการอบแห้งด้วยการพาลมร้อนใช้หลักการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนสู่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จากนั้นจึงแพร่ความร้อนเข้าไปยังภายในของผลิตภัณฑ์ (Fu et al., 2017) ซึ่งการอบแห้งด้วยการพาลมร้อนนี้เป็นเทคนิคการอบแห้งที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในระดับโลก อย่างไรก็ตามนักวิจัยหลายคนชี้ให้เห็นว่าการที่ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้เกิดความเสียหาย ต่อคุณสมบัติ รสชาติ กลิ่น และสี ของผลิตภัณฑ์ (Suwit et al., 2015) เพื่อป้องกันการสูญเสียของคุณภาพผลิตภัณฑ์ในการอบแห้งดังที่กล่าวมา ได้มีการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการอบแห้งเพิ่มขึ้น เช่น อินฟราเรด ไมโครเวฟ ซึ่งนักวิจัยได้นำไปใช้ทำการทดลองอย่างแพร่หลาย (Das and Arora, 2018) การอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ เป็นการอบแห้งด้วยคลื่นความถี่ของสนามแม่เหล็ก เมื่อโมเลกุลที่มีขั้วอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีคลื่นความถี่ โมเลกุลภายในผลิตภัณฑ์จะเกิดการหมุนและเกิดการชนกระแทกกันระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดความร้อนอย่างรวดเร็ว ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์นี้สามารถส่งถ่ายมวลความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ออกมายังผิวหน้าอย่างรวดเร็วและสามารถประหยัดพลังงานมากกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อน (Serowik et al., 2018) แต่การอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟมีข้อเสียคือการกระจายอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่ไม่สม่ำเสมอ (Song et al., 2016) จากข้อด้อยของแต่ละวิธีการอบแห้ง ได้มีการนำเทคนิคการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟและลมร้อนมาทำงานร่วมกัน เพื่อแก้ไขข้อเสียของแต่ละวิธีการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น (Aiquan et al., 2013)

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีต่ออุณหภูมิ ค่าพลังงานจำเพาะ และค่าสี ของการอบแห้งกุ้งฝอยด้วยลมร้อน, ไมโครเวฟ และไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยเป้าหมายของงานวิจัย คือ ได้กุ้งฝอยอบแห้งที่มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 20 %w.b. และมีสีเหลืองสวยงาม

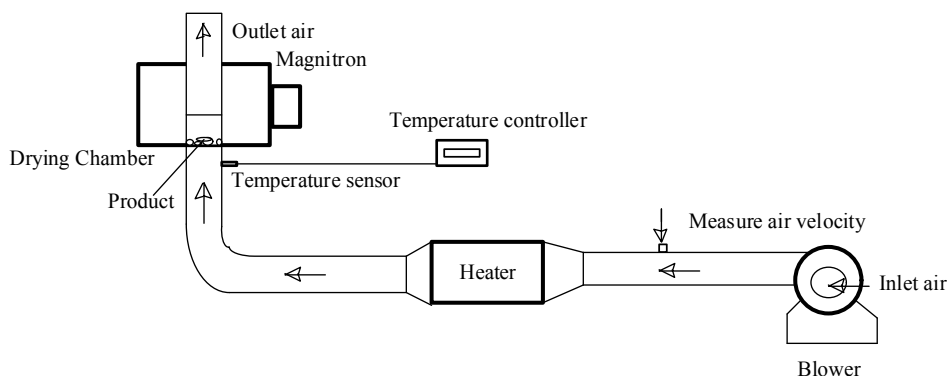
วิธีการทดลอง

1 การเตรียมตัวอย่างกุ้งฝอย

กุ้งฝอยที่ใช้ทดลองจัดซื้อจากตลาด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา นำมาล้างให้สะอาด แล้วนำมาลวกน้ำเดือดประมาณ 3 min จากนั้นตั้งขึ้นมาพักไว้ให้แห้ง 30 min และนำตัวอย่างที่ได้ไปหาความชื้น โดยนำกุ้งฝอยไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 24 h ตามมาตรฐานของ AOAC (AOAC, 1995)

2. เครื่องอบแห้งกึ่งฝอยด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน

เครื่องอบแห้งกึ่งฝอย มีหลักการทำงาน คือ อากาศจากภายนอกจะถูกดูดด้วยพัดลมดูดอากาศของเข้ามาภายในเครื่องอบแห้ง จากนั้นอากาศจะถูกส่งผ่านไปยังห้องที่มีตัวทำความร้อนไฟฟ้าเพื่อให้อากาศเกิดการถ่ายเทความร้อนจากตัวทำความร้อนทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามเงื่อนไขทดลองอบแห้ง จากนั้นอากาศร้อนจะถูกส่งเข้าไปยังห้องอบแห้งเพื่อทดการอบแห้งกึ่งฝอย โดยการควบคุมอุณหภูมิอบแห้งจะถูกตรวจวัดค่าอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลที่ทางเข้าของห้องอบแห้ง เพื่อส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมให้อุณหภูมิในการอบแห้งคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งกึ่งฝอยด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3. การทดลองการอบแห้ง

3.1 การอบแห้งกึ่งฝอยด้วยลมร้อน

การทดลองอบแห้งกึ่งฝอยด้วยลมร้อน ทำการตั้งค่าอุณหภูมิอบแห้งตามเงื่อนไขทดลอง 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 °C ตามลำดับและเปิดเครื่องอบแห้งไว้ 15 min จากนั้นนำตัวอย่างกึ่งฝอยที่เตรียมไว้ 100 g เข้าห้องอบและทำการอบแห้งกึ่งฝอยนาน 15 min จากนั้นนำกึ่งฝอยที่อบแห้งออกมาชั่งและทำการจดบันทึกค่าน้ำหนัก เมื่อชั่งเสร็จแล้วนำกึ่งฝอยกลับเข้าเครื่องอบแห้งทำการอบแห้งต่อ 15 min ทำอย่างนี้จำนวน 4 ครั้ง จากนั้นทำการเพิ่มระยะเวลาในการอบแห้งกึ่งฝอยเป็น 30 min ทำเช่นนี้จนกระทั่งกึ่งฝอยอบแห้งมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 20 %w.b. ซึ่งเป็นค่าที่ได้นำค่ากึ่งแห้งตามท้องตลาดมาทดลองหาความชื้น

3.2 การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ และไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

การทดลองอบแห้งกึ่งฝอยด้วยไมโครเวฟและการอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ทำการตั้งค่าเครื่องอบแห้งโดยทำการตั้งค่าของความหนาแน่นไมโครเวฟ 3 ระดับ และอุณหภูมิของลมร้อน 3 ระดับ ตามเงื่อนไขการทดลอง เปิดเครื่องไว้ 15 min จากนั้นนำตัวอย่างกึ่งฝอยหนัก 10 g ใส่ในภาชนะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm นำมาวางในห้องอบแห้งและทำการอบแห้งกึ่งฝอยนาน 4 min จากนั้นนำออกมาจากห้องอบแห้งมาแล้วสุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปอบหาความชื้นและบันทึกผลการอบแห้ง ทำการทดลองอบแห้งกึ่งแห้งอีกครั้งโดยใช้ตัวอย่างกึ่งฝอยใหม่โดยเพิ่มเวลาการอบแห้งขึ้นครั้งละ 4 min

นำออกมาสุ่มตัวอย่างและนำตัวอย่างไปอบหาความชื้น ทำการทดลองซ้ำจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายกึ่งผอยเท่ากับ 20 %w.b.

4. การวิเคราะห์การอบแห้ง

4.1 ค่าความชื้น (Moisture content, M)

คือ ค่าที่บ่งบอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เทียบกับมวลของผลิตภัณฑ์ ความชื้นในผลิตภัณฑ์เป็นความชื้นฐานเปียก (Wet basis, M_w) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$M_w = \frac{w-d}{w} \times 100$$

(1)

เมื่อ M_w คือ ความชื้นฐานเปียก (%w.b.) w คือ มวลเปียกของวัสดุ (kg) d คือ มวลแห้งของวัสดุ (kg)

4.2 อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR)

คือ ค่าที่บ่งบอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลน้ำภายในผลิตภัณฑ์เทียบกับปริมาณความชื้นเริ่มต้นเมื่อเวลาการอบแห้งที่เวลาใดๆ ดังสมการที่ 2 (Diamante et al., 1993)

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_o - M_{eq}}$$

(2)

เมื่อค่าความชื้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้น ($M_{eq} \ll M_o$) และความชื้นที่เวลาใดๆ ($M_{eq} \ll M_t$) จึงค่าความชื้นสมดุลในสมการข้างต้น ทำให้สามารถเขียนสมการได้ ดังสมการที่ 3 (Jalal et al., 2018)

$$MR = \frac{M_t}{M_o}$$

(3)

เมื่อ M_o คือ ความชื้นเริ่มต้น M_t คือ ความชื้น ที่เวลาใด ๆ และ M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล เป็นเปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง (%w.b.)

5. ค่าสีของกึ่งผอยภายหลังการอบแห้ง

การทดสอบคุณภาพสี ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น color CFEZ 0939 ค่าสีที่วัดใช้ระบบการวัด CIE (L^* a^* b^*) โดยมีค่าความสว่าง (Lightness, L^*) ค่าความเป็นสีแดง (Redness, a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness, b^*) มีค่าบวกลบหมายถึงความสว่าง มีสีแดงและมีความเป็นสีเหลือง ตามลำดับ ขณะที่ค่า L^* a^* และ b^* มีค่าลบ หมายถึง ค่าความมืด มีความ

เป็นสีเขียวและมีความเป็นสีน้ำเงิน ตามลำดับ ซึ่งใช้วัดสี สำหรับการหาค่า L^* a^* และ b^* ของผักแค้ใหม่ภายหลังอบแห้งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

6. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (Specific energy consumption)
สามารถหาได้จากสมการ (4) (Hassan et al., 2018)

$$SEC = \frac{E_{microwave} + E_{blower} + E_{heater}}{(M_i - M_f)}$$

(4)

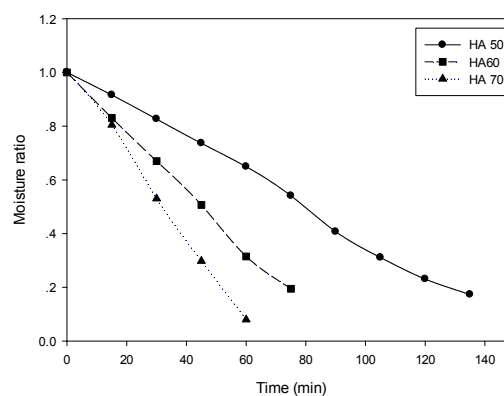
เมื่อ E คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW) M_i และ M_f คือ มวลความชื้นเริ่มต้นและมวลความชื้นสุดท้าย (g)

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. จลนพลศาสตร์การอบแห้ง

1.1 จลนพลศาสตร์การอบแห้งกึ่งฝอยด้วยลมร้อน

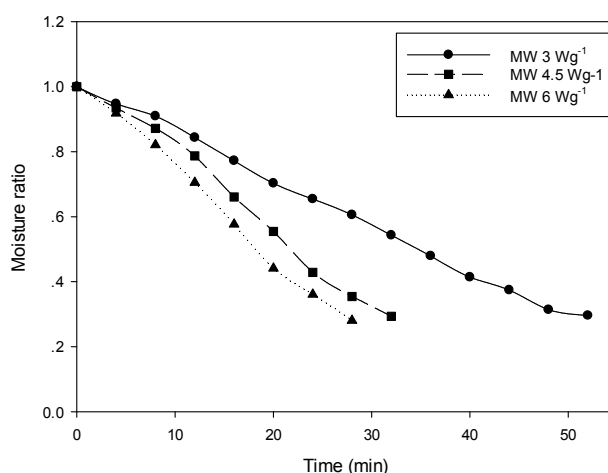
ผลทดลองอบแห้งกึ่งฝอยด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยทำการอบแห้งที่ความชื้นเริ่มต้น 70 %w.b. จับเวลาในการอบแห้งจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 20 % w.b. พบว่า ในระยะเริ่มต้นเป็นการอบแห้งเป็นแบบคงที่ โดยพลังงานความร้อนจะถูกใช้ระเหยน้ำออกจากกึ่งฝอยอย่างต่อเนื่อง และเมื่อความชื้นในกึ่งฝอยลดต่ำลงจนกระทั่งถึงจุดวิกฤต ทำให้ความชื้นภายในกึ่งฝอยถ่ายเทมายังผิวนอกได้ช้า ส่งผลให้อัตราการอบแห้งกึ่งฝอยมีค่าลดลง ทำให้การอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวใช้ระยะเวลาอบแห้งนาน ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่า การอบแห้งกึ่งฝอยที่อุณหภูมิลมร้อน 50, 60 และ 70 °C ใช้เวลาอบแห้ง 135, 75 และ 60 min ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิลมร้อนที่สูงจะมีอัตราการอบแห้งที่มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำ และการอบแห้งเริ่มต้นจะเป็นการอบแห้งแบบคงที่และจะเปลี่ยนเป็นการอบแห้งแบบลดลงเมื่อความชื้นลดลงจนกระทั่งต่ำกว่าจุดวิกฤต (Hemis et al., 2015)



รูปที่ 2 ผลการทดลองความสัมพันธ์อัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งของกึ่งฝอยด้วยลมร้อน

1.2 จลนศาสตร์การอบแห้งกึ่งฝอยด้วยไมโครเวฟ

การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟ พบว่าที่ความหนาแน่นไมโครเวฟ 3 4.5 และ 6 Wg^{-1} ใช้เวลาอบแห้ง 55 32 และ 28 min แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นไมโครเวฟมีอิทธิพลต่อการอบแห้งกึ่งฝอย โดยความหนาแน่นไมโครเวฟที่สูงจะมีอัตราการอบแห้งที่มากกว่าการอบแห้งที่ความหนาแน่นไมโครเวฟที่ต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 วิธีอบแห้ง จะเห็นได้ว่าการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟมีอัตราการอบแห้งที่มากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว เพราะไมโครเวฟสามารถสร้างความร้อนจากภายในตัวกึ่งฝอย ทำให้ความชื้นภายในกึ่งฝอยถูกถ่ายเทมายังผิวภายนอกอย่างรวดเร็วทำให้น้ำที่ผิวนอกระเหยได้เร็วขึ้น (Maskan, 2000)

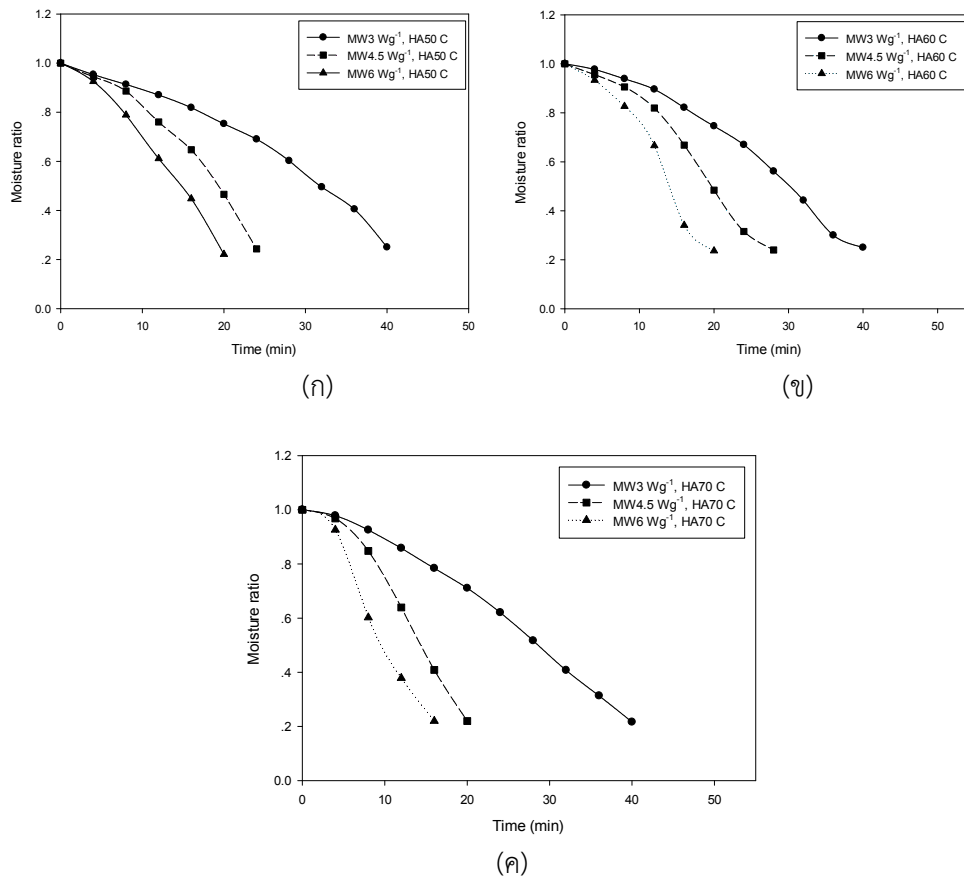


รูปที่ 3 ผลการทดลองความสัมพันธ์อัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งของกึ่งฝอยด้วยไมโครเวฟ

1.3 จลนพลศาสตร์การอบแห้งกึ่งฝอยด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

จากรูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นในช่วงเวลาการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองอบแห้งกึ่งฝอย พบว่า การอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีระยะเวลาการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งกำลังไมโครเวฟและการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว สาเหตุเนื่องลมร้อนทำให้ความชื้นภายในผลิตภัณฑ์จะถ่ายเทออกมายังผิวนอกได้ช้า ทำให้อัตราการอบแห้งด้วยลมร้อนมีค่าต่ำ สำหรับการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟ เนื่องจากไมโครเวฟสามารถสร้างความร้อนจากภายในของผลิตภัณฑ์ทำให้ความชื้นถูกถ่ายเทจากภายในผลิตภัณฑ์สู่ผิวนอกได้รวดเร็ว แต่อุณหภูมิลมร้อนที่ต่ำจะทำให้การระเหยของความชื้นที่ผิวนอกมีการระเหยได้ช้า ดังนั้นการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจึงเป็นการนำเทคนิคการอบแห้ง 2 วิธี มาทำงานร่วมกันเพื่อแก้ไขและลดข้อเสียของแต่ละวิธีให้ดีขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการอบแห้งความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีอัตราการอบแห้งที่สูงทำให้ระยะเวลาการอบแห้งลดลง ซึ่งจากการเปรียบเทียบการอบแห้งที่ความหนาแน่นไมโครเวฟ 3 ระดับ คือ 3 4.5 และ 6 Wg^{-1} ทำการอบแห้งร่วมกับลมร้อน 3 ระดับ คือ 50 60 และ 70 °C พบว่า การอบแห้งกึ่งฝอยที่ความหนาแน่นไมโครเวฟ 3 และ 4.5 Wg^{-1} ใช้เวลาอบแห้งเท่ากัน และการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 6 Wg^{-1} ที่อุณหภูมิลมร้อน 50 องศาเซลเซียส เวลาอบแห้ง 40 min เมื่ออุณหภูมิ

อบแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 และ 70 °C เวลาอบแห้งจะมีระยะเวลาที่ลดลงเป็น 20 และ 16 min ตามลำดับ (Funebo and Ohlsson; 1998)



รูปที่ 4 ผลการทดลองความสัมพันธ์อัตราส่วนความชื้นกับเวลาของกึ่งฝอยไมโครเวฟ ร่วมกับอบร้อน

(ก) 50 °C (ข) 60 °C (ค) 70 °C

2. ค่าสีของกึ่งฝอยที่สภาวะการทดลองต่างๆ

ผลการทดลอง พบว่า การอบแห้งกึ่งฝอยด้วยลมร้อน มีค่า L^* มากกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ ของทุกการทดลองอบแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งโดยใช้ความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน จะได้กึ่งฝอยอบแห้งที่คล้ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยค่า L^* จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความสัมพันธ์ของค่าความเป็นสีน้ำตาลของอาหาร (Alibas, 2007)

การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว จะได้ค่า a^* ต่ำสุด แต่เมื่อใช้ความหนาแน่นไมโครเวฟสูงขึ้น มีผลทำให้ค่า a^* ของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากสีกึ่งฝอยมีค่าสีเข้มขึ้น

การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน จะให้ค่า b^* ของผลิตภัณฑ์สูงกว่าการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟหรือลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยค่า b^* จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความหนาแน่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น

โดยสีที่ดีของกุ้งจะมีค่าความเป็นที่แดง คือมีค่า a^* สูง เนื่องจากมีสีที่สวยงามและน่ารับประทาน แต่ในขณะเดียวกันค่าสี L^* จะมีค่าต่ำลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสีกุ้ง แต่ถ้าค่าสี a^* มากจนเกินไปก็จะทำให้กุ้งเกิดการไหม้ได้ ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสี

ไมโครเวฟ (W/g)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	สีของกุ้งฝอย		
		L*	a*	b*
อบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว				
0	50	50.20±0.66b	21.08±1.40d	23.27±1.52e
0	60	52.95±1.06a	23.63±0.28c	25.17±0.34de
0	70	40.77±1.77e	16.32±1.61h	18.62±2.27f
อบแห้งด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว				
3	0	46.91±0.65cd	17.97±0.05g	23.25±0.09e
4.5	0	48.27±0.29c	19.94±0.09ef	25.05±0.11de
6	0	45.75±2.71d	17.74±0.85g	23.98±0.61de
อบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน				
3	50	37.70±1.76g	18.00±0.16g	23.80±0.11de
	60	40.74±0.27e	19.54±0.04f	24.13±0.07de
	70	30.43±0.58j	20.33±0.59def	26.43±1.36d
4.5	50	48.63±0.48bc	18.10±0.17g	24.13±0.24de
	60	39.74±0.99ef	20.46±0.27de	26.03±0.40de
	70	34.30±1.69h	28.05±0.36b	55.51±7.51a
6	50	32.97±5.05h	30.16±2.07a	49.16±4.90b
	60	38.06±0.67fg	21.19±0.27d	24.46±0.26de
	70	40.54±0.18e	27.29±0.26b	40.49±0.89c

3. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (SEC)

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานการอบแห้งกุ้งฝอยพิจารณาจากพลังงานที่ใช้ในการทดลองอบแห้งประกอบด้วย พัดลมดูดอากาศ (Blower) ขดลวดความร้อน (Heater) และไมโครเวฟ (Microwave) ใช้มิเตอร์รุ่น วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า และใช้นาฬิกาจับเวลาในช่วงเวลาการทำงานและหยุดทำงานของไมโครเวฟและขดลวดทำความร้อน จากผลการศึกษา พบว่า การอบแห้งกุ้งฝอยด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวมีค่าพลังงานจำเพาะต่ำสุดเท่ากับ 41.99 kJ g^{-1} ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70°C การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟเพียงอย่างเดียวมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่ำที่สุด 4.4 kJ g^{-1} ที่ความหนาแน่นไมโครเวฟ 6 W g^{-1} และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 21.08 kJ g^{-1} ต่ำสุดที่ความ

หนาแน่นไมโครเวฟ 6 W g^{-1} ทำงานร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 70°C ซึ่งจะเห็นว่าการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟอย่างเดียวจะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยสุด โดยความสิ้นเปลืองพลังงานจะมีค่าที่ลดลงเมื่ออบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟมีค่ามากขึ้น ทำให้ระยะเวลาอบแห้งกึ่งฝอยจะมีค่าน้อยลง สำหรับการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่า เนื่องจากมีพลังงานจากขดลวดทำความร้อนด้วย ทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่ามากกว่าการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟอย่างเดียว ดังแสดงในตารางที่ 2 (Das and Arora, 2018)

ตารางที่ 2 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (SEC)

ไมโครเวฟ (W/g)	อุณหภูมิ ร้อน	น้ำที่ระเหย (g)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ			SEC (kJ/g)
			ฮีตเตอร์ (kJ)	ไมโครเวฟ (kJ)	พัดลมเป่าอากาศ (kJ)	
0	50	113.29	12704	0	2701	135.98
0	60	113.48	10927	0	1964	113.60
0	70	114.48	4194	0	614	41.99
3	0	120.26	0	408	327	6.11
4.5	0	113.77	0	386	261	5.69
6	0	110.45	0	289	196	4.40
3	50	110.04	5069	408	327	52.74
	60	114.03	5167	408	326	51.03
	70	101.60	5259	408	326	59.00
4.5	50	103.67	4562	434	294	51.03
	60	114.73	4134	386	261	41.67
	70	97.68	2104	193	131	24.85
6	50	116.05	2534	241	163	25.33
	60	113.44	2584	241	163	26.34
	70	115.16	2104	193	131	21.08

สรุป

จากผลการทดลอง สรุปได้ดังนี้ การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสามารถชดเชยแก้ไขข้อด้อยของวิธีการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟหรือลมร้อนเพียงอย่างเดียว ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นและระยะเวลาการอบแห้งสั้นลง โดยจะเห็นได้ว่าเวลาอบแห้งกึ่งฝอยด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีค่าน้อยที่สุดที่เงื่อนไขการทดลองความหนาแน่นไมโครเวฟ 6 Wg^{-1} ร่วมกับอุณหภูมิลมร้อน 70°C เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนและความหนาแน่นไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว และพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง การอบแห้งด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียวมีค่าน้อยที่สุดที่เงื่อนไขการทดลองอบแห้งความหนาแน่นไมโครเวฟ 6 Wg^{-1} มีค่าเท่ากับ 4.4 kJg^{-1} เนื่องจากไมโครเวฟสามารถสามารถถ่ายเทน้ำจากภายในผลิตภัณฑ์ออกสู่ผิวนอกได้รวดเร็วและไม่มีพลังงานจากตัวทำความร้อน สำหรับค่าที่ดีที่สุดคือการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน มีค่า a^* มีค่ามากขึ้นตามความหนาแน่นไมโครเวฟ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือเพื่อใช้ในการทำการทดลอง การทำงานวิจัย ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Aiquan, J., Xueming, X., Zhengyu, J. (2013). Modelling of dehydration-rehydration of instant rice in combined microwave-hot air drying. *Journal of Food and Bioproducts Processing* 92, 259-265.
- Alibas, I. (2007). Energy Consumption and Color Characteristics of Nettle Leaves during Microwave, Vacuum and Convective Drying. *Journal of Biosystems Engineering* 96, 495-502.
- AOAC, (1995). AOAC Official Methods of Analysis. (16th ed.), Association of official Agricultural Chemists, Washington DC.
- Das, I., Arora, A. (2018). Alternate microwave and convective hot air application for rapid mushroom drying. *Journal of Food Engineering* 223, 208-219.
- Diamante, L.M., Munro, P.A. (1993). Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Journal of Solar Energy* 51, 271-276.
- Fu, B.A., Chen, M.Q., Song, J.J. (2017). Investigation on the microwave drying kinetics and pumping phenomenon of lignite spheres. *Journal of Applied Thermal Engineering* 124, 371-380.
- Funebo, T., Ohlsson, T. (1998). Microwave-assisted Air Dehydration of Apple and Mushroom. *Journal of Food Engineering* 38, 353-367.
- Hassan, J., Davood, K., Mohsen, A. (2018). Energy consumption and qualitative evaluation of a continuous band microwave dryer for rice paddy drying. *Journal of Energy* 142, 647-654.
- Hemis, M., Choudhary, R., Garipey, Y., Raghavan, G.S., (2015). Experiments and modelling of the microwave assisted convective drying of canola seeds. *Journal of Bioresource Engineering*, 139, 121-127.
- Jalal, D., Seyed-Hamed, H., (2018). Multi-stage continuous and intermittent microwave drying of quince fruit coupled with osmotic dehydration and low temperature hot air drying. *Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 45, 132-151.
- Maskan, M., (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering* 44, 71-78.
- Serowik, M., Figiel, A., Nejman, M., Pudlo, A., Chorazyk D., Kopec W., Krokosz D., RychlickaRybska, J. (2018). Drying characteristics and properties of microwave assisted spouted bed dried semirefined carrageenan. *Journal of Food Engineering* 221, 20-28.

- Song, C., Wang, Y., Wang, S., Z. Cui, Z., Xu, Y., Zhu, H. (2016). Non-uniformity investigation in a combined thermal and microwave drying of silica gel. *Journal of Applied Thermal Engineering* 98, 872-879.
- Suwit, P., Somchart, S., Adisak, N. (2015). Application of microwaves for drying of durian chips. *Journal of Food and Bioproducts Processing* 96, 11-11.

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก
(PM2.5) ของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

TESTING FOR THE COEFFICIENT OF VARIATION IN FINE
PARTICULATE MATTER (PM2.5) OF HAT YAI, SONGKHLA,
THAILAND

วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล^{1*}
Wararit Panichkitkosolkul^{1*}

บทคัดย่อ

ผลกระทบที่รุนแรงมากที่สุดของมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพของประชาชนเป็นที่เข้าใจกันว่ามาจากการได้รับ PM2.5 ในระยะยาว ซึ่งจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียชีวิต โดยเฉพาะในบางช่วงอายุและมีอาการของโรคหัวใจและหลอดเลือด ซึ่งโดยปกติระดับของ PM2.5 มีการแจกแจงแกมมา อย่างไรก็ตาม บางสถานการณ์อาจสนใจการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของ PM2.5 บทความนี้เสนอการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของการแจกแจงแกมมา 2 วิธี คือ การทดสอบที่ใช้วิธีของสคอร์ และวิธีของวาล์ว การเปรียบเทียบประสิทธิภาพใช้วิธีการจำลองภายใต้การแจกแจงแกมมา ซึ่งมีพารามิเตอร์รูปร่างแตกต่างกัน โดยพิจารณาจากขนาดของการทดสอบเชิงประจักษ์และกำลังของการทดสอบเชิงประจักษ์ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพยังได้ประยุกต์ใช้กับข้อมูล PM2.5 รายชั่วโมงของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ผลการจำลองพบว่า การทดสอบที่ใช้วิธีของวาล์วมีประสิทธิภาพมากกว่าการทดสอบที่ใช้วิธีของสคอร์ เมื่อพิจารณาจากขนาดของการทดสอบเชิงประจักษ์และกำลังของการทดสอบเชิงประจักษ์ โดยการทดสอบที่ใช้วิธีของวาล์วเป็นวิธีที่แนะนำให้กับผู้ใช้ในสถานการณ์ที่คล้ายคลึงกัน

คำสำคัญ: การทดสอบสมมติฐาน, ค่าวัดการกระจาย, การแจกแจงแกมมา, มลพิษทางอากาศ

¹ รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

*Corresponding author e-mail: wararit@mathstat.sci.tu.ac.th

Submission: 20 January 2021, Received: 3 March 2021, Accepted: 29 March 2021

Abstract

The biggest impact of particulate air pollution on public health is understood to be from long-term exposure to fine particulate matter (PM_{2.5}), which increases the age-specific mortality risk, particularly from cardiovascular causes. Usually, the hourly PM_{2.5} level fits a gamma distribution, and this has led us to consider testing this via the coefficient of variation (CV) of these data. Herein, we present two statistical methods for testing the CV in a gamma population based on the Score and Wald methods. To compare their performances, a simulation study was conducted under several shape parameter values for a gamma distribution. The performances of the test statistics were compared based on their empirical type I error rates and powers of the test. Their performances were then illustrated by applying them to the hourly PM_{2.5} level in Hat Yai, Songkhla, Thailand. The simulation results show that the test statistic based on the Wald method performed better than the one based on the Score method in terms of the attained nominal significance level and is thus recommended for analysis in similar scenarios.

Keyword: Hypothesis testing, Measure of dispersion, Gamma distribution, Air pollution

Introduction

The population coefficient of variation (CV) is a unit-free measure of variability relative to the population mean (Albatineh et al., 2017). It is defined as the ratio of the population standard deviation σ to the population mean μ , namely $\theta = \sigma / \mu$, where $\mu \neq 0$. Furthermore, it has been more widely used than the standard deviation for comparing the variations of several variables obtained by different units.

The estimator of CV has been widely applied in many fields of science, including the medical sciences, engineering, economics and others (see Nairy and Rao, 2003). For example, the applicability of the CV method for analyzing synaptic plasticity was studied by Faber and Korn (1991). Calif and Soubdhan (2016) used the CV to measure the spatial and temporal correlation of global solar radiation. Reed et al. (2002) used the CV in assessing the variability of quantitative assays. Bedeian and Mossholder (2000) used the CV for comparing diversity in work groups. Kang et al. (2007) applied the CV for monitoring variability in statistical process

control. Castagliola et al. (2011) proposed a new method to monitor the CV by means of two one-sided EWMA charts of the CV squared. The effect of the CV of operation times on the optimal allocation of storage space in production line systems was studied by Frederick and Kut (1991). Döring and Reckling (2018) proposed a method to adjust the standard CV to account for the systematic dependence of population variance from the population mean. The CV for the injection pressure recorded during the operation of the engine were evaluated by Bakowskia et al. (2017).

The literature on testing the CV in a gamma distribution is limited. However, there are many methods available for estimating the confidence interval for a population CV. For example, the confidence interval for the CV based on the chi-squared distribution was proposed by McKay (1932). Vangel (1996) proposed a modified McKay's approximate confidence interval for the CV. Panichkitkosolkul (2009) improved the modified McKay's approximate confidence interval by replacing the typical sample estimate of the CV with the maximum likelihood estimate in the case of a normal distribution. In addition, the confidence intervals for the CV based on a ranked set sampling was proposed by Albatineh et al. (2014). Recently, Sangnawakij and Niwitpong (2017) presented two confidence intervals for the CV in a gamma distribution using the Score and Wald methods. These confidence intervals for the CV can be used to test the hypothesis for the CV.

Air pollution has become a major problem for people living in industrial cities. It harms human health, and it also has various indirect implications for society and the economy by, for example, undermining a country's economic growth potential through a reduction of people's work hours and a loss of agricultural productivity (World Bank, 2016). Air pollutants include gaseous pollutants and particle matters (PM). Fine particulate matter with a diameter of up to 2.5 micrometers (PM_{2.5}) are so small and light that they tend to stay longer in the air than heavier particles. PM_{2.5} can be emitted from combustion sources, such as diesel engines and biomass burning, or formed in the atmosphere from chemical reactions of sulfur dioxide (SO₂), oxides of nitrogen (NO_x) and volatile organic compounds (VOCs) (Narita et al., 2019). PM_{2.5} has a potential risk for human health, especially premature mortality under long-term exposure.

Moreover, PM_{2.5} can penetrate deeply into the lung, irritate and corrode the alveolar wall, and consequently impair lung function (Xing et al., 2016).

Some circumstances have led us to consider testing levels of PM_{2.5} in terms of the CV. The information could be advantageous for the Thailand's Ministry of Natural Resources and Environment and other related organizations to realize and plan for solving or reducing the problem of levels of PM_{2.5}. The results from a gamma quantile-quantile (Q-Q) plot (Figure 1(a)), a histogram (Figure 1(b)), and applying the Anderson-Darling goodness-of-fit test show that the hourly PM_{2.5} levels from Hat Yai station from January 11-16, 2021 fit well to a gamma distribution.

The objective of this study is to propose some methods for testing the population CV and identify the appropriate methods for practitioners. Two confidence intervals proposed by Sangnawakij and Niwitpong (2017) for testing the population CV are considered. Because a theoretical comparison is not possible, we conducted a simulation study to compare the performance of these methods and used these results to suggest a test statistic with high power to attain a nominal significance level for practitioners.

The structure of this paper is as follows. The second section reviews the point estimation of parameters in a gamma distribution. In the third section, we present the proposed statistical methods for testing the CV in a gamma distribution. The simulation technique and results are discussed in the fourth section. A numerical example is illustrated in the fifth section. Finally, discussion and conclusions are presented in the two last sections.

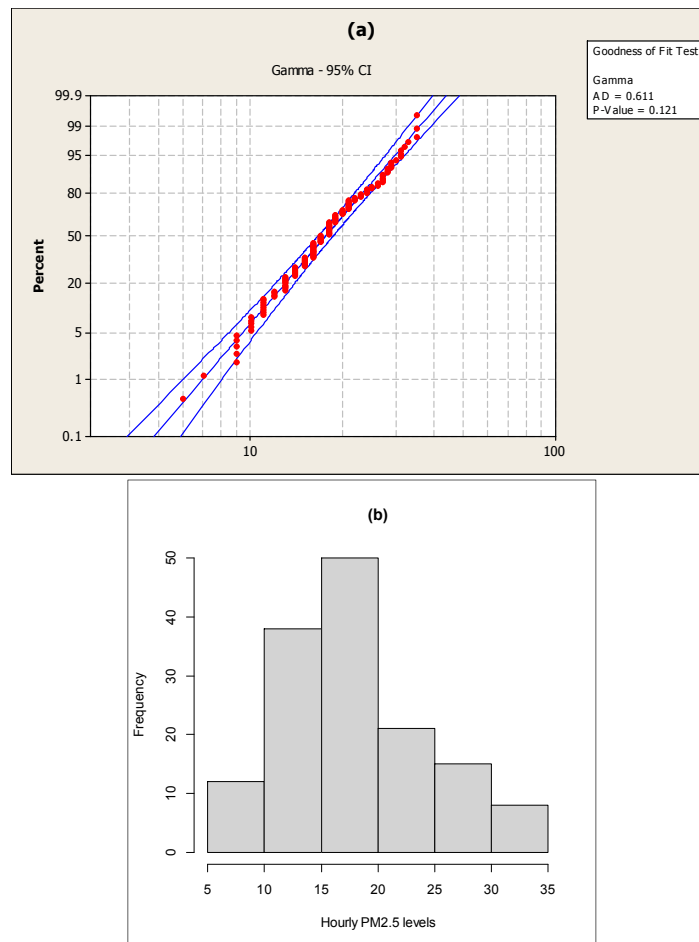


Figure 1. (a) gamma QQ plot (b) histogram of the hourly PM2.5 levels from Hat Yai station.

Point Estimation of Parameters in a Gamma Distribution

In this section, we explain the point estimation of parameters in a gamma distribution. Let $X = (X_1, \dots, X_n)$ be a random sample from the gamma distribution with the shape parameter α and scale parameter β , denoted as $\text{Gamma}(\alpha, \beta)$. The probability density function of X is given by

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, \quad x > 0, \alpha > 0, \beta > 0$$

(1)

The mean and variance of X are $E(X) = \alpha\beta$ and $\text{Var}(X) = \alpha\beta^2$, respectively. Therefore, the CV of X is given by $\theta = 1/\sqrt{\alpha}$. Since α is unknown parameter, it is required to be estimated.

We consider the maximum likelihood estimators for α and β . From the probability density function shown in (1), the log-likelihood function of α and β is given by

$$\ln L(\alpha, \beta) = -\frac{\sum_{i=1}^n X_i}{\beta} + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n \ln(X_i) - n \ln(\Gamma(\alpha)) - n\alpha \ln(\beta).$$

Taking partial derivatives of the above equation with respect to α and β , respectively, the score function is derived as

$$U(\alpha, \beta) = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \ln(X_i) - n \ln(\alpha) + \frac{n}{2\alpha} - n \ln(\beta) \\ \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{\beta^2} - \frac{n\alpha}{\beta} \end{bmatrix}.$$

Then, the maximum likelihood estimators can be conducted for α and β , respectively,

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{2 \left(\ln(\bar{X}) - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(X_i)}{n} \right)}, \quad \hat{\beta} = \frac{\bar{X}}{\hat{\alpha}},$$

where $\bar{X} = n^{-1} \sum_{i=1}^n X_i$ is the sample mean of X . Also, the estimator of CV is given by $\hat{\theta} = 1/\sqrt{\hat{\alpha}}$.

Proposed Test Statistics

Let $X_1, \dots, X_n$ be an independent and identically distributed (i.i.d.) random sample of size n from a population with finite mean, μ and finite variance, σ^2 . Let $\bar{X}$ be the sample mean and S be the sample standard deviation. Then $\hat{\theta} = S/\bar{X}$ is the estimated value of the population CV, $\theta = \sigma/\mu$.

We want to test for the population CV. The null and alternative hypotheses are defined as follows:

$$H_0: \theta = \theta_0$$

$$H_1: \theta \neq \theta_0.$$

In this section, we discuss two test statistics for the CV based on the Score and Wald methods.

1. Score method

Let α and β be the parameter of interest and the nuisance parameters, respectively. The score statistic is denoted as

$$W_1 = U^T(\alpha_0, \hat{\beta}_0) I^{-1}(\alpha_0, \hat{\beta}_0) U(\alpha_0, \hat{\beta}_0),$$

where $\hat{\beta}_0$ is the maximum likelihood estimator for β , under the null hypothesis $H'_0: \alpha = \alpha_0$, $U(\alpha_0, \hat{\beta}_0)$ is the vector of the Score function and $I(\alpha_0, \hat{\beta}_0)$ is the matrix of the Fisher information. Here, it is easy to derive that the Score function under H'_0 is

$$U(\alpha_0, \hat{\beta}_0) = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \ln(X_i) + \frac{n}{2\alpha_0} - n \ln(\bar{X}) \\ 0 \end{bmatrix}.$$

The inverse of the matrix of the Fisher information can be found as follows

$$I^{-1}(\alpha_0, \hat{\beta}_0) = \begin{bmatrix} \frac{2\alpha_0^2}{n} & -\frac{2\bar{X}}{n} \\ -\frac{2\bar{X}}{n} & \frac{\bar{X}^2(2\alpha_0 + 1)}{n\alpha_0^3} \end{bmatrix}.$$

Using the property of the Score function, we can see that the pivotal

$$Z_{score} = \sqrt{\frac{2\alpha_0^2}{n}} \left(\sum_{i=1}^n \ln(X_i) + \frac{n}{2\alpha_0} - n \ln(\bar{X}) \right) \quad (2)$$

converges in distribution to the standard normal distribution. Since the variance of $\hat{\alpha}$ is $\frac{2\alpha_0^2}{n}$, it is approximated by substituting $\hat{\alpha}$ in its variance.

Under H'_0 , the statistic in (2) is given as

$$Z_{score} \cong \sqrt{\frac{2\hat{\alpha}^2}{n}} \left(\sum_{i=1}^n \ln(X_i) + \frac{n}{2\hat{\alpha}} - n \ln(\bar{X}) \right).$$

From the probability statement, $1 - \gamma = P(-Z_{1-\gamma/2} \leq Z_{score} \leq Z_{1-\gamma/2})$, it can be simply written as $1 - \gamma = P(l_s \leq \theta \leq u_s)$. Therefore, the $(1 - \gamma)100\%$ confidence interval for θ based on the score method, CI_s , is given by

$$CI_s = [l_s, u_s] = \left[\sqrt{\frac{2}{n}} \left(M - Z_{1-\gamma/2} \sqrt{\frac{n}{2\hat{\alpha}^2}} \right), \sqrt{\frac{2}{n}} \left(M + Z_{1-\gamma/2} \sqrt{\frac{n}{2\hat{\alpha}^2}} \right) \right],$$

where $M = n \ln(\bar{X}) - \sum_{i=1}^n \ln(X_i)$ and $Z_{1-\gamma/2}$ is the $(1 - \gamma/2)^{\text{th}}$ quantile of the standard normal distribution. Thus, we will reject the null hypothesis, $H_0: \theta = \theta_0$, if

$$\theta_0 < \sqrt{\frac{2}{n}} \left(M - Z_{1-\gamma/2} \sqrt{\frac{n}{2\hat{\alpha}^2}} \right)$$

or

$$\theta_0 > \sqrt{\frac{2}{n} \left(M + Z_{1-\gamma/2} \sqrt{\frac{n}{2\hat{\alpha}^2}} \right)}.$$

2. Wald method

The Wald statistic is an asymptotic statistic derived from the property of the maximum likelihood estimator. The general form of the Wald statistic under the null hypothesis $H'_0: \alpha = \alpha_0$ is defined as

$$W_2 = (\hat{\alpha} - \alpha_0)^T \left[I^{\alpha\alpha}(\hat{\alpha}, \hat{\beta}) \right]^{-1} (\hat{\alpha} - \alpha_0),$$

where $I^{\alpha\alpha}(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$ is the estimated variance of $\hat{\alpha}$ obtained from the first row and the first column of $I^{-1}(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$. Using the information of partial derivatives from the previous subsection, the inverse matrix is given by

$$I^{-1}(\hat{\alpha}, \hat{\beta}) = \begin{bmatrix} \frac{2\hat{\alpha}^2}{n} & -\frac{2\bar{X}}{n} \\ -\frac{2\bar{X}}{n} & \frac{\bar{X}^2(2\hat{\alpha}+1)}{n\hat{\alpha}^3} \end{bmatrix},$$

where $I^{\alpha\alpha}(\hat{\alpha}, \hat{\beta}) = \frac{2\hat{\alpha}^2}{n}$. Therefore, under H'_0 , we obtain the Wald statistic

$$Z_{\text{wald}} \cong \sqrt{\frac{n}{2\hat{\alpha}^2}} (\hat{\alpha} - \alpha), \quad (3)$$

which has the limiting distribution of a standard normal distribution. Therefore, the $(1-\gamma)100\%$ confidence interval for θ based on the Wald method, CI_w , is given by

$$CI_w = [l_w, u_w] = \left[1/\sqrt{\hat{\alpha} + Z_{1-\gamma/2} \sqrt{\frac{2\hat{\alpha}^2}{n}}}, 1/\sqrt{\hat{\alpha} - Z_{1-\gamma/2} \sqrt{\frac{2\hat{\alpha}^2}{n}}} \right],$$

where $Z_{1-\gamma/2}$ is the $(1-\gamma/2)^{\text{th}}$ quantile of the standard normal distribution.

Thus, we will reject the null hypothesis, $H_0: \theta = \theta_0$, if

$$\theta_0 < 1/\sqrt{\hat{\alpha} + Z_{1-\gamma/2} \sqrt{\frac{2\hat{\alpha}^2}{n}}}$$

or

$$\theta_0 > 1/\sqrt{\hat{\alpha} - Z_{1-\gamma/2} \sqrt{\frac{2\hat{\alpha}^2}{n}}}.$$

Simulation Study

In this study, two methods for testing the population CV in a gamma distribution are considered. Since a theoretical comparison is not possible, a Monte Carlo simulation was conducted using the R version 4.0.3 statistical

software (Ihaka and Gentleman, 1996) to compare the performance of the test statistics. The methods were compared in terms of their attainment of empirical type I error rates and the powers of their performance. The simulation results are presented only for the significant level $\gamma = 0.05$, since 1) $\gamma = 0.05$ is widely used to compare the power of the test and 2) similar conclusions were obtained for other values of γ .

To observe the behavior of small, moderate and large sample sizes, we used $n = 10, 30, 50, 100$, and 200 . The number of simulations was fixed at $10,000$. The data were generated from a gamma distribution with $\beta=2$ and α was adjusted to obtain the required coefficient of variation θ . We set $\theta = 0.05, 0.10, 0.20, 0.28, 0.30$ and 0.33 .

As can be seen in the simulation results displayed in all the tables, the empirical type I error rates of the Wald method were close to the nominal significance level of 0.05 for all sample sizes while those of the Score method were close to the nominal significance level of 0.05 for larger sample sizes. The Score method performed well in terms of the power of the test for $\theta > \theta_0$. On the other hand, the Wald method performed better for $\theta < \theta_0$. We observed a general pattern; when the sample size increases, the power of the test also increases and the empirical type I error rate approaches 0.05 . Also the power increases as the value of the CV departs from the hypothesized value of the CV. It was observed that for large sample sizes, the performance of the test statistics did not differ greatly in the sense of power and the attainment of the nominal significance level of the test. However, a significant difference was observed for small sample sizes.

Table 1. Empirical type I error rates and powers of tests for Gamma(400,2), $\theta = 0.05$.

n	Method	θ_0								
		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
10	Score	0.955	0.165	0.009	0.054	0.195	0.432	0.688	0.865	0.956
	Wald	1.000	0.965	0.669	0.213	0.028	0.008	0.017	0.042	0.085
30	Score	0.831	0.426	0.106	0.039	0.111	0.277	0.514	0.746	0.896
	Wald	0.970	0.809	0.474	0.164	0.045	0.057	0.153	0.322	0.527
50	Score	1.000	1.000	0.987	0.338	0.083	0.636	0.977	1.000	1.000
	Wald	1.000	1.000	0.999	0.657	0.045	0.317	0.856	0.995	1.000
100	Score	1.000	1.000	1.000	0.769	0.068	0.837	1.000	1.000	1.000
	Wald	1.000	1.000	1.000	0.893	0.050	0.658	0.997	1.000	1.000
200	Score	1.000	1.000	1.000	0.983	0.060	0.977	1.000	1.000	1.000
	Wald	1.000	1.000	1.000	0.994	0.050	0.944	1.000	1.000	1.000

Bold numeric is the empirical type I error rates.

Table 2. Empirical type I error rates and powers of tests for Gamma(100,2), $\theta = 0.10$.

n	Method	θ_0								
		0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
10	Score	0.007	0.024	0.053	0.113	0.198	0.302	0.435	0.561	0.683
	Wald	0.668	0.417	0.208	0.087	0.027	0.009	0.008	0.009	0.017
30	Score	0.820	0.436	0.113	0.038	0.104	0.270	0.511	0.750	0.899
	Wald	0.972	0.823	0.473	0.162	0.041	0.056	0.148	0.325	0.535
50	Score	0.987	0.804	0.338	0.059	0.082	0.298	0.626	0.874	0.977
	Wald	0.998	0.947	0.654	0.217	0.048	0.099	0.313	0.615	0.852
100	Score	1.000	0.993	0.764	0.177	0.065	0.396	0.836	0.985	1.000
	Wald	1.000	0.998	0.891	0.369	0.048	0.210	0.653	0.939	0.997
200	Score	1.000	1.000	0.982	0.451	0.055	0.573	0.976	1.000	1.000
	Wald	1.000	1.000	0.994	0.599	0.046	0.415	0.943	1.000	1.000

Bold numeric is the empirical type I error rates.

Table 3. Empirical type I error rates and powers of tests for Gamma(25,2), $\theta = 0.20$.

n	Method	θ_0								
		0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24
10	Score	0.051	0.082	0.113	0.152	0.196	0.246	0.304	0.358	0.424
	Wald	0.220	0.142	0.088	0.051	0.029	0.016	0.010	0.007	0.006
30	Score	0.109	0.054	0.037	0.055	0.102	0.175	0.270	0.386	0.507
	Wald	0.480	0.306	0.160	0.081	0.039	0.040	0.056	0.096	0.151
50	Score	0.362	0.159	0.065	0.044	0.073	0.163	0.296	0.457	0.616
	Wald	0.670	0.435	0.237	0.105	0.046	0.046	0.094	0.180	0.300
100	Score	0.781	0.468	0.190	0.058	0.063	0.175	0.382	0.627	0.821
	Wald	0.906	0.686	0.379	0.141	0.050	0.079	0.201	0.404	0.637
200	Score	0.986	0.845	0.473	0.120	0.055	0.213	0.563	0.846	0.974
	Wald	0.994	0.919	0.630	0.221	0.050	0.123	0.408	0.732	0.937

Bold numeric is the empirical type I error rates.

Table 4. Empirical type I error rates and powers of tests for Gamma(12.76,2), $\theta = 0.28$.

n	Method	θ_0								
		0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32
10	Score	0.080	0.107	0.129	0.154	0.188	0.220	0.257	0.301	0.348
	Wald	0.142	0.097	0.068	0.049	0.032	0.019	0.014	0.009	0.009
30	Score	0.052	0.038	0.044	0.060	0.101	0.145	0.201	0.273	0.352
	Wald	0.294	0.186	0.115	0.069	0.045	0.039	0.041	0.055	0.081
50	Score	0.143	0.079	0.042	0.047	0.077	0.127	0.202	0.301	0.412
	Wald	0.420	0.264	0.148	0.086	0.052	0.045	0.060	0.096	0.159
100	Score	0.445	0.228	0.098	0.049	0.063	0.126	0.237	0.394	0.570
	Wald	0.667	0.432	0.231	0.109	0.052	0.054	0.107	0.206	0.349
200	Score	0.827	0.553	0.250	0.084	0.051	0.136	0.328	0.576	0.797
	Wald	0.908	0.700	0.394	0.155	0.052	0.075	0.205	0.427	0.676

Bold numeric is the empirical type I error rates.

Numerical Example

To illustrate the application of the two statistical methods for testing the CV introduced in the previous section, we used data on the hourly PM2.5 levels ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtained from Thailand's Pollution Control Department (<http://air4thai.pcd.go.th>). The hourly PM2.5 levels were measured from the Hat Yai station from January 11-16, 2021. The descriptive statistics are as follows: sample size = 144, mean = 18.29, standard deviation (SD) = 6.33, CV = 0.34, coefficient of skewness = 0.67, and kurtosis = -0.08. The distribution of the hourly PM2.5 levels is slightly right-skewed and it has slightly thin-tailed data distribution.

A gamma quantile-quantile (QQ) plot and histogram of the data are displayed in Figure 1, while density and Box and Whisker plots are shown in Figure 2. According to the Anderson-Darling (AD) goodness-of-fit test, the hourly PM2.5 levels follow a gamma distribution. Using a Minitab program (McKenzie, 2004), the hourly PM2.5 levels from the Hat Yai station were from a gamma distribution with a shape parameter, $\hat{\alpha} = 8.5972$ and a scale parameter, $\hat{\beta} = 2.12763$, while the estimator of the CV is $\hat{\theta} = 0.3411$.

Table 5. Empirical type I error rates and powers of tests for Gamma(11.11,2), $\theta = 0.30$.

n	Method	θ_0								
		0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34
10	Score	0.080	0.107	0.129	0.154	0.188	0.220	0.257	0.301	0.348
	Wald	0.142	0.097	0.068	0.049	0.032	0.019	0.014	0.009	0.009
30	Score	0.052	0.038	0.044	0.060	0.101	0.145	0.201	0.273	0.352
	Wald	0.294	0.186	0.115	0.069	0.045	0.039	0.041	0.055	0.081
50	Score	0.143	0.079	0.042	0.047	0.077	0.127	0.202	0.301	0.412
	Wald	0.420	0.264	0.148	0.086	0.052	0.045	0.060	0.096	0.159
100	Score	0.445	0.228	0.098	0.049	0.063	0.126	0.237	0.394	0.570
	Wald	0.667	0.432	0.231	0.109	0.052	0.054	0.107	0.206	0.349
200	Score	0.761	0.505	0.232	0.080	0.051	0.121	0.286	0.526	0.751
	Wald	0.861	0.655	0.372	0.152	0.053	0.068	0.171	0.367	0.608

Bold numeric is the empirical type I error rates.

Table 6. Empirical type I error rates and powers of tests for Gamma(9.18,2), $\theta = 0.33$.

n	Method	θ_0								
		0.29	0.30	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37
10	Score	0.087	0.102	0.131	0.156	0.187	0.216	0.254	0.303	0.345
	Wald	0.127	0.098	0.065	0.048	0.035	0.021	0.014	0.010	0.009
30	Score	0.042	0.038	0.047	0.067	0.097	0.131	0.183	0.237	0.301
	Wald	0.231	0.157	0.108	0.066	0.043	0.034	0.037	0.050	0.062
50	Score	0.099	0.056	0.042	0.051	0.076	0.113	0.174	0.248	0.343
	Wald	0.327	0.214	0.133	0.077	0.055	0.040	0.053	0.077	0.121
100	Score	0.326	0.179	0.083	0.047	0.060	0.106	0.187	0.309	0.464
	Wald	0.538	0.366	0.198	0.099	0.052	0.052	0.083	0.156	0.264
200	Score	0.696	0.439	0.203	0.073	0.051	0.106	0.238	0.447	0.658
	Wald	0.810	0.589	0.331	0.140	0.055	0.059	0.142	0.296	0.504

Bold numeric is the empirical type I error rates.

Our interest was in testing the population CV of the hourly PM2.5 levels. Suppose the researcher wanted to test the claim that a population CV equals 0.35. The null and alternative hypotheses are respectively given as follows:

$$H_0 : \theta = 0.35$$

$$H_1 : \theta \neq 0.35.$$

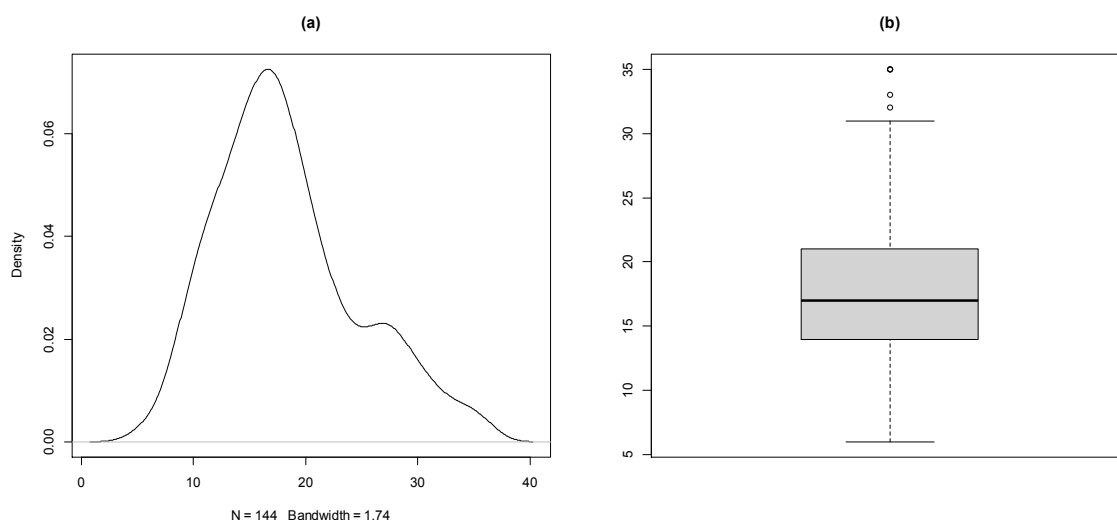


Figure 2. (a) density plot (b) Box and Whisker plot of the hourly PM2.5 levels from the Hat Yai station.

The lower and upper critical values of both test statistics were shown in Table 7. The null hypothesis H_0 was not rejected since $0.3020 \leq \theta_0 \leq 0.3820$ and $0.3104 \leq \theta_0 \leq 0.3927$ using test statistics based on the Score and Wald methods, respectively. We conclude that the population CV of the hourly PM2.5 levels does not differ from 0.35 at the 0.05 significance level.

Table 7. Critical values of test statistic based on the Score and Wald methods for the significance level of 0.05

Method	Critical values	
	Lower	Upper
Score	0.3020	0.3820
Wald	0.3104	0.3927

Discussion

The aim of this study is to identify potential methods that can be recommended to practitioners for testing the CV in a gamma distribution. From the simulation results presented in Tables 1-6, it is evident that the Wald method performed better than the Score method in terms of the empirical type I error rate. A general pattern was observed (as expected); as the sample size increased, the power of the test also increased and the empirical type I error rates

approached 0.05. Moreover, the power increased as the value of CV departed from the hypothesized value of the CV. It can be observed that for large sample sizes, the performance of these methods did not differ greatly in terms of the power and attaining the nominal size of the test. Nevertheless, a significant difference was observed for small sample sizes.

Conclusions

In this study, two statistical methods for testing the population CV in a gamma distribution were derived. Since a theoretical comparison is not possible, a simulation study was conducted to compare the performance of these methods. Based on the simulation results, the Wald method performed better than the Score method in terms of the empirical type I error rate. The Score method performed well in the sense of the power of the test when the population CV was greater than the hypothesized value of the CV. On the other hand, the Wald method performed better when the population CV was smaller than the hypothesized value of the CV. In summary, we would recommend the Wald method for testing since its empirical type I error rate is close to the nominal significance level.

Acknowledgements

The author is grateful to the anonymous referees for their constructive comments and suggestions, which have significantly enhanced the quality and presentation of this paper. The author would also like to acknowledge the support provided by the Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand, in supplying the hourly PM_{2.5} levels.

References

- Albatineh, A.N., Boubakari, I., & Kibra, B.M.G. (2017). New confidence interval estimator of the signal-to-noise ratio based on asymptotic sampling distribution, *Communication in Statistics-Theory and Methods*. 46(2): 574-590.
- Albatineh, A.N., Kibria, B.M.G., Wilcox, M.L., & Zogheib, B. (2014). Confidence interval estimation for the population coefficient of variation using ranked set sampling, *Journal of Applied Statistics*. 41(4): 733-751.

- Bakowskia, A., Radziszewskia, L., & Źmindak, M. (2017). Analysis of the coefficient of variation for injection pressure in a compression ignition engine, *Procedia Engineering*. 177: 297-302.
- Bedeian, A.G., & Mossholder, K.W. (2000). On the use of the coefficient of variation as a measure of diversity, *Organizational Research Methods*. 3(3): 285-297.
- Calif, R., & Soubdhan, T. (2016). On the use of the coefficient of variation to measure spatial and temporal correlation of global solar radiation, *Renewable Energy*. 88: 192-199.
- Castagliola, P., Celano, G., & Psarakis, S. (2011). Monitoring the coefficient of variation using EWMA charts, *Journal of Quality Technology*. 43(3): 249-265.
- Döring, T.F., & Reckling, M. (2018). Detecting global trends of cereal yield stability by adjusting the coefficient of variation, *European Journal of Agronomy*. 99: 30-36.
- Faber, D.S., & Korn, H. (1991). Applicability of the coefficient of variation method for analyzing synaptic plasticity, *Biophysical Journal*. 60(5): 1288-1294.
- Ihaka, R., & Gentleman, R. (1996). R: A Language for Data Analysis and Graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*. 5(3): 299-314.
- Kang, C.W., Lee, M.S., Seong, Y.J., & Hawkins, D.M. (2007). A control chart for the coefficient of variation, *Journal of Quality Technology*. 39(2): 151-158.
- McKay, A.T. (1932). Distribution of the coefficient of variation and the extended t distribution, *Journal of the Royal Statistics Society*. 95(4): 695-698.
- McKenzie, J.D. (2004). *Minitab Student Release 14: Statistical Software for Education*. Boston: Pearson Addison-Wesley.
- Nairy, K.S., & Rao, K.A. (2003). Tests of coefficients of variation of normal population, *Communication in Statistics-Simulation and Computation*. 32(3): 641-646.
- Narita, D., Oanh, N.T.K., Sato, K., Huo, M., Permadi, D.A., Chi, N.N.H., Ratanajaratroj, T., & Pawarmart, I. (2019). Pollution characteristics and policy actions on fine particulate matter in a growing Asian economy: the case of Bangkok metropolitan region, *Atmosphere*. 10(5): 227.

- Panichkitkosolkul, W. (2009). Improved confidence intervals for a coefficient of variation of a normal distribution, *Thailand Statistician*. 7(2): 193-199.
- Reed, G.F., Lynn, F., & Meade, B.D. (2002). Use of coefficient of variation in assessing variability of quantitative assays, *Clinical and Diagnostic Laboratory Immunology*. 9(6): 1235-1239.
- Sangnawakij, P., & Niwitpong, S. (2017). Confidence intervals for functions of coefficients of variation with bounded parameter spaces in two gamma distributions, *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 39(1): 27-39.
- Vangel, M. G. (1996). Confidence intervals for a normal coefficient of variation, *The American Statistician*. 50(1): 21-26.
- World Bank. (2016). *The cost of air pollution*. Washington: World Bank.
- Xing, Y.F., Xu, Y.H., Shi, M.H., & Lian, Y.X. (2016). The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system, *Journal of Thoracic Disease*. 18(1): E69-74.

การปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงและปากแม่น้ำท่าทอง อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Heavy metals contamination in the sediments of cockle culture area and Tha Thong estuary, Bandon Bay, Surat Thani province

เกวลิน รอดขวัญ¹, วชรี รวยรื่น^{2*} และนรนนท์ ขำมณี²
Kewalin Rodkwan¹, Watcharee Ruairuen^{2*}, and Naranun Khammanee²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประเมินการปนเปื้อนโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในตะกอนดินบริเวณพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงและบริเวณปากแม่น้ำท่าทองซึ่งไม่พบการเพาะเลี้ยงหอย ในอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี เก็บตัวอย่างตะกอนดินด้วยเครื่องตักตะกอนดิน (Ekman grab) จำนวน 3 สถานี ในเดือนสิงหาคม 2563 ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) และประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด โดยใช้ตัวชี้วัด 4 อย่าง ได้แก่ ดัชนีการสะสมทางธรณี (I_{geo}) ปัจจัยการปนเปื้อน (CF) ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI) และดัชนีภาระมลพิษ (PLI) ประเมินการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาพบว่า สังกะสีและทองแดงมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง ND-6.28 $\mu\text{g/g}$ และ 0.00-20.81 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเลที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ปริมาณตะกั่วอยู่ในระดับ ND ของทั้ง 3 สถานี ในขณะที่แคดเมียมมีปริมาณโลหะหนักอยู่ในช่วง 0.00-23.83 $\mu\text{g/g}$ ซึ่งค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเล เมื่อประเมินการปนเปื้อนตะกอนดินด้วยดัชนี I_{geo} พบว่า สังกะสีไม่พบการปนเปื้อนในตะกอนดิน ขณะที่ทองแดงและแคดเมียมพบการปนเปื้อนระดับต่ำจนถึงระดับสูง ดัชนีมลพิษของตะกอนดินมีค่าสูงสุดในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงหนาแน่น ดัชนีภาระมลพิษในพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครง แสดงค่าการปนเปื้อนมากกว่าบริเวณปากแม่น้ำท่าทอง ($PLI > 1$) และบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศชายฝั่งทะเล

คำสำคัญ: การปนเปื้อนโลหะหนัก, ตะกอนดิน, ดัชนีการปนเปื้อน, พื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครง, อ่าวบ้านดอน

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

² สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

*Corresponding author, E-mail: watcharee.rua@sru.ac.th

Abstract

The objectives of this research aim to determine and evaluate the contamination level of heavy metals including zinc (Zn), copper (Cu), cadmium (Cd) and lead (Pb) in the sediments collected from cockle culture and non-culture areas at Tha Tong estuary, Surat Thani province. Surface sediment samples were collected with Ekman Grab from 3 stations in August, 2020. The concentration of heavy metals were determined by Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) technique. The assessment contamination of heavy metal in the environment was assessed using four indicators, which include Geo-accumulation index (I_{geo}), Contamination factor (CF), Sediment Pollution Index (SPI), and Pollution load index (PLI). Results showed that the concentrations of Zn and Cu were in a range of non-detectable (ND) to 6.28 $\mu\text{g/g}$ and 0.00 to 20.81 $\mu\text{g/g}$, respectively. These concentration levels of Zn and Cu from all three stations were not exceeding the coastal sediment quality criteria, which was issued by Pollution Control Department of Thailand. Pb reported as ND for every stations. Whereas, the concentration of Cd (0.00 to 23.83 $\mu\text{g/g}$) was over than the standard criteria. The risk analysis of I_{geo} indicated that the heavy metal Zn was in a range of un-contamination to moderately level contamination in the sediment. While, the I_{geo} values of Cu and Cd showed moderately level to high contaminated in the sediment. The highest estimations of SPI was found in the cockle culture area. The PLI values of metals in the cockle culture sediments were more contaminated than Tha Thong estuary ($PLI > 1$), which the values was in the range indicating the degradation of the coastal ecosystem.

Keyword: heavy metal contamination, sediment, contamination index, cockle culture area, Ban don bay

บทนำ

โลหะหนัก (Heavy metals) เป็นกลุ่มธาตุที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 4 ซึ่งจัดเป็นโลหะที่อยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชันที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตถ้าเกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหารมีอัตราการสลายตัวค่อนข้างช้าหรือไม่สามารถสลายตัวได้เนื่องจากมีความเสถียร (ไข่มุก ใจเหล็ก, 2561) โลหะหนักเป็นธาตุที่มีคุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลที่มีอยู่ในน้ำและเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ง่าย โลหะหนักสามารถกระจายอยู่ในน้ำได้ 4 ส่วน คือ สารละลาย สารแขวนลอย ในน้ำระหว่างเม็ดดินและในดินตะกอน (จากฤกษ์ น้อยจินดาและคณะ, 2560) โดยการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินมีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ โดยบริเวณชายฝั่งทะเลการปนเปื้อนของโลหะหนักมักมีแหล่งกำเนิดมาจากการชะล้างและปะปนกับน้ำจากแผ่นดินซึ่งไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดได้ชัดเจน โลหะหนักในดินตะกอนท้องน้ำในบริเวณชายฝั่ง มีโอกาสส่งผ่านไปยังสัตว์น้ำโดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตที่

ฝังตัวอยู่ในดินตะกอน (อุดมลักษณ์ คงสังข์และคณะ, 2561) หากโลหะหนักมีปริมาณความเข้มข้นที่สูงสามารถทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำรวมถึงเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยมนุษย์ได้รับสารพิษเข้าสู่ร่างกายจากการบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนโลหะหนัก อาจมีผลต่อสุขภาพในระยะยาวและความเสี่ยงจากโรคอื่น ๆ ตามมา โดยเฉพาะแคดเมียมและตะกั่วที่สามารถพบทั่วไปในสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ หากได้รับแคดเมียมจะส่งผลกระทบต่อไต ระบบหัวใจและหลอดเลือด ในขณะที่ตะกั่วมีผลต่อสมองและระบบประสาท ซึ่งโลหะหนักทั้งสองชนิดจัดเป็นสารก่อมะเร็ง

อ่าวบ้านดอนพื้นที่ชายฝั่งทะเลฝั่งอ่าวไทยมีลักษณะเป็นเว้าโค้งรูปพระจันทร์หงายครอบคลุมพื้นที่ 6 อำเภอ ตั้งแต่อำเภอไชยา ท่าฉาง พุนพิน เมือง กาญจนดิษฐ์จนถึงอำเภอดอนสัก มีความยาวแนวชายฝั่งประมาณ 120 กิโลเมตรและมีพื้นที่ประมาณ 434,575 ไร่ รองรับน้ำจากลำคลองน้อยใหญ่จำนวนมากเกิดความอุดมสมบูรณ์จากการสะสมของตะกอนปากแม่น้ำกลายเป็นแหล่งอาหารสำคัญของสัตว์น้ำ (เพ็ญภา สวนทอง และโอฬาร ถิ่นบางเตียว, 2562) อ่าวบ้านดอนเป็นศูนย์รวมของทรัพยากรธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์เป็นแหล่งที่มีความหลากหลายในระบบนิเวศทางทะเล เป็นแหล่งทำการประมงที่สำคัญของประเทศ แหล่งอนุบาลสัตว์ทะเล และแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะเลี้ยงหอยแครงเป็นจำนวนมาก ในอ่าวบ้านดอนมีรายงานว่าจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีกำลังผลิตหอยแครงในปี พ.ศ. 2555 ประมาณ 17,718 ตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 621 ล้านบาท ซึ่งนับเป็นแหล่งผลิตหอยแครงแหล่งใหญ่ระดับต้น ๆ ของประเทศไทย การเลี้ยงหอยแครงในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีมานานกว่า 30 ปี ซึ่งเป็นความนิยมของชาวบ้านเนื่องจากใช้เวลาในการเลี้ยงน้อยการจัดการทำได้ง่าย และสร้างรายได้ค่อนข้างดี มีการแสดงอาณาเขตในการเลี้ยงหอยแครงในพื้นที่อำเภอไชยา อำเภอท่าฉาง และอำเภอกาญจนดิษฐ์ หอยแครงเป็นสัตว์น้ำที่มีระบบการกินอาหารแบบกรองกินดินตะกอนและซากสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ บริเวณพื้นที่ท้องน้ำขอบฝั่งตัวอยู่ตามผิวดินโคลนลึกประมาณ 1 ถึง 12 นิ้ว (ทองทิพย์ วงษ์ศิลป์ และคณะ, 2559)

ข้อมูลการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดินพื้นที่อ่าวบ้านดอนได้มีการรายงานในการศึกษาของ Roekdee (2015) ซึ่งได้ระบุว่า ปริมาณแคดเมียม สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว และโครเมียมเฉลี่ยในตะกอนดินมีค่าอยู่ในช่วง 0.92-2.49, 12.87-43.63, 4.23-19.41, 18.08-33.95 และ 31.85-77.32 mg/kg (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ส่วนใหญ่การสะสมของโลหะหนักในตะกอนดินสูงสุดจะพบในบริเวณพื้นที่ปากน้ำกะแดะ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จากข้อมูลการสำรวจในภาคสนาม ข้อมูลทุติยภูมิและการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการพบว่าปริมาณโลหะหนักที่ถูกระบายลงสู่อ่าวบ้านดอนโลหะหนักในรูปของแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี มีการระบายลงสู่อ่าวโดยเฉลี่ยปริมาณ 10.4, 26.2, 47.1, 66, และ 423 ตันต่อปี ซึ่งมีแหล่งการปนเปื้อนหลักมาจากแหล่งที่มีจุดกำเนิดไม่แน่นอน (non-point source) โดยโลหะหนักที่มีความเสี่ยงสูงต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศบริเวณพื้นที่อ่าวบ้านดอนคือตะกั่ว และแคดเมียม (สมทิพย์ ด่านธีรวินิชย์ และคณะ, 2554) พื้นที่เชื่อมต่อกับอ่าวบ้านดอนเช่นบริเวณอ่าวไทยตอนใน ได้มีรายงานการสะสมของโลหะหนักในตะกอนดิน (แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี) พบว่าปริมาณตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในดินตะกอนมีค่า 9.8-27.1, 2.4-41.1 และ 5.5-91.2 ppm ตามลำดับ โดยทองแดงในบางสถานีมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานตะกอนดินชายฝั่งทะเลที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ โดยโลหะหนักส่วนใหญ่มีค่าสูงบริเวณชายฝั่งและมีแนวโน้มลดลงในระยะห่างฝั่งออกไป (ณัฐวร ชันธิกุล และคณะ, 2563)

นอกจากนี้การศึกษาของ ธงชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ (2563) ซึ่งได้ประเมินการปนเปื้อน

โลหะหนักตะกั่ว โครเมียม ทองแดง และสังกะสี ในตะกอนดินคลองปากบาง และพื้นที่รองรับน้ำทิ้ง จังหวัดภูเก็ต พบ โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 2.2-18.1, 1.8-44.8, 0.8-20.5, 7.1-215.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และปริมาณทองแดงและสังกะสีที่สะสมในตะกอนดินจากคลองปากบางในช่วงต้นและกลางคลองมีค่าเกินเกณฑ์คุณภาพตะกอนดิน และดัชนีชี้วัดหลายตัวแสดงให้เห็นถึงการปนเปื้อนระดับปานกลางของโลหะหนักทั้งสอง แต่ไม่พบการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดในพื้นที่รองรับน้ำทิ้ง ในขณะที่ จากฤกษ์ น้อยจินดาและคณะ (2560) ได้รายงานปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในตะกอนดินที่ทำเรือแหลมฉบังและท่าเรือกรุงเทพฯ ใน 2 ฤดู พบว่า ดินตะกอนที่ทำเรือกรุงเทพฯ มีการปนเปื้อนสูงกว่าที่ทำเรือแหลมฉบัง โดยเฉพาะโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ ทองแดง และเหล็ก อย่างไรก็ตามการประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่อ่าวบ้านดอน จำเป็นต้องดำเนินการศึกษาอย่างจริงจัง เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการพัฒนาของเมือง มีการขยายตัวของชุมชน การเจริญเติบโตของแหล่งอุตสาหกรรมหลากหลาย ประกอบกับเป็นพื้นที่ทำการเกษตรและประมง รวมถึงการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่สำคัญของประเทศ ทำให้มีการปล่อยของเสียเหลือทิ้งต่าง ๆ ลงสู่แหล่งน้ำปริมาณมากในแต่ละปี ส่งผลให้โลหะหนักหลายชนิดถูกปล่อยให้ปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมและไปสะสมในระบบนิเวศทะเลและชายฝั่ง ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และอาจจะส่งผลกระทบต่อองค์การการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง ตลอดจนมีการถ่ายทอดไปในห่วงโซ่อาหารของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและประเมินสถานภาพของการปนเปื้อนของโลหะหนักในระบบนิเวศทะเลชายฝั่งของพื้นที่อ่าวบ้านดอน เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการบริหารจัดการการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินตะกอนบริเวณอ่าวบ้านดอนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการปนเปื้อนโลหะหนักสังกะสี ทองแดง แคดเมียม และตะกั่ว ในตะกอนดินบริเวณพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงและพื้นที่ปากแม่น้ำท่าทอง
2. ประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินด้วยตัวชี้วัดการปนเปื้อนสากล ได้แก่ ดัชนีการสะสมทางธรณี (I_{geo}) ปัจจัยการปนเปื้อน (CF) ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI) และดัชนีภาระมลพิษ (PLI)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง

พื้นที่สำหรับเก็บตัวอย่างตะกอนดินในการศึกษาครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 พื้นที่ คือ พื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครง และพื้นที่ปากน้ำ จำนวนทั้งสิ้น 3 สถานี (ภาพที่ 1 และ ตารางที่ 1) โดยกำหนดให้สถานีที่ 1 ตั้งอยู่ตรงปากแม่น้ำท่าทอง (Station 1) ซึ่งเป็นจุดที่แม่น้ำไหลออกสู่อ่าวบ้านดอน เป็นพื้นที่ที่มีระดับความลึกของน้ำระหว่าง 0.9-1.5 เมตร สถานีที่ 2 เป็นสถานีในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงซึ่งมีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำท่าทองเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร และพื้นที่ที่มีระดับความลึกของน้ำอยู่ระหว่าง 1-2 เมตร (Station 2) และสถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยง

หอยแครงซึ่งมีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำเป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร (Station 3) โดยมีระดับความลึกของน้ำอยู่ระหว่าง 1-2 เมตร ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินตะกอนในช่วงเดือนสิงหาคม 2563



ภาพที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่างตะกอนดิน ในพื้นที่ปากแม่น้ำท่าทองและพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงบริเวณอ่าวบ้านดอน อำเภอกาญจนาดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ที่มา: Google earth (2020)

ตารางที่ 1 พิกัดจุดเก็บตัวอย่างตะกอนดินบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

สถานีที่	พิกัด		บริเวณที่เก็บตัวอย่าง
	ละติจูด	ลองจิจูด	
1	9.22099	99.49773	ปากแม่น้ำท่าทอง (ไม่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง)
2	9.22714	99.48905	พื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงห่างจากปากแม่น้ำประมาณ 1 กิโลเมตร
3	9.23097	99.49275	พื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงห่างจากปากแม่น้ำประมาณ 2 กิโลเมตร

2. การเก็บตัวอย่างตะกอนดิน

เก็บตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีต่าง ๆ โดยใช้ Ekman grap เก็บตะกอนดินจำนวนประมาณ 500 กรัม และทำการเก็บตัวอย่างตะกอนดินสถานีละ 3 ซ้ำ มารวมกันและบรรจุใส่ถุงซิปลพลาสติก ปิดปากถุงให้สนิท แช่น้ำแข็งจนกว่าถึงห้องปฏิบัติการ แล้วเก็บรักษาตัวอย่างในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

นำตัวอย่างตะกอนดินมาตากแดดจนแห้ง บดให้ละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช จากนั้นชั่งตัวอย่างตะกอนดิน จำนวน 0.3-0.5 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจำนวน 5 มิลลิลิตร และเติมกรดไนตริกเข้มข้นจำนวน 1 มิลลิลิตร เพื่อทำการย่อยตัวอย่างสารละลายด้วย hotplate ที่อุณหภูมิ 100-150 องศาเซลเซียส จนกว่าควันขาวหมด คือการย่อยสมบูรณ์ จากนั้นทิ้งไว้ให้สารละลายเย็นแล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ล้างตะกอนที่เหลือด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรจนถึง 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นในขวดโพลิเอธิลีน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินในบริเวณที่ทำการศึกษ ด้วยเครื่องมือ AAS โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นดังนี้ แคดเมียมเท่ากับ 0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 ppm สังกะสีเท่ากับ 0.1, 0.3, 0.4, 0.5 ppm ทองแดง เท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ppm และตะกั่วเท่ากับ 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.3 ppm แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้น ppm ของโลหะไอออนแต่ละชนิดเพื่อเทียบค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

4. การประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนัก

การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักงานวิจัยนี้ครั้งนี้ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนัก โดยใช้ดัชนีการปนเปื้อน ได้แก่ ดัชนีการสะสมทางธรณี (I_{geo}) ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI) ปัจจัยการปนเปื้อน (CF) และดัชนีภาระมลพิษ (PLI)

ดัชนีการสะสมทางธรณี (I_{geo}) เป็นตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมที่ถูกใช้ในการประเมินการปนเปื้อนในตะกอนดิน โดยค่าดังกล่าวสะท้อนถึงการสะสมตัวของโลหะหนักทั่วไป ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$I_{(geo)} = \log \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right] \quad (1)$$

โดย C_n คือ ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างในหน่วยมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม B_n คือ ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักภูมิหลังในตะกอนดินของ Roekdee (2015) โดยค่าความเข้มข้นโลหะหนักสังกะสี แคดเมียมและทองแดงในดินตะกอนจากบริเวณอ่าวบ้านดอนมีค่าเท่ากับ 27.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม 1.49 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 10.35 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีช่วงชั้นค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีสามารถแบ่งเป็นระดับการปนเปื้อนของตะกอนดิน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ช่วงชั้นค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณีและระดับการปนเปื้อนของตะกอนดิน

ระดับค่า I_{geo}	ระดับการปนเปื้อนของตะกอนดิน
$I_{geo} < 0$	ระดับที่ไม่มี การปนเปื้อน
$0 \leq I_{geo} < 1$	ระดับที่ไม่มี การปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง
$1 \leq I_{geo} < 2$	ระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง
$2 \leq I_{geo} < 3$	ระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลางจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนสูง
$3 \leq I_{geo} < 4$	ระดับที่มีการปนเปื้อนสูง
$4 \leq I_{geo} < 5$	ระดับที่มีการปนเปื้อนสูงจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนสูงมาก
$I_{geo} > 5$	ระดับที่มีการปนเปื้อนสูงมาก

ที่มา: Ho et al. (2010)

ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (Sediment pollution index; SPI)

ตัวชี้วัดนี้สามารถสะท้อนถึงมลภาวะหรือความปนเปื้อนของตะกอนดินเนื่องจากโลหะหนักว่ามีการปนเปื้อนในภาพรวมของโลหะหนักทั้งหมดทุกชนิดอยู่ในระดับใด การคำนวณผลลัพธ์มาจากการใช้ความเข้มข้นโลหะหนักทุกชนิดมาคิดรวมกัน (Singh et al., 2002) มีสมการคำนวณดังสมการที่ (2)

$$SPI = \frac{\sum \left[\frac{C_n}{B_n} \right] \times w_m}{\sum w_m} \quad (2)$$

โดยค่า C_n เป็นปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดิน และ B_n คือ ปริมาณโลหะหนักพื้นหลังในตะกอนดิน (Roekdee, 2015) ส่วนค่า w_m เป็นค่าน้ำหนักความเป็นพิษของโลหะหนักแต่ละชนิด ซึ่งความเป็นพิษของสังกะสีใช้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 ทองแดงใช้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 2 (Singh et al., 2002) และแคดเมียมมีค่าเท่ากับ 30 (Kouchesfehiani and Azizi, 2019) โดยมีการจำแนกช่วงค่า SPI ที่สัมพันธ์กับระดับการปนเปื้อน (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ช่วงค่า SPI ที่สัมพันธ์กับระดับการปนเปื้อน

ระดับค่า SPI	ระดับการปนเปื้อนของตะกอนดิน
ช่วง 0 ถึง 2	บ่งบอกถึงตะกอนดินที่มาจากธรรมชาติ
ช่วง 2 ถึง 5	บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับต่ำในตะกอนดิน
ช่วง 5 ถึง 10	บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับปานกลางในตะกอนดิน
ช่วง 10 ถึง 20	บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับสูงในตะกอนดิน
ค่ามากกว่า 20	บ่งบอกถึงการปนเปื้อนรุนแรงในตะกอนดิน

ที่มา: Singh et al. (2002)

ปัจจัยการปนเปื้อน (Contamination factor; CF) เป็นตัวชี้วัดมลพิษทางตะกอนดินในสภาพแวดล้อมโดยใช้อัตราส่วนของ โลหะหนักแต่ละชนิดและโลหะหนักดังกล่าว เพื่อประเมินระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่างๆ (Kadhum et al. 2015) มีสมการในการคำนวณดังสมการที่ (3)

$$CF = \frac{C_{m(sample)}}{C_{m(background)}} \quad (3)$$

โดยค่า $C_{m(sample)}$ เป็นความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในตะกอน และ $C_{m(background)}$ เป็นความเข้มข้นของโลหะหนักภูมิหลังในตะกอนดิน (Roekdee, 2015) ซึ่งมีค่าการปัจจัยการปนเปื้อน แบ่งออกเป็น 4 ระดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่าระดับปัจจัยการปนเปื้อน

ระดับค่า (CF)	ระดับปัจจัยการปนเปื้อน
$CF < 1$	การปนเปื้อนต่ำ
$1 \leq CF < 3$	การปนเปื้อนในระดับปานกลาง
$3 \leq CF < 6$	การปนเปื้อนมาก
$CF > 6$	การปนเปื้อนที่สูงมาก

ที่มา: Hakanson (1980)

ดัชนีภาระมลพิษ (Pollution load index; PLI) เป็นตัวชี้วัดที่ใช้สำหรับประเมินการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศทางน้ำ เนื่องจากโลหะหนักในพื้นที่ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับระบบนิเวศทางน้ำ โดยสามารถระบุแนวโน้มของการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศและระดับมลพิษของระบบนิเวศทางน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา (Tomlinson et al. 1980) มีสมการคำนวณดังแสดงในสมการที่ (4)

$$SPI = (CF_1 \times CF_2 \dots \dots \dots CF_n)^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

โดยค่า n คือจำนวนชนิดของโลหะหนัก ผลคูณค่าปัจจัยการปนเปื้อน (CF) ของโลหะหนักแต่ละตัว เมื่อ n เป็นจำนวนของโลหะหนักทั้งหมดที่ต้องการประเมิน ดัชนีภาระมลพิษแบ่งออกเป็น 2 ระดับ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 เกณฑ์ในการประเมินของค่า PLI

ระดับค่า PLI	เกณฑ์ในการประเมินของค่า PLI
ช่วง 0 ถึง 1	คุณภาพตะกอนดินที่มีสมบูรณ์
>1	เกิดการเสื่อมสภาพของพื้นที่หรือระบบนิเวศทางน้ำ

ที่มา: Tomlinson et al. (1980)

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดิน

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักของตะกอนดิน ได้แก่ สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) และตะกั่ว (Pb) ซึ่งสกัดโลหะหนักจากตะกอนดินให้อยู่ในรูปสารละลาย นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ผลการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดิน แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในตัวอย่างตะกอนดิน

สถานีที่	สังกะสี (Zn) (µg/g)	แคดเมียม (Cd) (µg/g)	ทองแดง (Cu) (µg/g)	ตะกั่ว (Pb) (µg/g)
1	ND	0.00-1.58	0.00-10.90	ND
2	0.00-6.28	0.00-13.20	1.30-20.81	ND
3	0.00-3.33	22.66-23.83	4.21-15.32	ND
ค่ามาตรฐาน*	102.2	2.0	25.0	52.0

หมายเหตุ: Non-detectable (ND) คือ มีค่าต่ำกว่าระดับที่วิธีสามารถตรวจวัด, *ค่ามาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเลโดยกรมควบคุมมลพิษ

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสังกะสี (Zn) ในตะกอนดินพบว่า ปริมาณสังกะสีในสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำท่าทองมีค่าการตรวจวัดอยู่ในช่วง ND (Non Detectable) คือ อยู่ในระดับที่ไม่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของสังกะสีได้ด้วยเทคนิคที่ใช้ สำหรับในสถานีที่ 2 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปเป็นระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีมีค่าอยู่ในช่วง 0.00-6.28 µg/g และสถานีที่ 3 ซึ่งเป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปเป็นระยะทางประมาณ 2 กิโลเมตร พบความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ในช่วง 0.00-3.33 µg/g (ตารางที่ 6) ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานตะกอนดินชายฝั่งทะเลที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ (102.2 µg/g)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) ในตะกอนดินพบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำท่าทอง มีค่าอยู่ในช่วง 0.00-1.58 µg/g ในขณะที่

ที่ความเข้มข้นของสถานที่ 2 ซึ่งเป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปเป็นระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร พบ ความเข้มข้นของแคดเมียมมีค่าอยู่ในช่วง 0.00-13.20 $\mu\text{g/g}$ และสถานที่ 3 พื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร พบความเข้มข้นของแคดเมียมมีค่าอยู่ในช่วง 22.66-23.83 $\mu\text{g/g}$ (ตารางที่ 6) ซึ่งทั้งสถานที่ 2 และ 3 มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานตะกอนดินชายฝั่งทะเลที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ (2.0 $\mu\text{g/g}$)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของทองแดง (Cu) ในตะกอนดิน พบว่าปริมาณทองแดงในสถานที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำท่าทอง พบปริมาณทองแดง มีค่าอยู่ในช่วง 0.00-10.90 $\mu\text{g/g}$ สำหรับสถานที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของทองแดงอยู่ในช่วง 1.30-20.81 $\mu\text{g/g}$ และสถานที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร พบความเข้มข้นของทองแดงอยู่ในช่วง 4.21-15.32 $\mu\text{g/g}$ โดยทุกสถานที่มีค่า Cu ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานตะกอนดินชายฝั่งทะเลที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ (25.0 $\mu\text{g/g}$)

ในขณะที่ความเข้มข้นของตะกั่วในตะกอนดินจากการตรวจวัดของทุกสถานที่มีค่าอยู่ในระดับ ND ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีค่าต่ำกว่าระดับที่เทคนิคและวิธีการตรวจวัดที่ใช้สามารถตรวจวัดได้ ในทุกสถานที่ทำการศึกษามีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักของแคดเมียมและทองแดงจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่าการศึกษาของ Roekdee (2015) เมื่อเปรียบเทียบกัน แต่ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสีและตะกั่วในการศึกษาครั้งนี้มีค่าน้อยกว่า

ประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนัก

ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (I_{geo})

ดัชนีการสะสมเชิงธรณี เป็นตัวชี้วัดทางสิ่งแวดล้อมที่ถูกใช้ในการประเมินการปนเปื้อนในตะกอนดิน โดยค่าดังกล่าวสะท้อนถึงการสะสมตัวของโลหะหนักทั่วไป ผลการประเมินดัชนีการสะสมเชิงธรณีแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการประเมินดัชนีการสะสมเชิงธรณี

สถานที่	ผลการประเมินดัชนีการสะสมทางธรณี		
	สังกะสี	แคดเมียม	ทองแดง
1	ND	0.16	0.16
2	0.03	1.19	0.24
3	0.02	3.56	0.21

จากตารางผลการประเมินค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี พบว่า สังกะสีในสถานที่ 2 เป็นพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงหอยแครงที่ห่างจากบริเวณปากแม่น้ำออกไปเป็นระยะประมาณ 1 กิโลเมตร และ สถานที่ 3 เป็นพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 0.03 และ 0.02 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง นอกจากนี้การประเมินค่าดัชนีการสะสมเชิงธรณี

(I_{geo}) ของแคดเมียม พบว่า สถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำท่าทอง มีค่าเท่ากับ 0.16 จัดอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงการปนเปื้อนปานกลาง สถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 1.19 ซึ่งอยู่ในระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง และสถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร พบดัชนีการสะสมเชิงธรณีสัณฐานมีค่าสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.56 ซึ่งสะท้อนภาพของการปนเปื้อนในระดับสูง ส่วนผลของค่า I_{geo} ของทองแดงนั้น มีค่าอยู่ในช่วง 0.16 ถึง 0.24 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงที่ไม่มีการปนเปื้อนไปจนถึงการปนเปื้อนปานกลาง (ตารางที่ 7)

ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI)

ค่าดัชนีมลพิษของตะกอนดิน เป็นตัวชี้วัดมลภาวะหรือความปนเปื้อนของตะกอนดิน การประเมินการปนเปื้อนของโลหะหนักโดยใช้ค่าดัชนีมลพิษของตะกอนดิน เป็นการแสดงผลการปนเปื้อนในภาพรวมของโลหะหนักในตะกอนดินของพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งทั้ง 3 ชนิด โดยผลการประเมินค่า SPI พบว่า สถานีที่ 1 ซึ่งเป็นบริเวณปากแม่น้ำท่าทอง มีค่าดัชนีมลพิษของตะกอนดิน มีค่าเท่ากับ 0.79 ซึ่งอยู่ในช่วง 0 ถึง 2 บ่งบอกถึงตะกอนดินมาจากธรรมชาติ ยังไม่พบการปนเปื้อน สถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร ผลลัพธ์ของค่า SPI มีค่าเท่ากับ 5.49 ซึ่ง อยู่ในช่วง 5 ถึง 10 บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับปานกลางในตะกอนดิน และสถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร มีค่า SPI อยู่ในช่วง 10 ถึง 20 บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับสูงในตะกอนดิน ($SPI = 16.19$) บ่งบอกถึงการปนเปื้อนระดับสูงในตะกอนดิน จากการประเมินค่า SPI พบว่าในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงมีการปนเปื้อนในตะกอนดิน และจะพบการปนเปื้อนสูงสุดในสถานีที่ 3 ซึ่งเป็นพื้นที่เลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างออกไปจากปากแม่น้ำประมาณ 2 กิโลเมตร

ตารางที่ 8 ผลการประเมินดัชนีมลพิษของตะกอนดิน

สถานี	ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน
1	0.79
2	5.49
3	16.19

การประเมินปัจจัยการปนเปื้อน (CF)

ปัจจัยการปนเปื้อน เป็นตัวชี้วัดมลพิษทางตะกอนดินในสภาพแวดล้อมโดยใช้อัตราส่วนของโลหะหนักแต่ละชนิดและโลหะหนักจากค่าพื้นหลัง เพื่อประเมินระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่างๆ ผลการประเมินปัจจัยการปนเปื้อน (CF) ของสังกะสี พบว่า ปริมาณสังกะสีในสถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 0.15 และ สถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 0.12 ซึ่งทั้ง 2 สถานี มีระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่ำ (ตารางที่ 9) และค่า CF ของแคดเมียม พบว่า ในสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ปาก

แม่น้ำท่าทอง มีค่าเท่ากับ 0.19 มีระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่ำ สถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 5.90 จัดอยู่ในระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมมาก และสถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 17.74 ซึ่งอยู่ในระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมที่สูงมาก นอกจากนี้ผลการประเมินค่า CF ของทองแดงพบว่า ปริมาณทองแดงในสถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ปากแม่น้ำท่าทอง มีค่าเท่ากับ 0.79 จัดอยู่ในช่วงการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่ำ และในสถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร และ สถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร มีค่าเท่ากับ 1.17 และ 1.06 ตามลำดับ โดยทั้ง 2 สถานีนี้จัดอยู่ในระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมปานกลาง (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ผลการประเมินปัจจัยการปนเปื้อน

สถานีที่	ปัจจัยการปนเปื้อน (CF)		
	สังกะสี	แคดเมียม	ทองแดง
1	ND	0.79	0.79
2	0.15	5.90	1.17
3	0.12	17.74	1.06

ดัชนีการสะสมพิษ (PLI)

ดัชนีการสะสมพิษเป็นตัวชี้วัดที่ใช้สำหรับประเมินการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศทางน้ำ เนื่องจากโลหะหนักในพื้นที่ที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบนิเวศทางน้ำ โดยสามารถระบุแนวโน้มของการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศและระดับมลพิษของระบบนิเวศทางน้ำในแต่ละช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา ผลการประเมินค่า PLI พบว่า สถานีที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ปากแม่น้ำท่าทอง มีค่าดัชนีการสะสมพิษ มีค่าเท่ากับ 0.79 บ่งบอกถึงคุณภาพตะกอนดินสมบูรณ์ สถานีที่ 2 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 กิโลเมตร และ สถานีที่ 3 เป็นพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงที่มีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 2 กิโลเมตร เท่ากับ 1.01 และ 1.32 ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของพื้นที่หรือระบบนิเวศทางน้ำ โดยภาพรวมระบบนิเวศในพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ เมื่อประเมินโดยใช้ค่า PLI พบว่ามีค่ามากกว่า 1 (สถานีที่ 2 และ 3) ซึ่งเป็นสัญญาณบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศชายฝั่งทะเล (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 10 ผลการประเมินดัชนีการสะสมพิษ

สถานีที่	ดัชนีการสะสมพิษ (PLI)
1	0.79
2	1.01
3	1.32

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงและปากแม่น้ำท่าทอง อ่าวบ้านดอน อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยทำการเก็บตัวอย่างตะกอนจาก 3 สถานี ได้แก่ พื้นที่ปากแม่น้ำท่าทอง และพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงซึ่งมีระยะห่างจากพื้นที่ปากแม่น้ำออกไปประมาณ 1 และ 2 กิโลเมตร พบว่า ปริมาณของโลหะหนักในตะกอนดินที่ตรวจวัดได้ของแต่ละสถานีมีความเข้มข้นแตกต่างกันออกไป โดยความเข้มข้นของสังกะสี (Zn) จากทั้ง 3 สถานีที่ทำการศึกษา มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเลของกรมควบคุมมลพิษ (2558) เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแคดเมียม (Cd) พบว่ามีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเลในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครง (สถานีที่ 2 และสถานีที่ 3) ซึ่งปริมาณของแคดเมียมที่มีค่าเกินมาตรฐานอาจมีสาเหตุมาจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ซึ่งตั้งอยู่ในหลายพื้นที่ของอำเภอกาญจนดิษฐ์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยปัจจุบันยังคงมีการทำอุตสาหกรรมเหมืองแร่อยู่ในบางพื้นที่ของอำเภอกาญจนดิษฐ์ โดยกิจกรรมการทำเหมืองดังกล่าวสามารถส่งผลให้เกิดการชะล้างลงของโลหะหนักลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติแล้วไหลลงสู่อ่าวบ้านดอนที่ปากแม่น้ำท่าทอง ทำให้เกิดการสะสมในตะกอนดินในบริเวณดังกล่าว ส่วนความเข้มข้นของทองแดง (Cu) พบว่า ทั้ง 3 สถานี มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเล ในขณะที่ความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb) ของทุกสถานีมีค่าอยู่ในระดับ ND จากการตรวจวัดด้วยด้วยเครื่อง AAS นอกจากนี้อิทธิพลของฤดูกาล ช่วงเวลา และปัจจัยทางกายภาพอื่น ๆ ทั้งในเรื่องปริมาณน้ำฝน การพัดพาของกระแสน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพพื้นที่อาจจะเป็นปัจจัยในเรื่องการเพิ่มหรือลดของโลหะหนักในพื้นที่ดังกล่าวได้

การประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักในพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งด้วย ดัชนีการสะสมทางธรณี (I_{geo}) พบว่า ค่า I_{geo} ของสังกะสี (Zn) อยู่ในช่วงมากกว่า 0 แต่น้อยกว่า 1 สะท้อนให้เห็นถึงระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง ในขณะที่ค่า I_{geo} ของแคดเมียม (Cd) ในตะกอนดินอยู่ในช่วงมากกว่า 1 แต่น้อยกว่า 4 ซึ่งจัดอยู่ในระดับระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนสูง ส่วนผลการประเมินทองแดง (Cu) พบว่าค่า I_{geo} ของทองแดงในดินตะกอนอยู่ในระดับที่ไม่มีการปนเปื้อนจนถึงระดับที่มีการปนเปื้อนปานกลาง โดยระดับที่มีการปนเปื้อนที่พบในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครง เมื่อเปรียบเทียบกับผลการประเมินการปนเปื้อนในตะกอนดินของคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต จะพบว่าผลของค่า I_{geo} ของสังกะสีในการศึกษาดังกล่าวอยู่ในช่วงเดียวกันกับการศึกษาครั้งนี้ แต่ค่า I_{geo} ของทองแดงจากการศึกษาครั้งนี้มีค่าสูงกว่าในการศึกษาดังกล่าว (ธงชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ, 2562)

ปัจจัยการปนเปื้อน (CF) ของสังกะสี (Zn) ในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครงมีระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมต่ำ แต่ค่า CF ของแคดเมียมในในพื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครง (สถานีที่ 2 และ 3) มีระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมมาก ถึงระดับการปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมที่สูงมาก ดัชนีมลพิษของตะกอนดิน (SPI) สำหรับพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำท่าทอง ดินตะกอนยังอยู่ใน

สภาพตะกอนดินที่มาจากธรรมชาติ ในขณะที่พื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยแครง พบว่า ค่า SPI อยู่ในระดับการปนเปื้อนระดับปานกลางจนถึงการปนเปื้อนระดับสูงในตะกอนดิน ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของธงชัย สุธีรศักดิ์ และคณะ (2562) คลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต ผลจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มีค่า SPI ของตะกอนดินในบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครงมีการปนเปื้อนสูงกว่าในตะกอนดินที่พบในคลองบางใหญ่ ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์บนฝั่งและรอบๆ บริเวณอ่าวบ้านดอนแตกต่างจากคลองบางใหญ่ และเมื่อพิจารณาดัชนีการสะสมพิษ (PLI) ซึ่งบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของพื้นที่และระบบนิเวศ พบว่า บริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครง (สถานีที่ 2 และ 3) ซึ่งเป็นระบบนิเวศของพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่จากการประเมินโดยใช้ดัชนีการสะสมพิษ พบว่ามีค่ามากกว่า 1 ซึ่งเป็นสัญญาณบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของระบบนิเวศชายฝั่งทะเล ในขณะที่บริเวณปากแม่น้ำท่าทอง พบว่า คุณภาพตะกอนดินสมบูรณ์ ระบบนิเวศไม่มีการปนเปื้อน

ข้อเสนอแนะและการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

สำหรับการศึกษาค้นคว้าต่อไปควรเพิ่มสถานีตัวอย่างในการเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมพื้นที่ในการเลี้ยงหอยบริเวณอ่าวบ้านดอน และควรปรับเปลี่ยนเทคนิคการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินบางตัวให้เหมาะสมและให้ค่าการตรวจวัดที่มีความละเอียดสูงเพื่อความสมบูรณ์ของการศึกษา และควรจัดทำแผนที่ความลึกของน้ำเพื่อดูการทับถมของตะกอนสำหรับการเลือกจุดในการประเมินที่เหมาะสม ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาหาความเข้มข้นของโลหะในตะกอนดินในช่วงหน้าฝนเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้ครอบคลุมข้อมูลของทั้งปีจึงควรมีการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดินเพิ่มเติมในช่วงหน้าร้อน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในตะกอนดินของแต่ละฤดูกาล

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจากคณาจารย์และบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายฝ่ายด้วยกัน ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณนางสาวปัทมา ทิพย์บรรพต นักวิชาการห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ไข่มุก ใจเหล็ก. (2561). การศึกษาอายุตะกอนดินและการสะสมโลหะหนักในตะกอนดิน ณ พื้นที่อ่าวภูเก็ต บริเวณสะพานหิน จังหวัดภูเก็ต (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สืบค้นจาก <https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2016/12800/1/432184.pdf>
- จากฤกษ์ น้อยจินดา, นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, และคณิดา ตั้งคณานุรักษ์. (2560). การเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำ ตามความลึกและในดินตะกอนที่ท่าเรือแหลมฉบังและท่าเรือกรุงเทพฯ ประเทศไทย. *วารสารวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม*, 31(2), 1-13.
- ชูไวยะห์ เกละสนิง, สุปราณี ไกรรักษ์ และสุนีย์ ดาราพงศ์. (2549). การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในหอยแครงและหอยแมลงภู่ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). นครศรีธรรมราช. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.
- ณัฐวร ชันธิกุล, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, นิศรา ถาวรโสตร์, และสรารัฐ ศรีทองอุทัย. (2563). การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนตามฤดูกาลและพื้นที่บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 28(10), 1739-1749. doi: 10.14456/tstj.2020.138
- ทองทิพย์ วงษ์ศิลป์, จินตนา สาและน้อย, กังสดาลย์ บุญปราบ, Takashi Yoshikawa, Yuki Okamoto, และ Satoshi Ishikawa. (2559). การสะสมโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในดินตะกอนบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงหอยแครง (*Anadara granosa*) ในอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 24(2), 309-319.
- ทิตา ดวงสวัสดิ์. (2554). การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำและตะกอนท้องน้ำ บริเวณปากแม่น้ำท่าตะเภา จังหวัดชุมพร (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). พัทลุง: มหาวิทยาลัยทักษิณ
- ธงชัย สุธีรศักดิ์, เพ็ญศิริ เอกจิตต์, กนกพร เมืองมูล, นูรอัสมีนา สาและ และอนัญญา ละไม. (2563). การปนเปื้อนของตะกั่ว โครเมียม ทองแดงและสังกะสี ในตะกอดินคลองปากบาง และพื้นที่รองรับน้ำทิ้ง ตำบลป่าตอง จังหวัดภูเก็ต. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 25(3), 1181-1197.
- ธงชัย สุธีรศักดิ์, เพ็ญศิริ เอกจิตต์, ณัฐริดี ชิดเขียว, กนกวรรณ พงษ์กัญจณินชา และเวียงชัย จงศรีรัตนกุล. (2562). การประเมินการปนเปื้อนของทองแดง ตะกั่วและสังกะสีในตะกอนดิน คลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต. *วารสาร วิทยาศาสตร์บูรพา*, 24(1), 340-358.
- นิภาพร รอดน้อย. (2537). การหาปริมาณโลหะหนักบางชนิดโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พจนลักษณ์ ตรีอุดม. (2559). ปริมาณสารหนูและตะกั่วในน้ำ ดินตะกอนและพืชน้ำบางชนิดบริเวณทะเลน้อย จังหวัด พัทลุง (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พรพิมล เชื้อดวงฟู และเสาวคนธ์ วัฒนจันทร์. (2555). ปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม ทองแดงและสังกะสี) ในสัตว์ทะเลเศรษฐกิจบางชนิด บริเวณแหล่งการทำประมง อ่าวภอละกู จังหวัดสตูล (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

- พิไลพร ทองมาก. (2552). การเลี้ยงหอยแครง (*Anadara granosa*) โดยใช้ขนาดลูกหอยและอัตราการทำวนที่แตกต่างกัน (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). ชุมพร: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- เพ็ญภา สอนทอง และ โอฟาร ถิ่นบางเตียว. (2562). นิเวศวิทยาการเมืองของการจัดการทรัพยากร ชายฝั่ง ทะเลอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารเศรษฐศาสตร์การเมืองบูรพา*, 7(2), 101-132.
- ภัทรารุณ ไทยพิชิตบูรพา. (2561). การประเมินสภาวะคุณภาพน้ำและดินตะกอนบริเวณอ่าวตราด จังหวัดตราด (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา
- รอสานา อาดาม. (2562). การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำและตะกอนท้องน้ำบริเวณชุมชนประมงบาละฮิเล จังหวัดนราธิวาส. *Princess of Naradhiwas University journal*, 11(3), 202-211.
- สมทิพย์ ด้านธีรวิชัย, สุวัฒน์ ธนานุภาพไพศาล, เจิดจรรย์ ศิริวงศ์, และอัญชลี ฤกษ์ดี (2554). การประเมินผลกระทบประเด็นปัญหาโลหะหนักในระบบนิเวศของบริเวณพื้นที่อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี และการใช้หอยนางรมเป็นตัวบ่งชี้ (รายงานวิจัย). สุราษฎร์ธานี: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี.
- อุดมลักษณ์ คงสังข์, ธงชัย สุธีระศักดิ์ และเวียงชัย จงศรีรัตนกุล. (2561). การปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดิน ใต้เดือน ทะเลและหอยแครงในพื้นที่รองรับน้ำทิ้งคลองบางใหญ่ จังหวัดภูเก็ต. *วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*, 41(4), 439-454.
- Edresy, M. A., Wasel, S. O., & Hagibi, H. A. (2019). Ecological risk assessment of heavy metals in coastal sediments between Al-Haymah and Al-Mokha, south red sea, Yemen. *International Journal of Hydrology*, 3(2), 159-173. doi: 10.15406/ijh.2019.03.00177
- Garson, M.S., Young, B., Mitchell, A.H.G., Tait, B.A.R., Bateson, J.H., Cogger, N., Johnson, R.L., Prewett, W.G., & Stephens, E.A. (1975). *The Geology of the Tin Belt in Peninsular Thailand around Phuket, Phangnga and Takua Pa*, first ed. HMSO, London.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Resources Research*, 14, 975-1001.
- Ho, Swennen, R. & VanDamme, A. (2010). Distribution and contamination status of heavy metals in estuarine sediments near Cau Ong harbor, Ha Long Bay, Vietnam. *Geologica Belgica*, 13(1-2), 37-47.
- Kadhum, S.A., Ishak, M.Y., & Zulkifli, S.Z. (2015). Evaluation and assessment of baseline metal contamination in surface sediments from the Bernam River, Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(7), 6312-6321.
- Keawtawee, T. & Songsangjinda, P. (2017). *Heavy metal contamination In the Green Mussel Perna viridis in the gulf of Thailand*. Department of Aquatic Scienc. Prince of Songkla University.

- Kouchesfehani, H. S., & Azizi, S. N. (2019). Heavy Metal Pollution Assessment in Sediment of Mussel Habitats Using Geochemical Indices. *Journal of Coastal Zone Management*, 22(2).
- Roekdee, U. (2015). *Assessment of Heavy metals Impact in the Ecosystem in Bondon Bay at Surat Thani Province and Using the Oyster as a Biological Index*. (Doctoral dissertation). Songkla: Prince of Songkla University
- Singh, M., Muller, G., & Singh, I.B. (2002). Heavy metals in freshly deposited stream sediments of rivers associated with urbanization of the Gana Plain, India. *Water, Air, and Soil Pollution*, 141, 35-54.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R., & Jeffrey, D.W. (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgolander Meeresunters*, 33, 566-575.

TRY IT ON: แอปพลิเคชันห้องลองเสื้อผ้าออนไลน์ผ่านโทรศัพท์มือถือ TRY IT ON : Mobile Application for Virtual Dressing Room

ทัศนาศ ประวิเศษ^{1*} และธนาสัย สุคนธ์พันธุ์²
Tassana Prawisat^{1*} and Tanasai Sucontphunt²

บทคัดย่อ

TRY IT ON เป็นแอปพลิเคชันสำหรับเป็นห้องลองเสื้อผ้าออนไลน์ ที่สามารถสร้างแบบจำลองหุ่นเสมือนจริงจากค่าพารามิเตอร์ของผู้ใช้งาน เป็นการอำนวยความสะดวกสำหรับการซื้อเสื้อผ้าผ่านทางช่องทางออนไลน์ แอปพลิเคชัน TRY IT ON มีการออกแบบให้ง่ายต่อการใช้งาน ทั้งผู้ต้องการซื้อสินค้าและร้านค้าผู้จำหน่ายสินค้า โดยจัดเป็นช่องทางเลือกสำหรับร้านค้าเพื่อเพิ่มโอกาสทางธุรกิจ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือสำหรับจำลองเป็นห้องลองเสื้อผ้าออนไลน์ โดยมีการนำข้อมูลจากผู้ใช้งานสร้างเป็นแบบจำลองหุ่นเสมือนจริง มีขนาดรูปร่างตามค่าพารามิเตอร์จากผู้ใช้งาน การสร้างแบบจำลองหุ่นเสมือนจริงในรูปแบบสามมิติ ได้พัฒนาจากโปรแกรม MakeHuman และจากระบบ 3D Human Reshaping with Anthropometric Modeling ซึ่งได้เชื่อมโยงกับการสร้างแอปพลิเคชันด้วยโปรแกรม Unity เพื่อพัฒนาสร้างเป็นหุ่นจำลองออกเป็นภาพทางหน้าจอ จากการศึกษาพบว่าแบบจำลองหุ่นเสมือนจริง ให้ความสมจริงตามค่าจากผู้ใช้ เมื่อนำมาใช้ร่วมกับเสื้อผ้า สามารถช่วยเลือกเสื้อผ้าได้เหมาะสมตามขนาดและรูปร่าง ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการตอบสนองการใช้งาน การทำงานตามฟังก์ชัน และความสะดวกต่อการใช้งาน ให้ผลการประเมินอยู่ในระดับมาก จึงสรุปได้ว่าแอปพลิเคชัน TRY IT ON สามารถเป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองหุ่นเสมือนจริงและเพิ่มช่องทางการจำหน่ายเสื้อผ้าออนไลน์ของธุรกิจได้มากขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: แบบจำลองหุ่นเสมือนจริง, แอปพลิเคชัน, เสื้อผ้าออนไลน์

¹ นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิทยาการคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

² อาจารย์ประจำ หลักสูตรวิทยาการคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

* Corresponding author, E-mail: Tassana.pra@gmail.com

Submission: 30 January 2021, Received: 4 February 2021, Accepted: 5 February 2021

Abstract

TRY IT ON is an online application for cloth fitting that enables consumers to input their measurement and create virtual model. It is a powerful and convenient tool for consumers in order to obtain an accurate size of clothes based on actual body measurement and product data. The design of application is practical, producer- and consumer-friendly for online businesses. This application allows entrepreneur to connect with consumers better and increase business opportunities. The aim of this study was to develop and test mobile application for simulating online virtual cloth fitting. The virtual model were created based on actual body measurements and visualized by creating 3D human model. MakeHuman program and 3D Human Reshaping with Anthropometric Modeling system were used to develop 3D human model, and 3D Human Reshaping system was linked to user interface application by Unity program via UDP Protocol. The results showed that TRY IT ON application created a realistic 3D human models and visualized the actual shape and size. The application was uncomplicated and easily operated. A user survey for this application regarding usefulness, satisfaction, and convenience showed that users were satisfied with application in a good level. In summary, TRY IT ON application was a tool to create a virtual human model and able to visualize an actual fit for consumers. This is the powerful and helpful application to automatically generate perfectly fit products for consumers and can be applied as a business growth strategy for entrepreneur.

Keywords: 3D human model, mobile application, online shopping

บทนำ

ธุรกิจออนไลน์เป็น ธุรกิจที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน มีการปรับตัวจากผู้ประกอบการธุรกิจต่างๆ ที่มีการนำธุรกิจในรูปแบบใหม่เข้าสู่โลกออนไลน์ เพื่อเพิ่มช่องทางการเข้าถึงสินค้าและบริการจากผู้บริโภคเพิ่มขึ้น นำมาซึ่งปริมาณที่เพิ่มขึ้นของการซื้อสินค้าและบริการ อีกทั้งเทคโนโลยีต่างๆ ในปัจจุบันมีการพัฒนาและได้ถูกนำมาปรับใช้กับธุรกิจเพื่อสร้างความทันสมัยไปพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของโลกปัจจุบัน ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสินค้าและบริการ รวมถึงเพิ่มแรงจูงใจในการซื้อสินค้าและบริการอีกด้วย ธุรกิจการขายเสื้อผ้าออนไลน์จัดเป็นสินค้าของดีปี 2019 ที่มีสัดส่วนในท้องตลาดออนไลน์สูงกว่าธุรกิจประเภทอื่นถึง 24% [1] แต่เดิมการทำธุรกิจทางด้านเสื้อผ้ามีการสร้างหน้าร้าน เพื่อโชว์สินค้ารวมถึงให้ผู้ซื้อสามารถที่จะลองสวมใส่ก่อนตัดสินใจซื้อได้ แต่ปัจจุบันแนวทางการซื้อสินค้าผ่านทางระบบออนไลน์เพิ่มมากขึ้น ผู้ขายสินค้ามีปริมาณเพิ่มขึ้นและมีช่องทางการจำหน่ายที่ผู้ซื้อสามารถเลือกซื้อได้มากขึ้นเช่นกัน จากสถิติพบว่า การซื้อสินค้าออนไลน์โดยการใช้งานผ่านโทรศัพท์มือถือถึง 69% ซึ่งสูงกว่าการใช้งานผ่านคอมพิวเตอร์ที่มีเพียง 34% [1] การนำธุรกิจเสื้อผ้าเข้าสู่ร้านค้าออนไลน์ที่สามารถเข้าถึงได้

ผ่านทางโทรศัพท์มือถือ จึงเป็นช่องทางที่ผู้ขายสินค้ากำลังให้ความสนใจ ปัญหาของการขายเสื้อผ้าออนไลน์คือ ผู้ซื้อไม่สามารถลองสินค้าได้ก่อนตัดสินใจซื้อสินค้า ทำให้การขายสินค้าประเภทเสื้อผ้าออนไลน์ ผู้ขายรับความเสี่ยงในการส่งคืนสินค้าจากผู้ซื้อส่งผลให้ปริมาณรายได้ที่จะได้รับมีขึ้นตอนระยะเวลาดำเนินการที่เพิ่มขึ้น หรือความประทับใจของผู้ซื้อที่มีต่อร้านค้า อาจลดลงได้หากใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นหลังจากการตัดสินใจซื้อสินค้าจนได้รับสินค้านั้นๆ และบางครั้งผู้ขายเสียเวลาในการลงรายละเอียดของสินค้า รวมถึงผู้ขายอาจไม่รู้จักความต้องการของผู้ซื้อ ส่งผลให้มีอัตราการคืนสินค้าสูง เนื่องจากผู้ซื้อได้ขนาดของเสื้อผ้าไม่ตรงกับที่ต้องการหรือเสื้อผ้าที่สนใจจะเข้ากับความต้องการที่แท้จริงหรือไม่ ผู้ซื้อไม่สามารถเห็นภาพของสินค้าก่อนทำการซื้อสินค้าได้ ซึ่งมีผลวิจัยพฤติกรรมนักช้อปออนไลน์ไทย ระบุว่า 55% ของผู้ซื้อรู้สึกผิดหวังกับการส่งมอบสินค้าที่ไม่ถูกต้องจากการสั่งซื้อผ่านทางออนไลน์ [2] การศึกษาการพัฒนาสร้างแอปพลิเคชันแบบจำลองเสื้อผ้าผ่านระบบออนไลน์ เป็นส่วนหนึ่งในการแก้ปัญหาที่เกิดจากการซื้อเสื้อผ้าออนไลน์ระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือสำหรับจำลองเป็นห้องลองเสื้อผ้าออนไลน์ เป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้ซื้อสามารถตัดสินใจซื้อสินค้าได้ถูกต้องตามความต้องการลดการแลกคืนสินค้านระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย ทำให้ผู้ซื้อเกิดความประทับใจในการซื้อสินค้าและบริการ รวมทั้งสามารถเพิ่มปริมาณการซื้อและลดระยะเวลาสำหรับการตัดสินใจในการส่งคืนสินค้า เพื่อเพิ่มช่องทางในการทำธุรกิจเสื้อผ้าบนสื่อออนไลน์ มีการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีของโทรศัพท์มือถือกับธุรกิจออนไลน์รูปแบบใหม่ ซึ่งแนวทางการพัฒนาแอปพลิเคชัน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้ง่าย สะดวกและมีฟังก์ชันการทำงานที่สามารถตอบสนองผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

Mobile Application เป็นการประกอบขึ้นระหว่างคำสองคำ คือ Mobile กับ Application ซึ่ง Mobile หมายถึง อุปกรณ์สื่อสารที่ใช้ในการพกพา ใช้งานได้ตามพื้นฐานของโทรศัพท์ ปัจจุบันใช้ทำหน้าที่ได้หลายอย่างในการติดต่อแลกเปลี่ยนข่าวสารกับคอมพิวเตอร์ ส่วน Application หมายถึง ซอฟต์แวร์ที่ใช้เพื่อช่วยการทำงานของผู้ใช้ (User) โดย Application จะต้องมีสิ่งที่เรียกว่า ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface หรือ UI) เพื่อเป็นตัวกลางการใช้งานต่างๆ Mobile Application หมายถึง แอปพลิเคชันที่ช่วย การทำงานของผู้ใช้บนอุปกรณ์สื่อสารแบบพกพา โทรศัพท์มือถือแบบ smartphone เป็น mobile device ที่ได้รับความนิยมจากผู้ใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งเป็น system software ที่สามารถรองรับการใช้แอปพลิเคชันต่างๆ บนโทรศัพท์มือถือได้ จึงตอบสนองผู้ใช้งานได้ทุกวัยในยุคดิจิทัลและสังคมออนไลน์ [3]

พฤติกรรมการซื้อสินค้าออนไลน์ ผลวิจัยผลการศึกษาพฤติกรรมการซื้อของทางช่องทางออนไลน์ของผู้บริโภคชาวไทย แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคออนไลน์ในประเทศไทย รู้สึกผิดหวังมากที่สุดกับการส่งมอบสินค้าที่ไม่ถูกต้อง และไม่ได้รับสินค้าอย่างรวดเร็วที่สุด โดย 55% ของผู้ตอบแบบสอบถามชี้ให้เห็นว่า “ไม่ได้รับสิ่งที่พวกเขาคาดหวัง” มากที่สุด ในขณะที่ 48% จะผิดหวังกับการส่งมอบสินค้าล่าช้า ความผิดหวังของนักช้อปออนไลน์อันดับที่ 3 คือ ไม่สามารถคืนสินค้าได้โดยง่าย โดยผู้ตอบแบบสอบถาม 45% ระบุว่า ความลำบากในการเปลี่ยนคืนสินค้าคือสิ่งที่หนักใจโดยผู้บริโภค 1 ใน 3 มีแนวโน้มไม่กลับมาเป็นลูกค้าอีก หากมีการจัดส่งสินค้าล่าช้าเกิดขึ้น [1]

มาตรฐาน SizeThai เป็นขนาดไซส์ที่เป็นมาตรฐานของรูปร่างคนไทย ที่ได้จากการสำรวจวัดเรือนร่างด้วยเทคโนโลยี 3D Body Scanning กับกลุ่มตัวอย่างทั้งชายและหญิง หลากหลายช่วง

อายุ จำนวน 13,442 คน ทั่วประเทศ พร้อมวิเคราะห์ประมวลผลข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ ดำเนินการโดยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) ภายใต้สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมาตรฐาน SizeThai ไซส์สำหรับผู้หญิงมีทั้งหมด 10 ไซส์ ได้แก่ ไซส์ 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44 และ 46 โดยกำหนดจากรอบอก รอบเอว และรอบสะโพกของผู้จริงในระหว่างการเก็บข้อมูล [5]

การศึกษาเรื่อง A Mixed Reality Virtual Clothes Tryon System เป็นการศึกษาการสร้างโมเดลโดยมีการนำเสนอใน 3 รูปแบบ คือการสร้างเป็นแบบจำลอง Avatar เป็นผู้ใช้งาน ประกอบกับแบบจำลองเสื้อผ้า การสร้างแบบจำลองเป็นรูปแบบของผู้ใช้งานประกอบกับเสื้อผ้า และการสร้างแบบจำลอง Avatar ร่วมกับรูปภาพของผู้ใช้งาน จากนั้นนำไปสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานสำหรับรูปแบบต่างๆ [5] 3D Human Body Reshaping with Anthropometric Modeling เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างหุ่นสามมิติ จากการรับค่าพารามิเตอร์จากผู้ใช้งานเพื่อสร้างหุ่นที่สมจริงวัดตามขนาดของร่างกาย ทั้งความสูง ขนาดของรอบอกและขนาดของสัดส่วนต่างๆ โดยมีการสร้างหุ่นสามมิติจากหลักการ feature-selection-based local mapping technique ซึ่งสามารถสร้างหุ่นจากพารามิเตอร์ที่วัดขนาดของร่างกายในแต่ละข้อต่อ ขั้นตอนการทำงานของระบบมีการทำงาน 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะคำนวณการวัดขนาดของร่างกายทั้งหมดที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ของผู้ใช้งาน (น้ำหนักและส่วนสูง) ขั้นที่สองจะนำค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดขนาดร่างกายในแต่ละข้อต่อที่ได้ นำไปผ่านเทคนิค local mapping แบบ offline และนำไปสร้างเป็นหุ่นสามมิติในขั้นตอนที่สาม โดยหุ่นแบบจำลองสามมิติที่ได้พื้นผิวเกิดจาก mapping matrices จากการหลังการ linear regression ของค่าพารามิเตอร์ที่เลือกกับพื้นผิวของร่างกายของหุ่นที่แสดงออกมา [6] โปรแกรม MakeHuman เป็น open source software ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสัดส่วนของมนุษย์ โดยผู้พัฒนาได้พัฒนาด้วยภาษา python และโปรแกรมจะทำการสร้างหุ่นแบบจำลองสามมิติแบบสมจริง โดยเน้นรายละเอียดของการปรับเปลี่ยนร่างกายเป็นหลัก ลักษณะหน้าตาของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ออกแบบมาให้ใช้งานง่ายโดยใช้งานผ่านแถบเลื่อนเพื่อควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ โดยจะใส่ข้อมูลพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ เพศ อายุ มวลกล้ามเนื้อ น้ำหนัก ส่วนสูง สัดส่วนและเชื้อชาติ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใส่ในระบบ เชื่อมโยงข้อมูลและหุ่นแบบจำลองที่แสดง ซึ่งมีค่าส่วนสูงและอายุตามค่ามาตรฐาน โปรแกรม MakeHuman จะสามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรม Blender ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนรูปร่าง การสร้างเสื้อผ้าหรือรวมไปถึงการสร้างภาพเคลื่อนไหวได้ [8]

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล โดยทำการศึกษากลุ่มผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน ที่มีความเกี่ยวข้องกับการซื้อเสื้อผ้าออนไลน์ การสำรวจข้อมูลผ่านแบบสอบถามเกี่ยวกับการซื้อเสื้อผ้าผ่านร้านค้าออนไลน์เพื่อสำรวจแนวโน้มการใช้งานแอปพลิเคชัน กลุ่มเป้าหมายและแนวทางสำหรับการนำไปพัฒนาฟังก์ชันการทำงานของแอปพลิเคชัน จากผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 130 คน
2. การสร้างแบบจำลองหุ่นเสมือนจริงผ่านโปรแกรม MakeHuman Community 1.2.0-beta2 [8] โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการสร้างหุ่นแบบจำลองตามกลุ่มที่ผู้วิจัยกำหนด ปรับค่าพารามิเตอร์ผ่านหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม เมื่อปรับแบบหุ่นจำลองสามมิติเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะแสดงผลค่าสัดส่วนของแบบหุ่นจำลองภายใต้การคำนวณทางสถิติ

3. ออกแบบหน้าจอแสดงแอปพลิเคชันสำหรับแอปพลิเคชันห้องลองเสื้อผ้าออนไลน์ผ่านโทรศัพท์มือถือและสร้างแอปพลิเคชันรูปแบบ 2D ผ่านโปรแกรม Unity 2019.2.10f1
4. การสร้างแบบหุ่นเสมือนจริงผ่านระบบ 3D Human Body Reshaping with Anthropometric Modeling โดยทำการติดตั้งโปรแกรมบน Windows 10 Pro, python 3.7 ใช้ Dataset ของ Semantic Parametric Reshaping of Human Body Models [7]
5. การนำข้อมูลเสื้อผ้าเข้าสู่ระบบ การเตรียมภาพและรายละเอียดของเสื้อผ้า เป็นกลุ่มเสื้อผ้าชุดกระโปรง กางเกงและเสื้อ ลักษณะรูปภาพเป็นภาพขณะที่หุ่นสวมใส่หรือนางแบบสวมใส่จำนวน 4 ภาพ/ชุด กำหนดไซส์เสื้อผ้า XS, S, M, L, XL, XXL (ตามแต่ละประเภทของเสื้อผ้า) โดยแต่ละไซส์ของเสื้อผ้าระบุรายละเอียดดังนี้ 1) ส่วนสูงของนางแบบที่สวมใส่ 2) ขนาดความยาวของเสื้อผ้า 3) ขนาดรอบอกของเสื้อผ้า 4) ขนาดรอบเอวของเสื้อผ้า 5) ขนาดรอบสะโพกของเสื้อผ้า 6) ประเภทของเนื้อผ้า
6. การประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับแอปพลิเคชัน สร้างแบบสอบถามตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดและกำหนดลักษณะคำถามเพื่อประเมินผลและคำถามเพื่อให้ผู้ใช้งานได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการตอบสนองต่อการใช้งาน ฟังก์ชันการทำงานและความสะดวกต่อการใช้งานระบบ

ผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบและพัฒนาระบบในรูปแบบ 2D จากการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบและการแสดงผลของแอปพลิเคชันเพื่อนำเสนอในรูปแบบ 2D การสร้างแบบหุ่นเสมือนจริงพัฒนาจากโปรแกรม MakeHuman Community 1.2.0-beta2

ตารางที่ 1 แบบจำลองหุ่นเสมือนจริงแบ่งออกเป็นกลุ่ม 6 กลุ่ม ตามขนาดรูปร่างที่กำหนด

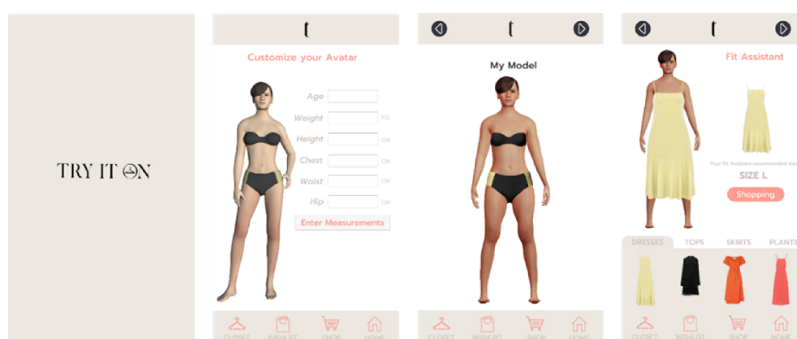
กลุ่มของ แบบจำลองหุ่น	Size	SizeThai	Chest (cm)	Waist (cm)	Hip (cm)
1	XS	30	60-72	50-62	70-86
2	S	32	73-76	63-66	87-90
3	M	34	77-80	67-70	91-94
4	L	36	81-84	71-74	95-98
5	XL	38	85-88	75-78	99-102
6	XXL	40	89-100	79-90	103-120



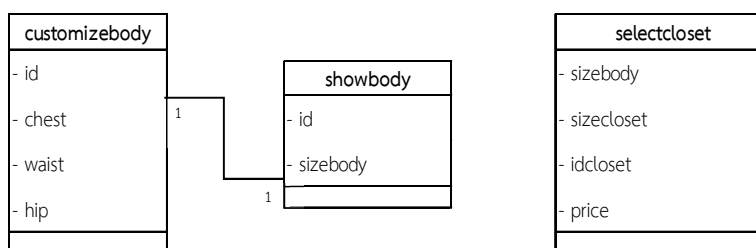
ภาพที่ 1 แบบจำลองหุ่นเสมือนจริง 6 กลุ่ม

การออกแบบโครงสร้างของแอปพลิเคชัน มีการออกแบบการทำงานและการแสดงผลข้อมูล ประกอบด้วยหน้าจอต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) หน้าจอแรกสำหรับการเข้าสู่ระบบ แสดงไอคอน TRY IT ON เมื่อผู้ใช้งานระบบ และทำการกด (Tap) ที่ไอคอนระบบจะทำการเชื่อมโยงไปยังข้อมูลหน้าจอสำหรับการสร้างแบบหุ่นจำลอง
- 2) หน้าจอสำหรับการสร้างแบบหุ่นเสมือนจริง ผู้ใช้งานกรอกข้อมูลรูปร่างของตนเองลงในช่อง จากนั้นระบบจะทำการประมวลผลข้อมูลและนำเสนอหุ่นแบบจำลองจากข้อมูลที่ได้รับ
- 3) หน้าจอแสดงแบบหุ่นจำลองที่ได้จากข้อมูลของผู้ใช้งาน
- 4) หน้าจอแสดงการเลือกเสื้อผ้า โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกเสื้อผ้าที่ต้องการ ระบบจะทำการระบุไซส์ของเสื้อผ้าที่เหมาะสมกับขนาดรูปร่างของผู้ใช้งาน



ภาพที่ 2 หน้าจอแสดงผลข้อมูลของแอปพลิเคชัน



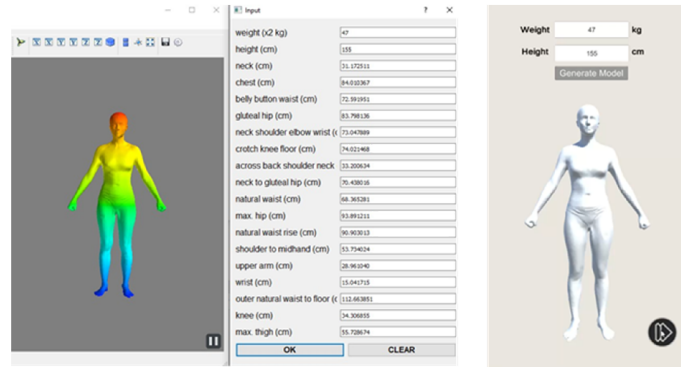
ภาพที่ 3 Class Diagram ของระบบข้อมูลบนแอปพลิเคชัน

2. ผลการออกแบบและพัฒนาหุ่นเสมือนจริงในรูปแบบ 3D Human Reshaping with Anthropometric Modeling

จากการสำรวจความคิดเห็นของผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน TRY IT ON พบว่าปัญหาในการสร้างแบบจำลองหุ่นเสมือนจริงยังไม่ครอบคลุมการใช้งาน ผู้วิจัยได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองหุ่นจากระบบ 3D Human Reshaping with Anthropometric Modeling ซึ่งมีการสร้างแบบจำลองหุ่นจากการรับค่าพารามิเตอร์จากผู้ใช้งานและมีการสร้างแบบจำลองสามมิติ ที่ค่อนข้างแม่นยำและสมจริงตามข้อมูลพารามิเตอร์ทางสรีรวิทยาของมนุษย์

การสร้างแบบจำลองหุ่นเสมือนจริงผ่านระบบ 3D Human Reshaping with Anthropometric Modeling รับค่าพารามิเตอร์ของน้ำหนักหน่วยเป็นกิโลกรัม และ

ค่าพารามิเตอร์ของส่วนสูงหน่วยเป็นเซนติเมตร หุ่นแบบจำลองที่ได้จะแสดงค่าสัดส่วนต่างๆ ตามข้อมูลที่ระบบแสดง ข้อมูลที่ได้มีการนำไปเชื่อมต่อกับโปรแกรม Unity สำหรับสร้างหน้าจอแสดงผลของแอปพลิเคชัน โดยหน้าจอแอปพลิเคชันจะรับค่าพารามิเตอร์จากผู้ใช้งาน ส่งข้อมูลไปสร้างแบบจำลองหุ่นด้วยระบบสามมิติ จากนั้นส่งข้อมูลหุ่นแสดงผลผ่านทางหน้าจอแอปพลิเคชัน



ภาพที่ 4 แบบจำลองหุ่นเสมือนจริงผ่านระบบ 3D Human Reshaping with Anthropometric Modeling

3. ผลการประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับแอปพลิเคชัน ผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 40 คน เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ได้เห็นการทำงานของแอปพลิเคชันและร่วมแสดงความคิดเห็น เพื่อประเมินหาระดับความเหมาะสมของแอปพลิเคชันที่ได้ทำการพัฒนา และแนวทางในการนำไปปรับปรุงเพื่อพัฒนารองรับการใช้งานจริง โดยเกณฑ์การประเมินจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) และการวัดค่าของข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean)

ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินระดับความพึงพอใจต่อการพัฒนาระบบ

ค่าเฉลี่ยระดับความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ
4.50-5.00	มากที่สุด
3.50-4.49	มาก
2.50-3.49	ปานกลาง
1.50-2.49	น้อย
1.00-1.49	น้อยที่สุด

ตารางที่ 3 ผลการประเมินระดับความพึงพอใจต่อการทำงานของแอปพลิเคชัน

การนำไปปรับใช้กับเหตุการณ์ปัจจุบัน	ค่าเฉลี่ยระดับความพึงพอใจ	ระดับการประเมิน
การสร้างแบบจำลองหุ่นเสมือนจริงภายในแอปพลิเคชัน	4.00	มาก
โครงสร้างรูปแบบของแอปพลิเคชัน	4.08	มาก
การนำไปปรับใช้กับเหตุการณ์	4.35	มาก
เฉลี่ยรวม	4.13	มาก

จากตารางที่ 3 แสดงความพึงพอใจต่อการทำงานของแอปพลิเคชัน ในความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่าให้ความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.13 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่าระดับความพึงพอใจต่อการนำไปปรับใช้กับเหตุการณ์ เทคโนโลยีและธุรกิจในปัจจุบัน ให้ความพึงพอใจระดับมาก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.35 โครงสร้างรูปแบบของแอปพลิเคชันโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.08 การสร้างแบบจำลองหุ่นเสมือนจริงภายในแอปพลิเคชันมีความเหมาะสมในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.00

สรุปผลการวิจัย

ปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้เป็นสื่อกลางของธุรกิจเสื้อผ้าออนไลน์ ส่วนใหญ่มีการทำงานบนเว็บไซต์เพื่อให้ข้อมูลกับลูกค้าประกอบการตัดสินใจซื้อสินค้า ซึ่งพบในธุรกิจเสื้อผ้าออนไลน์ที่มีขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ TRY IT ON มีการพัฒนาอยู่ในรูปแบบแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือเพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานและเพิ่มการเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายทั้งผู้ซื้อและผู้ขายสินค้าในช่องทางออนไลน์ การพัฒนาแบบจำลองหุ่นเสมือนจริงมีประโยชน์สำหรับการเลือกซื้อเสื้อผ้าที่เหมาะสมกับผู้ใช้งาน เพิ่มความประทับใจของผู้ใช้งานและโอกาสในการเพิ่มยอดขายของผู้ขายสินค้า ผลจากการดำเนินงาน พบว่าการพัฒนาแอปพลิเคชัน TRY IT ON สามารถพัฒนาสร้างเป็นห้องลองเสื้อผ้าออนไลน์ได้ โดยสามารถสร้างแบบจำลองหุ่นเสมือนจริงตามค่าที่ได้รับจากผู้ใช้งานเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาร่วมกับธุรกิจเสื้อผ้าออนไลน์ ตอบสนองความต้องการของผู้ซื้อและผู้ขาย ผ่านเทคโนโลยีในรูปแบบใหม่สำหรับการเลือกซื้อสินค้าออนไลน์ แอปพลิเคชัน TRY IT ON มีการออกแบบให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้ง่าย การสร้างหุ่นเสมือนจริงมีส่วนช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเห็นรูปร่างที่แท้จริง สามารถเลือกเสื้อผ้าที่เหมาะสมได้ จากผลการประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับแอปพลิเคชัน ให้ผลความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (3.50-4.49) จึงสามารถสรุปได้ว่า แอปพลิเคชันสามารถนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ทั้งนี้แอปพลิเคชันสามารถพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของการสร้างแบบจำลองเสื้อผ้าในรูปแบบสามมิติ รวมถึงการพัฒนาเป็นตัวกลางสำหรับผู้ซื้อและผู้ขายเสื้อผ้าบนสื่อออนไลน์ที่รองรับธุรกิจขนาดเล็ก และเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาต่อยอดในอนาคตสำหรับธุรกิจอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้

ข้อเสนอแนะและการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. พัฒนาแอปพลิเคชันให้สามารถนำไปใช้งานบนโทรศัพท์มือถือไอโฟนเพื่อรองรับการใช้งานในกลุ่มเป้าหมายที่เพิ่มขึ้น

2. สร้างแบบจำลองหุ่นเสมือนจริงในรูปแบบสามมิติเพิ่มลักษณะอื่นๆ เช่น ผมหรือสีผิวของหุ่น
3. สร้างเสื้อผ้าในรูปแบบสามมิติ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเห็นภาพรวมในลักษณะสามมิติได้
4. พัฒนาแอปพลิเคชันในรูปแบบ E-commerce เพื่อขยายกลุ่มธุรกิจและกลุ่มลูกค้าที่ให้ความสนใจใช้งานแอปพลิเคชัน

เอกสารอ้างอิง

- Briceno, L., & Paul, G. (2018). MakeHuman: A Review of the Modelling Framework. *Advances in Intelligent Systems and Computing Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*, 224-232.
- FDI Logistics & Biz Management. 2559. ผลวิจัยพฤติกรรมนักช้อปปิ้งออนไลน์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.facebook.com/fdilogisticsandbiz/posts/1253584671392955/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2563)
- Magenat-Thalmann, N., Kevelham, B., Volino, P., Kasap, M., & Lyard, E. (2011). 3D Web-Based Virtual Try On of Physically Simulated Clothes. *Computer-Aided Design and Applications*, 8(2), 163-174.
- Supermobileapp. 2557.ประโยชน์ของ Mobile App. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://supermobileapp.blogspot.com/2014/08/mobile-app_18.html (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2563)
- SizeThailand. 2549. มาตรฐาน SizeThai คืออะไร. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.sizethailand.org/sizethai.html> (วันที่สืบค้นข้อมูล 6 พฤศจิกายน 2563)
- Thinkaboutwealth. 2563. ขายของออนไลน์อะไรดี 2020 และ สถิติ E-commerce. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.thinkaboutwealth.com/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 สิงหาคม 2563)
- Yang, Y., Yu, Y., Zhou, Y., Du, S., Davis, J., & Yang, R. (2014). Semantic Parametric Reshaping of Human Body Models. 2014 2nd International Conference on 3D Vision.
- Zeng, Y., Fu, J., & Chao, H. (2018). 3D Human Body Reshaping with Anthropometric Modeling. *Communications in Computer and Information Science Internet Multimedia Computing and Service*, 96-107.

โมเดลสำหรับจำแนกความรู้สึกของความคิดเห็นโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ กรณีศึกษาเว็บไซต์จองโรงแรม

Model for the Classification of Feelings of Reviews Using Techniques Decision Trees Case Studies Hotel Reservation Web Site

มุกตา ฆมานเหม^{1*} สิทธิพงศ์ ต่อสี¹ สารภี จุลแก้ว² และสุภาวดี มากอัน³
Mukta manhem^{1*}, Sittipong Dolah¹, Sarapee Chunkaew²
and Supawadee Mak-on³

บทคัดย่อ

การจำแนกความรู้สึกของการวิจารณ์เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล ซึ่งมีหลากหลายธุรกิจนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยงานวิจัยนี้เลือกศึกษากลุ่มการท่องเที่ยวที่เจาะจงกลุ่มโรงแรมที่พักจากเว็บไซต์ Booking.com และ Traveloka.com ที่มีการแยกความรู้สึกในเบื้องต้นเพื่อใช้แทนผู้เชี่ยวชาญในการสร้างป้ายกำกับข้อมูลร่วมกับผู้วิจัยตรวจสอบ และจำแนกความรู้สึกด้วยต้นไม้ตัดสินใจ โดยเปรียบเทียบเครื่องมือตัดคำ ได้แก่ MM NEWMM และ LONGEST ร่วมกับชุดคัดแยกคำ Stopword ของ pythainlp และชุดคำของผู้วิจัย ให้ผลประสิทธิภาพค่าความถูกต้องสูงสุดในเครื่องมือตัดคำ NEWMM ที่ค่าความถูกต้อง 0.90 และค่าความแม่นยำร่วมกับชุดคัดแยกคำของผู้วิจัยที่ 0.90 ทั้งความรู้สึกชอบ และไม่ชอบ ชุดคัดแยกคำ Stopword ให้ค่าความถูกต้องเพียง 0.81 และค่าความแม่นยำที่ 0.81 เช่นกัน ดังนั้นแบบสำหรับจำแนกความรู้สึกการวิจารณ์ที่พักโรงแรมด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ มีประสิทธิภาพดีในชุดตัดคำ NEWMM ร่วมกับชุดคัดแยกคำของผู้วิจัย

คำสำคัญ : วิจัยโรงแรมที่พัก การจำแนกความรู้สึก ต้นไม้ตัดสินใจ การทำเหมืองข้อมูล

¹ หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

² หลักสูตรวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

³ สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

* Corresponding author, E-mail: Muktamanhem051@gmail.com

Submission: 26 October 2020, Received: 15 December 2020, Accepted: 17 December 2020

Abstract

Sentiment analysis with text data mining is widely used for business success. The researcher's study is to identify the customer review sentiment from Booking.com and Traveloka.com websites that both websites have indicated the customer reviews and we cross-check in the prepare data process. We used more tokenize engine including included MM, NEWMM and LONGEST with those of cut word suite pythainlp's stopword and our custom stopword. The results show that the NEWMM engine has accuracy at 0.90 and 0.90 for precision both positive and negative reviews. However, the NEWMM engine with pythainlp's stopword has accuracy at only 0.81 and precision at only 0.81. Concluding, our sentiment model with the decision tree technique can found better performance with the NEWMM engine and research's custom stopword.

Keywords: hotel reviews, sentiment analysis, decision tree, data mining

บทนำ

ในปัจจุบันการท่องเที่ยวถือว่าเป็นอุตสาหกรรมสำคัญหนึ่งที่สร้างรายได้มหาศาลให้กับประเทศไทย ซึ่งเป็นไปตามแผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2560 – 2564) จึงจะทำให้การท่องเที่ยวพัฒนามากขึ้น ซึ่งนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ทั้งที่เป็นคนไทยและเป็นชาวต่างชาติย่อมมีความต้องการ การบริการที่ดีและคุณภาพของที่พักที่คุ้มค่ากับเงินที่จ่ายไป ช่องทางหนึ่งที่นักท่องเที่ยวจะทราบถึงข้อมูลของที่พักเหล่านั้นโดยการหาข้อมูลในเว็บไซต์ทางสังคมที่ให้บริการจองโรงแรม ซึ่งเว็บไซต์จองโรงแรมส่วนใหญ่นำเสนอ ความคิดเห็น จากนักท่องเที่ยวที่เคยใช้บริการโรงแรมนั้น ๆ ในรูปแบบข้อความหากโรงแรมได้มีผู้แสดงความคิดเห็นมากจะปรากฏข้อความหลายร้อยข้อความ ทำให้ผู้ใช้ต้องเสียเวลาอ่านข้อคิดเห็นทั้งหมด แล้วทำการสรุปข้อดีข้อเสียในด้านต่าง ๆ สำหรับโรงแรมที่ตนสนใจ และความคิดเห็นในบางครั้งอาจไม่ตรงกับข้อความรู้สึกของหน้าเว็บกำหนด จึงอาจเสนอตลาดเคลื่อน โดยในบางเว็บไซต์ของโรงแรมรวมความคิดเห็นที่ไม่ถูกจำแนกไว้ความรู้สึกไว้ ทำให้ผู้ประกอบการโรงแรมต้องมีการนำไปสรุปจึงจะได้ผลข้อแสดงความคิดเห็น

จากปัญหาและที่มาข้างต้นผู้วิจัยได้นำเสนอโมเดลจำแนกความรู้สึกของความคิดเห็นของนักท่องเที่ยวบนเว็บไซต์จองโรงแรม จำนวน 2,000 ชุด แยกข้อความรู้สึกชอบ และไม่ชอบอย่างละเท่ากัน โดยนำข้อความคิดเห็นที่อยู่ในช่วงของการท่องเที่ยวเทศกาลเดือนพฤศจิกายน 2562 ในจังหวัดภูเก็ต เพื่อสร้างโมเดลจำแนกความรู้สึกของข้อความด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ เพื่อหาความหมายเชิงบวกหรือเชิงลบของประโยคว่าไปทางด้านทิศทาง สำหรับผู้ใช้ประกอบการตัดสินใจนอกจากนี้ผู้พัฒนานำไปสู่การพัฒนาชุดแปลผลความรู้สึกออนไลน์ให้กับ

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนาโมเดลในการจำแนกความรู้สึกของความคิดเห็นภาษาไทยด้วยภาษา Python และเครื่องมือ Pythainlp

ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

1. การทำเหมืองข้อมูลด้วยการจำแนกแบบต้นไม้การตัดสินใจ

โมเดลต้นไม้การตัดสินใจทำการแบ่งข้อมูลตามเงื่อนไขซึ่งระบุในโหนดต่าง ๆ ของโครงสร้างต้นไม้และจะสิ้นสุดการแบ่งข้อมูลที่โหนดใบ เพื่อที่จะให้คำตอบ ตามเงื่อนไขที่เข้ามาเป็นข้อมูล ที่ถือว่าการตัดสินใจสามารถแบ่งผลลัพธ์ ตามลำดับเงื่อนไขเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการจำแนก ที่กำหนดค่า Entropy และคำนวณหา Information gain เพื่อเป็นการวัดว่าหากจำแนกข้อมูลลักษณะค่าที่กำหนดได้

กรณีตัวอย่าง ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกข้อมูล ควรได้ผลลัพธ์ ที่เป็นเอกลักษณ์ เช่นถ้าใช้การจำแนก ทั้งหมด 7 ตัวในการจำแนกประเภทข้อมูล ผลลัพธ์จากการจำแนกจะต้องตอบเหมือนกันอย่างน้อย 5 ตัวหรือ 70% ขึ้นไป จึงสามารถเลือกผลลัพธ์นั้นเพื่อเป็นคำตอบได้

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิราภา เลหาหะวรนนท์ และคณะ (2558) ด้วยคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีหลักสูตรการเรียนตามแขนงวิชาโดยมีการแบ่งเป็น 4 แขนงวิชา (วิศวกรรมซอฟต์แวร์, เทคโนโลยีเครือข่ายและระบบ, การพัฒนาสื่อประสมและเกม และ อัจฉริยะทางธุรกิจ) นักศึกษาส่วนใหญ่ไม่ทราบความถนัดของตนเอง จึงเป็นที่มาของการพัฒนา “ระบบแนะนำแขนงวิชา” เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการเลือกแขนงวิชา โดยงานวิจัยนี้ใช้ปัจจัยผลการเรียนและผลการวัดความสามารถด้านต่าง ๆ นำมาสร้างแบบจำลองพยากรณ์ด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล 5 เทคนิค พบว่าการพยากรณ์มีความแม่นยำอยู่ที่ 72.92% มีความแม่นยำถึง 86.67% ในแขนงวิศวกรรมซอฟต์แวร์

อุษนิษา เถาว์โท และคณะ (2561) ศึกษาการจำแนกคำวิจารณ์ เพื่อแนะนำภาพยนตร์ ด้วยปัจจัย 4 ประเด็นได้แก่ นักแสดง เสียง ภาพหรือกราฟิก และ ภาพรวม ให้ผลการสร้างโมเดลต้นไม้ตัดสินใจ เช่นเดียวกับในงานวิจัยนี้ โดยกลุ่มตัวอย่างทำการสุ่มเลือกข้อความรายประโยค ซึ่งผสมระหว่างประโยคความเดียว ประโยคความซ้อนและประโยคความรวม จำนวน 400 ข้อความ แต่การพยากรณ์ในงานวิจัยนี้เน้นที่การแยกประเภทการวิจารณ์ ซึ่งให้ผลการจำแนกอธิบายในรูปแบบของ Confusion matrix ให้ค่าถูกต้องสูงสุดสำหรับการวิจารณ์เรื่องเสียง ในแง่บวก

นลินี พุกษาชาติ และ ธนพล เจนสุทธิเวชกุล (2560) การพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีของเครือข่ายสังคมออนไลน์ด้วยแพลตฟอร์มที่ได้รับความนิยมสำหรับบุคคลทั่วไป ด้วยอุตสาหกรรมโรงแรมและการแสดงความคิดเห็นของนักท่องเที่ยวถือเป็นข้อมูลสำคัญ สำหรับผู้ประกอบการ ที่ต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงการบริการและคุณภาพของโรงแรม โดยงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอกระบวนการจำแนกความคิดเห็นออนไลน์โดยใช้เทคนิค Word2vec ร่วมกับขั้นตอนวิธีเอนอีฟเบย์เพื่อจำแนกความคิดเห็น ซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลความคิดเห็นภาษาอังกฤษจำนวน 90,1906 ความคิดเห็นจากเว็บไซต์ agoda.com และ Tripadvisor.com เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติ 10 ด้าน ได้แก่ ที่ตั้ง (Location) การบริการ (service) อาหาร (Food) ห้องพัก (Room) ความสะอาด (Clean) ราคา (Price) สิ่งอำนวยความสะดวก (Facility) การเดินทางสถานที่ที่เี่ยวรอบโรงแรม (Attraction) และความปลอดภัย (Location) โดยพบว่าสถานที่ตั้งของโรงแรมมีผลต่อการตัดสินใจเลือกโรงแรมของนักท่องเที่ยวมากที่สุด

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมข้อมูล การเก็บรวบรวมข้อมูลคำรีวิวโรงแรมต่าง ๆ จากเว็บไซต์จองโรงแรมโดยใช้เกณฑ์การคัดเลือกจากโรงแรมที่กำลังเป็นที่ต้องการมากที่สุดในช่วงวันที่ 21-25 กุมภาพันธ์ 2562 โดยเก็บข้อมูลจากโรงแรมทั้งหมด 40 โรงแรมจากโรงแรมทั้งหมดที่ตั้งอยู่ในจังหวัดภูเก็ต ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่เก็บมามีจำนวน 2,000 ประโยค โดยจะเก็บเฉลี่ยตามคำรีวิวในแต่ละโรงแรมว่ามีมากหรือน้อย

ตัวอย่างภาพประกอบ

★ **รีวิวยอดนิยม** รีวิวเมื่อ: 19 พฤศจิกายน 2019

แสนวิเศษ

😊 · พนักงานต้อนรับดีมาก ๆ ยิ้มแย้มแจ่มใส ให้คำแนะนำดีมาก ๆ ที่พักสะอาด ที่จอดรถสะดวก น้องๆ พนักงานน่ารักทุกคนเลยคะ

😞 · อาหารเข้าน้อยไปนิดคะ เปรียบเทียบกับราคา

ภาพที่ 1 ตัวอย่างคำรีวิวโรงแรมในเว็บไซต์

2. การตัดภาษาไทยด้วย pythainlp

ในโปรแกรม Python มีชุดคำสั่งสำหรับการจัดคำภาษาไทยที่ได้รับการพัฒนาที่มีชื่อว่า Thai Natural Language Processing in Python (PyThaiNLP) และมีชุดเครื่องมือตัดคำที่สำคัญดังนี้

- การตัดคำแบบ mm Dictionary-based Thai Word Segmentation using maximal matching algorithm and Thai Character Cluster (TCC).
- การตัดคำแบบ newmm Dictionary-based Thai Word Segmentation using maximal matching algorithm and Thai Character Cluster (TCC). The code is based on the notebooks created by Korakot Chaovavanich.
- การตัดคำแบบ longest Dictionary-based longest-matching Thai word segmentation. Implementation based on the code from Patom Utenpattanun.

ซึ่งชุดตัดคำที่มีนอกเหนือจากนี้ ต้องทำการติดตั้งเพิ่มเติม สำหรับงานวิจัยนี้เลือกพิจารณาชุดตัดคำพื้นฐานสำหรับนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจำแนกความรู้สึก โดยอธิบายการพัฒนาและประสิทธิภาพการจำแนกความรู้สึกร่วมกับเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจในหัวข้อถัดไป

3. การพัฒนาโปรแกรม

การโปรแกรมสำหรับงานวิจัยนี้ ใช้ภาษาหลักคือ Python ในรุ่น 3.7.4 เพื่อรองรับ pythainlp 1.5 ในการประมวลผลและการตัดคำ ร่วมกับ Natural Language Toolkit (NLTK) และ scikit-learn เพื่อใช้เครื่องมือการจำแนกด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล ซึ่งมีขั้นตอนในการออกแบบพัฒนาโปรแกรม

ตารางที่ 1 ชุดคำสั่งภาษา Python สำหรับสร้างและวัดประสิทธิภาพ Model การจำแนกข้อมูล

ชุดคำสั่งการสร้างและวัดประสิทธิภาพ Model การจำแนกข้อมูล

```
# การอ่านคำวิจารณ์สู่ชุดข้อมูล
data_pos = [(line.strip(), 'pos') for line in codecs.open("pos-hotel.txt", 'r', 'utf-8')]
data_neg = [(line.strip(), 'neg') for line in codecs.open("neg-hotel.txt", 'r', 'utf-8')]
features_data = [(split_words(sentence), sentiment) for (sentence, sentiment) in
data_pos + data_neg]
# คำนวณหา Feature และการแปลงข้อมูลสู่ตาราง และ Label ค่าความรู้สึก
x_word = get_words_in_sentences(features_data)
word_features = get_word_features(x_word)
x_features = apply_features(extract_features, features_data)
x_data = [x_features[i][0] for i in range(len(x_features))]
y_data = [x_features[i][1] for i in range(len(x_features))]
```

ข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นก่อนนำไปสร้างต้นแบบต้องทำการแปลงให้อยู่ในค่า “0” หรือ “1” เพื่อให้ตรงกับค่าของคำคุณลักษณะที่กำหนดไว้ ซึ่งได้จำนวนมากกว่า 2,000 คำ ตามค่า Feature ที่ปรากฏในขั้นตอนผลการวิจัย

4. การทดสอบ K-fold (10 -fold)

เทคนิค “K-Fold Cross Validation” ถูกระบุให้เป็น Golden Standard สำหรับการสร้างและประเมินประสิทธิภาพ หรือเรียกว่า k-fold ด้วยหลักการเทคนิคการทำ Resampling คือการแบ่งข้อมูลเป็น k ส่วนเพื่อสร้างและประเมินประสิทธิภาพโมเดล (train + test) คำนวณค่าเฉลี่ยค่าความถูกต้อง (accuracy) แบ่งข้อมูลเป็น 5 folds โดยการแบ่งข้อมูลต้องเป็นไปอย่าง random ที่มีการกระจายตัวใกล้เคียงกันช่วยลดความ bias ในการวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้กันในทางปฏิบัติมีสองค่าคือ k=5 หรือ k=10

ตารางที่ 2 ชุดคำสั่งภาษา Python เพื่อวัดประสิทธิภาพ Model การจำแนกข้อมูล แบบ 10-fold validation

ชุดคำสั่งการประมวลผลประสิทธิภาพแบบ 10-fold validation

```
# การทำ 10-fold validation
k_fold = KFold(n_splits=10, random_state=1992, shuffle=True)
word_features = None
accuracy_scores = [ ]
for train_set, test_set in k_fold.split(features_data):
    x_train = [x_data_feat[i] for i in train_set]
    y_train = [y_data[i] for i in train_set]
    x_test = [x_data_feat[i] for i in test_set]
    y_test = [y_data[i] for i in test_set]
    classifier = DecisionTreeClassifier(criterion='entropy', random_state=0)
    classifier.fit(x_train, y_train)
    y_pred = classifier.predict(x_test)
```

ผลการวิจัย

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลด้วยเครื่องมือตัดคำภาษาไทยของฟังก์ชัน pythainlp ได้แก่ MM, NEWMM และ LONGEST ที่มีการกำหนดคุณลักษณะคำ (features) พร้อมชุดตัดคำไว้ 3 แบบ ได้แก่ ตัดคำด้วยชุดคำสร้างเอง, ตัดคำด้วย Stop word ของ pythainlp เทียบกับการไม่ตัดคำ เพื่อเสนอผลลัพธ์ของค่าความถูกต้อง (accuracy) และจำนวนคุณลักษณะคำ ของแต่ละโมเดล

1. เครื่องมือตัดคำ MM

เครื่องมือชุดที่ 1 ที่ได้รับการพัฒนาในรุ่นเริ่มต้น โดยมีชุดพจนานุกรมสำหรับเทียบคำไทยในการตัดคำ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการจำแนกความรู้สึกได้ถูกต้องแยกตามกรณีที่มีการตัดแยกคำในกลุ่ม Stop word พร้อมจำนวนคำคุณลักษณะหลังได้รับการตัดคำตาม ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความถูกต้อง และจำนวนคำคุณลักษณะด้วยเครื่องมือ MM

เครื่องมือตัดคำ	ค่าความถูกต้อง (accuracy)	คำคุณลักษณะ(features)
cutword	0.85	2382
stopword	0.82	2174
not stopword	0.84	2448

ตามตารางที่ 3 เครื่องมือตัดคำแบบไม่ตัดแยกคำได้ค่าความถูกต้องที่ 0.84 ซึ่งหากใช้ชุดตัดคำของผู้วิจัย cutword มีค่าความถูกต้องสูงขึ้นที่ 0.85 แต่การตัดแยกคำด้วยชุด Stop word ของ pythainlp มีค่าความถูกต้องลดลงที่ 0.82 ในเชิงลึกความแม่นยำของการจำแนกข้อมูล ในตารางที่ 4 ที่อธิบายแยกตามประเภทความรู้สึก

ตารางที่ 4 ค่าความแม่นยำการทำนายความรู้สึกด้วยเครื่องมือ MM

เครื่องมือตัดคำ		precision	recall		precision	recall
Cutword	ความรู้สึกไม่ชอบ	0.84	0.86	ความรู้สึกชอบ	0.86	0.83
Stopword	ความรู้สึกไม่ชอบ	0.81	0.83	ความรู้สึกชอบ	0.83	0.80
not stopwords	ความรู้สึกไม่ชอบ	0.83	0.87	ความรู้สึกชอบ	0.86	0.81

สำหรับตารางที่ 4 ด้วยชุดเครื่องมือ MM ให้ค่าความแม่นยำกรณีไม่มีการคัดแยกคำทิ้ง ที่ 0.83 (ความรู้สึกไม่ชอบ) และ 0.86 (ความรู้สึกชอบ) และกรณีใช้ชุดคัดแยกคำของผู้วิจัยให้ค่าความแม่นยำที่ 0.84 (ความรู้สึกไม่ชอบ) และ 0.86 (ความรู้สึกชอบ) แต่กรณีใช้ชุดคัดแยกคำของ pythainlp ให้ค่าความแม่นยำเพียง 0.81 (ความรู้สึกไม่ชอบ) และ 0.83 (ความรู้สึกชอบ) เท่านั้น

2. เครื่องมือตัดคำ NEWMM

เครื่องมือชุดใหม่ NEWMM ได้พัฒนาพจนานุกรมใหม่ สำหรับใช้เพื่อการตัดคำภาษาไทยซึ่งได้รับการเพิ่มคำ ให้ค่าความถูกต้องตารางที่ 5 และค่าความแม่นยำตามตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ค่าความถูกต้อง และจำนวนคำคุณลักษณะด้วยเครื่องมือ NEWMM

เครื่องมือตัดคำ	ค่าความถูกต้อง (accuracy)	คำคุณลักษณะ(features)
Cutword	0.90	1764
Stopword	0.81	1541
ไม่ใช่ stopwords	0.90	1833

ตามตารางที่ 5 เครื่องมือตัดคำแบบไม่คัดแยกคำได้ค่าความถูกต้องที่ 0.90 ซึ่งหากใช้ชุดตัดคำของผู้วิจัย cutword มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 0.90 แต่การคัดแยกคำด้วยชุด Stop word ของ pythainlp มีค่าความถูกต้องลดลงที่ 0.81 และค่าความแม่นยำของการจำแนกข้อมูล ในตารางที่ 6 ที่อธิบายแยกตามประเภทความรู้สึก

ตารางที่ 6 ค่าความแม่นยำการทำนายความรู้สึกด้วยเครื่องมือ NEWMM

เครื่องมือตัดคำ		precision	recall		precision	recall
cutword	ความรู้สึกไม่ชอบ	0.90	0.90	ความรู้สึกชอบ	0.90	0.81
stopword	ความรู้สึกไม่ชอบ	0.81	0.80	ความรู้สึกชอบ	0.81	0.81
ไม่ใช่ stopwords	ความรู้สึกไม่ชอบ	0.89	0.90	ความรู้สึกชอบ	0.90	0.89

สำหรับตารางที่ 6 ด้วยชุดเครื่องมือ NEWMM ให้ค่าความแม่นยำกรณีไม่มีการคัดแยกคำทิ้ง ที่ 0.89 (ความรู้สึกไม่ชอบ) และ 0.90 (ความรู้สึกชอบ) และกรณีใช้ชุดคัดแยกคำของผู้วิจัยให้ค่าความแม่นยำที่ 0.90 (ความรู้สึกไม่ชอบ) และ 0.90 (ความรู้สึกชอบ) แต่กรณีใช้ชุดคัดแยกคำของ pythainlp ให้ค่าความแม่นยำเพียง 0.81 (ความรู้สึกไม่ชอบ) และ 0.81 (ความรู้สึกชอบ) ซึ่งน้อยกว่ากรณีอื่น ๆ เช่นเดียวกับชุดเครื่องมือ MM

3. เครื่องมือตัดคำ LONGEST

เครื่องมือตัดคำนี้ เน้นที่การตัดคำที่มีความยาวเป็นหลัก และถือเป็นเครื่องมือที่มีลักษณะแตกต่างจาก 2 ชุดแรก ซึ่งการให้ค่าความถูกต้องตามตารางที่ 7 และตารางที่ 8 สำหรับค่าความแม่นยำของชุดเครื่องมือตัดคำนี้

ตารางที่ 7 ค่าความถูกต้อง และจำนวนคำคุณลักษณะด้วยเครื่องมือ LONGEST

เครื่องมือตัดคำ	ค่าความถูกต้อง (accuracy)	คำคุณลักษณะ(features)
Cutword	0.86	1883
Stopword	0.81	1573
ไม่ใช่ stopwords	0.85	1875

ตามตารางที่ 7 เครื่องมือตัดคำแบบไม่คัดแยกคำได้ค่าความถูกต้องที่ 0.85 ซึ่งหากใช้ชุดตัดคำของผู้วิจัย cutword มีค่าความถูกต้องที่สูงกว่าที่ 0.86 แต่การคัดแยกคำด้วยชุด Stop word ของ pythainlp มีค่าความถูกต้องลดลงที่ 0.81 และค่าความแม่นยำของการจำแนกข้อมูล ในตารางที่ 8 ที่อธิบายแยกตามประเภทความรู้สึก

ตารางที่ 8 ค่าความแม่นยำการทำนายความรู้สึกด้วยเครื่องมือ LONGEST

เครื่องมือตัดคำ		precision	recall		precision	recall
cutword	ความรู้สึกไม่ชอบ	0.86	0.87	ความรู้สึกชอบ	0.86	0.86
stopword	ความรู้สึกไม่ชอบ	0.82	0.80	ความรู้สึกชอบ	0.80	0.83
ไม่ใช่ stopwords	ความรู้สึกไม่ชอบ	0.85	0.86	ความรู้สึกชอบ	0.86	0.84

สำหรับตารางที่ 8 ด้วยชุดเครื่องมือ LONGEST ให้ค่าความแม่นยำกรณีไม่มีการคัดแยกคำทั้งที่ 0.85 (ความรู้สึกไม่ชอบ) และ 0.86 (ความรู้สึกชอบ) และกรณีใช้ชุดคัดแยกคำของผู้วิจัยให้ค่าความแม่นยำที่ 0.82 (ความรู้สึกไม่ชอบ) และ 0.80 (ความรู้สึกชอบ) แต่กรณีใช้ชุดคัดแยกคำของ pythainlp ให้ค่าความแม่นยำเพียง 0.86 (ความรู้สึกไม่ชอบ) และ 0.86 (ความรู้สึกชอบ) ซึ่งน้อยกว่ากรณีอื่น ๆ เช่นเดียวกับชุดเครื่องมือ MM และ NEWMM

อภิปรายผล

การทดสอบสร้างต้นแบบการจำแนกความรู้สึก การวิจารณ์โรงแรมด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ ผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบประเด็นหลักของสมมติฐานด้วยเครื่องมือตัดคำภาษาไทย ได้แก่ MM NEWMM และ LONGEST โดยในแต่ละชุดมีการคัดแยกคำเพื่อเป็นการลดปริมาณคำที่ไม่จำเป็นตามกระบวนการสร้างต้นแบบให้มีประสิทธิภาพและคงไว้ซึ่งความเร็วของการในการประมวลผล มีชุดคำสำหรับคัดแยกคำทั้ง 2 แบบ แบบที่ 1 ใช้ชุดคำ Stop word ของ pythainlp และแบบที่ 2 ผู้วิจัยได้สร้างชุดคำขึ้นเองโดยมีจำนวนน้อยกว่า เพื่อให้คำที่แสดงความรู้สึกยังคงปรากฏอยู่ เพราะภาษาไทยคำปิดท้าย หรือคำสัน มักมีผลต่อการแสดงความรู้สึกในภาษาพูด ด้วยการวิจารณ์จะถูกเขียนในลักษณะของภาษาพูดมากกว่า ภาษาเขียนที่ใช้เป็นการบรรยายที่เป็นทางการ สำหรับผลการประเมิน Model ที่พบว่าให้ค่าความถูกต้องที่สุดในชุดเครื่องมือตัดคำ คือ MM (กรณี ใช้ชุดคัดแยกคำของผู้วิจัย ค่าความถูกต้อง 0.85 ค่าความแม่นยำรู้สึกชอบ 0.86 และค่าความแม่นยำรู้สึกไม่ชอบ 0.84) NEWMM (กรณี ใช้ชุดคัดแยกคำของผู้วิจัย ค่าความถูกต้อง 0.90 ค่าความแม่นยำรู้สึกชอบ 0.90 และค่าความแม่นยำรู้สึกไม่ชอบ 0.90) และ LONGEST (กรณี ใช้ชุดคัดแยกคำของผู้วิจัย ค่าความถูกต้อง 0.86 ค่าความแม่นยำรู้สึกชอบ 0.86 และค่าความแม่นยำรู้สึกไม่ชอบ 0.86) เมื่อเทียบกับการไม่ใช้ชุดคัดแยกคำซึ่งควรมีประสิทธิภาพสูงกว่า พบว่า ชุดคัดแยกคำของผู้วิจัยปรากฏประสิทธิภาพที่ดีกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งในมุมมองคำที่พบในข้อมูลที่นำมาสร้างต้นแบบ ซึ่งผู้วิจัยนำไปสร้างกลุ่มเมฆคำเพื่อแสดงคำหลังถูกตัดคำแล้ว ตามภาพที่ 2 ถึง ภาพที่



ภาพที่ 2 กลุ่มเมฆคำการนิวิจารณ์ด้วยความรู้สึกไม่ชอบแบบไม่คัดแยกคำ



ภาพที่ 3 กลุ่มเมฆคำการนิวิจารณ์ด้วยความรู้สึกชอบแบบไม่คัดแยกคำ



ภาพที่ 4 กลุ่มเมฆคำกรณิวิจารณ์ด้วยความรู้สึกไม่ชอบแบบคัดแยกคำด้วยชุดคำปิดท้ายของงานวิจัย



ภาพที่ 5 กลุ่มเมฆคำกรณิวิจารณ์ด้วยความรู้สึกไม่ชอบแบบคัดแยกคำด้วยชุดคำปิดท้ายของงานวิจัย

สำหรับ ภาพที่ 2 และ ภาพที่ 4 คำที่มีการวิจารณ์ด้วยความรู้สึกไม่ชอบ เมื่อตัดคำว่า “และ” “แต่” “การ” จากภาพที่ 2 ด้วยชุดคัดแยกคำของผู้วิจัย ทำให้มีคำว่า “ควร” “เป็น” ซึ่งเสริมความรู้สึกของการวิจารณ์ได้ชัดเจนขึ้น และในคำวิจารณ์ด้วยความรู้สึกชอบ ภาพที่ 3 คำที่หายไปเมื่อใช้ชุดคัดแยกคำ ได้แก่ “แต่” “ที่” แล้วปรากฏคำ “สวย” ชัดเจนขึ้น

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การจำแนกความรู้สึกมีการวิจัยในหลายธุรกิจ และงานวิจัยของ นลินี พุกษาชาติ และ ธนพล เจนสุทธิเวชกุล (2560) เลือกใช้เทคนิค Word2vec ร่วมกับขั้นตอนวิธีในอีฟเบย์ ที่ให้ความแม่นยำ และความถูกต้องในชุดคำวิจารณ์ภาษาอังกฤษ แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้คำภาษาไทย และสร้างต้นแบบที่มีขนาดใหญ่ด้วยคำคุณลักษณะจำนวน 1764 คำ สำหรับเครื่องมือตัดคำ NEWMM ให้ค่าความถูกต้องที่ 0.90 เหนือกว่าการไม่ใช้ชุดตัดแยกคำที่มีคำคุณลักษณะที่ 1833 คำ สำหรับเครื่องมือตัดคำ MM แบบเดิมก่อนพัฒนา มีค่าความถูกต้องสูงสุดเพียง 0.85 และ LONGEST ให้ค่าความถูกต้องสูงสุดเพียง 0.86 สำหรับต้นแบบที่ใช้ร่วมกับเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ และปรากฏประสิทธิภาพสูงสุดสรุปได้คือ NEWMM

การพัฒนาต่อยอดเพื่อให้ประสิทธิภาพในการประมวลผลที่มีจำนวนมากและความรวดเร็ว ด้วยการลดจำนวนคำคุณลักษณะที่มีหลักการทางสถิติ เพื่อใช้เลือกคำ และกระบวนการ Feature Selection ที่นิยมสำหรับการเพิ่มความเร็วในการจำแนก หรือ การใช้เทคนิคอื่น ๆ ในการจำแนกความรู้สึกของการทำเหมืองข้อมูล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในโอกาสต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ในส่วนของต้นสังกัดที่ส่งเสริม และผลักดันการทำวิจัยให้เกิดขึ้น และสนับสนุนการเผยแพร่งานวิจัยในเวทีระดับชาติต่อเนื่อง และสม่ำเสมอตลอดมา กับทีมผู้วิจัยในโอกาสนี้

รายการอ้างอิง

- จิราภา เลหาหะวรนนท์, รชต. ลิ้มสุทธิวันภูมิ และบัณฑิต ฐานะโสภณ. (2558). การใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลในการจำแนกและคัดเลือก แขนงวิชาสำหรับนักศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ. **วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศลาดกระบัง**. ฉบับที่ 4 ปี 2558 : 1-9
- นลินี พุกษาชาติ และ ธนพล เจนสุทธิเวชกุล. (2560). **การจำแนกความคิดเห็นออนไลน์ของนักท่องเที่ยว โดยใช้ Word Vector และการเรียนรู้ของเครื่อง**. ภาควิชาการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- อุษนิษา เถาว์โท, ฉัฐเมศร์ พูลทรัพย์, เกียรติกุล เจียรนัยธนะกิจ และ บัณฑิต พัสยา. (2561). การทดสอบโมเดลของระบบแนะนำภาพยนตร์โดยการทำเหมืองข้อความจากคำวิจารณ์ของผู้ชม. **การประชุมวิชาการปัญญาภิวัฒน์ระดับชาติ ครั้งที่ 8**. 1-9
- Wannaphong. (2560). **PyThaiNLP โมดูล NLP ภาษาไทยใน Python** (Online). <https://python3.wannaphong.com/2017/05/pythainlp-nlp-python.html>, กรกฎาคม 15, 2563
- Puidui. (2552). **SYSTEM ANALYSIS TECHNIQUES AND DESIGN FOR BUSINESS** (Online). http://sasdkmitl09.blogspot.com/2009/07/blog-post_23.html, 18 กรกฎาคม 2563
- Kasidis Satangmongkol. (2562). **อธิบาย K-Fold Cross Validation พร้อมโค้ดตัวอย่างใน R** (Online). <https://datarockie.com/2019/11/15/k-fold-cross-validation>, 20 กรกฎาคม 2563

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้เขียนเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ซึ่งขอบเขตของบทความวิจัย/บทความวิชาการที่ลงตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ประกอบด้วย สาขาคณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี เทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ซึ่งมีกำหนดตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ในเดือนมกราคม - มิถุนายน และฉบับที่ 2 ในเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม

วารสารวิชาการมีวัตถุประสงค์เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยเชิงวิชาการดังนี้

- 1) บทความวิจัย (research article)
- 2) บทความวิชาการหรือบทความปริทัศน์ (review article)
- 3) บทความวิจารณ์หนังสือ (book review)

จากผู้เขียนที่เป็นกลุ่มของคณาจารย์และนักศึกษา ทั้งภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และผู้เขียนภายนอก นักวิชาการทั่วไป และประชาชนชาวบ้าน ผลงานที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา “ต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อน” หรือได้รับเชิญเข้าร่วมตีพิมพ์ พร้อมทั้งได้รับการพิจารณาจากผู้ประเมินอิสระ (peer review) ในสาขาที่เกี่ยวข้องและได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ ทั้งนี้ บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไขคำ สำนวน รูปแบบการอ้างอิง รูปแบบการนำเสนอ และอื่น ๆ (ซึ่งไม่เกี่ยวกับเนื้อหาหรือสาระสำคัญ) ตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิ และกองบรรณาธิการเห็นสมควร และผู้เขียนต้องรับผิดชอบในเนื้อหาของบทความ โดยกองบรรณาธิการวารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ไม่จำเป็นต้องรับผิดชอบใด ๆ

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับ

- พิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ
- การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์และการเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ควรหลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีคำแปลหรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนปนภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ
- สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาเป็นเบื้องต้นก่อน
- ความยาวของบทความตั้งแต่ 8 หน้าขึ้นไป รวมตาราง ภาพและเอกสารอ้างอิง ไม่ต้องระบุเลขหน้าและจัดให้อยู่ในรูปแบบตามที่วารสารกำหนดในต้นแบบ

2. รายละเอียดตัวอักษรและรูปแบบการพิมพ์

- จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word ขนาดของต้นฉบับใช้กระดาษขนาด A4 (8.27 × 11.69 นิ้ว) – ตั้งค่าน้ำกระดาษสำหรับการพิมพ์ ด้านบน 1.5 นิ้ว ด้านล่าง 1 นิ้ว ด้านซ้าย 1.5 นิ้ว ด้านขวา 1.5 นิ้ว

- พิมพ์คอลัมน์เดียวกระจายเต็มบรรทัด
- ตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดตัวอักษร 15
- ควรตั้งค่ากำหนดเลขบรรทัดไว้กระจายแบบไทย

3. ส่วนประกอบในบทความ

3.1 บทความวิจัย เป็นการนำเสนอผลงานวิจัยที่เสร็จสมบูรณ์แล้วซึ่งผู้เขียนได้ดำเนินการด้วยตนเอง

3.1.1 ส่วนประกอบตอนต้น

- ชื่อเรื่อง (title) ควรสั้น กระชับ ไม่ยาวจนเกินไป ให้เขียนชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดไป-ชื่อผู้เขียนบทความ (authors and co-authors) ให้ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะอักษรตัวแรกของชื่อตัวและนามสกุล ถ้ามีผู้วิจัยหลายคนให้ใส่ลำดับเลข พร้อมระบุที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ และชื่อหน่วยงานของผู้วิจัยที่ส่วนล่างของหน้าแรก และให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ที่ตำแหน่งผู้ประสานงานหลัก (corresponding author) พร้อมทั้งระบุอีเมลสำหรับติดต่อ (e-mail: address)

-บทคัดย่อ (abstract) ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกินอย่างละ 500 คำ บทคัดย่อที่เขียนควรสั้น ตรงประเด็น และให้สาระสำคัญเท่านั้น โดยเรียงลำดับบทคัดย่อภาษาไทยก่อนตามด้วยบทคัดย่อภาษาอังกฤษ-คำสำคัญ (keywords) ให้ใช้คำที่ปรากฏอยู่ในเนื้อเรื่องซึ่งเป็นตัวแทนบอกวิธีการวิจัย ประเด็นที่วิจัย ผลการวิจัย การใช้ประโยชน์หรือสถานที่ที่ทำการวิจัย คำสำคัญนี้ให้เขียนทั้งในภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ในตอนท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาอย่างละไม่เกิน 5 คำ

3.1.2 เนื้อหาในบทความวิจัย ให้มีองค์ประกอบดังนี้

- บทนำ (introduction) อธิบายถึงที่มา ความสำคัญของปัญหา และเหตุผลที่นำไปสู่การศึกษาวิจัย ให้ข้อมูลทางวิชาการที่มีการตรวจสอบเอกสาร (literature review) โดยระบุถึงแหล่งที่มาของข้อมูล (อ้างอิง) และจุดมุ่งหมายที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งวัตถุประสงค์ของการวิจัย

- วิธีดำเนินการวิจัย (research methods) อธิบายกระบวนการดำเนินการวิจัย โดยบอกรายละเอียดวัสดุ วิธีการศึกษา สิ่งที่น่าสนใจ จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา ตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา อธิบายแบบแผนการวิจัย การสุ่มตัวอย่าง วิธีการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

- ผลการวิจัย (results) และหรือการอภิปรายผลการวิจัย (discussion) ผลการวิจัย รายงานผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็นโดยยึดแนวทางตามวัตถุประสงค์เป็นหลัก ควรอธิบายผลการวิจัยด้วยคำบรรยายเป็นหลัก แต่ถ้ามีตัวเลขหรือตัวแปรมากควรนำเสนอเป็นภาพและตาราง แทรกในเนื้อหา พร้อมอธิบายผลการวิจัยให้ได้สาระครบถ้วน

- การอภิปรายผลการวิจัย (discussion) เป็นการชี้แจงผลการวิจัยว่าตรงกับวัตถุประสงค์/สมมติฐานของการวิจัย สอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลการวิจัยของผู้อื่นที่มีอยู่ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

- สรุปผลการวิจัย (conclusion) สรุปผลการวิจัยให้ได้ใจความชัดเจนและตรงประเด็น

- ข้อเสนอแนะ (suggestion) (ถ้ามี)

- กิตติกรรมประกาศ (acknowledgements) ให้ระบุงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนหรือความช่วยเหลือจากองค์กรใด และบุคคลใดบ้าง

- เอกสารอ้างอิง (references) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิจัยอย่างครบถ้วน โดยระบุรายละเอียดและใช้รูปแบบการเขียนที่ถูกต้องครบถ้วน (ตามข้อ 4) จัดเรียงลำดับตามตัวอักษร โดยเรียงเอกสารภาษาไทยก่อน และตามด้วยเอกสารภาษาอังกฤษ

3.2 บทความทางวิชาการ เป็นบทความที่ผู้เขียนได้เรียบเรียงโดยศึกษาค้นคว้าจากเอกสารงานแปล และผลงานจากประสบการณ์ของผู้เขียนหรือได้รับการถ่ายทอดจากผู้อื่น มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ องค์ความรู้ การเสนอความคิดเห็นที่มีคุณค่าและเป็นประโยชน์ทางวิชาการของสาขาต่างๆ

3.2.1 ส่วนประกอบตอนต้น

- ชื่อเรื่อง (title) ควรสั้นกะทัดรัด ไม่ยาวจนเกินไป ให้เขียนชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยก่อนแล้วตามด้วยภาษาอังกฤษในบรรทัดถัดไป -ชื่อผู้เขียน (authors and co-authors) ให้ระบุชื่อเต็ม -นามสกุลเต็มทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับภาษาอังกฤษใช้อักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะอักษรตัวแรกของชื่อตัวและนามสกุล ถ้ามีผู้วิจัยหลายคนให้ใส่ลำดับเลข พร้อมระบุที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ และชื่อหน่วยงานของผู้วิจัยที่ส่วนล่างของหน้าแรก และให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ที่ตำแหน่งผู้ประสานงานหลัก (corresponding author) พร้อมทั้งระบุอีเมลสำหรับติดต่อ (e-mail: address)

- สารสังเขป (summary) เป็นการย่อเนื้อความของบทความทั้งเรื่องให้สั้นได้เนื้อหาสาระครบถ้วน

- คำสำคัญ (keywords) ให้ใช้คำที่ปรากฏอยู่ในเนื้อเรื่องซึ่งเป็นตัวแทนบอกวิธีการ สิ่งที่ศึกษา ผลการศึกษา สาขา การใช้ประโยชน์และสถานที่ คำสำคัญให้เขียนทั้งคำสำคัญภาษาไทย และภาษาอังกฤษแต่ละชุดไม่เกิน 5 คำ

3.2.2 เนื้อหา (main text) ในบทความทางวิชาการมีองค์ประกอบดังนี้ -บทนำ (introduction)กล่าวถึงความน่าสนใจของเรื่องที่น่าเสนอ ก่อนเข้าสู่เนื้อหา

- เนื้อความ (content) ควรนำเสนอพัฒนาการของเรื่องได้อย่างน่าสนใจ และเนื้อเรื่องมีเนื้อหาใหม่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบัน

-สรุป (conclusion) เป็นการย่อเฉพาะข้อมูลจากเนื้อความให้สั้นได้เนื้อหาสาระของเนื้อความครบถ้วน

- เอกสารอ้างอิง (references) ให้ระบุเฉพาะเอกสารที่ผู้เขียนบทความได้นำมาอ้างอิงในบทความวิชาการอย่างครบถ้วนรูปแบบของการเขียนเอกสารอ้างอิงให้จัดทำตามที่ระบุไว้ในข้อ 4 (เอกสารอ้างอิง)

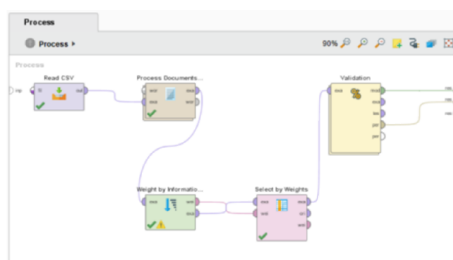
3.3 ตารางและภาพประกอบ ให้จัดแทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็นเท่านั้น โดยเนื้อหาและคำอธิบายในตารางและภาพสามารถใช้ภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น

- ตาราง เมื่อวางรูปตารางข้อมูลเรียบร้อยแล้วต้อง “กำกับ” ไว้ที่ด้านบนของตารางด้วยข้อความที่เป็น “ตารางที่... (เว้น 1 บรรทัด และตามด้วยชื่อตารางหรือคำอธิบายสั้นๆ)” ส่วน “ที่มา” ของตาราง (ถ้ามี) ให้อยู่ด้านล่างของตาราง “ที่มา: ... (เว้น 1 บรรทัด และตามด้วยอ้างอิง” (ชื่อ, ปี) ดังตัวอย่าง

ตารางที่ 1 รายละเอียดรูปแบบตัวอักษรสำหรับการจัดทำบทความต้นฉบับ

องค์ประกอบ	ตัวอักษร	รูปแบบอักษร	ขนาดอักษร (จุด)
ชื่อเรื่องบทความ	TH SarabunPSK	หนา	18
ชื่อผู้เขียน	TH SarabunPSK	ธรรมดา	16
ชื่อหน่วยงานหรือสถาบัน ของผู้เขียน และที่อยู่ E- mail	TH SarabunPSK	ธรรมดา	13
หัวเรื่องหลัก	TH SarabunPSK	หนา	15
หัวเรื่อง 2 (1,2,..)	TH SarabunPSK	ธรรมดา	15
หัวเรื่อง 3 (1.1,1.3 ...)	TH SarabunPSK	ธรรมดา	15
บทคัดย่อ	TH SarabunPSK	ธรรมดา	15
เนื้อหา	TH SarabunPSK	ธรรมดา	15
คำอธิบายรูป	TH SarabunPSK	ธรรมดา	15
คำอธิบายตาราง	TH SarabunPSK	ธรรมดา	15
เอกสารอ้างอิง	TH SarabunPSK	ธรรมดา	15

- ภาพประกอบ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ เป็นภาพที่ใช้ประกอบเนื้อหา เมื่อจัดภาพเสร็จแล้วต้อง “กำกับ” ไว้ที่ได้ภาพด้วยข้อความที่เป็น “ภาพที่.. (เว้น 1 บรรทัด และตามด้วยชื่อภาพหรือคำอธิบายภาพประกอบสั้นๆ)” และบรรทัดที่ถัดลงมาคือ “ที่มา..” ใช้รูปแบบเดียวกับตารางทุกประการ ดังตัวอย่าง



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Rapidminer Studio
ที่มา:

4. การอ้างอิง (citation)

การอ้างอิงของวารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชใช้รูปแบบการอ้างอิงที่ดัดแปลงมาจากสมาคมจิตวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (American Psychological Association 6th : APA 6th edition)

ขั้นตอนการส่งบทความตีพิมพ์เผยแพร่



คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
160 ถนนกาญจนวนิช ตำบลหารูปช้าง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา 90000
Tel : 074-260260 Fax : 074-260261
E-mail : sciencewebmaster@skru.ac.th <http://sci.skru.ac.th>. All Rights Reserved.