

JOURNAL OF

SCIENCE AND TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Volume 42 Number 6 November- December 2023

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

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
INDEXED IN



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณภาพของนักวิชาการทั้งในและต่างประเทศ โดยเผยแพร่บทความวิจัย (research article) บทความปริทัศน์ (review article) ในสาขาวิชาต่างๆ ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สำนักงานกองบรรณาธิการ
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไข่มไผ่
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง
ศาสตราจารย์ ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ศิริอมรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิขำ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.อรวิชัย กุ่มพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

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

ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนงแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยนครพนม
รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ณัฐพล ภูมิพันธุ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์พร ทองเจริญบัวงาม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ เกียรติกร ดร.รักษิณดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
Dr.Adrian Roderick Plant
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

ผู้อำนวยการกองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ

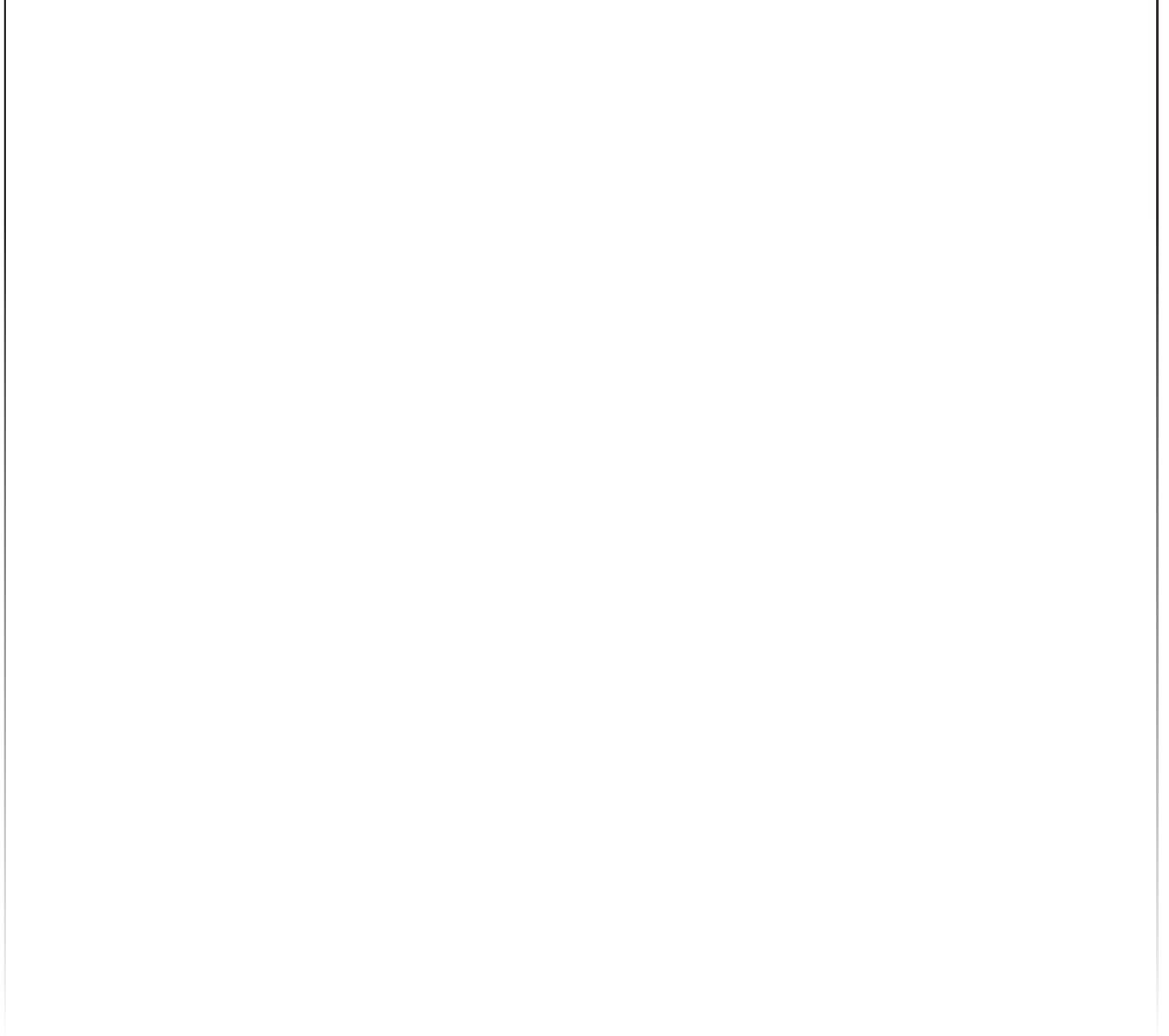
ผู้ช่วยเลขานุการ

พัทตรีวิไล รุ่งวิสัย
จิราวัฒน์ ภูสีฤทธิ์

กำหนดเผยแพร่

ปีละ 6 ฉบับ
ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์
ฉบับที่ 2 มีนาคม-เมษายน
ฉบับที่ 3 พฤษภาคม-มิถุนายน
ฉบับที่ 4 กรกฎาคม-สิงหาคม
ฉบับที่ 5 กันยายน-ตุลาคม
ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น



สารบัญ

Agricultural Science

- ระดับพอลิเมอร์ที่ต่างกันร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่สามารถควบคุมเชื้อราที่ติดมากับ
เมล็ดพันธุ์มะเขือผสมเปิด 200
- Different levels of polymers and clove essential oils for controlling contaminated fungus in
open-pollinated eggplant seeds
ชนกเนตร ชัยวิชา, ไพฑูรย์ ทองสุข และ สุนิสา เยาวสกุลมาศ
Chanoknet Chaiwicha, Phaitoon Thongsuk and Sunisa yaowasakunmat

Computer and Information Technology

- การพัฒนาโปรแกรม VBA ใน Excel เพื่อคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่ง 207
- An excel VBA program development for calculating the distance between two coordinates
สรินญา ศาลางาม
Sarinya Sala-ngam

- การพัฒนาเทคโนโลยีความจริงผสมสำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยวชุมชน ตำบลบึงหวาย
อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 215
- The development of mixed reality for promoting community tourist routes, Bung Wai Sub-district,
Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani Province
ภัทรา สวนโสภะเชือก และ มริษา สูดุดม
Pattra Suansokchuak and Marisa Sududom

Environmental Science

- การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำผิวดินโดยใช้เยื่อกรองแบบไมโคร
225
- Removal of effluent natural organic matter in surface water using microfiltration membrane
อภิญา อ่อนสาร, สุพัฒน์พงษ์ มัตราจ, วิภาดา เดชะปัญญา, กรรณิกา รัตนพงศ์เลขา,
สมภพ สนองราษฎร์ และ เทียมมะณี รัตน์วีระพันธ์
Apinya Onsarn, Supatpong Mattaraj, Wipada Dechapanya, Karnika Ratanapongleka,
Sompop Sanongraj and Tiammanee Rattanaweeran

- ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลนครมณฑะเลย์
และทางเลือกในการลดก๊าซเรือนกระจก 235
- Greenhouse gas emission from solid waste management of Mandalay municipality
and possible mitigation options
เฮต ทิรี, อวิสดา พงศ์พิพัฒน์, สิรินทรเทพ เต่าประยูร และ สร้อยดาว วินิจนันทรัตน์
Htet Thiri, Awassada Phongphiphat, Sirintornthep Towprayoon and Soydoa Vinitnantharat

ระดับพอลิเมอร์ที่ต่างกันร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่สามารถควบคุมเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์มะเขือผสมเปิด

Different levels of polymers and clove essential oils for controlling contaminated fungus in open-pollinated eggplant seeds

ชนกเนตร ชัยวิชา^{1*}, ไพฑูรย์ ทองสุข¹ และ สุนิสา เยาวสกุลมาศ¹

Chanoknet Chaiwicha^{1*}, Phaitoon Thongsuk¹ and Sunisa Yaowasakunmat¹

Received: 11 April 2022 ; Revised: 26 December 2022 ; Accepted: 27 February 2023

บทคัดย่อ

เมล็ดพันธุ์มะเขือผสมเปิดที่ผลิตส่วนใหญ่มีความงอกและความแข็งแรงต่ำซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การเข้าทำลายของเชื้อรา จึงจำเป็นต้องทำละลายเชื้อราก่อนการนำไปเพาะกล้า ซึ่งหนึ่งในวิธีการซึ่งเป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์ คือการเคลือบเมล็ดพันธุ์ร่วมกับสารป้องกันเชื้อรา เพื่อป้องกันเชื้อราในระยะต้นกล้า และทำให้เมล็ดมีการงอกสม่ำเสมอมากขึ้น ง่ายต่อการจัดการหลังการปลูก แต่สารเคลือบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีการใช้สารป้องกันเชื้อราที่เป็นสารเคมีที่มีราคาสูงและเป็นอันตราย งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของพอลิเมอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือผสมเปิดร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู เพื่อป้องกันเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยศึกษาอัตราของพอลิเมอร์ polyvinyl pyrrolidone (PVP-K-90) ที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือผสมเปิดร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู พบว่า polyvinyl pyrrolidone (PVP-K-90) ในอัตรา 5 กรัม ร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู (1%) สามารถละลายน้ำได้ดีและมีความหนืดที่เหมาะสม ครอบคลุมทั่วทั้งเมล็ด ไม่ทำให้เมล็ดเกาะติดกัน เมล็ดมีความงอก 84% และดัชนีในการงอก 9.23 ซึ่งสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เคลือบ และมีการเข้าทำลายของเชื้อรา *Aspergillus flavus* เพียง 2% เมื่อเทียบกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เคลือบที่มีการเข้าทำลายของเชื้อรา *Aspergillus flavus* สูงถึง 80.75% และยังสามารถควบคุมเชื้อได้ถึง 77.50%

คำสำคัญ: สารเคลือบ มะเขือ น้ำมันหอมระเหยกานพลู

Abstract

The open-pollinated eggplant seeds that are mainly produced germination and low vigor due to several reasons including invasion of fungi. Thus, fungi eradication prior to seedling is crucial. One of the most popular and widely used methods in the seed industry is to coat seeds in combination with antifungal agents to prevent fungi in the seedling stage and make the seeds germinate more evenly, making them easier to handle after planting. However coating agents used in the seed industry must be imported from abroad and harmful chemical antifungal agents are used. This research aimed to study the appropriate coating formula for open-pollinated eggplant seed coatings with clove essential oils to prevent contamination by fungi. The experiment was conducted at the Seed Technology Laboratory, Faculty of Agriculture and Agricultural Industry, Surin Rajabhat University. Completely Randomized Design (CRD) with four replications was conducted to determine the suitable seed coating ratio between a Polyvinylpyrrolidone (PVP K-90) and rate 1% clove essential oil. The results indicated that 5 grams of PVP K-90 with 1% of clove essential oil was easily water soluble and had suitable viscosity, coating the entire seed so that the seeds did not stick together, This resulted in 84% of the germination and germination index of 9.23 which was higher than uncoated seeds.

¹ อาจารย์, สาขาครุศาสตร์เกษตร คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ 32000

¹ Lecturer, Education Program in Agriculture, Faculty of Agriculture and Agricultural Industry, Surindra Rajabhat University, Surin 32000

* Corresponding author: chanoknet.c@sru.ac.th

Moreover, only 2% of the coated seed became infected by the fungus *Aspergillus flavus* compared to 80.75% of fungus *Aspergillus flavus* uncoated seed. The coated seeds was able to control fungus up to 77.50%.

Keywords: Coating agent, eggplant, clove essential oil

บทนำ

ด้วยกระแสความต้องการบริโภคอาหารปลอดภัยหรืออาหารที่ผลิตจากระบบการผลิตพืชอินทรีย์เป็นจำนวนมาก ทำให้ผักอินทรีย์เป็นที่ต้องการของตลาดมากขึ้น จากปริมาณความต้องการบริโภคผักอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เกษตรกรเร่งการผลิตเพื่อให้ทันความต้องการของตลาดในพื้นที่ปลูกที่จำกัดจึงต้องมีการปลูกพืชอย่างต่อเนื่องซ้ำในพื้นที่เดิมๆ จึงทำให้เกิดปัญหาการสะสมและการระบาดของโรคพืชรุนแรงมากขึ้นตลอดจนเชื้อโรคพืชบางชนิดสามารถสะสมอยู่ในเศษซากพืชได้ยาวนาน อีกทั้งบางชนิดยังสามารถถ่ายทอดไปกับเมล็ดพันธุ์ได้ โดยเฉพาะโรคที่เกิดจากเชื้อ *Aspergillus flavus* ซึ่งโรคเป็นโรคที่เกิดขึ้นและมีการระบาดแพร่กระจายอย่างกว้างขวางทำให้ผลผลิตเสียหายอย่างมาก พบได้ทั้งในแปลงปลูกและโรงเก็บ (ศศิธร, 2561) การป้องกันกำจัดโรคเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ส่วนใหญ่ใช้สารเคมี ทั้งการการฉีดพ่นภายหลังการเพาะกล้า และการเคลือบติดมากับเมล็ด ซึ่งเมล็ดพันธุ์ที่จำหน่ายบนท้องตลาดในปัจจุบันผ่านการเคลือบสารเคมีหรือสารปฏิชีวนะเพื่อป้องกันกำจัดโรคพืชมาแล้ว

การเคลือบเมล็ดพันธุ์คือกระบวนการที่นำสารที่มีลักษณะบางเบามาทาหรือฉาบบนผิวของเมล็ดพันธุ์เพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะอย่างสม่ำเสมอ (film coating) โดยที่เมล็ดพันธุ์จะถูกห่อหุ้มด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ ที่เป็นพอลิเมอร์บางชนิด (thin polymer) การเคลือบเมล็ดพันธุ์ได้รับการพัฒนามาจากวิธีการคลุกเมล็ดร่วมกับสารเคมีที่ใช้สำหรับป้องกันและกำจัดศัตรูพืชต่างๆ เช่นโรคโคนเน่าและการทำลายของหนอนเจาะรากข้าวโพด (Scott, 1975; Taylor *et al.*, 1998) อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวทำให้เกษตรกรมีความเสี่ยงที่จะสัมผัสสารเคมีโดยตรง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรที่ใช้วิธีการนี้ เนื่องจากการคลุกเมล็ดเป็นวิธีการที่เกษตรกรจะต้องสัมผัสสารเคมีโดยตรง ซึ่งอาจทำให้มีความเสี่ยงที่จะสัมผัสทางผิวหนังหรือการดูดซึมสารเคมีเข้าไปผ่านเนื้อเยื่อผิวหนังได้เรื่อยๆ จนทำให้เกษตรกรป่วยหรือสูญเสียชีวิตได้ (ฉัตรรัตน์ คำแก้ว, 2560; Pedrini *et al.*, 2017; Murphy, 2017) ดังนั้นการเคลือบเมล็ดพันธุ์เข้ามาเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ติดกับเมล็ดพันธุ์หลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา ทำให้เกษตรกรลดปัญหาการสัมผัสสารเคมีโดยตรง และเพิ่มศักยภาพในการใช้สารเคมีร่วมกับเมล็ดพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สูงสุด นอกจากนี้ การเคลือบเมล็ดพันธุ์ยังสามารถเพิ่มสารออกฤทธิ์ในเมล็ดพันธุ์

เช่น ธาตุอาหารพืช ฮอโรโมนพืช สารกระตุ้นการงอก สารกำจัดวัชพืช สารป้องกันเชื้อรา สารป้องกันแมลง และสารเคมีป้องกันโรคพืชต่างๆ (Taylor & Harman, 1990; Ester, 1994; Taylor *et al.*, 1998; Pedrini *et al.*, 2017) เมื่อเกษตรกรนำเมล็ดพันธุ์ไปเพาะปลูก นี้สามารถทำให้สารออกฤทธิ์ที่เคลือบติดอยู่กับเมล็ดพันธุ์ได้ถูกดึงออกมาในขณะที่ถูกงอก ซึ่งแตกต่างจากการหว่านหรือโรยสารเคมีไปตามรอยปลูกทำให้ต้นกล้าได้รับสารเคมีอย่างสม่ำเสมอ และอาจทำให้สารเคมีสูญเสียประสิทธิภาพก่อนที่จะถูกนำไปใช้ ประโยชน์ที่ได้จากการเคลือบเมล็ดพันธุ์ทำให้สารเคมีที่เคลือบติดอยู่กับเมล็ดพันธุ์ถูกดึงออกมาได้ทันทีขณะที่ถูกงอก ซึ่งแตกต่างจากการหว่านหรือโรยสารเคมีทางร่องปลูกทำให้ต้นกล้าได้รับสารเคมีอย่างสม่ำเสมอ และอาจทำให้สารเคมีสูญเสียประสิทธิภาพก่อนที่จะถูกนำไปใช้ (Bruggink, 2005)

ส่วนใหญ่สารเคลือบเมล็ดพันธุ์ต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงและมีการผสมสารเคมีที่เป็นสารออกฤทธิ์ ซึ่งสารเคมีหลายชนิดมีพิษตกค้างเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์เลี้ยงตลอดจนกระตุ้นการดื้อต่อสารเคมีของเชื้อสาเหตุโรค แต่เมล็ดพันธุ์อินทรีย์ที่มีการจำหน่ายในท้องตลาดมีปริมาณน้อยและหาแหล่งจำหน่ายได้ยาก เกษตรกรส่วนใหญ่ที่ผลิตผักอินทรีย์จึงเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้เพื่อใช้เอง แต่กระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาที่ไม่ถูกต้องจะมีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความงอกและคุณภาพผลผลิตพืช (นิอร งามสุข และคณะ, 2563) สารสกัดจากธรรมชาติเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยป้องกันหรือลดปริมาณเชื้อสาเหตุโรคพืชที่เกิดกับเมล็ดพันธุ์ได้ (ปิยฉัตร อัครนุชาต และคณะ, 2553) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการเคลือบเมล็ดด้วยน้ำมันหอมระเหยต่อเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พบว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำมันหอมระเหยกานพลูมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อรา *Aspergillus niger* และ *Fusarium sp.* สามารถใช้ทดแทนสารเคมีกำจัดเชื้อราได้ สอดคล้องกับ (รุ่งอรุณ กั้นระปา, 2554) ที่ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบน้ำมันหอมระเหยกานพลู โหระพา สะระแหน่ และ โคลโตซานเพื่อควบคุมเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด (Tijani *et al.*, 2013) ทดสอบสารสกัดจากเมล็ดสะเดา และมะรุมในการควบคุมโรค wet rot ที่มีสาเหตุจาก *Rhizopus stolonifer* ในเมล็ดมันเทศ โดยเมล็ดสะเดาและมะรุมที่แก่มาบดให้เป็นผงจากนั้นนำผงสะเดาและผงมะรุมละลายน้ำที่ความเข้มข้น

3, 6, 9 และ 12 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สารสกัดจากสะเดาและมะรุมสามารถยับยั้งเชื้อ *R. stolonifera* ได้ทุกความเข้มข้น โดยความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มมีผลต่อประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในการยับยั้งเชื้อ *R. stolonifera*

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารเคลือบที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลูเพื่อควบคุมเชื้อรา *Aspergillus flavus* ที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์มะเขือผสมเปิด และเพื่อศึกษาคุณภาพของเมล็ดพันธุ์หลังการเคลือบร่วมกับสารสกัดจากสมุนไพรธรรมชาติที่มีฤทธิ์ในการควบคุมเชื้อรา มาใช้ในการเคลือบเมล็ดพันธุ์เพื่อควบคุมโรคที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

แผนการทดลอง

โดยวางแผนการทดลองแบบ สุ่ม สมบูรณ์ Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ซึ่งกำหนดให้ T1 เมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ

T2 polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) 5 กรัม ต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตร+น้ำมันหอมระเหยกานพลู ความเข้มข้น 1%

T3 polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) ในอัตรา 10 กรัม ต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตร+ น้ำมันหอมระเหยกานพลู ความเข้มข้น 1%

T4 polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) 15 กรัม ต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตร+น้ำมันหอมระเหยกานพลู ความเข้มข้น 1% แต่ละกรรมวิธี เตรียมและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

ศึกษาอัตราส่วนของสารพอลิเมอร์ polyvinyl pyrrolidone ที่มีผลต่อคุณสมบัติการเป็นวัสดุประสานร่วมกับ น้ำมันหอมระเหยกานพลูในการเคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือและคุณภาพเมล็ดพันธุ์

1. เมล็ดที่ไม่ได้เคลือบ

2. การเคลือบด้วยสาร polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) ในอัตรา 5 กรัม ต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตรผสมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู ความเข้มข้น 1%

3. การเคลือบด้วยสาร polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) ในอัตรา 10 กรัม ต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตรผสมกับ น้ำมันหอมระเหยกานพลู ความเข้มข้น 1%

4. การเคลือบด้วยสาร polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) ในอัตรา 15 กรัม ต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตรผสมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู ความเข้มข้น 1% แต่ละกรรมวิธี เตรียมและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

เคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือด้วยเครื่องเคลือบระบบจานหมุน รุ่น AAISC-1/63 (นวัตกรรมที่สร้างขึ้นเอง) (โดยใช้สารเคลือบปริมาตร 100 มิลลิลิตร/กิโลกรัมเมล็ดพันธุ์) และนำเมล็ดพันธุ์ที่เคลือบแล้วมาลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นควบคุมอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จนเมล็ดพันธุ์มีความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ 5%

จากนั้นจึงนำเมล็ดพันธุ์มาตรวจสอบคุณภาพหลังการเคลือบ โดยการประเมินลักษณะผิวและการเกาะติดของสารเคลือบ การตรวจสอบความงอก ดัชนีในการงอกตามวิธีการมาตรฐานทางเมล็ดพันธุ์ ในสภาพห้องปฏิบัติการ (ISTA, 2019) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อรา และ เปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus flavus*

การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์หลังการเคลือบเมล็ด

หลังการเคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลูจากนั้นนำมาตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดหลังการเคลือบ

1. การตรวจสอบความงอกเมล็ดพันธุ์มะเขือในสภาพห้องปฏิบัติการ สุ่มเมล็ดพันธุ์ในแต่ละกรรมวิธีจำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 100 เมล็ดมาทดสอบความงอกโดยวิธี Top of Paper (TP) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใช้แสง 12 ชั่วโมง แล้วตรวจนับความงอกหลังการเพาะที่ (first count) 7 วันหลังเพาะ และวันสุดท้ายที่ (final count) 14 วันหลังเพาะ โดยประเมินผลการตรวจสอบ ความงอกตามวิธีของ (ISTA, 2019)

ความงอกของเมล็ดพันธุ์ในสภาพห้องปฏิบัติการ (%)

$$= \frac{\text{จำนวนของเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}}$$

2. ตรวจสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์มะเขือประเมินความเร็วในการงอกของเมล็ดตามกฎ ISTA (2019) โดยตรวจนับจำนวนเมล็ดที่งอกเป็น ต้นกล้าปกติและจำนวนวันที่งอกตั้งแต่เริ่มเพาะ (first count) 7 วัน จนถึงวันสุดท้าย (final count) 14 วัน จากการทดสอบความงอกห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำผลการนับมาคำนวณหาดัชนีในการงอกของเมล็ดจากสูตรความเร็วในการงอก

$$= \frac{\text{ผลรวมของ (จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในแต่ละวัน)}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}$$

3. ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การติดเชื้อ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การติดเชื้อ (\%)} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่ติดเชื้อ} \times 100}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}}$$

4. เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (%)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (\%)} = \frac{(\%)\text{เมล็ดที่ติดเชื้อ} \text{ ชุดควบคุม} - (\%)\text{เมล็ดที่ติดเชื้อ} \text{ ชุดตัวอย่าง}}{(\%)\text{เมล็ดที่ติดเชื้อ} \text{ ชุดควบคุม}} \times 100$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) (ANOVA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของวิธีการเคลือบ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistics 26 โดยกำหนดความเชื่อมั่นที่ $p < 0.05$

สถานที่ทำการวิจัย/เก็บข้อมูล/ระยะเวลา

ตั้งแต่ มกราคม 2564 - เมษายน 2564 ห้องปฏิบัติการเมล็ดพันธุ์ คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การตรวจสอบลักษณะผิวและการเกาะติดของสารเคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือ polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) ในความเข้มข้นที่แตกต่างกันร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู

ความอัตรา 1% พบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ polyvinylpyrrolidone (PVP-K90) ในอัตรา 5 กรัม/น้ำ 100 มิลลิลิตร เคลือบติดผิวของเมล็ดพันธุ์ได้ครอบคลุมทั่วทั้งเมล็ดและไม่ทำให้เมล็ดติดกัน ส่วน polyvinylpyrrolidone (PVP-K90) อัตรา 10 และ 15 กรัม ต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตร ร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลูทำให้สารมีความเหนียวมากเกินไปในการเคลือบเมล็ดพันธุ์มะเขือ ทำให้เมล็ดพันธุ์เกาะติดกันและสารเคลือบไม่ครอบคลุมทั้งเมล็ด (Figure 1) ในทั้ง 3 ความเข้มข้นสารเคลือบ มีค่า pH อยู่ที่ 6.5 ซึ่งมีค่า pH เป็นกลาง ไม่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากส่วนพอลิเมอร์ polyvinylpyrrolidone (PVP-K90) 5 กรัมต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตร เป็นพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้เร็วเพราะมีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำทำให้แผ่นฟิล์มที่เคลือบได้ครอบคลุมทั่วทั้งเมล็ด และละลายน้ำได้เร็ว การที่แผ่นฟิล์มหลังเคลือบเมล็ดพันธุ์ละลายได้เร็ว ทำให้เมล็ดพันธุ์มีโอกาสดูดซับน้ำได้เร็วไม่กีดขวางการงอกของเมล็ดพันธุ์ในทำนองเดียวกัน (สุวรรณ ก่อเกษตรวิศว์, 2551) ได้เคลือบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วย hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) และ polyvinylpyrrolidone (PVP-K30) ผลปรากฏว่า Polyvinylpyrrolidone Polyvinylpyrrolidone (PVP-K30) เมื่อนำไปประกอบเป็นสารเคลือบสารมีความมันวาวและเรียบเนียนไปกับผิวของเมล็ดพันธุ์ และมีความวาวมากกว่าการใช้ hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) แต่ polyvinylpyrrolidone (PVP-K30) มีลักษณะของสารที่เหนียวติดมือเล็กน้อย เมื่อสารอยู่ในลักษณะของแข็ง เนื่องจากคุณสมบัติของ polyvinylpyrrolidone (PVP-K30) ที่มีคุณสมบัติดูดความชื้นง่าย (บุญมี ศิริ, 2558)

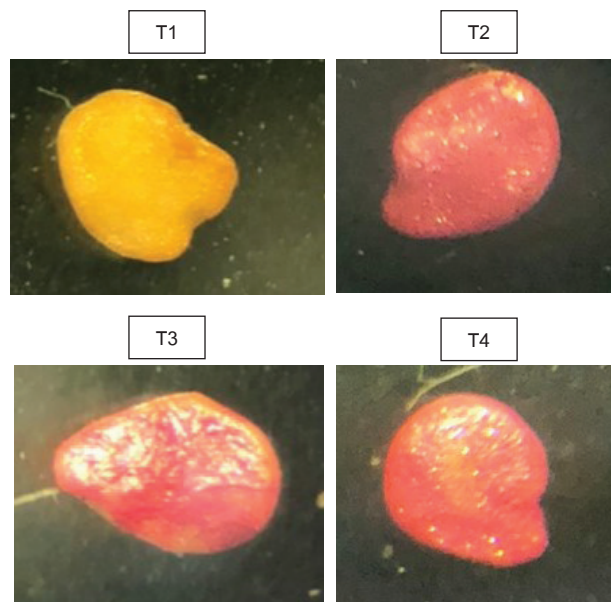


Figure 1 The surface characteristics of seeds treated with polymer polyvinylpyrrolidone (PVP-K90) with clove essential oil at different rates. T1: Non coated seed, T2: Coated with polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) at 5 grams with clove essential oil 1% T3: Coated with polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) at 10 grams with clove essential oil 1% T4: Coated with polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) at 15 grams with clove essential oil 1%

ผลจากการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยพอลิเมอร์ polyvinylpyrrolidone (PVP-K90) ในอัตราที่แตกต่างกัน ร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลูที่ความเข้มข้น 1% ในเมล็ดพันธุ์มะเขือลูกผสมเปิด พบว่า เมล็ดพันธุ์ที่ไม่ได้เคลือบมีความงอกและดัชนีการงอกที่ 13% และ 1.05 เนื่องจากมีการเข้าทำลายของเชื้อราทำให้มีความงอกและความเร็วในการงอกที่ต่ำกว่าเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเคลือบด้วยพอลิเมอร์ polyvinylpyrrolidone (PVP-K90) ในความเข้มข้นที่แตกต่างกันร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลูความเข้มข้น 1% มีความงอกของเมล็ดสูงถึง 85% และมีดัชนีในการงอกที่ 9.36 (Table 1) และพบมีการเข้าทำลายของเชื้อราเพียง 2% และยังสามารถยับยั้งเชื้อได้ถึง 77.50% ส่วนเมล็ดพันธุ์ควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การเข้าทำลายของเชื้อราสูงถึง 80.75% มีการยับยั้งเชื้อเพียง 20% (Table 2) เมล็ดพันธุ์ที่เคลือบร่วมกับน้ำมันหอมระเหยสามารถยับยั้งเชื้อ *Aspergillus flavus* ได้สูงนั้นเนื่องจากในน้ำมันหอมระเหยกานพลูมีสาร eugenol (60-95%) เป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นสารจำพวก phenolic compound ที่ประกอบไปด้วยกลุ่ม hydroxyl (OH group) ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อรา โดยจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่มีฤทธิ์ในการสร้างสารอะฟลาทอกซิน ของเชื้อรา *Aspergillus flavus* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Aspergillus flavus* ได้โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 99.29% เมื่อทดสอบการยับยั้งการสร้างเชื้อรา *Aspergillus*

flavus พบว่าสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ *Aspergillus flavus* ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร) และ Sinha *et al.* (1993) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ ปิยฉัตร อัครนุชาต และคณะ (2553) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของการเคลือบเมล็ดด้วยน้ำมันหอมระเหยกานพลูต่อเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ สรุปได้ว่า การเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำมันหอมระเหยกานพลูมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อรา *Aspergillus niger* และ *Fusarium sp.* สามารถใช้ทดแทนสารเคมีกำจัดเชื้อราได้ ต่อมา รุ่งอรุณกันธะปา (2554) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบน้ำมันหอมระเหยกานพลู โหระพา สะระแหน่ และไคโตซานเพื่อควบคุมเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดจากการศึกษาการเคลือบเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำมันหอมระเหยกานพลูและโหระพา ด้วยอัตราส่วน 1:1 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและไม่ส่งผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ สอดคล้องกับการทดลอง Velluti *et al.* (2003, 2004), Thobunluepop *et al.* (2007) และมยุรี ปละอุต (2549) ที่พบว่า น้ำมันหอมระเหยกานพลูสามารถยับยั้งเชื้อราดังกล่าวได้ และการเคลือบเมล็ดด้วยสารสกัดจากกานพลูที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 1.0 มิลลิลิตร ต่อเมล็ด 1 กิโลกรัมขึ้นไปมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อรา *A. flavus* และ *A. niger* โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอยู่ในช่วง 63-68% และ 87-91% ตามลำดับ

Table 1 Germination and germination index polyvinylpyrrolidone (PVP-K90) coated seeds at different concentration combined with 1% clove essential oil.

Treatments	Germination (1%) ¹	germination index
T1 ²	13 ^{b1}	1.05 ^c
T2	84 ^a	9.23 ^a
T3	85 ^a	9.36 ^a
T4	84 ^a	8.18 ^b
F-test	*	*
CV.(%)	1.83	2.51

* : significance at p<0.05

¹ a,b,c Means with different letters within a columns significantly different ta P < 0.05 according to DMRT

² Data are transform by the asesine before statistical analysis T1 : Non coated seed, T2: Coated with polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) at 5 grams with clove essential oil 1%T3: Coated with polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) at 10 grams with clove essential oil 1% T4: Coated with polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) at 15 grams with clove essential oil 1%

Table 2 Effect of essential oils coating against pathogenic fungi inhibition in eggplant seed.

Treatments	Percent of fungi infection (%)	Percent of fungi inhibition (%)
T1 ^{2/}	80.75 ^{c1/}	20 ^c
T2	2 ^a	77.50 ^a
T3	2.5 ^a	76.87 ^b
T4	4 ^b	76.25 ^b
F-test	*	*
CV.(%)	2.14	1.91

* : significance at $p < 0.05$ ^{1/} a,b,c Means with different letters within a columns significantly different ta $P < 0.05$ according to DMRT^{2/} Data are transform by the asesine before statistical analysis T1 : Non coated seed, T2: Coated with polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) at 5 grams with clove essential oil 1% T3: Coated with polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) at 10 grams with clove essential oil 1% T4: Coated with polyvinyl pyrrolidone (PVP K-90) at 15 grams with clove essential oil 1%

สรุป

พบว่าพอลิเมอร์ Polyvinylpyrrolidone (PVP-K90) ในความเข้มข้น 5 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตรร่วมกับน้ำมันหอมระเหยกานพลู 1 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมสำหรับการนำมาเคลือบลงผลผิวของมะเขือที่สุดเพราะสามารถเคลือบได้ครอบคลุมทั่วทั้งเมล็ดและสามารถควบคุมเชื้อรา *Aspergillus flavus* ที่ติดมากับผิวของเมล็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นพอลิเมอร์ Polyvinylpyrrolidone (PVP-K90) และ น้ำมันหอมระเหยกานพลูเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะนำมาพัฒนาและใช้ทดแทนสารเคลือบที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาค่อนข้างสูง

เอกสารอ้างอิง

ธิดารัตน์ คำแก้ว. (2560). การยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ด้วยแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช. *วารสารแก่นเกษตร* 45(1), 197-208.

นิอร งามสุขย, ทิวาพร บุญคื่น, อาทิตยา หินทอง, วันเพ็ญชะลอเจริญยิ่ง, พวงเพชร พิมพ์จันทร์ และ ภูวิพัฒน์เกียรติ์สาครเสศ. (2563). ผลของสารสกัดสมุนไพรเคลือบเมล็ดต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วฝักยาวอินทรีย์. *การประชุมวิชาการระดับชาติราชชมงคลสุรินทร์ ครั้งที่ 11 วิจัยและนวัตกรรมวิถีใหม่*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์.

บุญมี ศิริ (2558). *การปรับปรุงสภาพ และการยกระดับคุณภาพเมล็ดพันธุ์*. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.

ปิยฉัตร อัครนุชชาติ, สุภามาต ช่างแต่ง, ปิติพงษ์ โตบัณฑิต ภาพ สุชาติา เวียรศิลป์ และสงวนศักดิ์ ธนาพรพูนพงษ์. (2553). ผลของการเคลือบเมล็ดด้วยน้ำมันหอมระเหยต่อเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. *วารสารเกษตร*, 26(1), 85-92.

มยุรี ปละอุต. (2549). *ผลของน้ำมันหอมระเหยต่อเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105*. [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่]. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รุ่งอรุณ กันธะปา. (2554). *การเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบน้ำมันหอมระเหยกานพลูโหระพา สะระแหน่และไคโตซานเพื่อควบคุมเชื้อราที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด* [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่]. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุวารี ก่อเกษตรวิศว์. (2551). *ผลของสารเคลือบที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น]. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Bruggink, G.T. (2005). Flower seed priming, pregermination, pelleting and coating. pp. 249-262. In McDonald M.B., & F.Y. Kwong (eds.). *Flower seed biology and technology*. CABI publishing.

Ester, A., S.B. Hotstede, P.S.R. Kusters, & Moel, C.P.D. (1994). Film-coating of cauli-flower seed, Brassica oleracea L. Var. botrytis L., with insecticides to control the cabbage root fly, Delia radicum. *Crop Prot.* 14, 14-19.

ISTA. (2019). *Seed science and technology*. Glattbrugg international seed testing Association.

Murphy, D.J. (2017). Encyclopedia of applied plant sciences. In: P. Shewry (ed). *Seed Treatments* (pp. 564-569). Academic Press.

- Pedrini, S., Merritt, D.J., Stevens, J., & Dixon, K. (2017). Seed coating: Science or marketing spin?. *Trends Plant Sci.*, 22(2), 106-116.
- Scott, D. (1975). Effects of seed coating on establishment. *New Zeal. J. Agr. Res. J.*, 18(1), 59-67.
- Sinha, K.K., Sinha, A.K., & Prasad, G. (1993). The effect of clove and cinnamon oils on growth of an aflatoxin production by *Aspergillus flavus*. *Letters in Applied Microbiology* 16, 114-117.
- Taylor, A.G., & Harman, G.E. (1990). Concepts and technologies of selected seed treatments. *Annu. Rev. Phytopathol*, 28, 321-339.
- Taylor, A.G., Allen, P.S., Bennett, M.A., Bradford, K.J., Burris, J.S., & Misra, M.K. (1998). *Seed enhancements*. *Seed Sci. Res.*, 8, 245-256.
- Thobunluepop, P., Jatisatienr, C., Jatisatienr, A., Pawelzik, E., & Vearasilp, S. (2007). Comparison of the Inhibitory Effect of Captan, Chitosan-Lignosulphonate Polymer and Eugenol Coated Seeds Against Rice Seed Borne Fungi. In Tropentag (ed.), *International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development, Utilisation of diversity in land use systems: Sustainable and organic approaches to meet human needs* (p. 554). Cuvillier Verlag Gottingen.
- Velluti, A., Sanchis, V., Ramos A.J., & Marin, S. (2003). Inhibitory effect of cinnamon, clove, lemon grass, oregano and palmarose essential oils on growth and fumonisin B1 production by *fusarium proliferatum* in maize grain. *International Journal of Food Microbiology*, 89, 145-154.
- Velluti, A., Marin, S., Gonzalez, P., Ramos, A.J., & Sanchis, V. (2004). Initial screening for inhibitory activity of essential oils on growth of *Fusarium verticillioides*, *F. proliferatum* and *F. graminearum* on maize-based agar media. *Food Microbiology*, 21, 649-656.

การพัฒนาโปรแกรม VBA ใน Excel เพื่อคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่ง

An excel VBA program development for calculating the distance between two coordinates

สรินญา ศาลางาม^{1*}
Sarinya Sala-ngam^{1*}

Received: 5 October 2022 ; Revised: 23 December 2022 ; Accepted: 30 January 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้โปรแกรมภาษา VBA ใน Microsoft Excel เพื่อแก้ปัญหาการคำนวณระยะทางของตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง โดยโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นสามารถคำนวณระยะทางจากการพิจารณาพิกัดละติจูดและลองจิจูดบนโลกซึ่งมีลักษณะเป็นทรงวงรี สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม ผู้วิจัยได้เลือกทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่คำนวณได้จากโปรแกรมกับระยะทางจริงที่สามารถคำนวณได้จาก Google Map รวมถึงการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณระยะทางทั้ง 2 วิธี ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาระยะทางระหว่างตำแหน่งทั้ง 77 จังหวัดในประเทศไทยเป็นกรณีศึกษา จากผลการศึกษาพบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถคำนวณระยะทางระหว่างจุดทั้ง 77 จุด โดยใช้เวลาเพียง 37 วินาที ในขณะที่เวลาที่ใช้ในการหาระยะทางโดยใช้ Google Map ซึ่งใช้เวลาถึง 3 ชม. แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถประมวลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพและเร็วกว่าถึง 292 เท่า นอกจากนี้แล้วค่า r ที่ได้มีค่าสูงถึง 0.98 ซึ่งยืนยันคำตอบของทั้ง 2 วิธีว่ามีค่าใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยสามารถเสนอวิธีการคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง โดยการประยุกต์ใช้ภาษา VBA ในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถคำนวณหาระยะทางระหว่างจุด 2 จุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และแม่นยำใกล้เคียงกับระยะทางจริงที่คำนวณโดย Google map

คำสำคัญ: ระยะทางระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่ง VBA ใน Microsoft Excel โปรแกรมคำนวณระยะทาง

Abstract

This research aims to develop and examine the efficiency of an application for calculating the distance between 2 locations using VBA in Microsoft Excel. The latitude and longitude coordinates on the earth in ellipsoidal shape were considered for the calculation developed in this work. To evaluate the program efficiency, the correlation coefficient between the distances computed by the program and the distances found by Google maps was applied. Also, the computing times for calculating the distance of 2 locations by the developed program and Google map were compared. The distances between 77 provinces in Thailand were selected as a case study. The result showed that the developed program took only 37 seconds to compute the distances between 77 provinces, whereas it took up to 3 hours for Google map to find the distances, indicating that, the developed program is very efficient at 292 times faster. Additionally, the correlation coefficient of 0.98 confirms that both methods produced similar results. Therefore, the VBA-based application developed in this study provide and alternative solution for calculating the distance between 2 locations with very high accuracy and very low calculation time in relation to the traditional google map-based approach.

Keywords: Distance between two points, VBA in Microsoft Excel, distance calculation program

¹ อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Lecturer, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150

* Corresponding author: sarinya.sa@msu.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันการจัดการโลจิสติกส์ (logistics management) เป็นเป้าหมายสำคัญที่ผู้ประกอบการสามารถใช้เป็นแหล่งที่มาของความได้เปรียบในการแข่งขันทั้งในระดับธุรกิจ และในระดับประเทศ เนื่องจากกระแสโลกาภิวัตน์ที่ส่งผลให้มีการแข่งขันทางธุรกิจที่รุนแรงเพิ่มมากขึ้น ทำให้ทั้งภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรมต้องยกระดับความสามารถในการแข่งขันทั้งการลดต้นทุนและการสร้างบริการใหม่ๆ มาเสนอลูกค้า โดยเฉพาะต้นทุนซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ผู้ประกอบการต่างหันมาให้ความสำคัญ ซึ่งนอกจากต้นทุนวัตถุดิบและต้นทุนแรงงานแล้ว ต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์ (logistics cost) ถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากที่ เนื่องจากกิจกรรมหลักของโลจิสติกส์คือการขนส่งสินค้าหรือวัตถุดิบ ซึ่งต้นทุนการขนส่งจะแปรผันตามปริมาณหรือน้ำหนัก ระยะทาง ชนิดหรือรูปแบบของการขนส่ง ดังนั้นผู้ประกอบการต่างให้ความสำคัญในการบริหารและการจัดการการขนส่งให้มีประสิทธิภาพ โดยการวางแผนกลยุทธ์ต่างๆ ให้สามารถใช้ทรัพยากรอันมีค่าและมีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพ มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่างๆ ที่จะช่วยในการออกแบบเส้นทางการขนส่งเพื่อลดต้นทุนในการขนส่งและต้นทุนรวมของการจัดการโลจิสติกส์ได้

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า นักวิจัยหลายๆ ท่านต่างให้ความสำคัญในการศึกษาและนำเสนอวิธีการที่สามารถแก้ปัญหาการขนส่งของยานพาหนะขนส่งที่ให้มีประสิทธิภาพ กล่าวคือให้ระยะทางรวมของการเดินทางที่สั้นที่สุด หรือเวลารวมที่ใช้ในการขนส่งน้อยที่สุด จะเห็นว่างานวิจัยดังกล่าวจะบรรลุวัตถุประสงค์ได้นั้น การคำนวณหาระยะทางระหว่างตำแหน่งที่ต้องการศึกษาถือเป็นหัวใจหลัก และเป็นหัวใจสำคัญสำหรับการศึกษาเพื่อปรับปรุงเส้นทางการขนส่งให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วนักวิจัยจะใช้ Google map หรือ google Earth ช่วยในการระบุตำแหน่งและหาระยะทางของตำแหน่งที่ต้องการทราบ รวมไปถึงใช้เพื่อแสดงเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ ซึ่งวิธีการ Google map ให้ระยะทางการขนส่งที่แม่นยำ และไม่มีค่าใช้จ่ายใน แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการหาระยะทางใช้เวลานาน จึงมีนักวิจัยบางท่านที่พยายามประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการหาระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง แต่ข้อเสียของโปรแกรมสำเร็จรูปคือ มีราคาแพง และการประยุกต์ใช้งานในปัญหาต่างๆ ค่อนข้างมีความยืดหยุ่นน้อย นอกจากนี้แล้วยังมีนักวิจัยบางท่านที่ใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาการหาระยะทาง แต่วิธีดังกล่าวก็เป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน อีกหนึ่งภาษาคอมพิวเตอร์ที่นักวิจัยค่อนข้างประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาและเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาคือ ภาษา VBA (visual basic application) อาทิ

เช่น พรรัตน์ ชำรงวุฒิ และคณะ (Thumrongvut et al., 2017) ได้ทำการศึกษาวิธีการจัดลำดับการผลิตหลายงานแบบเครื่องจักรหลายเครื่องโดยใช้ VBA ในโปรแกรม Microsoft Excel ร่วมกับการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อวิธีการจัดลำดับการผลิตหลายงานแบบเครื่องจักรหลายเครื่องเพื่อลดเวลาในการจัดตารางการผลิต ผลการวิจัยพบว่าชุดคำสั่ง VBA สามารถแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตหลายงานแบบเครื่องจักรหลายเครื่อง และลดเวลาในการจัดตารางการผลิตได้จากเดิมเฉลี่ย 34 นาที ลดลงเป็น 18 นาที

ศิริพร ตั้งวิบูลย์พาณิชย์ ได้ทำการศึกษาทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรมสำหรับช่วยป้อนข้อมูลการประมวลผลแบบสอบถามหรือแบบประเมินโครงการกรณีศึกษาของคณะและหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง เพื่อลดระยะเวลาการประมวลผลของข้อมูลภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร โดยผู้วิจัยได้พัฒนาชุดคำสั่ง VBA เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผลการศึกษาผู้วิจัยสามารถลดเวลาการประมวลผลข้อมูลได้ 0.47 วินาที ต่อคำถาม 1 ข้อ หรือคิดเป็นร้อยละ 23.2

ธนกฤต ปิยะชัยวัต และคณะ (Piyachayawat et al., 2017) ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทหลายขนาด (กรณีศึกษาโรงงานผลิตคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ส่องสว่าง) เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าและการรักษาสภาพเสถียรของชั้นกล่องสินค้าที่จัดวางบนพาเลทให้มีประสิทธิภาพ และลดต้นทุนการขนย้าย เนื่องจากขนาดของกล่องสินค้าและขนาดของพาเลทที่มีขนาดไม่เท่ากัน ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอนเชิงวิวัฒนาการ และ VBA เพื่อประมวลผลหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาดังกล่าว จากผลการวิจัยผู้วิจัยสามารถเสนอรูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดต้นทุนการขนย้ายได้ดีกว่าเดิม และใช้ระยะเวลาการคำนวณที่สั้นกว่า

จะเห็นได้ว่าภาษา VBA ใน Microsoft Excel มีการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการขนส่ง ปัญหาด้านการผลิต และอื่นๆ อีกมาก เนื่องจากเป็นภาษาที่ไม่ยุ่งยาก อีกทั้งยังไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ VBA เพื่อคำนวณหาระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง ดังนั้นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณหาระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่งโดยการประยุกต์ใช้โปรแกรมภาษา VBA ใน Microsoft Excel

ระเบียบวิธีวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือการดำเนินงานวิจัย

เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ VBA ใน Microsoft Excel ในการคำนวณหาระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง ผู้วิจัย

ได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการดำเนินการวิจัย ได้แก่

1. คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Intel ® core (TM) i5-8500 CPU@ 3.00 GHz 4GB) สำหรับบันทึกและประมวลผลข้อมูล
2. Microsoft Excel เพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรม VBA สำหรับการคำนวณระยะทาง (Excel Version 2016)
3. Google Earth/Map Website ใช้ในการระบุพิกัดหรือตำแหน่งของจุดที่สนใจ รวมถึงสำหรับการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งที่สนใจ

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาการหาระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่งเพื่อเสนอแนวทางการคำนวณหาระยะทางระหว่างตำแหน่งโดยการประยุกต์ใช้ภาษา VBA ใน Microsoft Excel ช่วยในการคำนวณ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้เลือกศึกษาระยะทางระหว่างจังหวัดในประเทศไทยทั้งหมด 77 จังหวัดเป็นกรณีศึกษา ในส่วนนี้ผู้วิจัยจะขอกล่าวรายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงใน Figure 1

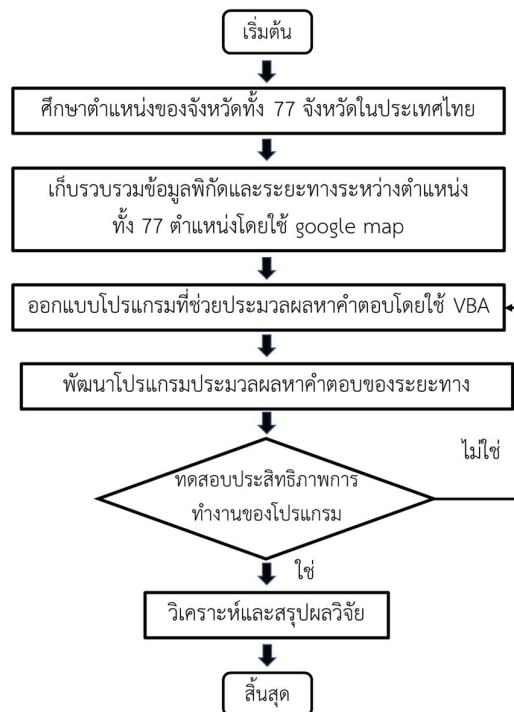


Figure 1 Research process

Figure 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน โดยเริ่มจากการศึกษาตำแหน่งทั้ง 77 จังหวัดในประเทศไทย โดยผู้วิจัยได้เลือกตำแหน่งพิกัด (ละติจูดและลองจิจูด) ที่เป็นตัวแทนของแต่ละจังหวัดในการศึกษาเพื่อพัฒนาโปรแกรมในการคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง หลังจากนั้นเก็บรวบรวมข้อมูลพิกัดละติจูดและลองจิจูด (latitude and longitude) รวมถึงระยะทางระหว่างอำเภอเมืองไปยังอำเภอเมืองของแต่ละจังหวัดโดยใช้ Google map และเพื่อออกแบบโปรแกรมช่วยในการคำนวณระยะทาง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษามหาวิทยาลัยที่อ้างอิงลักษณะของโลก เนื่องจากตำแหน่งที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษายูบ่นพิกัดของโลก หลังจากทำการออกแบบเพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งโดยการประยุกต์ใช้ภาษา VBA เมื่อพัฒนา

โปรแกรมแล้วผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพของการทำงานของโปรแกรมโดยการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เพื่อวิเคราะห์ว่าระยะทางที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมและระยะทางจาก Google map มีความใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด หลังจากนั้นทำการสรุปผลการวิจัย

ข้อมูลพื้นฐาน

เพื่อพัฒนาโปรแกรมภาษา VBA สำหรับคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาคำถามของอำเภอเมืองของแต่ละจังหวัดเป็นกรณีศึกษา โดยขั้นแรกได้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับพิกัดละติจูดและลองจิจูดของทั้ง 77 ตำแหน่ง หลังจากนั้นทำการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งดังกล่าวโดยประยุกต์ใช้ Google map ซึ่งใช้เวลาทั้งหมด 3 ชั่วโมง ผลการเก็บรวบรวมแสดงดัง Table 1

Table 1 Matrix distance of Thailand 77 provinces calculated by google map

Provinces	Coordinates / Distances (km)									
	La*	Lo**	(1)	(2)	(3)	...	(74)	(75)	(76)	(77)
Bangkok (1)	13.73	100.52	0	351	196	...	985	966	643	1072
Kamphaeng Phet (2)	16.48	99.52	351	0	178	...	1331	1308	1002	1442
Chainat (3)	15.19	100.13	196	178	0	...	1155	1137	813	1242
Nakhon Nayok (4)	14.21	101.21	104	360	193	...	1089	1071	747	1176
Nakhon Pathom (5)	13.82	100.06	60	366	189	...	953	935	611	1040
Nakhon Sawan (6)	15.69	100.12	239	120	60	...	1223	1205	881	1310
Nonthaburi (7)	13.86	100.51	16	378	191	...	991	972	648	1078
...
Phuket (72)	7.98	98.36	845	1220	1015	...	430	459	245	564
Ranong (73)	9.95	98.61	583	926	754	...	552	534	210	639
Satun (74)	6.62	100.07	985	1331	1155	...	0	121	354	226
Songkhla (75)	7.18	100.61	966	1308	1137	...	121	0	326	126
Surat Thani (76)	9.14	99.32	643	1002	813	...	354	326	0	442
Yala (77)	6.54	101.28	1072	1442	1242	...	226	126	442	0

* La: Latitude, **Lo: Longitude

สมการทางคณิตศาสตร์

จากการศึกษาที่ผ่านมา ในกรณีการคำนวณหาตำแหน่ง 2 ตำแหน่งที่อยู่บนโลกซึ่งมีลักษณะทรงกลม โดยปกติแล้วสามารถคำนวณระยะทางได้จากสมการ (1) ซึ่งเป็นสมการที่ไม่มีความซับซ้อน สามารถคำนวณระยะทางได้จากการแทนค่าของพิกัดของตำแหน่งทั้ง 2 ตำแหน่งในสมการ แต่เนื่องจากเป็นสมการที่คำนวณหาระยะทางระหว่างตำแหน่งบนโลกที่มีลักษณะทรงกลม ดังนั้นระยะทางทางได้ค่อนข้างคลาดเคลื่อนจากระยะจริง จึงไม่นิยมใช้ทฤษฎีดังกล่าวในการคำนวณหาระยะทางระหว่างตำแหน่ง

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \tag{1}$$

โดยที่

d คือ ระยะทางระหว่างตำแหน่ง

x_1, y_1 คือ พิกัดละติจูดลองจิจูดของตำแหน่งที่ 1

x_2, y_2 คือ พิกัดละติจูดลองจิจูดของตำแหน่งที่ 2

ดังนั้นเพื่อให้ค่าของการคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่งบนโลกแม่นยำที่สุด ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้สมการที่พิจารณาพิกัดของตำแหน่งดังกล่าวบนโลกที่มีรูปทรง

ลักษณะเป็นทรงรีดังรายละเอียดดังต่อไปนี้ (Amano Spatial Technologies Institute, 2015; Hubeny, 1959; Sala-Ngam et al., 2016)

$$\Delta \varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \tag{2}$$

$$\Delta l = \lambda_2 - \lambda_1 \tag{3}$$

$$\varphi = \frac{(\varphi_1 + \varphi_2)}{2} \tag{4}$$

$$e^2 = \left(2 - \frac{(R_x - R_y)}{R_x} \right) \tag{5}$$

$$(e')^2 = \frac{e^2}{(1 - e^2)} \tag{6}$$

$$N = \frac{R_x}{\sqrt{1 - (e^2 \times \sin^2(\varphi))}} \tag{7}$$

$$\eta^2 = e^2 \times \cos^2(\varphi) \tag{8}$$

$$t = \tan(\varphi) \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 s\sin(\alpha) = & (N\cos(\varphi) \times \Delta l) + \frac{N\cos(\varphi)}{24} \times (1 - \eta^2 + \eta^4 - \eta^6 - 9t^2\eta^2 + 18t^2\eta^4 - 27t^2\eta^6) \\
 & \times \Delta \varphi^2 \times \Delta l + \frac{N\cos^3(\varphi)}{24} (-t^2) \times \Delta l^3 + \frac{N\cos(\varphi)}{5760} \times (7 + 10\eta^2 - 27\eta^4 - 54t^2\eta^2 - 642t^2\eta^4 + 675t^2\eta^6) \\
 & \times \Delta \varphi^4 \times \Delta l + \frac{N\cos^3(\varphi)}{5760} \times (-16 - 70t^2 - 158t^2\eta^2 + 158t^2\eta^6 + 90t^4\eta^2 - 180t^4\eta^4) \times \Delta \varphi^2 \times \Delta l^3 \\
 & + \frac{N\cos^5(\varphi)}{5760} \times (-24t^2 + 3t^4 - 27t^2\eta^2) \times \Delta l^5 + \frac{N\cos(\varphi)}{1935360} \times 62 \times \Delta \varphi^6 \times \Delta l + \frac{N\cos^3(\varphi)}{1935360} \\
 & \times (-416 - 2954t^2) \times \Delta \varphi^4 \times \Delta l^3 + \frac{N\cos^5(\varphi)}{1935360} \times (-192 - 1680t^2 + 2652t^4) \\
 & \times \Delta \varphi^2 \times \Delta l^5 + \frac{N\cos^7(\varphi)}{1935360} \times (-816t^2 + 528t^4 - 6t^6) \times \Delta l^7
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 s\cos(\alpha) = & N \times (1 - \eta^2 + \eta^4 - \eta^6 + \eta^8 - \eta^{10}) \times \Delta l + \frac{N}{24} \times (3\eta^2 - 6\eta^4 + 9\eta^6 - 3t^2\eta^2 + 21t^2\eta^4 - 54t^2\eta^6) \\
 & \times \Delta \varphi^3 + \frac{N \times \cos^2(\varphi)}{24} \times (-2 - 3\eta^2 + 3t^2\eta^2 - 3t^2\eta^4 + 3t^2\eta^6) \times \Delta \varphi^3 \times \Delta l^2 + \frac{N}{5760} \\
 & \times (-36\eta^2 + 207\eta^4 + 36t^2\eta^2 - 1060t^2\eta^4 + 135t^2\eta^6) \times \Delta \varphi^3 \times \Delta l^2 + \frac{N \times \cos^2(\varphi)}{5760} \\
 & \times (-16 - 60t^2 + 4\eta^2 - 4\eta^4 + 102t^2\eta^2 + 48t^2\eta^4 + 90t^4\eta^2 - 630t^4\eta^4) \times \Delta \varphi^3 \times \Delta l^2 + \frac{N \times \cos^4(\varphi)}{5760} \\
 & \times (-8 - 20t^2 + 15t^4 - 8\eta^2 + 96t^2\eta^2 - 15t^4\eta^2 + 15t^4\eta^4) \times \Delta \varphi \times \Delta l^4 + \frac{N \times \cos^2(\varphi)}{1935360} \times (-192 - 2016t^2) \\
 & \times \Delta \varphi^5 \times \Delta l^2 + \frac{N \times \cos^4(\varphi)}{1935360} \times (256 + 784t^2 + 4200t^4) \times \Delta \varphi^3 \times \Delta l^4 + \frac{N \times \cos^6(\varphi)}{1935360} \\
 & \times (-64 - 224t^2 + 1148t^4 - 42t^6) \times \Delta \varphi \times \Delta l^6
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$D = \sqrt{(s\sin(\alpha))^2 + (s\cos(\alpha))^2} \tag{12}$$

โดยที่

ψ_1, λ_1 คือ พิกัดละติจูดลองจิจูดของตำแหน่งที่ 1

ψ_2, λ_2 คือ พิกัดละติจูดลองจิจูดของตำแหน่งที่ 2

$\Delta\psi$ คือ ผลต่างละติจูดของ 2 ตำแหน่ง

Δl คือ ผลต่างลองจิจูดของ 2 ตำแหน่ง

ψ คือ ค่าเฉลี่ยละติจูด 2 ตำแหน่ง

t คือ ค่าเบี่ยงเบนของรูปโลก (ทวงรี)

R_x คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางโลกในแนวนอน

R_y คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางโลกในแนวตั้ง

e คือ ค่าความเยื้องศูนย์กลางลำดับที่ 1 (The first eccentricity)

e คือ ค่าความเยื้องศูนย์กลางลำดับที่ 2 (The second eccentricity)

N คือ รัศมีของเส้นวงกลมในแนวตั้ง (Radius of curvature)

D คือ ระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่งโดย Hubeny's model

สมการ (2) -สมการ (9) เป็นสมการที่คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการคำนวณหาค่าพิกัดละติจูดลองจิจูดของตำแหน่ง 2 ตำแหน่งที่อยู่บนโลกในลักษณะวงรีในสมการ (10) และ (11) โดยที่ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของโลกในแนวตั้ง (R_y) และแนวนอน (R_x) ใช้ค่าตามโมเดลของ GRS 80° และสมการ (12) เป็นการคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่งบนโลก ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาภาษา VBA โดยการประยุกต์ใช้สมการ (12) ในการคำนวณหาระยะทางระหว่างตำแหน่งทั้ง 77 ตำแหน่ง

การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมโดยภาษา VBA ใน Microsoft Excel

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อประยุกต์ใช้ภาษา VBA ในการคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่ง ซึ่งเป็นกุญแจสำคัญในการศึกษาเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ ดังนั้น เพื่อพัฒนาโปรแกรมที่สามารถคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่งได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ผู้วิจัยได้สร้างโค้ดรหัสเทียม (Pseudo code) ด้วยภาษา VBA ซึ่งเป็นภาษาที่ง่าย ไม่ซับซ้อน เมื่อเปรียบเทียบกับภาษาคอมพิวเตอร์อื่นๆ อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่น ทำให้สามารถทำงานหรือประมวลผลหาค่าตอบของปัญหาได้อย่างหลากหลายและมีประสิทธิภาพ โดยการพัฒนาโค้ดรหัสเทียม สามารถทำได้ในหน้าต่าง VBA ที่มีอยู่ใน Microsoft Excel ดังแสดงดัง Figure 2 (รายละเอียดโค้ดเทียมระบุในภาคผนวก) ซึ่งขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นเพื่อคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่งมีดังต่อไปนี้

1. คำนวณจำนวนตำแหน่งทั้งหมดที่ต้องการคำนวณระยะทาง
2. ตรวจสอบข้อมูลพิกัดละติจูดและลองจิจูดของตำแหน่งทั้งหมดว่าถูกต้องหรือไม่
3. รับข้อมูลพิกัดละติจูดและลองจิจูดของตำแหน่งที่ต้องการหาระยะทาง
4. คำนวณหาระยะทาง (หน่วยกิโลเมตร) โดยการแทนค่าลงในสมการ (12)
5. วงซ้ำข้อ 4) จนกว่าจะครบทุกตำแหน่งที่ต้องการหาระยะทางระหว่างตำแหน่ง

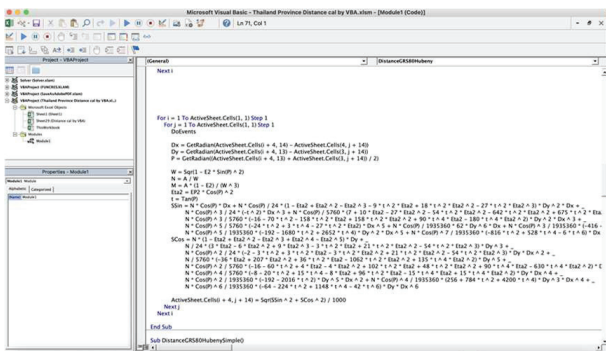


Figure 2 VBA program development for calculating distance

ทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของการประมวลผลของโปรแกรมคำนวณระยะทางที่ได้พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ในการประเมินความแม่นยำ

ของโปรแกรม ซึ่งค่า r เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของทั้ง 2 เหตุการณ์ กล่าวคือระยะทางที่ได้จากการหาด้วย Google map กับระยะทางที่คำนวณโดยโปรแกรมว่ามีความเกี่ยวข้องกันมากน้อยเพียงใด โดยที่ค่า r จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งยิ่งค่า r เข้าใกล้ 1 มากขึ้นเท่าใดความสัมพันธ์ของระยะทางที่คำนวณด้วยทั้ง 2 วิธีก็จะมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วค่า r ที่มากกว่า 0.95 (หรือ -0.95) จะเป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือสามารถสรุปได้ว่าระยะทางที่หาได้จากทั้ง 2 วิธีมีความสัมพันธ์กันมาก ซึ่งในการคำนวณค่า r สามารถคำนวณได้จากสมการ (13) (Jaisue, 2014)

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n (y_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \quad (13)$$

โดยที่

- r คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
- n คือ จำนวนของข้อมูลทั้งหมด
- x_i คือ ค่าของตัวแปร x ลำดับ i
- y_i คือ ค่าของตัวแปร y ลำดับ i

ผลการศึกษา

จากผลการศึกษา พบว่าโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นด้วยภาษา VBA สามารถคำนวณหาระยะทางระหว่าง 77 ตำแหน่ง (จังหวัด) ได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 37 วินาที ซึ่งผลการคำนวณแสดงใน Table 2 และจากสมการที่ (13) สามารถคำนวณค่า r ได้ดังนี้

$$r = \frac{(1.649 \times 10^{13}) - (1.166 \times 10^{13})}{\sqrt{\left[(1.277 \times 10^{13}) - (9.049 \times 10^{12}) \right] \times \left[(2.148 \times 10^{13}) - (1.501 \times 10^{13}) \right]}} = 0.98$$

จากผลการคำนวณค่า r ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจาก Google map กับระยะทางที่คำนวณด้วยโปรแกรม จะเห็นว่าค่า r มีค่าเท่ากับ 0.98 ซึ่งเป็นค่าที่เข้าใกล้ 1 เป็นอย่างมาก และนอกจากนี้แล้วเมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) จะพบความผิดพลาดอยู่ที่ร้อยละ 28 (จากข้อมูลทั้งหมด 5929 ข้อมูล) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าระยะทางที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ (12) ซึ่งมีการประมวลผลคำนวณระยะทางด้วยการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางโลกในแนวนอนและแนวตั้ง ค่าความเยื้องศูนย์กลางลำดับที่ 1 และลำดับที่ 2 เป็นต้น โดยผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมภาษา VBA ช่วยในการประมวลผลหาค่าตอบของระยะทางระหว่าง

ตำแหน่ง 77 ตำแหน่ง ตามสมการ (12) คำตอบของระยะทาง ด้วย Google map เป็นอย่างมาก ที่ได้ให้ค่าที่สัมพันธ์และใกล้เคียงกับระยะทางที่ได้จากการหา

Table 2 Matrix distance of Thailand 77 provinces calculated by VBA

Provinces	Coordinates / Distances (km)									
	La*	Lo**	(1)	(2)	(3)	...	(74)	(75)	(76)	(77)
Bangkok (1)	13.73	100.52	0	323	167	...	787	725	524	799
Kamphaeng Phet (2)	16.48	99.52	323	0	157	...	1092	1036	813	1116
Chainat (3)	15.19	100.13	167	157	0	...	947	888	675	964
Nakhon Nayok (4)	14.21	101.21	91	310	160	...	848	781	597	848
Nakhon Pathom (5)	13.82	100.06	51	300	151	...	796	737	524	816
Nakhon Sawan (6)	15.69	100.12	222	108	56	...	1003	944	730	1020
Nonthaburi (7)	13.86	100.51	15	309	152	...	802	740	539	814
...
Pattani (69)	6.87	101.25	763	1080	928	...	134	78	329	36
Phang Nga (70)	8.44	98.52	625	896	766	...	264	270	117	370
Phatthalung (71)	7.62	100.07	678	983	837	...	110	77	188	179
Phuket (72)	7.98	98.36	678	949	820	...	241	264	166	359
Ranong (73)	9.95	98.61	467	729	602	...	402	378	119	479
Satun (74)	6.62	100.07	787	1092	947	...	0	86	290	134
Songkhla (75)	7.18	100.61	725	1036	888	...	86	0	260	102
Surat Thani (76)	9.14	99.32	524	813	675	...	290	260	0	359
Yala (77)	6.54	101.28	799	1116	964	...	134	102	359	0

สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษา

เพื่อศึกษาและหาแนวทางในการพัฒนา ปรับปรุง กระบวนการหรือกิจกรรมของโลจิสติกส์ การศึกษาเพื่อแก้ปัญหาและเสนอแนวทางลดต้นทุนด้านการขนส่งถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญอันดับต้นๆ ที่ผู้ประกอบการให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการในการคำนวณหาระยะทางของตำแหน่งการขนส่งวิธีใหม่ๆ ที่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยประมวลผล ทำให้ได้คำตอบที่แม่นยำมีประสิทธิภาพ และใช้ระยะเวลาไม่นาน เป็นวิธีการที่จำเป็นในการแก้ปัญหาและพัฒนาเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ ซึ่งผู้วิจัยได้ตระหนักเห็นความสำคัญในการเสนอวิธีการใหม่ๆ ในการคำนวณหาระยะทาง จึงได้ทำการศึกษาพัฒนาโปรแกรมคำนวณหาระยะทางระหว่างตำแหน่ง โดยการประยุกต์ใช้ภาษา VBA ใน Microsoft Excel จากผลการศึกษาพบว่า โปรแกรมสามารถคำนวณหาระยะทางของ 77 ตำแหน่ง (จังหวัด) ได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาประมวลผลเพียง 37 วินาที ซึ่งใช้เวลารวดเร็วกว่าวิธีการดั้งเดิมที่ใช้ Google map หาระยะทางที่ละจุด

ถึง 292 เท่า กล่าวคือ หากการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งมีจำนวนมากกว่า 77 ตำแหน่ง การประยุกต์ใช้โปรแกรม VBA ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นจะช่วยลดเวลาในการคำนวณหาระยะทางได้มากกว่า 292 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเดิมคือใช้ Google Map นอกจากนี้แล้ว ค่า r ของระยะทางที่ประมวลผลด้วยโปรแกรมให้ค่าที่เข้าใกล้ 1 และจากการคำนวณค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) พบว่าค่า MAPE อยู่ที่ร้อยละ 28 (จากข้อมูลสังเกตทั้งหมด 5929 ข้อมูล) ซึ่งเป็นค่าผิดพลาดที่ไม่ได้สูงมากนัก กล่าวคือ ค่าคำตอบของระยะทางที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมเป็นคำตอบที่มีค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้

ดังกล่าวข้างต้น โปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นถึงแม้จะเป็นวิธีการหาคำตอบของระยะทางที่ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดหรือแม่นยำเท่าที่ควร แต่เป็นวิธีที่ได้คำตอบที่ใกล้เคียงและยอมรับได้ นอกจากนี้แล้วยังสามารถประมวลผลหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นโปรแกรมที่ผู้วิจัย

ได้พัฒนาขึ้นเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณหาระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่งที่มีจำนวนมากๆ (เช่น ผู้ที่ทำวิจัยเกี่ยวกับการขนส่งหรือโลจิสติกส์ นักวางแผนด้านการจัดการเดินรถขนส่งของบริษัทขนส่ง เป็นต้น) เพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่ไม่จำเป็น และเพื่อให้การหาระยะทางระหว่าง 2 ตำแหน่งมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ผู้วิจัยเสนอให้มีการใช้ร่วมกับ Google Map จะทำให้ได้ระยะทางที่แม่นยำและรวดเร็วขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Amano Spatial Technologies Institute. (2015). *Enjoy time & map apps create by ASTI*. <https://amano-tec.com/apps/paceruler.html>
- Hubeny, K. (1959). Weiterentwicklung der Gauss'schen Mittelbreitenformeln. *Z.Vermess*, 84, 159-163.
- Jaisue, N. (2014). *Factors related to the successful sufficiency economy village*. [Master Thesis, Dhurakijpundit University]. Dhurakijpundit University
- Piyachayawat, T., Mungwattana, A. & Supithak, W. (2017). An evolutionary algorithm for solving the multi-size pallet loading problem in a lamps and lighting factory: A case study. *Thai Journal of Operations Research*, 5(1), 48-59.
- Sala-Ngam, S., Sato, T., Karasawa, Y., Toyotani, J., Wakabayashi, K. (2016). A basic research on optimization of site selection for global hub network system. *The Japan Society of Logistics System*, 15(1), 85-120.
- Thumrongvut, P. (2017). *The development for sequencing production using visual basic for application (VBA) on Microsoft excel*. Suranaree University of Technology.

การพัฒนาเทคโนโลยีความจริงผสมสำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยวชุมชน ตำบล บึงหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

The development of mixed reality for promoting community tourist routes, Bung Wai Sub-district, Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani Province

ภัทรา สวนโสภณเชือก¹ และ มริษา สูดุดอม^{2*}

Pattra Suansokchuek¹ and Marisa Sududom^{2*}

Received: 15 November 2022 ; Revised: 23 January 2023 ; Accepted: 2 March 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาเทคโนโลยีโลกเสมือนผสมโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยว 2) ช่วยส่งเสริมการประชาสัมพันธ์และให้ความรู้เชิงวัฒนธรรมของวิถีชุมชน การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การรวบรวมข้อมูลชุมชน การพัฒนาแอปพลิเคชัน การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ และการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ประชาชนในชุมชนและนักท่องเที่ยวในตำบลบึงหวาย จำนวน 120 คน ใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) แอปพลิเคชัน AR BungWaiTravel 2) แบบประเมินความเหมาะสมของแอปพลิเคชัน 3) แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชัน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า จากการพัฒนาแอปพลิเคชัน AR BungWaiTravel ได้ผลลัพธ์ 4 ส่วน ดังนี้ 1) แผ่นพับประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวบึงหวาย ประกอบไปด้วยแหล่งท่องเที่ยว 7 แห่ง และข้อมูลผลิตภัณฑ์ของตำบลบึงหวาย 2) สื่อมีเดียแหล่งท่องเที่ยวและโมเดล 3 มิติ ผลิตภัณฑ์เครื่องจักรสาน 3) คิวอาร์โค้ดตำแหน่งแหล่งท่องเที่ยวผ่านระบบนำทาง Google Map 4) แอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ชื่อ AR BungWaiTravel ผลการประเมินความเหมาะสมของแอปพลิเคชันจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ผลการประเมินความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก และ 2) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันสำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยวชุมชนโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: เทคโนโลยีเสมือนจริง การท่องเที่ยวชุมชน แอปพลิเคชัน

Abstract

The aim of study is to -1) develop an augmented reality for promoting tourism routes, and 2) promote and publish knowledge of the culture of the local community's way of life. The research was divided into four stages: collecting community data, application development, tool performance testing, and the transfer of knowledge to the community. The sample group consisted of local community people and tourists (120 people) in Bung Wai Sub-district, using a purposive sampling method. The research tools consisted of -1) the AR BungWaiTravel application, 2) the application suitability assessment of experts, and 3) evaluation of user satisfaction with the application. The statistics used in the research were mean and standard deviation.

The result of the research consisted of 4 parts.-1) A broadsheet promoting Bung Wai tourist attractions consisting of 7 attractions and product information of Bung Wai Sub-district. 2) Media attraction and 3D models of wickerwork products. 3) QR code of attraction locations via Google Map navigation system. 4) Applications on the system an Android operation called AR BungWaiTravel. The evaluation of the suitability of the experts found that the

¹ อาจารย์ ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34000

¹ Lecturer, Department of Information Technology, Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani 34000

* Corresponding author: Marisa.s@ubru.ac.th

overall suitability assessment was at a very good level, and 2) the overall satisfaction assessment of the application users for promoting community tourism routes was at a high level.

Keywords: Augmented reality, community tourism, application

บทนำ

แผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2560-2564) มีนโยบายการขับเคลื่อนการพัฒนาอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวของไทยอย่างมีนัยสำคัญ โดยส่งเสริมให้มีการใช้เทคโนโลยีในการเติมเต็มและสร้างประสบการณ์ให้ความสำคัญกับความรู้เชิงลึกของแหล่งท่องเที่ยวต่างๆ ซึ่งปัจจุบันนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการแสวงหาประสบการณ์ที่มากกว่าการท่องเที่ยวรูปแบบเดิม ผ่านการสัมผัสวิถีชีวิตผู้คนและประเพณีท้องถิ่นโดยแท้จริงมากกว่าการเยี่ยมชมสถานที่ท่องเที่ยวเพียงอย่างเดียว (The Ministry of Tourism and Sports Thailand, 2017) จากนโยบายที่กล่าวนี้ได้ถูกนำไปกระตุ้นให้แต่ละท้องถิ่น แต่ละชุมชนมีการจัดกิจกรรมการท่องเที่ยว ที่หยิบยกเอาจุดเด่นที่น่าสนใจของแต่ละท้องถิ่น ออกมานำเสนอให้เห็นถึงแก่นของวัฒนธรรมในชุมชน โดยมีหน่วยงานภาครัฐ เอกชน และความร่วมมือของชุมชนในการจัดกิจกรรมเหล่านี้ขึ้น

ชื่อของตำบลบุ่งห้วยนั้นมาจากที่ตั้งตำบลมีแหล่งน้ำลักษณะเป็น “แอ่ง” ชาวบ้านจะเรียกว่า “บุง” และมีต้นหวายขนาดเล็กขึ้นอยู่ตามแหล่งน้ำจำนวนมาก จึงตั้งชื่อหมู่บ้านว่า “บ้านบุ่งห้วย” และ “ตำบลบุ่งห้วย” มาจนปัจจุบัน ชุมชนบ้านบุ่งห้วยก่อตั้งมาประมาณ 200 กว่าปี ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นที่ราบติดกับแม่น้ำมูล มีแหล่งน้ำผิวดินหลายแห่ง เป็นแหล่งน้ำต้นเขิน ป่าไม้มีสภาพสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์เด่นของตำบล ได้แก่ ต้นหอม (หอมแบ่ง) ผลิตภัณฑ์ไม้กวาดทางมะพร้าว ผลิตภัณฑ์ไม้กวาดเสี้ยนตาล เพอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ ไข่บัวบก สถานที่สำคัญและแหล่งท่องเที่ยวในตำบล วัดบ้านนาชาติ ศูนย์อนุรักษ์ควายไทยตำบลบุ่งห้วย กระบือเผือก (ควายดอน) สะพานข้ามทุ่ง (ข้าวฮักข้าวแพง) สามัคคีตำบลบุ่งห้วย สถานีรถไฟบุ่งห้วย หาดท่าโฮง (หาดบ้านวังยาง) (Bungwai Subdistrict Administrative Organization, 2022) จากความพร้อมเหล่านี้องค์การบริหารส่วนตำบลบุ่งห้วย มีกิจกรรมการจัดเส้นทางท่องเที่ยวในตำบล ซึ่งมีแหล่งเรียนรู้ทางวัฒนธรรม วิถีชีวิตที่มีความน่าสนใจ รูปแบบของการท่องเที่ยวที่จัดขึ้นเป็นการจัดกิจกรรมการนำเสนอสินค้า และการจัดกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับพุทธศาสนาตามเทศกาล ซึ่งได้เคยจัดเส้นทางธรรมนำวิถีพ้อเพียงบ้านบุ่งห้วย หรือกิจกรรมบุ่งห้วยต้องเที่ยว ณ หาดท่าโฮง แม่น้ำสองสีที่มีเอกลักษณ์ และกิจกรรมข้าวฮัก ข้าวแพง ข้าวน้อยสามัคคี เป็นต้น ถือได้ว่าเป็นมนต์เสน่ห์อย่างหนึ่งที่เมื่อผู้ใดได้เข้ามาเยี่ยมชม

และสัมผัสแล้วมักจะหลงใหลในเสน่ห์ของวิถีชุมชนเหล่านี้ ซึ่งได้รับการตอบรับอย่างดี จากกิจกรรมที่เกิดขึ้นหากต้องการให้เป็นชุมชนที่มีการพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน จำเป็นต้องทำให้ชุมชนเหล่านั้นเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย ดึงดูดให้มีผู้คนเข้ามาท่องเที่ยวสัมผัสบรรยากาศจริง และมีความแปลกใหม่ประทับใจ ผู้ที่เข้ามาท่องเที่ยว การนำเสนอเทคโนโลยีการสื่อสารที่ก้าวหน้า และทันสมัยในปัจจุบันมาใช้ร่วมกับการนำเสนอข้อมูลของชุมชนในรูปแบบที่แปลกใหม่ จะช่วยสร้างประสบการณ์ให้แก่ผู้ที่เข้ามาท่องเที่ยวได้เป็นอย่างดี เทคโนโลยีที่เป็นที่สนใจและสามารถเข้าถึงกลุ่มนักท่องเที่ยวได้อย่างรวดเร็วและใช้งานง่ายในปัจจุบันได้แก่เทคโนโลยีความจริงเสริม (augmented reality)

เทคโนโลยีความจริงเสริม (augmented reality) หรือ AR เป็นเทคโนโลยีดิจิทัลซึ่งเปลี่ยนแปลงการรับรู้ของบุคคลต่อสภาพแวดล้อมทางกายภาพเมื่อดูผ่านอุปกรณ์เฉพาะ เทคโนโลยีมีความคล้ายคลึงกันกับความเป็นจริงเสมือน แต่ AR ไม่ได้แทนที่สภาพแวดล้อมในโลกแห่งความเป็นจริง หากแต่เสริมด้วยการซ้อนทับองค์ประกอบดิจิทัล โดยทั่วไปแล้ว AR จะสร้างประสบการณ์ผ่านสมาร์ตโฟน แท็บเล็ต หรืออุปกรณ์ที่คล้ายคลึงกัน เป็นผลให้มีราคาไม่แพงสำหรับผู้บริโภคมากกว่าชุดหูฟังหรืออุปกรณ์ที่เปิดใช้งาน Virtual Reality ส่วนใหญ่ ในหลายกรณี AR ยังทำงานควบคู่ไปกับเทคโนโลยีมือถืออื่นๆ รวมถึงกล้องและการติดตามด้วย GPS (Revíne, 2022) เทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงเป็นเทคโนโลยีรูปแบบหนึ่งที่สามารถให้ข้อมูลในรูปแบบที่แปลกใหม่ สามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบมีเดีย วีดีโอ ภาพ 2 มิติ รวมไปถึงภาพ 3 มิติ เป็นต้น ผ่านการใช้งานแอปพลิเคชันที่เชื่อมต่อข้อมูล สร้างประสบการณ์เกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว เรื่องราว ต้นแบบ ตัวอย่างสินค้าให้แก่ชุมชนผ่านสื่อกลางได้เป็นอย่างดี อาทิ การให้ข้อมูลเกี่ยวกับประวัติศาสตร์ของสถานที่ ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ในชุมชนในรูปแบบโมเดล 3 มิติ เป็นต้น

จากแนวโน้มของเทคโนโลยีเสมือนจริงที่ถูกนำมาใช้แพร่หลายนี้เป็นผลให้มีการนำมาใช้ส่งเสริมการท่องเที่ยวในแบบใหม่ และยังมีการศึกษาองค์ประกอบที่จะทำให้ผู้ใช้เทคโนโลยีเสมือนจริงได้รับประสบการณ์ท่องเที่ยวรูปแบบใหม่ อาทิ การทดสอบเครื่องมือและองค์ประกอบที่จะสร้างความสนุกให้แก่การใช้ AR สำหรับการท่องเที่ยว ระบุว่า AR กำลังได้รับการพัฒนาให้เป็นส่วนหนึ่งของการท่องเที่ยวอัจฉริยะ เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับจุดหมายปลายทางและสถานที่ท่องเที่ยว

และกำลังแสดงศักยภาพในการเป็นบริการด้านการท่องเที่ยวรูปแบบใหม่ (Chung *et al.*, 2015) ในบริบทของการท่องเที่ยว โดยทั่วไปแล้วผู้เยี่ยมชมมีความรู้เกี่ยวกับจุดหมายปลายทางที่จำกัด ระบบ AR ช่วยให้นักเดินทางสามารถเพิ่มความตระหนักรู้ทางสังคมเกี่ยวกับบริบทและสถานที่ที่ไม่คุ้นเคยได้ AR ช่วยให้นักเดินทางมีประสบการณ์การเดินทางแบบโต้ตอบ หลากหลาย และเป็นส่วนตัว และมีการปรับปรุงผลลัพธ์การเดินทางของพวกเขา (Chung *et al.*, 2015; Jung *et al.*, 2015)

จากความสำเร็จดังกล่าวนี้ผู้วิจัยได้นำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นสื่อ AR สำหรับส่งเสริมการท่องเที่ยวให้กับตำบลบุงหวาย เพื่อให้นักท่องเที่ยวรู้จักสถานที่สำคัญของชุมชนประกอบด้วย วัดบ้านนาชาติ หาดท่าโสม (หาดบ้านวังยาง) แม่น้ำสองสี ศูนย์อนุรักษ์ควายไทย หอดูดาวออบลาวธาณี สะพานข้าวทุ่ง (ข้าวอักษั้วแพง) สถานีรถไฟบุงหวาย แหล่งท่องเที่ยวเชิงหัตถกรรม เครื่องจักรสานที่เป็นสินค้าขึ้นชื่อของชุมชนบุงหวาย โดยการนำเอาเทคโนโลยีโลกเสมือนผสานโลกแห่งความจริง มาสร้างเป็นแอปพลิเคชันเพื่อใช้เป็นสื่อประชาสัมพันธ์ให้แก่นักท่องเที่ยวเพื่อเพิ่มความน่าสนใจพร้อมทั้งรวบรวมแผนที่ ตำแหน่งของสถานที่ท่องเที่ยวต่างๆ ในตำบลบุงหวาย โดยนักท่องเที่ยวจะได้เห็นภาพเสมือนจริง แบบจำลองโมเดล 3 มิติ และระบบแผนที่นำทาง ผ่านการใช้งานแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีโลกเสมือนผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยวชุมชนตำบลบุงหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี
2. เพื่อช่วยส่งเสริมการประชาสัมพันธ์ และให้ความรู้เชิงวัฒนธรรมของวิถีชุมชนของตำบลบุงหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การท่องเที่ยวโดยชุมชน

1. แนวคิดการท่องเที่ยวโดยชุมชน (community-based tourism: CBT) เป็นรูปแบบการท่องเที่ยวที่มีลักษณะเฉพาะตัว แตกต่างอย่างสิ้นเชิงจากการท่องเที่ยวโดยทั่วไป ซึ่งผู้ที่จะนำแนวคิดนี้ไปปฏิบัติควรต้องทำความเข้าใจถึงเบื้องหลัง ความหมาย ความคิด หลักการ และองค์ประกอบที่สำคัญของการท่องเที่ยวโดยชุมชน

2. ความหมายของการท่องเที่ยวโดยชุมชน

การนำเสนอการท่องเที่ยวอันเป็นทางเลือกใหม่ที่มีชื่อเรียกอย่างหลากหลายเช่น green tourism, bio tourism, sustainable tourism, conservation tourism, responsible

tourism และการจัดการท่องเที่ยวที่นิยมและแพร่หลายที่สุดในเวลานี้และมีนัยยะเชิงความหมายที่เข้าใกล้กับการท่องเที่ยวโดยชุมชนมากที่สุด คือ การท่องเที่ยวเชิงนิเวศ (ecotourism) และบางครั้งอาจเรียกว่า การท่องเที่ยวเชิงนิเวศโดยชุมชน (community-based ecotourism)

Sarobol (2003) ได้กล่าวถึง การท่องเที่ยวชุมชนว่า หมายถึง การท่องเที่ยวที่ชุมชนเป็นผู้ดำเนินการ ตั้งอยู่บนฐานคิดที่ว่าชาวบ้านทุกคนเป็นเจ้าของทรัพยากรและเป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากการท่องเที่ยวนำเอาทรัพยากรท่องเที่ยวที่มีอยู่ในท้องถิ่นทั้งด้านธรรมชาติ ประวัติศาสตร์ วัฒนธรรม ประเพณี รวมทั้ง วิถีชีวิตความเป็นอยู่และวิถีการผลิตของชุมชน มาใช้เป็นปัจจัยหรือต้นทุนสำคัญในการจัดการ การท่องเที่ยวอย่างเหมาะสม เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อท้องถิ่นทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม รวมทั้งมีการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืนไปถึงคนรุ่นลูกหลาน

เทคโนโลยีเสมือนจริง (augmented reality: AR)

AR เริ่มต้นในสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 เป็นการนำเสนอให้เห็นในรูปแบบของความเป็นจริงผสมรวมกับสภาพแวดล้อมที่เสมือนจริง ซึ่งความหมายโดยรวมคือการรวมของจริงและวัตถุเสมือนประกอบกันที่ปรากฏในสภาพแวดล้อมเดียว มีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ประสบการณ์ใหม่ของการได้รับข้อมูลเป็นแบบบูรณาการสามารถมีส่วนร่วมแบบเรียลไทม์ ทำให้ผู้คนสามารถใช้ประสาทสัมผัสและทักษะของตนเองด้วยความสามารถของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Park & Stangl, 2020).

AR คือเทคนิคการแทนที่วัตถุในโลกแห่งความเป็นจริงด้วยรูปภาพ วิดีโอ หรือวัตถุ 3 มิติ และแสดงผลผ่านฮาร์ดแวร์และอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่รองรับเทคโนโลยี augmented reality เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาและนำมาใช้ในงานด้านต่างๆ และเริ่มมีความนิยมเพิ่มมากยิ่งขึ้นเพราะปัจจุบันสามารถพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนที่อย่างโทรศัพท์มือถือ smart phone และ tablet ไปอย่างก้าวกระโดดทำให้เทคโนโลยี augmented reality เป็นที่แพร่หลายและเข้ามาเกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตประจำวันของผู้คนได้อย่างรวดเร็ว หลักการทำงานของเทคโนโลยี augmented Reality มีการประสานงานกันระหว่างฮาร์ดแวร์ เช่น กล้องถ่ายรูป เข็มทิศ GPS และ accelerometer จากนั้นข้อมูลจะถูกนำมาประมวลผลในส่วน ของซอฟต์แวร์ และฐานข้อมูลเพื่อเรนเดอร์ ภาพเสมือนที่สร้างขึ้นต่อผู้ใช้งาน

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีโลกเสมือนผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยว

ชุมชนตำบลบึงหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี มีส่วนประกอบของสื่อหลายส่วน และมีการเลือกใช้โปรแกรมที่แตกต่างกันตามลักษณะของงาน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 การสร้างสื่อประชาสัมพันธ์เพื่อใช้เป็นสื่อสิ่งพิมพ์ สำหรับให้ข้อมูลเบื้องต้นแก่ผู้ที่ใช้งาน ใช้วิธีการออกแบบกราฟิกในรูปแบบอินโฟกราฟิก ด้วยโปรแกรม Adobe Illustrator

1.2 การสร้างสื่อ 3 มิติ เพื่อใช้ในกระบวนการนำเสนอผลิตภัณฑ์ของแหล่งท่องเที่ยว สำหรับนำไปทำเป็นเทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางการท่องเที่ยวชุมชนตำบลบึงหวาย ด้วยโปรแกรม Maya และโปรแกรม ZBrush

1.3 การจัดทำสื่อมีเดีย เช่น วีดีโอ สถานที่ท่องเที่ยวในรูปแบบมีเดีย เพื่อนำเสนอรายละเอียดของสถานที่ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อนักท่องเที่ยวและผู้ใช้งาน ด้วยโปรแกรม Adobe Premier

1.4 การพัฒนาแอปพลิเคชัน AR เป็นไฟล์สำหรับติดตั้งบนสมาร์ตโฟน BungWaiTravel.apk

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.1 แบบประเมินความเหมาะสมสื่อเทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางการท่องเที่ยวชุมชนตำบลบึงหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านการพัฒนามีเดียการท่องเที่ยว และเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 5 คน

2.2 แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้เทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางการท่องเที่ยวชุมชนตำบลบึงหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย ประชากรในชุมชนตำบลบึงหวาย จำนวน 20 หมู่บ้าน และนักท่องเที่ยวที่มามีเยี่ยมชมตำบลบึงหวาย

2. กลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย ชาวบ้านในชุมชนตำบลบึงหวายและนักท่องเที่ยวที่มาท่องเที่ยวในตำบลบึงหวาย คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจำนวน 120 คน ตามเกณฑ์ที่กำหนด ใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามที่เตรียมไว้ ลงพื้นที่ชุมชนในช่วงเดือน ตุลาคม-ธันวาคม 2565

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางการ

การท่องเที่ยวชุมชนบนสื่อประชาสัมพันธ์เพื่อการสร้างรายได้สู่ชุมชน ตำบลบึงหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี มีการดำเนินการออกเป็น 4 ขั้นตอนได้แก่

1. ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลชุมชนบึงหวายมีแหล่งเรียนรู้เชิงวัฒนธรรม ธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์พื้นถิ่นของชุมชน เพื่อให้การจัดทำสื่อเทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางการท่องเที่ยวชุมชนมีความถูกต้อง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 การประสานงานกับนักวิจัยชุมชนเพื่อหาความร่วมมือในการสำรวจและเก็บข้อมูลในชุมชน รวมถึงการกำหนดพื้นที่ที่ต้องการส่งเสริมพัฒนาสื่อประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างรายได้สู่ชุมชน โดยทีมวิจัยได้ทำการสำรวจพื้นที่และบันทึกตำแหน่งสถานที่ท่องเที่ยวผ่านการระบุตำแหน่งด้วยแอปพลิเคชัน Google Map เพื่อนำข้อมูลมาจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ในรูปแบบโปสเตอร์การท่องเที่ยวขนาด A4

1.2 การรวบรวมข้อมูลแหล่งวัฒนธรรม ธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์ของชุมชน ประกอบด้วยสถานที่สำคัญ 7 แห่ง ที่องค์การบริหารส่วนตำบลบึงหวายมีการส่งเสริมการท่องเที่ยวชุมชน ได้แก่

- 1) วัดป่านานาชาติ
- 2) สถานีรถไฟบึงหวาย
- 3) ศูนย์อนุรักษ์ควายไทย
- 4) ชุมชกสถานอุบลราชธานี
- 5) สะพานข้ามทุ่ง (ข้าวฮักข้าวแพง)
- 6) หาดท่าโฮง (หาดบ้านวังยาง) แม่น้ำสองสี
- 7) แหล่งท่องเที่ยวเชิงหัตถกรรมเครื่องจักสาน

1.3 การตรวจสอบข้อมูลร่วมกับนักวิจัยชุมชนก่อนนำไปสู่ขั้นตอนการพัฒนาสื่อ และแอปพลิเคชันสำหรับสื่อเทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางการท่องเที่ยวชุมชน

2. การพัฒนาแอปพลิเคชัน เพื่อนำเสนอข้อมูลรูปแบบเทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงที่สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และการสร้างโมเดล 3 มิติ รวมไปถึงข้อมูลมีเดียที่เกี่ยวข้องกับแต่ละสถานที่ แต่ละผลิตภัณฑ์ในตำบลบึงหวาย

3. การประเมินการพัฒนาสื่อเทคโนโลยีเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางการท่องเที่ยวตำบลบึงหวาย ประกอบด้วย

3.1 การประเมินความเหมาะสมสื่อเทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางการท่องเที่ยวชุมชนตำบลบึงหวาย อำเภอวารินชำราบ

จังหวัดอุบลราชธานี โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านการพัฒนามีเดีย การท่องเที่ยว และเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 5 คน

3.2 การประเมินความพึงพอใจในการใช้เทคโนโลยี โลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทาง การท่องเที่ยวชุมชนตำบลบุงหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

3.3 สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์ การประเมิน ดังนี้

4.50-5.00 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ใน ระดับมากที่สุด

3.50-4.49 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ใน ระดับมาก

2.50-3.49 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ใน ระดับปานกลาง

1.50-2.49 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ใน ระดับน้อย

1.00-1.49 หมายความว่า มีความพึงพอใจอยู่ใน ระดับน้อยที่สุด

ทั้งนี้ในการวิจัย ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์ว่า ความ พึงพอใจของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นซึ่งสามารถนำไปใช้งาน ได้ นั้น ต้องอยู่ในระดับมากขึ้นไปและควรมีค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานไม่เกิน 1.00

4. การถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชนบนสื่ออินเทอร์เน็ต ผ่านเว็บไซต์ประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวตำบลบุงหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการพัฒนาเทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่ง ความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยว

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาสื่อเทคโนโลยีโลกเสมือน ผสมผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยว กรณีสึกษา ตำบลบุงหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัด อุบลราชธานี ผลการพัฒนาสื่อแสดงดังรูปต่อไปนี้

1. ไปสเตอร์สำหรับการประชาสัมพันธ์ข้อมูลการท่องเที่ยวบุงหวาย ทั้ง 7 สถานที่ ใช้เป็น Marker สำหรับเทคโนโลยี เสมือนจริง ประกอบด้วยรูปแผนที่ สัญลักษณ์ภาพ และ QR Code สำหรับระบุพิกัดตำแหน่งแหล่งท่องเที่ยวแต่ละแห่ง บนไปสเตอร์ประชาสัมพันธ์



Figure 1 AR travel map in front of Bung Wai



Figure 2 AR travel map Bung Wai on the back

2. โปรแกรมสำหรับส่องภาพไปสเตอร์เพื่อแสดง ข้อมูล และรายละเอียดแหล่งท่องเที่ยวแต่ละแห่ง

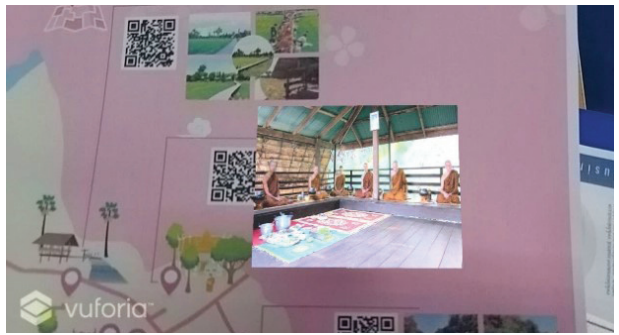


Figure 3 shows media results through the use of the application



Figure 4 3D virtual reality model of an albino buffalo



Figure 5 3D virtual model of a weaving machine

3. QR Code สำหรับนำทางไปยังสถานที่ท่องเที่ยว
ในตำบลบึงหวาย แสดงผลด้วย Google Map

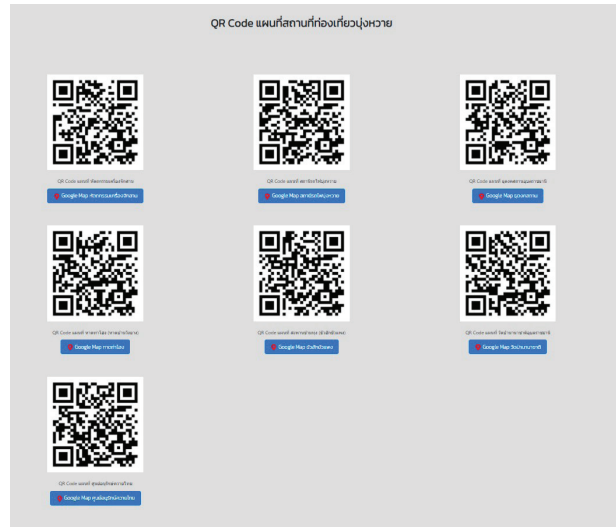


Figure 6 QR code for navigation system to tourist attractions in Bung Wai Subdistrict

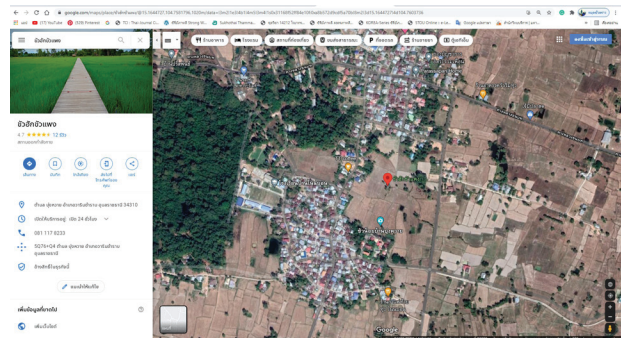


Figure 7 An example of the QR code scanning result to use the navigation system to travel to a tourist destination

ผลการประเมินความเหมาะสมของแอปพลิเคชันเทคโนโลยีเสมือนผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางการท่องเที่ยวจากผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินผลจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่ได้ทดลองใช้สื่อเทคโนโลยีเสมือนผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางการท่องเที่ยว จำนวน 5 คน การประเมินประกอบด้วย 3 ด้าน ต่อไปนี้ 1) ด้านการทำงานตามฟังก์ชัน (Function Test) 2) ด้านประสิทธิภาพการทำงาน (Performance Test) 3) ด้านการใช้งาน (Usability Test) พบว่ามีผลการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (\bar{x} =4.60, S.D.=0.19) โดยด้านการใช้งานมีผลการประเมินอยู่ในระดับมากที่สุด (\bar{x} =4.70, S.D.=0.21) ด้านประสิทธิภาพการทำงานมีผลการประเมินอยู่ในระดับมากที่สุด (\bar{x} =4.64, S.D.=0.24) และด้านการทำงานตามฟังก์ชันผลการประเมินอยู่ในระดับมาก (\bar{x} =4.46, S.D.=0.13) ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 1

Table 1 The Evaluation results of the application of virtual technology integrated with the real world for promoting tourism routes from experts

Assessment item	\bar{x}	S.D.	Scale
Function Test			
1. The ability to use a mobile phone to scan images.	4.60	0.80	Excellent
2. The ability to display content	4.20	0.75	Very Good
3. The ability to get directions to the displayed attraction.	4.60	0.49	Excellent
Total	4.46	0.13	Very Good
Performance Test			
1. Show the results of tourist attractions correctly.	4.80	0.40	Excellent
2. The accuracy of the content and audio commentary	5.00	0.00	Excellent
3. The authenticity of the media that appears on the sites viewed	4.60	0.49	Excellent
4. The speed of displaying the media of the attraction that appears	4.20	0.75	Very Good
5. Getting directions to tourist attractions is correct.	4.60	0.49	Excellent
Total	4.64	0.24	Excellent
Usability Test			
1. Ease of use of the application	4.60	0.49	Excellent
2. Appropriateness of media for tourist attractions	4.60	0.49	Excellent
3. Appropriateness of tourist attraction route information display	5.00	0.00	Excellent
4. Uniformity in media design	4.60	0.49	Excellent
Total	4.70	0.21	Excellent
Overall assessment results	4.60	0.19	Excellent

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันเทคโนโลยีเสมือนสามโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยวจากผู้ใช้งาน

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันเทคโนโลยีเสมือนสามโลกแห่งความจริง กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ประชาชนในชุมชนตำบลบึงหวาย และนักท่องเที่ยวที่อยู่ในพื้นที่ตำบลบึงหวาย จำนวน 120 คน ประกอบไปด้วยรายการประเมิน 10 ข้อ

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันเทคโนโลยีเสมือนสามโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยวจากผู้ใช้งาน จำนวน 120 คน โดยรวมทั้ง

10 ข้อ พบว่าโดยรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก ($\bar{x}=4.23$, S.D.=0.59) ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 อันดับแรก คือ แอปพลิเคชันเสมือนจริงของแหล่งท่องเที่ยว ตำบลบึงหวาย (AR BungWai) มีความแปลกใหม่และทันสมัย อยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{x}=4.87$, S.D.= 0.43) รองลงมา คือ แอปพลิเคชันเสมือนจริงของตำบลบึงหวายทำให้ท่านต้องการไปเยี่ยมชมสถานที่จริง อยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{x}=4.60$, S.D.=0.49) และสื่อประชาสัมพันธ์ (โบว์ชัวร์) แหล่งท่องเที่ยว มีความสวยงามอยู่ในระดับพึงพอใจมาก ($\bar{x}=4.40$, S.D.=0.49) ผลประเมินตามลำดับ ดังแสดงใน Table 2

Table 2 The Evaluation results of user satisfaction with the application of virtual technology integrated with the real world for promoting tourism routes from users

Assessment item	\bar{x}	S.D.	Scale
1. Public relations media (brochures) tourist attractions are beautiful.	4.40	0.49	Very Good
2. The information on the press release is complete. Meet the requirements.	3.80	0.75	Very Good
3. Public relations media and applications are beneficial to tourists.	3.90	0.79	Very Good
4. GPS location in public relations media helps you travel accurately.	4.00	0.77	Very Good
5. Installing the program ARBungWaiTravel It is convenient to use.	4.23	0.76	Very Good
6. The virtual application of the tourist attraction in Bung Wai Subdistrict (AR BungWai) is novel and modern.	4.87	0.43	Excellent
7. The virtual application of Bung Wai Subdistrict makes you feel close to tourist attractions	4.00	0.37	Very Good
8. The virtual application of Bung Wai Subdistrict makes you want to visit the real place.	4.60	0.49	Excellent
9. It is useful to present tourism in Bung Wai Subdistrict with a virtual application.	4.17	0.45	Very Good
10. Overall satisfaction with application usage and GPS location	4.37	0.60	Very Good
Overall assessment results	4.23	0.59	Very Good

การถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชนเพื่อช่วยส่งเสริมการประชาสัมพันธ์ และให้ความรู้เชิงวัฒนธรรมของวิถีชุมชน

มีการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชนบนสื่ออินเทอร์เน็ตผ่านเว็บไซต์ประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยว ผู้ที่สนใจรายละเอียดสามารถเข้าชมเว็บไซต์ประชาสัมพันธ์ ดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรม AR บนโทรศัพท์สมาร์โฟนในชื่อไฟล์ BungWaiTravel ที่ URL:<https://bungwai.netlify.app/> โดยสามารถดูได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ และโทรศัพท์สมาร์โฟนบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

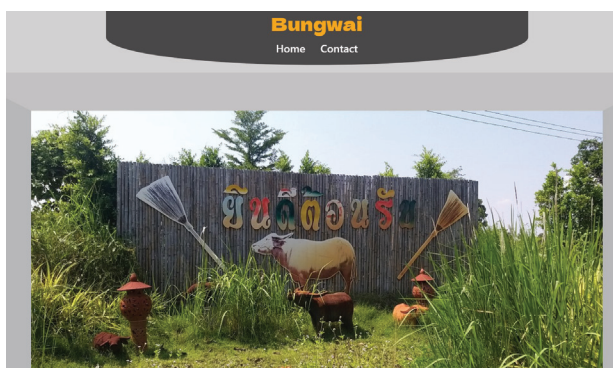


Figure 8 Example of tourist information services website of Bung Wai Subdistrict

อภิปรายผลและสรุป

การพัฒนาเทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยวชุมชน ตำบลบึงหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานีได้ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. ผลการพัฒนาเทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงสำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยวชุมชน ตำบลบึงหวาย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี มีการใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน BungWaiTravel.apk แสดงผลด้วยโปรแกรม Unity ซึ่งภายในสื่อประชาสัมพันธ์ ประกอบด้วย แผนที่ของตำบลบึงหวาย ที่ตั้งแหล่งท่องเที่ยวจุดต่างๆ ที่สามารถใช้ระบบนำทางจาก google map application ข้อมูลความรู้ และ QR Code เครื่องจักรสานในรูปแบบ 3 มิติ โดยมีผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้แอปพลิเคชันในภาพรวมอยู่ในระดับมาก เนื่องจากเห็นว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีความแปลกใหม่ เมื่อใช้แล้วทำให้อยากไปพบเห็นสถานที่จริง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yonggulwanich (2018) ได้พัฒนาเอกสารแนะนำการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมแบบเสมือนจริงหมู่บ้านปลาข้าว จังหวัดอำนาจเจริญ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rattanawongsa *et al.* (2020) ได้พัฒนาแผนที่ท่องเที่ยวแบบความจริงเสมือน ทัศนศึกษา อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ได้ทำแผนที่ท่องเที่ยวในรูปแบบแผนที่ขนาด A3 ที่สามารถนำไปใช้งาน ประกอบด้วย ที่ตั้ง เส้นทาง รูปภาพ

และสื่อวีดีโอ เพื่อแก่นักท่องเที่ยวในจุดต่างๆ สามารถใช้ในการประชาสัมพันธ์ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวภายในอำเภอหัวหิน เกิดความสะดวกในการค้นหาและเข้าถึงข้อมูลของแต่ละสถานที่ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nithiyuwit and Kamtapol (2019) ได้พัฒนาแอปพลิเคชันการส่งเสริมการท่องเที่ยว 6 ของที่ระลึกต้องซื้อในจังหวัดเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง เป็นการบอกเล่าเรื่องราวต่างๆ ของ 6 ของที่ต้องซื้อในจังหวัดเพชรบูรณ์ผ่าน Marker สำหรับใช้ส่องเพื่อแสดงวีดีโอในรูปแบบเทคโนโลยีเสมือนจริง ทำให้เกิดการส่งเสริมการท่องเที่ยวของจังหวัดเพชรบูรณ์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jareonrup (2017) ได้ทำวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้ความเป็นจริง เสริมในการนำเสนอข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวบนสมาร์ทโฟน กรณีศึกษาวัดพระแก้ว จังหวัดเชียงราย เป็นการนำเสนอข้อมูลความเป็นจริงเสริมจากหนังสือและจากสถานที่จริงเพื่อให้ นักท่องเที่ยวสามารถเข้าใจประวัติรวมถึงข้อมูลศาสนสถานภายในวัดพระแก้วเพิ่มมากขึ้น ได้สร้างแรงจูงใจเพิ่มช่องทางในการให้ข้อมูล และก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มด้านการท่องเที่ยว

2. ผลการส่งเสริมการประชาสัมพันธ์ และให้ความรู้เชิงวัฒนธรรมของวิถีชุมชน ได้สื่อประชาสัมพันธ์สำหรับส่งเสริมเส้นทางท่องเที่ยวชุมชนตำบลปุงหวย อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานีแบ่งเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ แผ่นโปสเตอร์ประชาสัมพันธ์ที่สามารถแจกให้แก่ผู้ที่เข้ามาท่องเที่ยวได้ใช้งาน และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ผ่านเว็บไซต์ URL: <https://bungwai.netlify.app/> ทำให้เกิดความสะดวก และผู้ใช้งานเห็นว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริง เกิดการใช้ประโยชน์ของชุมชน สร้างความพึงพอใจต่อการประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวผ่านรูปแบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์ สนับสนุนผลการวิจัยของ Kaewsanga et al. (2020) ด้านการใช้ประโยชน์และความพึงพอใจต่อการประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ผ่านเว็บไซต์เครือข่ายสังคมของนักท่องเที่ยว โดยสรุปให้เห็นว่านักท่องเที่ยวส่วนใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์เป็นอย่างดี และมีความพึงพอใจต่อเพจที่เข้าใช้เพราะมีความน่าสนใจ น่าเชื่อถือ และมีความต่อเนื่องในการนำเสนอ ในขณะที่เดียวกัน Bogomolov (2021) ได้กล่าวว่าเทคโนโลยีเสมือนจริงสามารถปรับปรุงประสบการณ์ของผู้คนด้วยแผนที่ ทำให้สะดวกขึ้น สามารถตอบความต้องการได้ว่า จะเดินทางไปได้อย่างไร และระบบนำทางจะนำผู้คนไปยังที่ที่พวกเขาต้องการ ลูกค้าน่าจะรู้สึกซาบซึ้งเมื่อได้ใช้วิธีการแบบโต้ตอบ ใช้งานสนุกและมีประโยชน์ในการนำทาง

ผลการดำเนินงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า การนำเสนอข้อมูลของสถานที่ท่องเที่ยวโดยเพิ่มความหลากหลาย และความน่าสนใจของข้อมูลที่มีด้วยการสร้างจินตภาพของสถานที่ท่องเที่ยวให้แก่นักท่องเที่ยวสามารถสร้างประสบการณ์ใหม่

ให้แก่นักท่องเที่ยว การใช้สื่อ AR สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวก อีกทั้ง ปัจจุบันผู้ใช้งานหรือนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ หรือเครือข่ายไร้สายได้อยู่แล้ว จึงสามารถช่วยให้การแสดงผลที่โต้ตอบได้ การนำเอาเทคโนโลยี AR มาใช้ส่งเสริมเศรษฐกิจการท่องเที่ยวชุมชนสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Dieck and Jung (2015) และผลงานวิจัยของ Chung et al. (2015) แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการนำเทคโนโลยี AR มาใช้ในการท่องเที่ยว กำลังได้รับการพัฒนาให้เป็นส่วนหนึ่งของการท่องเที่ยวอัจฉริยะเพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับจุดหมายปลายทางและสถานที่ท่องเที่ยว และกำลังแสดงศักยภาพในการเป็นบริการด้านการท่องเที่ยวรูปแบบใหม่ให้แก่ชุมชน

ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองพบปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากการตั้งคีย์ที่มีขนาดใหญ่ จึงควรปรับลดขนาดของข้อมูลให้เล็กลง และการติดตั้งแอปพลิเคชันที่ใช้หน่วยความจำในเครื่องสมาร์ทโฟนค่อนข้างมาก ทำให้ไม่สามารถติดตั้งลงบนสมาร์ทโฟนได้ในรุ่นที่มีพื้นที่จำกัด ดังนั้นในการพัฒนาแอปพลิเคชันควรพัฒนาให้มีการใช้พื้นที่ให้เล็กลงเพื่อเป็นการประหยัดหน่วยความจำ

เนื่องจากการวิจัยนี้จัดทำในขณะที่มีสถานการณ์การระบาดของโรค Covid-19 ในระยะแรกจนถึงการระบาดในระยะที่สองทำให้การนำแอปพลิเคชันไปทดลองใช้มีระยะเวลาที่นาน อาจมีการเปลี่ยนวิธีการเก็บข้อมูลด้วยการใช้ช่องทางสื่อสารทางอินเทอร์เน็ตเป็นหลัก เช่น การเผยแพร่แบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ผสมผสานกับเทคโนโลยีเสมือนจริง เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณองค์การบริหารส่วนตำบลปุงหวย ที่อำนวยความสะดวก ให้ข้อมูลในการทำวิจัย ขอขอบคุณกลุ่มนักศึกษาและศิษย์เก่าสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศที่ช่วยกันเก็บข้อมูลงานวิจัยจนสำเร็จ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Bogomolov, V. (2022) *Top 5 ideas how to use AR in tourisms*. <https://www.hospitalitynet.org/opinion/4092421.html>
- Bungwai Subdistrict Administrative Organization. (2022). *Data fundamental information of Bung Wai subdistrict administrative organization Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani Province*. <https://www.bungwai.go.th>

- Chung, N., Han, H., & Joun, Y. (2015). Tourists' intention to visit a destination: The role of augmented reality (AR) application for a heritage site. *Computers in Human Behavior, 50*, 588-599.
- Dieck, M. & Jung, M. (2015). *A theoretical model of mobile augmented reality acceptance in urban heritage tourism*. Current Issues in Tourism. DOI: 10.1080/13683500.2015.1070801
- Jareonrup, N. (2017). The development of augmented reality technology: AR for tourist information of Wat Phrakaew in Chiangrai province. *Journal of Modern Management Science, 10*(1), 13-30.
- Kaewsanga, K., Suteetorn, B., & Yoonaitarma, A. (2020). The public relations for creative tourism via social networking sites. *Journal of Thai Hospitality and Tourism, 15*(2), 14-28.
- Nithiyuwit, T., & Kamtapol, Y. (2019). The tourism promotion application of 6 souvenirs that need to purchase in Phetchabun Province with the augmented reality Technology. *Journal of Innovation Technology Management, 6*(1), 179-189.
- Park, S., & Stangl, B. (2020). Augmented reality experiences and sensation seeking. *Tourism Management, 77*, 104023.
- Rattanawongsa, N., Phuttaoupatham, S., & Nusawat, P. (2019). AR HuaHin map guide. *Sarakham Journal, 11*(1), 33-44.
- Revfine. (2022). *How augmented reality is revolutionizing the travel industry*. <https://www.revfine.com/augmented-reality-travel-industry>
- Sarobol, S. (2003). *Community based tourism concepts and experiences in the Northern area Chiang Mai community-based tourism network research and development project*. The Thailand Research Fund (TRF).
- The Ministry of Tourism and Sports Thailand. (2017). *National tourism development plan no. 2 (2017-2021)*. The Ministry of Tourism and Sports Thailand.
- Yonggulwanich, A. (2018). The development document for recommend cultural tourism in Plaklaow Village, Amnat Charoen Province. *Journal of Srivanalai Vijai, 8*(2), 15-26.

การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำผิวดินโดยใช้เยื่อกรองแบบไมโคร

Removal of effluent natural organic matter in surface water using microfiltration membrane

อภิญา อ่อนสาร¹, สุพัฒน์พงษ์ มัตราจ^{2*}, วิภาดา เดชะปัญญา³, กรรณิกา รัตนพงศ์เลขา⁴, สมภาพ สนองราษฎร์⁵ และ เทียมมะณีญ์ รัตนวีระพันธ์⁶

Apinya Onsarn¹, Supatpong Mattaraj^{2*}, Wipada Dechapanya³, Karnika Ratanapongleka⁴, Sompop Sanongraj⁵ and Tiammanee Rattanaweerapan⁶

Received: 14 December 2022 : Revised: 14 February 2023; Accepted: 23 March 2023

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำผิวดินโดยใช้เยื่อกรองแบบไมโคร รุ่น HVLP2932A การทดสอบการกรองหาได้โดยใช้การกรองแบบไหลปิดตายตามแนวตั้ง บีจจัยที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ความดันในระบบ ความแรงประจุ อีกทั้งได้ทำการศึกษาสารอินทรีย์ผสมระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำผิวดิน โดยใช้อัตราส่วนของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งต่อสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำผิวดินเท่ากับ 1:1, 1:3, และ 3:1 จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มความดันในระบบส่งผลให้ฟลักซ์สารละลายเพิ่มขึ้นและเพิ่มค่าการกำจัดสารอินทรีย์ ส่วนการเพิ่มความแรงของประจุเป็นสาเหตุทำให้เพิ่มการลดลงของฟลักซ์และเพิ่มค่าการกำจัดสารอินทรีย์มากขึ้น การทดสอบอัตราส่วนของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งต่อสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำผิวดินที่ 3:1 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 32.1 นอกจากนี้ผลการทดลองชี้ชัดว่าสัดส่วนของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำผิวดิน ส่งผลต่อการลดลงของฟลักซ์สารละลายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งส่งผลให้การลดลงของฟลักซ์มากขึ้น

คำสำคัญ: สารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง สารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำผิวดิน เยื่อกรองแบบไมโคร การลดลงของฟลักซ์

Abstract

The objective of this research was to study the removal efficiency of effluent organic matter (EfOM) and natural organic matter (NOM) in surface water by microfiltration membrane (model HVLP2932A). The filtration experiments were determined using a dead-end filtration membrane. Factors studied were the operating pressures, ionic strengths, and combined solutions between EfOM and NOM using the solution ratio (EfOM:NOM) of 1:1, 1:3, and 3:1. Experimental results showed that increased operating pressure resulted in increased solution flux and removal of organic matter. Increased ionic strength caused an increase in flux decline and exhibited an increase in organic matter removal. The experimental ratio of EfOM to NOM at 3:1 provided the highest organic removal efficiency of 32.1%. In addition, the

¹ ผู้ช่วยวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

^{2,3} รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

^{4,5} ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

⁶ อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

¹ Research assistant, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190

^{2,3} Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190

^{4,5} Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190

⁶ Lecturer, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Warinchamrap, Ubonratchathani 34190

* Corresponding author: e-mail: supatpong.m@ubu.ac.th

experimental results indicated that combined EfOM and NOM solutions caused significant differences in flux decline. It was found that an increased EfOM ratio enhanced greater flux decline.

Keywords: Effluent organic matter, natural organic matter in surface water, microfiltration, flux decline

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีอยู่ตามธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะมนุษย์ ซึ่งมนุษย์ใช้น้ำเพื่ออุปโภคและบริโภคในชีวิตประจำวัน ในอดีตการเกิดภาวะมลพิษในแหล่งน้ำหรือการเกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำมีน้อยมากเมื่อเทียบกับปัจจุบัน แต่ในสถานการณ์ปัจจุบัน มีการเจริญเติบโตทางด้านชุมชน สังคมเมือง และเศรษฐกิจ ตลอดจนการประกอบกิจกรรมต่างๆ ทั้งทางด้านเกษตรกรรม การประมง อุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่ง และพาณิชยกรรม เป็นต้น ทำให้ธรรมชาติไม่สามารถฟื้นฟูตัวเองได้หรือฟื้นฟูได้ยาก ปัญหาน้ำเสียจึงเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศและผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ จนทำให้เกิดปัญหาน้ำขาดแคลน ประกอบกับปัจจุบันความต้องการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว คือการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ใหม่ โดยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถประหยัดทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ รวมถึงสามารถแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำ อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณน้ำทิ้งที่ต้องระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะทั่วไป และยังเป็นการลดปัญหามลพิษในแหล่งน้ำอีกด้วย (National Research Council, 2012)

จากวิกฤตมหาอุทกภัย จังหวัดอุบลราชธานี ปี 2565 ซึ่งเป็นปีที่เกิดน้ำท่วมครั้งใหญ่ที่สุดในรอบ 40 ปี อันเนื่องมาจากฝนตกชุกและน้ำไหลหลากจากหลายพื้นที่ไหลรวมตัวกันและไหลเข้าพื้นที่ในจังหวัดอุบลราชธานี จนเกิดการชะล้างสิ่งที่เป็นเปื้อนมลพิษต่างๆ จากผิวดินลงสู่แหล่งน้ำโดยรอบ และคาดว่าสาเหตุของมลพิษส่วนใหญ่เกิดจากน้ำที่มีการตกค้างในบริเวณชุมชนต่างๆ ท่อระบายน้ำเสีย น้ำชะจากกองขยะ บ่อขยะ รวมถึงพื้นที่ทำการเกษตร ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนและขยายวงกว้างขึ้น จากการไหลผ่านของน้ำผ่านพื้นที่ต่างๆ ดังที่กล่าวมา ทำให้ลักษณะคุณภาพของน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง ความขุ่น สีและตะกอนแขวนลอยเพิ่มขึ้น มีการปนเปื้อนของสารเคมี ตลอดจนพบสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง (effluent organic matter: EfOM) (Fatta-Kassinos *et al.*, 2011) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ ประกอบไปด้วย 3 กลุ่มหลัก คือ 1. สารอินทรีย์ธรรมชาติ (natural organic matter: NOM) พบได้ตามแหล่งน้ำธรรมชาติโดยทั่วไป เป็นส่วนประกอบสำคัญของน้ำทิ้ง ที่ทำให้เกิดสีหรือสีน้ำตาลอ่อนในแหล่งน้ำ อีกทั้งในระบบผลิตน้ำประปา หาก

กำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติไม่หมด จะเกิดการทำปฏิกิริยากับคลอรีนในกระบวนการฆ่าเชื้อโรค เกิดเป็นสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (trihalomethanes, THMs) โดยรูปแบบของไตรฮาโลมีเทนทั้ง 4 รูปแบบที่พบบ่อย คือ 1. คลอโรฟอร์ม (Chloroform) 2. โบโรไดคลอโรมีเทน (bromodichloromethane : BDCM) 3. ไดโบโรคลอโรมีเทน (dibromochloromethane : DBCM) และ 4. โบโรฟอร์ม (bromoform) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ (Watson *et al.*, 1989) 2. สารประกอบอินทรีย์สังเคราะห์ (synthetic organic compounds) และ 3. สารชีวภัณฑ์ละลายน้ำ (soluble microbial products) ซึ่งเกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพและสารอินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หรือย่อยสลายได้ยาก (Shon *et al.*, 2007) สำหรับสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจะประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด ตั้งแต่สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไปจนถึงสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ยกตัวอย่างเช่น โปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก โพลีแซ็กคาไรด์ กรดฮิวมิก กรดฟูลวิก กรดอินทรีย์รวมถึงส่วนประกอบของเซลล์ เป็นต้น (Barker *et al.*, 2000) จากรายงานการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งรวมถึงสารอินทรีย์ธรรมชาติ ก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำและการผลิตน้ำสะอาดไว้สำหรับอุปโภคและบริโภคจากปัญหานี้จึงจำเป็นต้องบำบัดน้ำให้สะอาดก่อนนำไปใช้

การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยการกรองผ่านเยื่อกรอง (membrane) เป็นอีกหนึ่งวิธีที่นิยมใช้สำหรับปรับปรุงคุณภาพน้ำในปัจจุบัน โดยการกรองแบบไมโคร (microfiltration: MF) เป็นอีกหนึ่งวิธีสำหรับกำจัดความขุ่นออกจากน้ำ และพบว่าสามารถกำจัดตะกอนและสารคอลลอยด์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ออกจากน้ำได้ โดยที่ระบบการกรองโดยใช้เยื่อกรองแบบไมโครเป็นที่นิยมสำหรับระบบผลิตน้ำประปา และยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ทั้งที่อยู่ในน้ำทิ้งและในแหล่งน้ำธรรมชาติได้ (Buscio *et al.*, 2015) ดังนั้นเพื่อเป็นการประยุกต์ใช้เยื่อกรองในการผลิตน้ำจากน้ำทิ้งให้มีคุณภาพสูง รวมถึงสามารถนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่สำหรับวัตถุประสงค์ต่างๆ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการใช้เยื่อกรองแบบไมโครสำหรับกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติจากแหล่งน้ำผิวดินด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นการสร้างองค์ความรู้เพื่อศึกษาการใช้เยื่อกรองแบบไมโคร เพื่อพัฒนากระบวนการไมโครสำหรับกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติในน้ำผิวดินต่อไป

วิธีการทดลอง

การเตรียมสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติจากแหล่งน้ำผิวดิน

การเตรียมน้ำตัวอย่างของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง (EfOM) สามารถเตรียมได้โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างจากระบบบำบัดน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบสระเติมอากาศ (aerated lagoon) ต่อด้วยบ่อดกตะกอน โดยการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจะเก็บน้ำที่ไหลล้นออกจากบ่อดกตะกอนด้วยปริมาณน้ำ 500 ลิตร ส่งถึงเก็บน้ำตัวอย่าง จากนั้นนำน้ำดังกล่าวเข้าสู่การบำบัดเบื้องต้นด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน การกรองผ่านเยื่อกรองต่อเนื่องขนาด 5 และ 10 ไมโครเมตร และตามด้วยการแยกสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยการกรองแบบออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis membrane) ซึ่งในส่วนนี้จะสามารถแยกน้ำออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) เพอเมอเทต (permeate) หรือน้ำสะอาด และ (2) คอนเซนเตรท (concentrate) หรือน้ำที่มีความเข้มข้นสูงของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง อันเนื่องมาจากความสามารถในการกักกันของเยื่อกรองจากนั้นทำการหยุดระบบ เมื่อปริมาณน้ำคอนเซนเตรทในถังบรรจุลดลงเหลือปริมาณเท่ากับ 30 ลิตร

การเตรียมสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) จากแหล่งน้ำผิวดินบริเวณภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งใช้เป็นแหล่งน้ำดิบในการผลิตน้ำประปาเพื่อการอุปโภคและบริโภคภายในมหาวิทยาลัยฯ โดยจากการเก็บน้ำตัวอย่างน้ำดิบดังกล่าวปริมาตร 1,500 ลิตร นำไปผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเบื้องต้นด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนที่ส่งผลต่อการเกิดตะกอนบนผิวเยื่อกรองโดยการกรองแบบออสโมซิสผันกลับ ในขั้นตอนนี้สามารถแยกสารอินทรีย์ธรรมชาติที่อยู่ในส่วนของคอนเซนเตรท โดยจะแยกสารอินทรีย์ธรรมชาติเข้มข้นให้ได้ปริมาตรเท่ากับ 30 ลิตร ซึ่งภายใต้การศึกษาในครั้งนี้จะใช้น้ำในส่วนของคอนเซนเตรททั้งในกรณีของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติเข้มข้น โดยนำน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการข้างต้นใส่ในภาชนะที่ปิดสนิทและแช่ภายใต้อุณหภูมิ 4 °C เพื่อเก็บรักษาสภาพสารอินทรีย์เข้มข้นให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานและปรับความเข้มข้นของสารอินทรีย์สำหรับการทดสอบกับเยื่อกรองแบบไมโครในขั้นต่อไป

การเตรียมเยื่อกรองแบบไมโคร

เยื่อกรองแบบไมโคร (Microfiltration Membrane) ของ Durapore รุ่น HVLP2932A มีคุณสมบัติดังนี้ คือเป็นเยื่อกรองแบบ Thin Film Membrane ผลิตจาก Hydrophilic Polyvinylidene Fluoride (PVDF) มีความชอบน้ำ ขนาดรูพรุนเท่ากับ 0.45 μm สามารถทนอุณหภูมิได้สูงสุดเท่ากับ 85 °C โดยนำแผ่นเยื่อกรองมาตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถใส่เข้ากับชุดกรองแบบไมโคร เยื่อกรองที่ยังไม่ใช้ทันทีจะเก็บรักษาโดยการนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ที่ความเข้มข้น 1% ที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและลดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่จะทำลายผิวหน้าของแผ่นเยื่อกรอง

การเดินระบบของชุดเยื่อกรองแบบไมโคร

การทำงานชุดทดสอบเยื่อกรองแบบไมโครโดย การทดสอบเป็นแบบการไหลปิดตายตามแนวตั้ง (dead-end operation) ถูกแสดงใน Figure 1 ซึ่งประกอบด้วย Stirred Cell ขนาด 400 mL ที่สามารถทนแรงดันได้สูงสุด 75 psig ซึ่งภายในบรรจุใบกวนติดตั้งอยู่บนแท่น โดยอาศัยการกวนแบบแม่เหล็กขับเคลื่อน (magnetic stirrer) แผ่นเยื่อกรองแบบไมโครมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 เซนติเมตร ถูกติดตั้งอยู่ใน Stirred Cell ถึงใส่น้ำตัวอย่างทำจากเหล็กสแตนเลส และมีเกจวัดความดันติดตั้งตั้งแต่ 5-100 psig ต่อกับถังไนโตรเจนที่สามารถสร้างแรงดันได้ไม่น้อยกว่า 100 psig เพื่อเพิ่มแรงดันให้กับชุดทดสอบการกรอง ขณะที่เดินระบบแรงดันจะดันน้ำตัวอย่างผ่านชุดการไหลปิดตายที่มีแผ่นเยื่อกรองไมโครอยู่ภายใน และเกิดการไหลของน้ำซึมผ่านแผ่นเยื่อกรองจากชุดทดสอบผ่านท่อสายยางไปยังภาชนะเก็บตัวอย่าง โดยใช้ปิเกตอร์ ซึ่งตั้งอยู่บนเครื่องชั่ง Mettler Toledo รุ่น PB3002-S ในการวัดค่าน้ำหนักของน้ำที่ไหลผ่านเยื่อกรอง โดยเครื่องชั่งมีความละเอียดสองตำแหน่ง

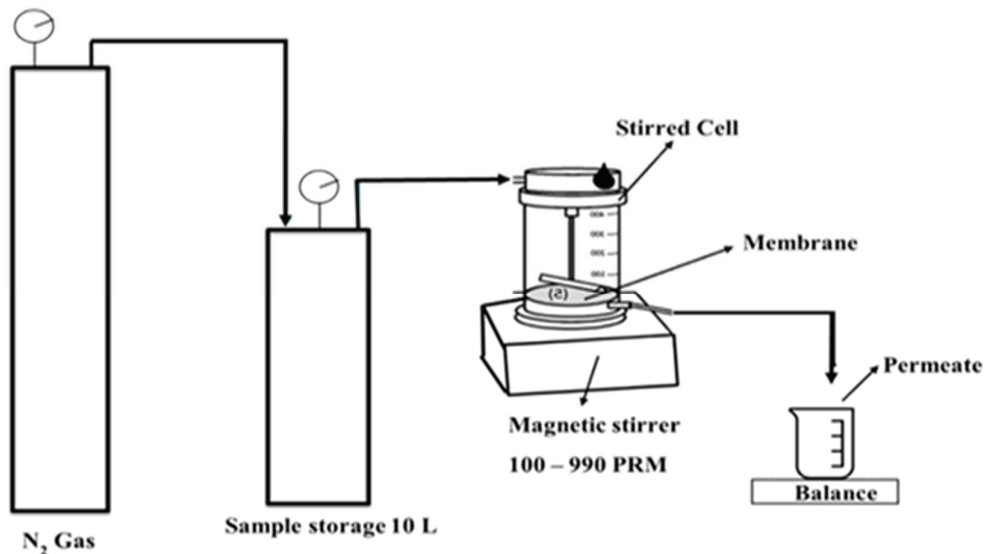


Figure 1 Schematic representation of a Dead-end filtration system

ขั้นตอนการทดลอง

เยื่อกรองแบบไมโครถูกล้างด้วยน้ำกลั่นและทำการติดตั้งแผ่นเยื่อกรองกับชุดทดสอบ จากนั้นล้างเยื่อกรองผ่านระบบชุดทดสอบเยื่อกรอง เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนการทดลองจริงด้วยน้ำตัวอย่าง ในระหว่างนี้จะหาค่าอัตราการไหลของน้ำ DI เทียบหรือค่าฟลักซ์กับความดันในระบบที่ระดับต่างๆ กัน เพื่อหาค่าคงตัวการซึมผ่านของเยื่อกรองเริ่มต้น และนำข้อมูลข้างต้นไปใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ก่อนและหลังล้างเยื่อกรอง ภายหลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบของน้ำตัวอย่างต่างๆ การทดสอบด้วยน้ำตัวอย่างเป็นการนำน้ำตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วตามความเข้มข้นสารอินทรีย์และความแรงประจุ ผิดเข้าสู่ระบบและเริ่มต้นการทดลอง โดยอาศัยการปรับความดันในระบบตามที่ต้องการ ควบคุมจากถังก๊าซ ความดันเป็นตัวขับเคลื่อนน้ำตัวอย่างจากถังเก็บน้ำตัวอย่างผ่านท่อ นำส่งไปยังชุดทดสอบ โดยภายในจะมีแผ่นเยื่อกรองแบบไมโครถูกติดตั้งไว้แล้ว และแรงดันจะดันสารตัวอย่างผ่านแผ่นเยื่อกรองและน้ำเกิดจากการซึมผ่านจากชุดทดสอบไปยังภาชนะเก็บตัวอย่างเพื่อชั่งน้ำหนักของปริมาตรน้ำ จากการเก็บน้ำตัวอย่างในส่วนดังกล่าว (เพอมีเอท) เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย (1) การวิเคราะห์หาค่าฟลักซ์สารละลาย โดยจะเก็บตัวอย่างตั้งแต่เวลาที่ 0 ถึง 240 นาที โดยเก็บน้ำตัวอย่างทุก 5 นาที จนครบ 60 นาที จากนั้นเก็บทุก 10 นาที จนครบ 180 นาที หลังจาก 180 นาที เป็นต้นไปจะเก็บทุก 20 นาที จนถึง 240 นาที และ (2) การวิเคราะห์ค่าคงเหลือสารอินทรีย์ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่อง UV-VIS spectrophotometer (SHIMADZU UV1204, Japan) ที่ความยาวคลื่น 254 nm (Avramescu et al., 2003) เพื่อการคำนวณหาประสิทธิภาพของการกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้เยื่อกรองแบบไมโคร

สมการการคำนวณ

อัตราการกรองผ่านเยื่อกรองหรือฟลักซ์สารละลาย (solution flux) แสดงผลของการกรองซึ่งขึ้นถึงการอุดตันของเยื่อกรองตามระยะเวลาของการกรอง โดยผลมาจากการสะสมของสารอินทรีย์บนผิวของเยื่อกรองทำให้อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านการกรองลดลง โดยสมการฟลักซ์สารละลาย เป็นดังสมการที่ (1)

$$J_v = (L_p) \cdot (\Delta P) = \frac{Q_p}{A_m} \quad (1)$$

โดย J_v คือฟลักซ์สารละลาย ($L/(m^2 \cdot h)$, LMH), L_p คือ ค่าคงตัวการซึมผ่านเยื่อกรอง ($L/(m^2 \cdot h, kPa)$), ΔP คือ ความดันในระบบ (kPa), Q_p คืออัตราการไหลของน้ำที่ผ่านการกรอง (L/h), A_m คือพื้นที่ที่ใช้สำหรับการกรอง (m^2) ส่วนร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Rejection) แสดงถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้เยื่อกรองแบบไมโครสามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$\% R = \left(1 - \frac{C_p}{C_r} \right) \times 100\% \quad (2)$$

โดยที่ R คือร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ละลายน้ำ, C_p คือความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในส่วนเพอมีเอท (mg/L) และ C_r คือความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในส่วนคอนเซนเตรท (mg/L)

ปัจจัยที่ศึกษา

ปัจจัยที่ศึกษาภายใต้การดำเนินระบบแบบไหลในแนวตั้งโดยมีเยื่อกรองแบบไมโครติดตั้งภายในระบบได้แก่ (1)

ผลของความดันจาก 5, 10, 15 และ 20 psig (2) ผลของความแรงประจุเท่ากับ 0.005 M และ 0.01 M ปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์ และ (3) ผลร่วมระหว่างสารอินทรีย์น้ำทิ้ง (EfOM) กับสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) โดยมีอัตราส่วนความเข้มข้น

EfOM:NOM เท่ากับ 1:1, 1:3 และ 3:1 ส่วนความเข้มข้นรวมของสารอินทรีย์ที่ (C) เท่ากับ 10 mg/L, pH 7 ค่าความแรงประจุ (I.S.) เท่ากับ 0.01 M และความดัน (P) เท่ากับ 20 psig โดยข้อมูลดังกล่าวสรุปไว้ใน Table 1

Table 1 Factors affect the removal of effluent organic matter and natural organic matter

Fixed factors	Values	Controlled factors
Pressure	5, 10, 15 และ 20 psig	C = 10 mg/L, I.S. = 0.01 M, pH 7
Charge strength	0.005 M, 0.01 M	C = 10 mg/L, pH 7, P = 20 psig
EfOM:NOM	1:1, 1:3 และ 3:1	I.S. = 0.01 M, pH 7, P = 20 psig

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการศึกษา

ผลของความดันในระบบที่มีต่อการลดลงของฟลักซ์

ผลของการปรับความดันในการเดินระบบจาก 5, 10, 15 และ 20 psig ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการกรองของเยื่อกรองแบบไมโคร โดยการเตรียมน้ำตัวอย่างให้มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติเท่ากับ 10 mg/L ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ปรับความแรงประจุเป็น 0.01 M ด้วยโซเดียมคลอไรด์ ใช้เวลาสำหรับการทดสอบเป็นระยะเวลา 240 นาที จาก Figure (2) แสดงผลของความดันในระบบที่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์ เมื่อ (A) คือสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง และ (B) คือสารอินทรีย์ธรรมชาติ จากผลการศึกษาพบว่าทั้งในกรณีที่ใช้สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติ มีแนวโน้มการลดลงของฟลักซ์ไปในทิศทางเดียวกัน คือในช่วงแรกของการทดลองฟลักซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว (ที่เวลา 0-60 นาที) และเริ่มคงที่/ลดลงเล็กน้อย (ที่เวลา 60 - 240 นาที) นอกจากนี้ยังพบว่าฟลักซ์มีค่าลดลงเมื่อความดันในระบบเพิ่มขึ้น โดยใน Figure 2 (A) ที่เวลาที่ 240 นาที ฟลักซ์ลดลงคงเหลือเท่ากับ 20.54, 47.58, 56.76, 62.01 LMH ที่ความดัน 5, 10, 15 และ 20 psig ตามลำดับ ส่วน Figure 2 (B) เวลาที่ 240 นาที ฟลักซ์ลดลงคงเหลือเท่ากับ 70.21, 130.56, 184.37 และ 219.71 LMH ที่ความดันเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20 psig ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบทั้งในกรณีที่ใช้สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและในกรณีที่ใช้สารอินทรีย์ธรรมชาติ ให้ผลการทดสอบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อมีการเพิ่มความดันในระบบส่งผลให้ฟลักซ์สารละลายเริ่มต้นมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งในกรณีที่ใช้สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติ นอกจากนี้ยังพบว่าฟลักซ์สารละลายมีค่าลดลงอย่างมากในช่วงแรกของการกรองจากการสะสมของสารอินทรีย์ สอดคล้องกับ (Yuan *et al.*, 1999) หลังจากนั้นค่าฟลักซ์สารละลายลดลงเล็กน้อยและเริ่มคงที่ในช่วงท้ายของการทดสอบ ซึ่งการเพิ่มความดันในระบบเป็นการเพิ่มการอัดตัวของสารอินทรีย์บนพื้นผิวเยื่อกรองขณะที่อัตราการไหลของน้ำผ่านการกรองมากขึ้นทำให้เกิดการสะสมสารอินทรีย์เข้มข้นบนพื้นผิวของเยื่อกรอง

เมื่อระยะเวลาในการทดสอบเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ (Wiesner *et al.*, 1999) พบว่าการสะสมของสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ฟลักซ์สารละลายลดลง นอกจากนี้การลดลงของฟลักซ์จากสารอินทรีย์บางส่วนพบเกิดจากการดูดซับสารบนพื้นผิวเยื่อกรอง นอกจากนี้ผลการศึกษายังสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์สารละลายกับความดันในระบบ ดังสมการในสมการที่ (1) ดังนี้ $J_v = L_p (\Delta P)$ จากสมการจะแสดงความสัมพันธ์ชี้ว่าการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์สารละลายเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความดันในระบบที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ความดันออกสโตนิตมีค่าน้อยสำหรับเยื่อกรองแบบไมโคร ส่วนความแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์ทั้งสองชนิดปรากฏชัดเจนว่าสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งให้การลดลงของฟลักซ์มากกว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันทุกความดันในระบบที่ได้ทดสอบ โดยการเปรียบเทียบเส้นกราฟที่แสดงได้ใน Figure 2 (A) และ (B)

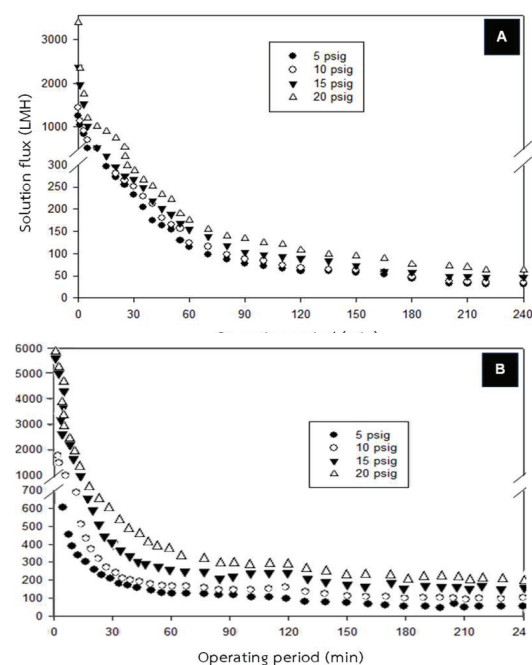


Figure 2 Effect of flux reduction at different pressure of (A) Effluent organic matter (EfOM), (B) Natural organic matter (NOM)

ผลของความดันที่มีต่อร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์

Figure 3 (A) และ (B) แสดงผลของความดันในระบบที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติ จากรูปแสดงให้เห็นว่า ค่าการกำจัดทั้งสองสารอินทรีย์มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อความดันเพิ่มขึ้นทำให้ค่าร้อยละการกำจัดเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาของการทดลอง และที่ระดับความดันในระบบสูงสุด เท่ากับ 20 psig ให้ค่าร้อยละการกำจัดสูงสุดเช่นกัน จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติเพิ่มขึ้นเมื่อความดันในระบบเพิ่มขึ้น โดยพบว่า Figure 3 (A) ที่เวลา 240 นาที ให้ค่าการกำจัดร้อยละ 11.12, 11.93, 19.23 และ 21.37 ที่ความดันในระบบเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20 psig ตามลำดับ ส่วน Figure 3 (B) ที่เวลา 240 นาที ให้ค่าการกำจัดร้อยละ 15.11, 14.97, 18.93 และ 19.77 ความดันในระบบเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20 psig ตามลำดับ โดยที่ค่าร้อยละการกำจัดเพิ่มสูงขึ้นตามการทดลองอาจเนื่องจากการสะสมของสารอินทรีย์บริเวณผิวหน้าเยื่อกรองแบบไมโคร จากผลของความดันที่มีต่อร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ โดยที่ค่าร้อยละการกำจัดเพิ่มสูงขึ้นตามการทดลองอาจเนื่องจากการสะสมของสารอินทรีย์บริเวณผิวหน้าเยื่อกรองแบบไมโคร ส่งผลให้ปริมาณมลสารถูกสะสมบริเวณผิวหน้าหรืออุดตันภายในรูพรุนของเยื่อกรองจึงทำให้ค่าการกำจัดเพิ่มขึ้น (Hong *et al.*, 1997) และในสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมีองค์ประกอบของสารชีวภัณฑ์ละลายน้ำ (Soluble Microbial Products, SMP) ที่มีขนาดโมเลกุลขนาดใหญ่ (Jin *et al.*, 2016) ซึ่งพบว่า SMP เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการอุดตันบนเยื่อกรอง เนื่องจากเป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่ารูพรุนเยื่อกรองมาก เช่น กลุ่มน้ำตาล โปรตีน กรดนิวคลีอิก จึงอาจส่งผลให้ค่าการกำจัดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความดันในระบบ และนอกจากนี้ที่ความดันในระบบสูงๆ ทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ทำให้เกิดเป็นชั้นแคบจากการอัดแน่นเข้า (compaction) และปิดบริเวณผิวหน้าของเยื่อกรอง จึงทำให้สามารถกักอนุภาคสารอินทรีย์เอาไว้ได้มากกว่าความดันในระบบที่ต่ำ และเนื่องจากการกรองด้วยเยื่อกรองแบบไมโครเป็นการกรองโดยอาศัยหลักการคัดขนาด เมื่อขนาดรูพรุนของเยื่อกรองโดนปิดกั้นทางน้ำไหล จึงส่งผลโดยตรงต่อการกำจัดสารละลายได้มากขึ้น

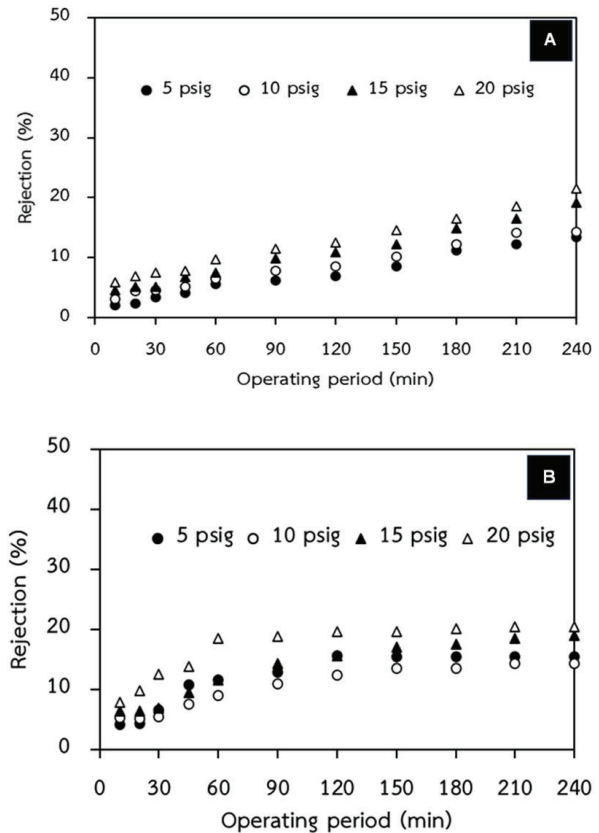


Figure 3 Percent rejection at different pressure of (A) Effluent organic matter (EfOM), (B) Natural organic matter (NOM)

ผลของความแรงประจุที่มีต่อการลดลงของฟลักซ์

Figure 4 แสดงผลของความแรงประจุต่อการลดลงของค่า ฟลักซ์สารละลาย เมื่อ (A) สารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง และ (B) สารอินทรีย์ธรรมชาติ ค่าความแรงประจุที่ปรับด้วยโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 0.005 M และ 0.01 M โดยควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับค่า พีเอชเป็น 7 และความดัน 20 psig จากการทดลองพบว่าการปรับเพิ่มค่าความแรงประจุส่งผลให้ค่าฟลักซ์สารละลายเริ่มต้นลดลง และส่งผลทำให้เห็นการลดลงของ ฟลักซ์แตกต่างกันในช่วงต้นของการกรอง ขณะที่ช่วงปลายของการกรองค่าฟลักซ์สารละลายให้ค่าไม่แตกต่างกัน โดยที่ Figure 4 (A) เวลาที่ 240 นาที ฟลักซ์ลดลงเฉลี่ย 93.85 และ 94.85 LMH ที่ความแรงประจุเท่ากับ 0.005 M และ 0.01 M ตามลำดับ ในขณะที่ Figure 4 (B) เวลาที่ 240 นาที ฟลักซ์ลดลงเฉลี่ย 94.37 และ 95.99 LMH ที่ความแรงประจุเท่ากับ 0.005 M และ 0.01 M ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลของขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ทั้งสองเป็นตัวควบคุมการลดลงของ ฟลักซ์โดยใช้กลไกจากการคัดขนาดของสารอินทรีย์ โดยทั่วไปการกรองแบบไมโครไม่สามารถกำจัดเกลืออินทรีย์จากเกลือโซเดียม

คลอไรด์ได้จึงทำให้การปรับความแรงประจุให้ผลต่อแรงดันออสโมติกบนผิวของเยื่อกรองน้อย อย่างไรก็ตามการเพิ่มความแรงประจุให้ผลของประจุบวกโซเดียมที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับสารอินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการสะสมสารอินทรีย์ที่อัดตัวแน่นขึ้นบนผิวของเยื่อกรองที่ส่งผลต่อการลดลงของฟลักซ์สารละลาย (Kilduff *et al.*, 2004) ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลของขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ทั้งสองเป็นตัวควบคุมการลดลงของฟลักซ์โดยใช้กลไกจากการคัดขนาดของสารอินทรีย์เป็นหลัก

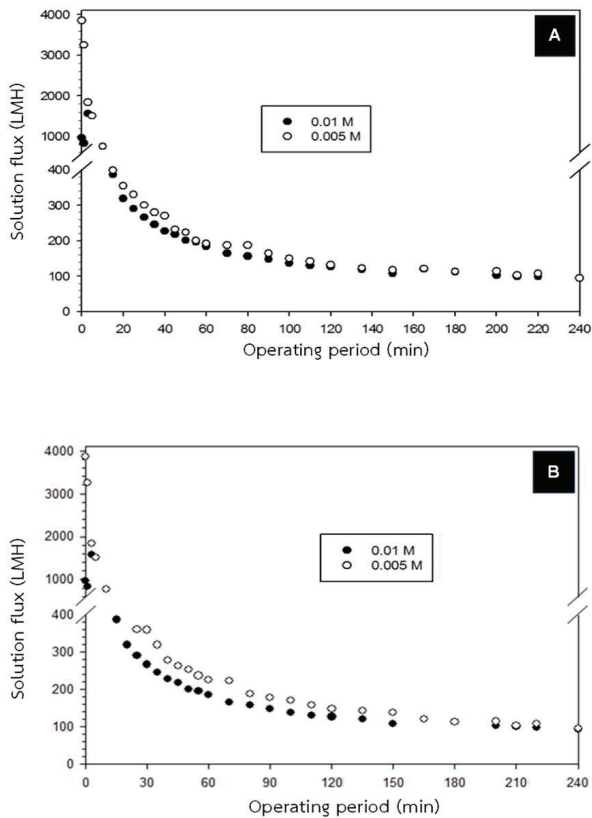


Figure 4 Effect of flux reduction at different ionic strength of (A) Effluent organic matter (EfOM), (B) Natural organic matter (NOM)

ผลของความแรงประจุที่มีต่อร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์

Figure 5 (A) และ (B) แสดงผลของความแรงประจุที่มีผลต่อร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติ จากผลการศึกษาพบว่าทั้งในกรณีของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติ การเพิ่มความแรงประจุ

ส่งผลต่อการเพิ่มร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ โดยที่การเพิ่มความแรงประจุจาก 0.005 M และ 0.01 M สำหรับสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งให้ค่าการกำจัดที่เวลา 240 นาที เท่ากับร้อยละ 17.22 และ 21.56 ตามลำดับ สำหรับสารอินทรีย์ในธรรมชาติ ให้ค่าการกำจัดเท่ากับร้อยละ 15.46 และ 20.47 ตามลำดับ พบว่าการทดลองระบุชัดว่าค่าการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งให้ค่าการกำจัดสูงกว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือค่าความแรงประจุที่เพิ่มขึ้นให้ผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองระบุชัดว่าค่าการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งให้ค่าการกำจัดสูงกว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือค่าความแรงประจุที่เพิ่มขึ้นให้ผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากกลไกการดูดซับ (adsorption) ของเยื่อกรองแบบไมโคร จึงการสะสมของสารอินทรีย์บนผิวของเยื่อกรอง ทำให้เกิดสะสมชั้นแค่อัดตัวแน่นที่ผิวของเยื่อกรอง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การเพิ่มความแรงประจุสำหรับเยื่อกรองแบบนาโนที่มีขนาดเยื่อกรองเล็กกว่าให้ผลไม่แตกต่างกันมากต่อค่าการกำจัดของสารอินทรีย์ โดยช่วงค่าความแรงประจุเท่ากับ 0.01 ถึง 0.005 M ให้ค่าการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยใช้เยื่อกรองแบบนาโนอยู่ในช่วงร้อยละ 94.1 - 97.9 ขณะที่การศึกษาที่ผ่านมาระบุว่า การกำจัดสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่โดยเยื่อกรองอาศัยกลไกในการคัดขนาด (size exclusion) มากกว่ากลไกการผลักกันของประจุ (charge repulsion) (Park *et al.*, 2005) จากงานวิจัยของ Habuda-Stanic *et al.* (2017) ศึกษาการกำจัด NOM โดยใช้เยื่อกรองแบบไมโคร ที่มีขนาดรูพรุน 2 μm และ 0.45 μm พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การกำจัด NOM เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยพบว่ามีเปอร์เซ็นต์การกำจัดไม่เกินร้อยละ 20 และให้เหตุผลว่ากระบวนการของไมโครฟิลเตรชันเพียงอย่างเดียวให้ประสิทธิภาพการกำจัดค่อนข้างต่ำ และส่วนใหญ่ มักจะใช้วิธีการอื่นร่วมด้วยในการกำจัด NOM ได้แก่ การใช้สารเคมีร่วมกับการกรองแบบไมโคร และจากงานวิจัยของ Schafer *et al.* (1998) ได้ทำการปรับปรุงการกำจัด NOM โดยเยื่อกรองแบบไมโคร ด้วยการปรับสภาพทางเคมีโดยใช้ FeCl_3 ผลที่ได้จากการเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อน ก่อนที่จะผ่านการกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถกำจัด NOM ได้ 95% ที่ FeCl_3 เท่ากับ 25 mgL^{-1}

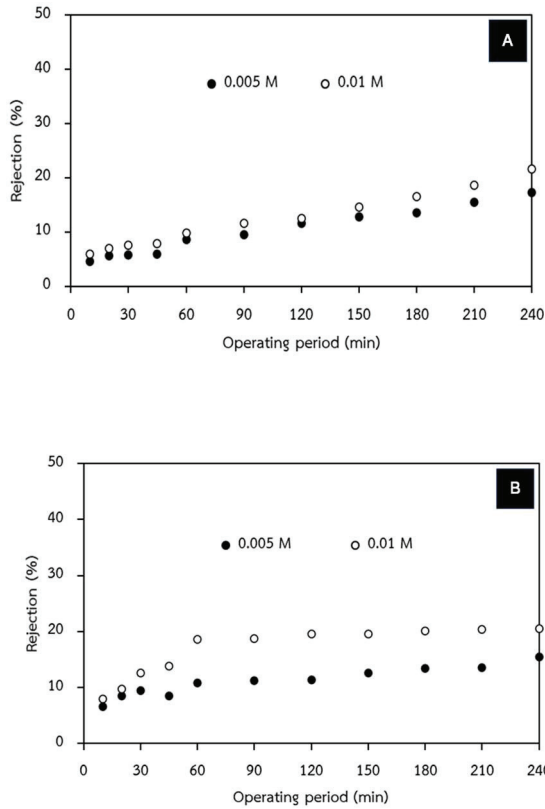


Figure 5 Percent rejection at different ionic strength of (A) Effluent organic matter (EfOM), (B) Natural organic matter (NOM)

ผลร่วมของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีต่อการลดลงของฟลักซ์

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งกับสารอินทรีย์ในน้ำธรรมชาติ โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง EfOM:NOM ที่อัตราส่วนเท่ากับ 1:1, 1:3 และ 3:1 ตามลำดับ โดยความเข้มข้นรวมของสารอินทรีย์เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 7 ปรับความแรงประจุเป็น 0.01 M ด้วยโซเดียมคลอไรด์ ความดันคงที่ตลอดการทดลองที่ 20 psig จาก Figure 6 แสดงผลร่วมของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งกับสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีผลต่อการลดลงของฟลักซ์ จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนผสมของ EfOM:NOM สามารถเรียงลำดับการลดลงของฟลักซ์จากมากที่สุดไปน้อยสุดได้ดังนี้ คือที่อัตราส่วน 3:1, 1:3 และ 1:1 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าฟลักซ์สารละลายที่มีอัตราส่วนของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมากกว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ มีการลดลงมากกว่าฟลักซ์สารละลายที่มีอัตราส่วนของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งน้อยกว่าหรือเท่ากับสารอินทรีย์ธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลจากการความเข้มข้นที่ผิวของเยื่อกรองโดยสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง และสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยส่วนใหญ่เป็นผลเนื่องมาจากการสะสมหรือการดูดซับติดของสารอินทรีย์ที่ผิวและในรูพรุนของเยื่อกรอง จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์

ในน้ำทิ้งมีผลต่อค่าการลดลงของฟลักซ์มากกว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองใน Figure 2 (A) และ (B) ที่ทดสอบแยกแยะระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยค่าการลดลงของฟลักซ์จากสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งให้ค่าที่สูงกว่า

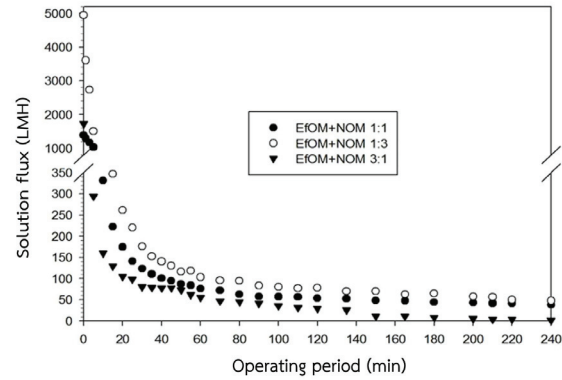


Figure 6 Effect of flux reduction by 2 mixing during Effluent organic matter (EfOM) and Natural organic matter (NOM) in the ratio of EfOM:NOM were 1:1, 1:3 and 3:1

ผลร่วมของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีต่อร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์

Figure 7 แสดงผลร่วมของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติที่มีต่อร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติ โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง EfOM:NOM ที่ อัตราส่วนเท่ากับ 1:1, 1:3 และ 3:1 ตามลำดับ ความเข้มข้นรวมของสารอินทรีย์เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จาก Figure 7 พบว่าที่อัตราส่วนของ EfOM:NOM เท่ากับ 3:1 มีค่าร้อยละการกำจัดในช่วง 12.23 - 32.10 ซึ่งให้ค่ากำจัดได้มากที่สุด รองลงมาคือที่อัตราส่วน 1:3 มีค่าร้อยละการกำจัดในช่วง 7.56 - 26.89 และที่อัตราส่วน 1:1 มีค่าร้อยละการกำจัดในช่วง 6.67 - 18.79 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใช้อัตราส่วนของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่สูง (EfOM:NOM เท่ากับ 1:3) ส่งผลให้ร้อยละการกำจัดสูงขึ้นกว่าอัตราส่วนที่เท่ากัน (EfOM:NOM เท่ากับ 1:1) และที่อัตราส่วนของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งสูงกว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติให้ร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์สูงที่สุด เนื่องจากในน้ำทิ้งอาจมีสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จากสารชีวภัณฑ์ละลายน้ำ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้เยื่อกรองเกิดการอุดตันทำให้เกิดเป็นชั้นเค้กสะสมที่ผิวของเยื่อกรองทำให้ไม่สามารถผ่านเยื่อกรองได้ ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดมากขึ้นตลอดระยะเวลาการดำเนินระบบ

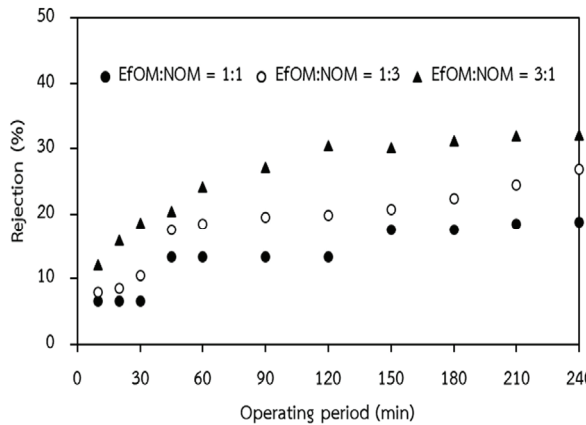


Figure 7 Percent rejection by 2 mixing during Effluent organic matter (EfOM) and Natural organic matter (NOM) in the ratio of EfOM:NOM were 1:1, 1:3 and 3:1

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งและสารอินทรีย์ธรรมชาติโดยเยื่อกรองแบบไมโคร โดยใช้ค่าการลดลงของฟลักซ์และร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์ ซึ่งสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. การเพิ่มความดันในระบบส่งผลให้ฟลักซ์สารละลายเริ่มต้นมีค่าเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ฟลักซ์สารละลายสูงกว่าเมื่อเทียบกับความดันที่ต่ำกว่าตลอดระยะเวลาของการทดลอง การเพิ่มความดันยังทำให้เพิ่มร้อยละการกำจัดสารอินทรีย์จากการอัดตัวที่แน่นขึ้นของชั้นเค้กจากสารอินทรีย์เข้มข้นบนพื้นผิวของเยื่อกรอง สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งให้การลดลงของฟลักซ์มากกว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันทุกความดันในระบบที่ได้ทดสอบ

2. การเพิ่มความแรงประจุส่งผลให้ฟลักซ์สารละลายลดลงและค่าการกำจัดสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นจากการจับตัวของประจุบวกโซเดียมกับประจุลบของสารอินทรีย์ทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์เข้มข้นบนพื้นผิวของเยื่อกรอง และในช่วงท้ายของการกรองค่าฟลักซ์สารละลายให้ผลการลดลงของฟลักซ์ที่ใกล้เคียงกัน และกราฟแสดงเกิดในทิศทางเดียวกันระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งกับสารอินทรีย์ธรรมชาติอาจเนื่องมาจากผลของขนาดโมเลกุลของสารอินทรีย์ทั้งสองเป็นตัวควบคุมการลดลงของฟลักซ์จากผลของกลไกการคั่งขนาดของสารอินทรีย์ด้วยเยื่อกรองแบบไมโคร

3. ผลร่วมระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งร่วมกับสารอินทรีย์ธรรมชาติความเข้มข้นรวม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนระหว่าง EfOM:NOM ส่งผลให้ต่อการลดลงของฟลักซ์มากขึ้น และประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากอัตราส่วนที่เปลี่ยนแปลง โดยค่าการกำจัดสารอินทรีย์เรียงลำดับจากมากไปน้อย แสดงได้ดังนี้ ที่อัตราส่วนของความเข้มข้น EfOM:NOM = 3:1

> EfOM:NOM = 1:3 > EfOM:NOM = 1:1 จากการศึกษายังพบว่าสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งให้ผลต่อค่าการลดลงของฟลักซ์มากกว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ และให้ค่าการกำจัดที่สูงกว่าสารอินทรีย์ธรรมชาติ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากหลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

- Avramescu, M. E., Gironès, M., Borneman, Z., and Wessling, M. (2003). Preparation of mixed matrix adsorber membranes for protein recovery. *Journal of Membrane Science*, 218(1-2), 219-233.
- Barker, D. J., Salvi, S. M., Langenhoff, A. A., & Stuckey, D. C. (2000). Soluble microbial products in ABR treating low-strength wastewater. *Journal of Environmental Engineering*, 126(3), 239-249.
- Buscio, V., Marín, M. J., Crespi, M., & Gutiérrez-Bouzán, C. (2015). Reuse of textile wastewater after homogenization-decantation treatment coupled to PVDF ultrafiltration membranes. *Chemical Engineering Journal*, 265, 122-128.
- Fatta-Kassinos, D., Kalavrouziotis, I. K., Koukoulakis, P. H., and Vasquez, M. I. (2011). The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment. *Science of the Total Environment*, 409(19), 3555-3563.
- Habuda-Stanic, M., Ratkajec, D., & Nujic, M. Effect of membrane filtration via various membrane types on thmfp reduction. *15th International Conference on Environmental Science and Technology*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-Membrane-Filtration-Via-Various-Membrane-Habuda-Stani%20Ratkajec/485c4c74eaac1b132ef545f9db1e65ba7926c88f>
- Hong, S., & Elimelech, M. (1997). Chemical and physical aspects of natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membranes. *Journal of Membrane Science*, 132(2), 159-181.
- Jin, P., Jin, X., Bjerkelund, V. A., Osterhus, S. W., Wang, X. C., & Yang, L. (2016). A study on the reactivity characteristics of dissolved effluent organic matter (EfOM) from municipal wastewater treatment plant during ozonation. *Water Research*, 88, 643-652.

- Kilduff, J. E., Mattaraj, S., & Belfort, G. (2004). Flux decline during nanofiltration of naturally-occurring dissolved organic matter: effects of osmotic pressure, membrane permeability, and cake formation. *Journal of Membrane Science*, 239(1), 39-53.
- National Research Council. (2012). *Water reuse: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater*. National Academies Press.
- Park, N., Kwon, B., Kim, I. S., & Cho, J. (2005). Biofouling potential of various NF membranes with respect to bacteria and their soluble microbial products (SMP): characterizations, flux decline, and transport parameters. *Journal of Membrane Science*, 258 (1-2), 43-54.
- Schäfer, A.I., Fane, A.G., Waite, T.D. (1998). Chemical addition prior to membrane processes for natural organic matter (NOM) removal. In V, H.H. Hahn, E. Hoffman, H. Ødegaard (Eds.), *Chemical Water and Wastewater Treatment 8th International Gothenburg Symposium* (pp. 125-137). Springer.
- Shon, H. K., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., & Cho, J. (2007). *Characteristics of effluent organic matter in wastewater*. Eolss Publish.
- Watson, B. M., & Hornburg, C. D. (1989). Low-energy membrane nanofiltration for removal of color, organics and hardness from drinking water supplies. *Desalination*, 72(1-2), 11-22.
- Wiesner, M. R., & Chellam, S. (1999). Peer reviewed: the promise of membrane technology. *Environmental Science and Technology*, 33(17), 360A-366A.
- Yuan, W., & Zydney, A. L. (1999). Humic acid fouling during microfiltration. *Journal of Membrane Science*, 157(1), 1-12.

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลนครมณฑลและทางเลือกในการลดก๊าซเรือนกระจก

Greenhouse gas emission from solid waste management of Mandalay municipality and possible mitigation options

เฮต ตีรี^{1,2}, อวัสสา ฟงศ์พิพัฒน์^{1,2*}, สิรินทรเทพ เต้าประยูร^{1,2} และ สร้อยดาว วินิจันนทรัตน์³
Htet Thiri^{1,2}, Awassada Phongphiphat^{1,2*}, Sirintornthep Towprayoon^{1,2} and Soydoa Vinitnantharat³

Received: 29 August 2022 ; Revised: 13 January 2023 ; Accepted: 16 February 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ ศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชน ศักยภาพทางด้านพลังงาน และผลคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะทั้งในปัจจุบันและภาพฉายในอนาคต ของเมืองมณฑล สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาร์ การสุ่มตัวอย่างขยะดำเนินการในเดือนมีนาคม ปี 2562 ที่สถานีรวบรวมและขนส่งขยะ 2 แห่งของเมือง พบว่า ขยะจากสวนมีปริมาณร้อยละ 45.4 ของน้ำหนักขยะเปียก ในขณะที่ขยะพลาสติก ขยะอาหาร และขยะสิ่งทอคิดเป็นร้อยละ 15.4, 14.4 และ 11.0 ตามลำดับ ที่เหลือ (ร้อยละ 13.7) ประกอบด้วยเศษไม้ ยาง หนัง กระดาษ ฟ้าย้อม โลหะ และแก้ว ความชื้นของตัวอย่างขยะมีค่าร้อยละ 43.2 ด้วยข้อมูลองค์ประกอบขยะดังกล่าว ศักยภาพทางด้านพลังงานจากขยะมูลฝอยของเมืองมีค่าประมาณ 2,357 เทระจูลส์ เทียบเท่าศักยภาพการผลิตไฟฟ้า 5.2-10.3 เมกะวัตต์ ภายใต้สมมติฐานที่กำหนดให้โรงไฟฟ้าขยะมูลฝอยมีประสิทธิภาพ 10-20% และเดินระบบ 300 วันต่อปี การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะด้วยวิธีการตาม 2006 IPCC guidelines for national GHG inventories พบว่ามีค่าเท่ากับ 94 Gg CO₂-eq ในปี 2562 ปริมาณการเกิดขยะมูลฝอยในอนาคตจนถึงปี 2573 คาดการณ์โดยการใช้ univariate Grey model (GM (1,1)) ผลการศึกษาพบว่า ภายใต้การดำเนินธุรกิจตามปกติ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 820 Gg CO₂-eq ในปี 2573 งานวิจัยนี้ได้นำเสนอทางเลือกในการจัดการขยะมูลฝอย 2 ภาพฉายที่จะช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ โดยภาพฉายที่ 1 คือกรณีประสิทธิภาพการเก็บขยะ และการนำกลับมาใช้ใหม่ดีขึ้น มีการใช้ระบบหมักปุ๋ย และระบบหมักก๊าซชีวภาพ และภาพฉายที่ 2 คือกรณีที่มีการนำวัสดุและพลังงานจากขยะกลับมาใช้ประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ด้วยการเพิ่มการนำกลับมาใช้ใหม่ การหมักปุ๋ย และหมักก๊าซชีวภาพ และการผลิตพลังงานด้วยโรงไฟฟ้าเตาเผาขยะ รวมถึงการเปลี่ยนหลุมฝังกลบทั้งหมดให้เป็นหลุมฝังกลบแบบกึ่งใช้อากาศ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ในปี 2573 แนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2 สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 6% และ 55% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีการดำเนินธุรกิจตามปกติ

คำสำคัญ: การปล่อยก๊าซเรือนกระจก องค์ประกอบขยะ การคาดการณ์การเกิดขยะ ศักยภาพทางด้านพลังงาน เมืองมณฑล

¹ บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

² คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

³ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม, กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย

¹ The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.

² School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.

³ Center of Excellence on Energy Technology and Environment (CEE), Ministry of Higher Education, Science, Research, and Innovation (MHESI), Bangkok, Thailand.

* Corresponding author: awassada.pho@kmutt.ac.th

Abstract

This study investigated municipal solid waste (MSW) composition, energy potential, and estimates of greenhouse gas (GHG) emissions from the current MSW management practice and the future MSW management scenarios of Mandalay municipality, Republic of the Union of Myanmar. Waste sampling was performed in March 2019 for two transfer stations, with garden and park waste accounting for 45.4 % by wet weight of MSW. Plastic, food, and textile waste accounted for 15.4, 14.4 and 11.0 wt%, respectively. The rest (13.7 wt%) comprised small pieces of wood, rubber, leather, paper, nappies, metal, and glass. The moisture content of MSW samples was 43.2 wt%. Based on this composition, the energy potential from MSW was approximately 2,357 TJ. The equivalent electricity production potential ranged from 5.2-10.3 MW, assuming an overall power plant efficiency of 10-20% and 300 working days per year. The amount of GHG emission from MSW management was estimated, using 2006 IPCC guidelines for national GHG inventories, to be 94 Gg carbon dioxide equivalent (CO₂-eq) in 2019. MSW generation up to 2030 was forecasted using the univariate Grey model (GM (1, 1)). Under a business-as-usual (BAU) scenario, the GHG emission will increase to 820 Gg CO₂-eq in 2030. This study proposed two alternative MSW management scenarios for GHG mitigation based on the Mandalay waste management strategy. The first scenario (S1) represented the case where waste collection efficiency and recycling were enhanced, and the composting and aerobic digestion facilities were operated. The second scenario (S2) described the case where additional material and energy recovery through reuse and recycling, composting, anaerobic digestion, and waste-to-energy power plant were implemented. S2 also included conversions of all landfills into semi-aerobic landfills. The results showed that in 2030, S1 and S2 could reduce GHG emissions by 6% and 55%, respectively, compared to the BAU.

Keywords: Greenhouse gas emission, waste composition, MSW generation forecasting, energy potential, Mandalay city

Introduction

Global greenhouse gas (GHG) emissions are increasing mainly due to human activities. Anthropogenic GHG emissions affect climate change, and as a result, GHG management has attracted researchers' interest since the early 1900s (Goldenfum, 2012; Hu *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2019; Malahayati & Masui, 2019). Compared to 1850-1900, the global surface temperature is very likely to rise by 1.0-1.8°C during 2081-2100 under the most optimistic scenario with the very low GHG emission and could increase by 3.3-5.7°C under the very high GHG emission scenario (Allan *et al.*, 2021). The Waste sector accounts for 3.2% of global emissions (Ritchie *et al.*, 2020). The key GHG emission from the Waste sector is CH₄ emission from landfills, followed by CH₄ and N₂O emissions from wastewater treatment and, to a lesser extent, fossil-CO₂ emission from waste combustion (Bogner *et al.*, 2007). According to the 6th assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the global warming potential (GWP) of CH₄ for a 100-year time horizon is estimated to be 27.2 for the non-fossil origin and 29.8 for fossil origin (Masson-Delmotte *et al.*, 2021). Therefore, it is crucial to carefully plan, select, and utilize

appropriate waste and wastewater treatment technologies to mitigate GHG emissions as much as possible.

Mandalay city is the second largest city in Myanmar and the commercial hub of the upper and central parts of Myanmar. The city has a population of 1,134,577 people, with 945,191 people living in the municipal area (83%) and 189,386 people living in the countryside (17%). The population density increased from 99 persons/km² in 1973 to 124 persons/km² in 1983 and 200 persons/km² in 2014 (MIP, 2015). As with the economy's growth, increasing population and urbanization rate, municipal solid waste (MSW) generation in Mandalay city increases. Currently, the Cleansing Department of Mandalay City Development Committee (MCDC) is responsible for the MSW management system, including the primary, secondary, and final disposal. The primary MSW collection includes door-to-door collection with bell ringing and loudspeaker announcements using labours, curbside collection, and collections from dedicated community spaces or waste collection areas. The secondary MSW collection occurs at the transfer stations. Finally, the collected MSW is sent to the city's disposal sites, which can be described as poorly managed anaerobic landfills.

Mandalay municipality comprises six townships covering a total land area of 314.7 square kilometres. These six townships are grouped into 97 wards for administrative and public service management purposes. In 2019, only 85% of the total area of Mandalay municipality was provided with MSW collection service. The amount of collected MSW measured at disposal sites in 2019 was 419,165 t/year or 1,148 t/day (H.Myo, MCDC, personal communication, March 14, 2019). As the MSW amount increases, a well-planned and sustainable waste management system is in need. The current MSW management system must be modified to accommodate the changes in waste in terms of its quantity and its composition (MCDC, 2017).

According to the Myanmar Energy Master Plan (Emmertson, 2015), the current energy supply in Myanmar primarily relies on hydropower, gas, coal, petroleum, and biomass. Energy demand is growing yearly with the increasing population and urbanization rate. For a modern MSW management system, waste-to-energy incineration (WtEI) is essential for reducing the mass and volume of initial bulk waste and mitigating GHG emissions (Ferreira *et al.*, 2014; Quina *et al.*, 2014). Waste incineration can reduce MSW by 80-85% in weight and 95-96% in volume (Nidoni, 2017). Additionally, energy from waste can reduce fossil fuel use and help supply the country's energy demand. It is interesting to evaluate the energy potential of MSW from Mandalay city, as this information will be helpful for the future planning of the MSW management system. Thermal properties of waste and its energy potential estimates are essential in considering whether WtEI technologies should be implemented in the city.

One of the environmental concerns arising from improper MSW treatment in developing countries is the GHG emissions from disposal sites. To estimate and manage the GHG emission from MSW management effectively, one should know the amount of MSW generation, its composition, and the characteristics of MSW treatment and disposal technology used in that site of interest. Information on GHG emissions from MSW treatment and disposal sites should be estimated and systematically curated. A sound MSW management system should allow for continuous waste tracking and

waste statistics obtained. Accurate waste statistics and composition are vital to improving waste treatment facilities.

This study aims to provide the necessary information to improve Mandalay's MSW management system. Therefore, this study surveyed Mandalay's MSW composition, evaluated the MSW energy potential, and estimated the amount of GHG emissions from current and future MSW management scenarios.

Materials and Methods

Study sites

This study focused on MSW management of Mandalay municipality. Mandalay municipality is divided into two areas: northern and southern. The northern area includes Aung Myay Thar Zan, Chan Aye Thar Zan and Mahar Aung Myay. The southern area includes Chan Mya Tharsi, Pyigy Tagon and AmaraPura. Each area has one waste transfer station and one waste disposal site. Waste from each area is collected daily and gathered at the transfer station before it is sent to the waste disposal site dedicated to each area: Kyar Ni Kan for the northern area and Taung inn-Myauk inn for the southern area. A map of Mandalay municipality, the locations of waste transfer stations and disposal sites is shown in Figure 1.

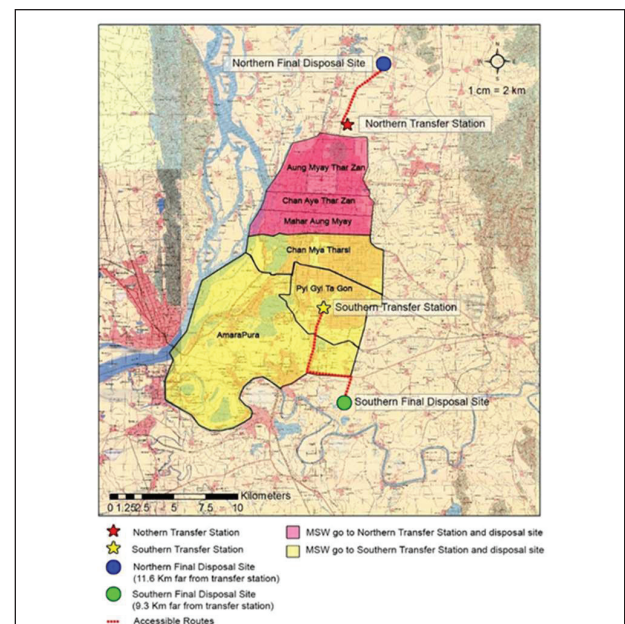


Figure 1 Study sites: Mandalay municipality boundary, locations of waste transfer stations and disposal sites (the base map was derived from survey Department Myanmar)

MSW composition analysis

MSW composition analysis was carried out at both transfer stations in March 2019. The working time was selected to be in March as it is in the dry season in Myanmar when the weather conditions are stable throughout the day. The waste sampling was designed to (1) include MSW from different areas across the Mandalay municipality and (2) cover both weekends and weekdays to ensure the representativeness of the data obtained.

For each transfer station, three waste samples were taken from three different sources (three trucks loaded with MSW from three different neighbourhoods) for composition analysis; one sample on a weekday and two samples on the weekend. In total, there were six samples representing the MSW from Mandalay municipality.

The method for MSW composition analysis was primarily referred to ASTM-D5231-92 (2016). Firstly, the collected MSW sample from the truck was thoroughly mixed, coned and quartered. Then, one quarter with a weight range of 91-136 kg is randomly selected to be hand-sorted. This study grouped MSW into 11 categories following the 2006 IPCC guidelines for national GHG inventories (Eggleston *et al.*, 2006). Samples of MSW were analyzed for moisture content in a laboratory using a method described in ASTM-D3173/D3171-17a (2017).

Estimation of energy potentials

The calorific value (CV) of MSW is a crucial parameter in determining whether thermal waste treatment processes should be considered for a city. The gross calorific values (GCVs) and net calorific values (NCVs) of waste were reviewed and summarised in Table 1. This study selects the lowest and the highest GCVs from this literature review to estimate the range of energy content of Mandalay's MSW. In addition, the energy content was also calculated using the default NCVs given in the 2006 IPCC GL, volume 2: 10 TJ/Gg for a non-biomass fraction of municipal waste and 11.6 TJ/Gg for a biomass fraction of municipal waste (Eggleston *et al.*, 2006).

The energy content of the total MSW was calculated by summing up the energy content of each waste component. The energy content of each waste component was calculated by multiplying the weight of that component with its respective CVs. Dry weights were

used for the calculations based on GCVs, whereas wet weights were used for the calculations based on NCVs.

The wet weights of each waste component were calculated by multiplying the amount of MSW generation in 2019 with the results of waste composition analysis as shown in equation (1) :

$$W_{a,wet} = W_{msw,wet} \times \%C_a \quad (1)$$

Where $W_{a,wet}$ is the wet weight of waste component a (kg), $W_{msw,wet}$ is the amount of MSW generation in Mandalay municipality (kg) in 2019 as reported by MCDC (2017), and %C is the percentage of waste component a (%) as reported by this study.

The dry weights of each waste component were calculated by using equation (2) :

$$W_{a,dry} = W_{a,wet} \times (1 - \%Moisture_a) \quad (2)$$

Where $W_{a,dry}$ is the dry weight of waste component a (kg), $\%Moisture_a$ is the moisture content (%) for the waste component a. The $\%Moisture_a$ were based on the default moisture content values for each waste component suggested in the 2006 IPCC GL, volume 5 (Eggleston *et al.*, 2006). These default values were then normalized by equation (3) to make the sum of moisture in all waste components equal to the total moisture content of MSW obtained from our laboratory analysis, $\%Moisture_{msw}$.

$$W_{msw,wet} \times \%Moisture_{msw} = \sum_{i=a}^n (W_{a,wet} \times \%Moisture_a) \quad (3)$$

Where i = waste component a, b, c, ... n

The energy potential of MSW (EP_{msw}) was estimated using equation (4) (Anshar *et al.*, 2014).

$$EP_{msw} = W_{msw} \times CV_{msw} \quad (4)$$

Where EP_{msw} is the energy potential from MSW (MJ), W_{msw} is the weight of MSW (kg), CV_{msw} is the net calorific value of the MSW (MJ/kg). The electricity

production potential from WtEI in megawatts (MW) was estimated by referring to the average data of Thailand for the overall power plant efficiency of 10-20% with 300 working days per year (Phongphiphat *et al.*, 2022).

Table 1 Gross calorific values (GCVs) and net calorific values (NCVs) of waste reported by previous studies

References	Origin	Gross Calorific values (MJ/kg)						
		food waste	garden waste	Paper & cardboard waste	Wood waste	plastic waste	rubber & leather waste	textile waste
Menikpura & Basnayake (2009)	Sri lanka	18.40	15.80	15.00	14.20	33.30	23.00	17.00
Komilis <i>et al.</i> (2012)	Greece	20.93	17.20	15.93		39.35		
Franjo Franjo <i>et al.</i> , (1992)	Spain			16.02 ± 0.194		32.03 ± 0.397		23.16 ± 0.185
Net Calorific values (MJ/kg)								
Biomass fraction				Non-biomass Fraction				
Eggleston <i>et al.</i> (2006)	2006 IPCC GL			10.00			11.60	

Forecasting MSW generation and model verification

There are several methods for MSW generation forecasting, including descriptive statistical methods, time series analyses, regression analyses, and artificial intelligence models. All modelling approaches have their strengths and weakness. When this study was conducted, the available time series data for MSW generation in Mandalay were only from 2012-2019 (n = 8). Selecting a forecasting model that could work well with limited data was inevitable. Hence, this study utilized the univariate grey model, GM (1,1), as it requires a small number of samples or restricted data to conduct the forecasting (Wang *et al.*, 2018). The GM (1,1) is a one-variable grey differential equation model without considering influencing factors. The first-order differential equation of GM (1,1) is defined in equation (5) (Huang, 2012; Xu *et al.*, 2013) :

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = b \tag{5}$$

The solution formula of the first-order differential equation is written as shown in equation (6) (Liu & Forrest, 2010).

$$x_1^{(0)}(k) = \left[x_1^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] (1 - e^{-a}) e^{-a(k-1)}, \tag{6}$$

$k = 2, 3, \dots, m$

Where $x_1^{(0)}$ is a prediction sequence, a is a coefficient, and b is a control parameter. The variables a and b can be determined by the ordinary least square method (OLS), as shown in equations (7) to (9) (Hsu & Wang, 2009; Huang, 2012; Liu & Yu, 2007; Xu *et al.*, 2013).

$$[a \ b]c^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_n, \tag{7}$$

where

$$B = \begin{pmatrix} -\left[\frac{1}{2}x_1(1) + x_1\right] & 1 \\ -\left[\frac{1}{2}x_1 + x_1(3)\right] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\left[\frac{1}{2}x_1(m-1) + x_1(m)\right] & 1 \end{pmatrix} \tag{8}$$

and

$$Y_N = \begin{pmatrix} x_1^{(0)}(2) \\ x_1^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x_1^{(0)}(m) \end{pmatrix} \tag{9}$$

The mean absolute percentage error (MAPE) was also used in this study to verify the grey prediction results. The equation for MAPE is shown in equation (10) (Hsu & Wang, 2009; Pai *et al.*, 2007; Xu *et al.*, 2013).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{x_i^{(0)} - \hat{x}_i^{(0)}}{x_i^{(0)}} \right| \times 100 \tag{10}$$

The MSW generation data for 2012-2017 were used in the model training, while data for 2018-2019 were used in model validation.

It is important to note that the “MSW generation data” mentioned and used in forecasting and scenario analysis of this study was the amount of MSW collected by the municipal service. It was not the total MSW generation in Mandalay municipality. When this study was conducted, there were no official records for the amount of MSW uncollected. However, it was estimated that the collected waste accounted for 85%, and the uncollected waste accounted for 15% in 2019. The uncollected waste was locally treated by reuse and recycle, animal feeding, illegal dumping and open burning. Nevertheless, the percentages of each treatment were unknown. Hence, the calculations were not carried out with the data of uncollected MSW in order to minimize the uncertainty.

Scenarios and assumptions

This study investigated the amount of GHG emissions under three different MSW management scenarios: business-as-usual scenario (BAU), alternative MSW management scenario 1 (S1), and alternative MSW management scenario 2 (S2). The assumption framework and MSW management targets (wt%) for BAU, S1 and S2 are summarised in Figure 2. The consideration time frame was from 2019 to 2030, which 2019 was the base year.

The BAU scenario represents the situation where MSW management practices in Mandalay as of 2019 remain unchanged until 2030. In 2019, it was estimated that the collected waste portion accounted for 85%, while the uncollected waste portion accounted for 15%. The collected MSW was treated by 80% landfilling and 5% recycling. The uncollected waste was treated in households through reusing, animal feeding, and illegal activities such as open dumping and open burning. This information was derived from a consultative discussion with the MCDC’s head of the department.

S1 and S2 were set up by referring to the Mandalay waste management strategy (MCDC, 2017). S1 represents the MSW management activities set in the midterm goals (2021-2025), while S2 represents midterm and long-term goals (2026-2030). The strategy did not specify any numeric targets for these MSW management

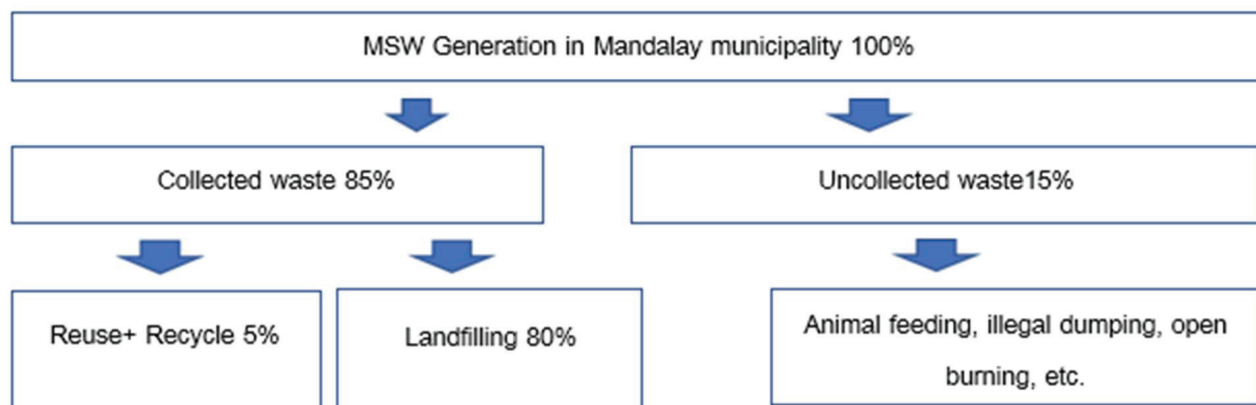
goals. For our study, we set the possible targets for each MSW management activity in S1 and S2 by consulting with MCDC officers and reviewing previous studies related to Myanmar’s waste management.

The strategy’s midterm goals include enhancing waste collection, increasing waste recycling, operating composting and anaerobic digestion facilities, and substituting uncontrolled landfills with sanitary landfills. Tun & Juchelkova (2019a), who investigated Myanmar’s nationwide waste management scenarios, suggested possible targets for recycling, composting, and anaerobic digestion as 5%, 5% and 1%, respectively. For S1 assumptions, we adopted the same targets for composting (5%) and anaerobic digestion (1%) from Tun & Juchelkova (2019a) but increased the recycling rate from the BAU level to 7%. The area with waste collection service was assumed to rise from the BAU level to 87%. The MSW sent to landfills was 74%. These targets were to be reached by 2025 after a constant increase from the 2019 levels of the BAU scenario. After 2025, the percentages for each MSW management activity were assumed to be stable until 2030.

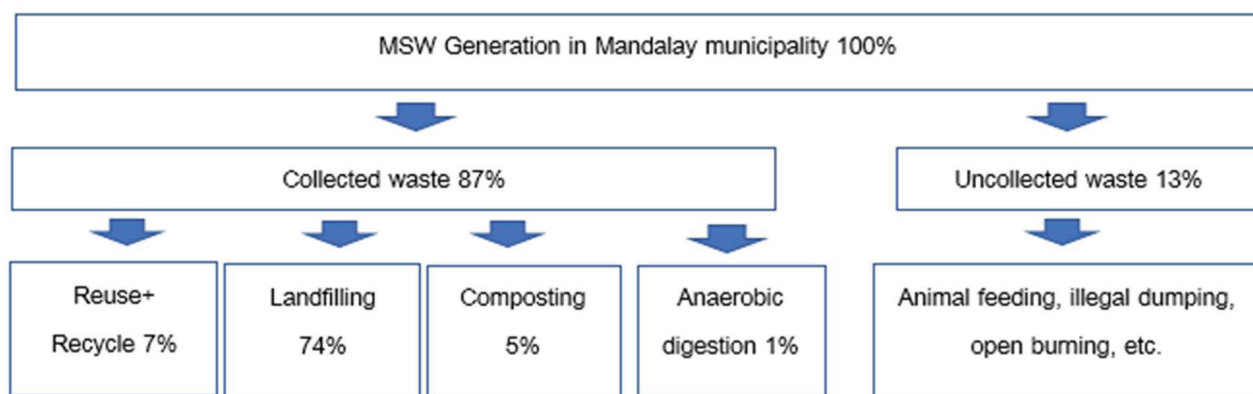
The strategy’s long-term goals include enhancing the waste collection, increasing waste recycling and material recovery, ban of landfilling food waste and market waste, starting the operation of the WtEI plant, and substituting sanitary landfills with semi-aerobic landfills. After considering the area-based limitations of waste collection in Mandalay, S2’s targets for collected MSW were assumed to be the same as S1 (87%). However, the assumptions for MSW management activities were set to be more challenging. The MSW management and disposal activities of the collected MSW were assumed to be 10% reusing and recycling, 10% composting, 1% anaerobic digestion, 3% incineration, and 63% semi-aerobic landfills. These targets were to be reached by 2030 after a constant increase from the 2019 levels of the BAU scenario.

For all scenarios, Mandalay’s MSW composition was assumed to remain unchanged during 2019-2030. The basis for this assumption is that the waste compositions in most developing countries change slowly (Tun & Juchelkova, 2019a).

BAU Scenario: The MSW management targets from 2019 to 2030



Scenario 1: The MSW management targets by the end of 2025. The targets were kept constant until 2030.



Scenario 2: The MSW management targets by the end of 2030

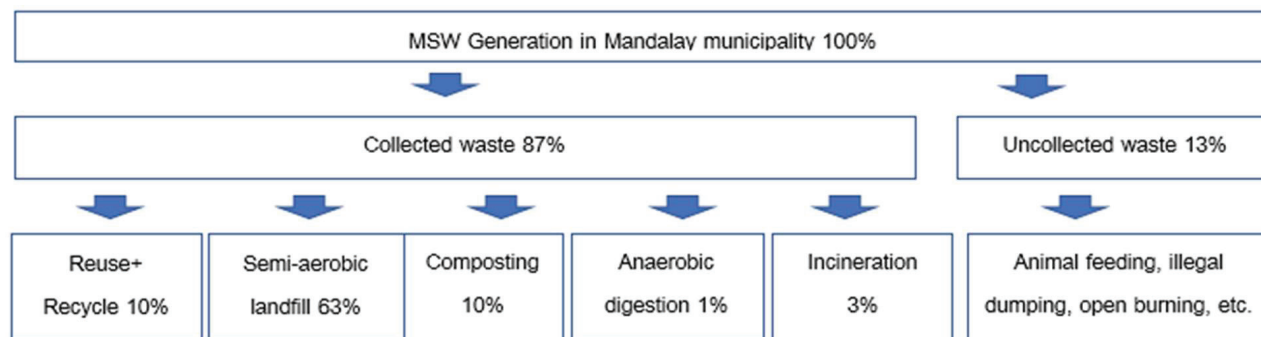


Figure 2 Assumption framework and MSW management targets (wt%) for business-as-usual scenario (BAU), alternative MSW management scenario 1 (S1), and alternative MSW management scenario 2 (S2)

We assumed that Mandalay’s economy, lifestyle and tradition would not change significantly by 2030. Hence, the MSW composition in 2019 could correspond to the composition in 2030. Moreover, the necessary statistics and supporting information for predicting future changes in Mandalay or Myanmar waste composition are rare. To assume deviations in any particular waste component would have affected the percentages of all other parts. It would require systematic assumptions

and sensitivity analysis. As for the scope of this study, we, therefore, limited our work to the constant waste composition to reduce the introduction of new uncertainties.

GHG emission estimations

This study focused on the GHG emissions from the treatment and disposal of waste as per the 2006 IPCC GL’s Waste sector. The estimation of GHG

emission from MSW treatment and disposal was based on the 2006 IPCC GL volume 5 (for emissions from biological treatment, incineration process and disposal on land). The GHG emissions from energy consumption during MSW collection and transportation were not included. Furthermore, emissions from uncollected waste were not estimated because no detailed information was available for this MSW portion.

The GHG emissions from waste disposals on land were calculated using the tier 1 method with a default value of six months for the time delay between waste deposition and methane (CH₄) release. The CH₄ emissions from disposal sites (Gg) were estimated using equations (11) and (12) (Eggleston *et al.*, 2006).

$$CH_4 \text{ Emissions} = \left[\sum CH_4 \text{ generated}_{x,T} - R_T \right] \times (1 - OX_T) \quad (11)$$

Where CH₄ generated_{x,T} is the amount of CH₄ generated from waste or material (x) in inventory year T (Gg), R is recovered methane (Gg), and OX is the oxidation factor (fraction).

$$CH_4 \text{ generated}_T = DDOC_m \text{ decomp}_T \times F \times 16/12 \quad (12)$$

Where DDOC_m decomp_T is the decomposable organic carbon decomposed in year T (Gg), F is a fraction of CH₄ by volume (volume fraction), and 16/12 is the molecular weight ratio CH₄/C (ratio).

Biological treatment of waste can contribute to the production of CH₄ and nitrous oxide (N₂O). The CH₄ and N₂O emissions (Gg) were estimated using the tier 1 method as in equations (13) and (14), respectively (Eggleston *et al.*, 2006).

$$CH_4 \text{ Emissions} = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R \quad (13)$$

$$N_2O \text{ Emissions} = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} \quad (14)$$

Where M_i is the mass of organic waste treated (Gg), EF_i is the emission factor for treatment (g GHG/kg waste treated), and i is composting or anaerobic digestion. R is the total CH₄ recovered in the inventory

year (Gg). For composting, the default CH₄ and N₂O EF values are 10 g CH₄/kg waste treated and 0.6 g N₂O/kg waste treated, respectively.

For anaerobic digestion, the default CH₄ EF is 2 g CH₄/kg waste treated, while the emission from N₂O is assumed negligible. It was assumed that all biogas produced from anaerobic digestion was recovered and used in electricity production or household cooking. Therefore, the amount of GHG emissions from anaerobic digestion was reported as CO₂ emission due to biogas combustion. The CO₂ emissions were estimated by multiplying CH₄ emission by 44/16 (CO₂ / CH₄) (Marzouk, 2021).

The GHG emissions from WtEI were estimated by following the tier 1 method as in equations (15), (16) and (17), respectively (Eggleston *et al.*, 2006).

$$CO_2 \text{ Emissions} = MSW \times \sum (WF_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times 44/12 \quad (15)$$

Where MSW is the total amount of solid waste in wet weight (Gg/yr), WF_i is the fraction of waste type, dm_i is the dry matter content of each waste type i, CF_i is the total carbon content in dry matter, FCF_i is the fraction of fossil carbon in the total carbon, OF_i oxidation factor and 44/12 is the conversion factor from carbon to CO₂. It was assumed that the WtEI is semi-continuous incineration type (stocker).

$$CH_4 \text{ Emissions} = \sum (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \quad (16)$$

$$N_2O \text{ Emissions} = \sum (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6} \quad (17)$$

Where IW_i is the amount of solid waste (Gg/yr), and EF_i is the emission factor of CH₄ and N₂O. Default CH₄ and N₂O EF values are 6 g CH₄/t waste treated and 50 g N₂O/t waste treated, respectively.

Results and Discussion

MSW composition

MSW compositions of Mandalay municipality, analyzed in March 2019 for the northern and southern transfer stations, are shown in Figures 3 and 4,

Table 2 Average MSW compositions (wt%) for Mandalay municipality in March 2019

MSW composition	Average MSW composition of the northern transfer station (wt%) (n = 3)	Average MSW composition of the southern transfer station (wt%) (n = 3)	Average MSW composition of Mandalay City (wt%) (n=6)
Food waste	13.7 ± 9.2	15.2 ± 6.3	14.4 ± 7.1
Garden and Park waste	43.7 ± 3.7	47.6 ± 1.7	45.4 ± 3.3
Paper and cardboard	3.1 ± 2.0	4.5 ± 1.2	3.7 ± 1.7
Wood	2.6 ± 3.7	4.1 ± 1.4	3.2 ± 2.6
Textile	15.8 ± 13.3	4.8 ± 3.7	11.0 ± 10.2
Nappies	1.9 ± 1.1	1.1 ± 1.5	1.5 ± 1.3
Rubber and leather	0.9 ± 0.7	1.5 ± 0.6	1.1 ± 0.7
Plastics	14.0 ± 4.5	17.2 ± 2.0	15.4 ± 3.6
Metal	0.8 ± 1.2	0.4 ± 0.3	0.6 ± 0.8
Glass	1.5 ± 1.6	1.9 ± 0.7	1.7 ± 1.1
Other	2.1 ± 0.8	1.8 ± 2.0	1.9 ± 1.4

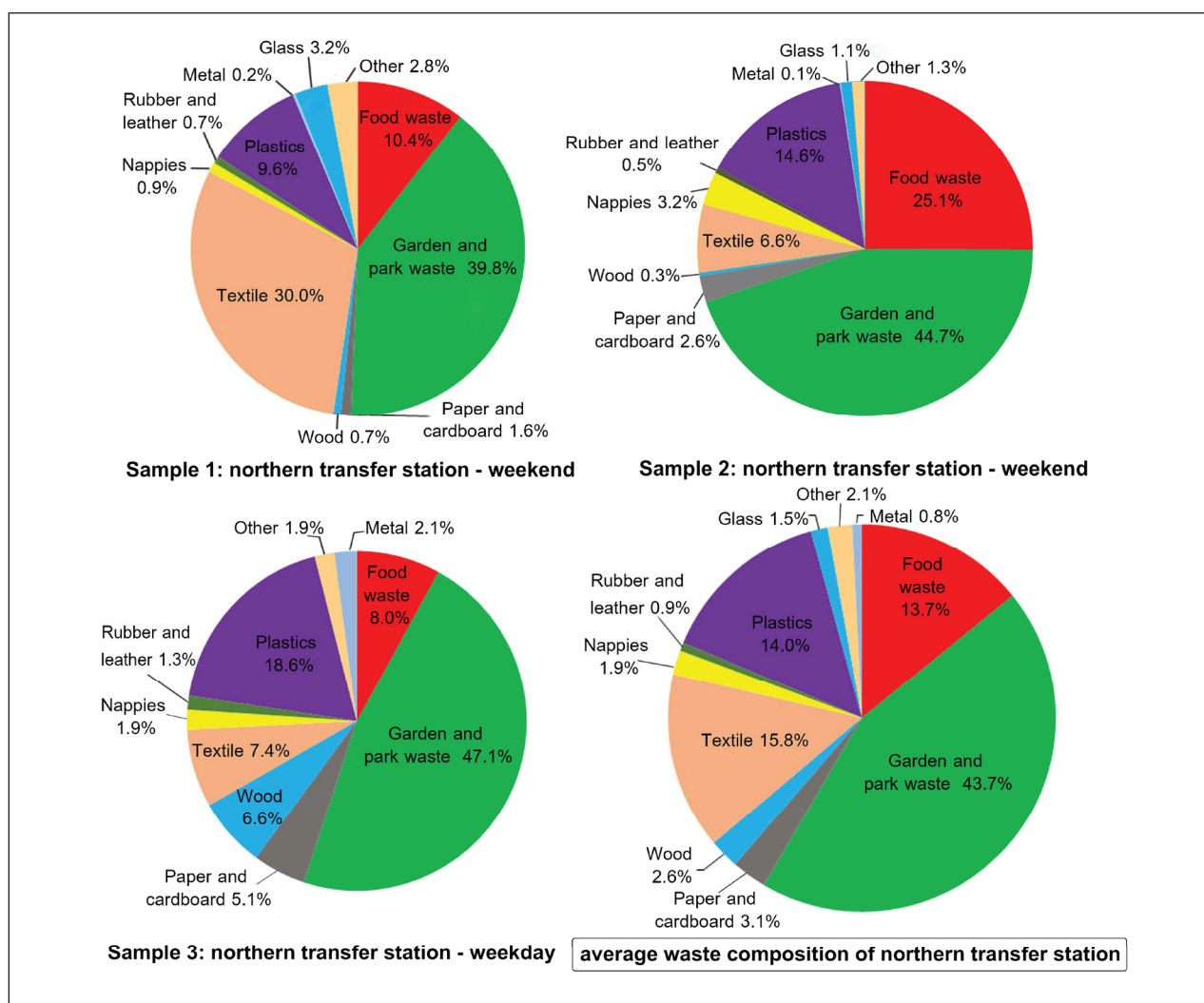


Figure 3 MSW composition (wt%) for the northern transfer station of Mandalay municipality (analyzed in March 2019)

respectively. The average MSW compositions of all samples are summarised in Table 2. The MSW compositions, percentage by wet weight, found at the transfer stations include primarily garden and park waste, food waste, plastic materials and textiles. Wood, rubber and leather, paper, nappies, metal, glass, and other materials such as construction and electronic waste are found in smaller amounts. All communities had a significant percentage of garden and park waste, ranging from 39.8-47.1%. On average, the garden and park waste contributed up to 45.4%. This result is in the same range as other studies conducted in 2012 (ADB, 2016), 2014 (ADB, 2016) and 2016 (MCDC, 2017). Garden and park waste were also previously reported as Mandalay municipality's most significant waste components (ADB, 2016; MCDC, 2017). Asia Development Bank (ADB, 2016) also noted the high

fraction of green waste in other developing countries such as the Philippines, Cambodia, East Timor and Vietnam. The reason could be similar socio-economic conditions and climate patterns.

Our samples of garden and park waste comprised a large portion of flowers, leaves and garlands used for cultural and religious purposes and, to a lesser amount, small branches. Leaves are also used in wrapping vegetables to maintain their freshness and in local food packaging. As this substantial portion of the garden and park waste (45.4 ± 3.3%) and food waste (14.4 ± 7.1%) are being disposed of in landfills, there is a significant potential for reducing GHG emissions from Mandalay landfills by sorting waste and composting activities.

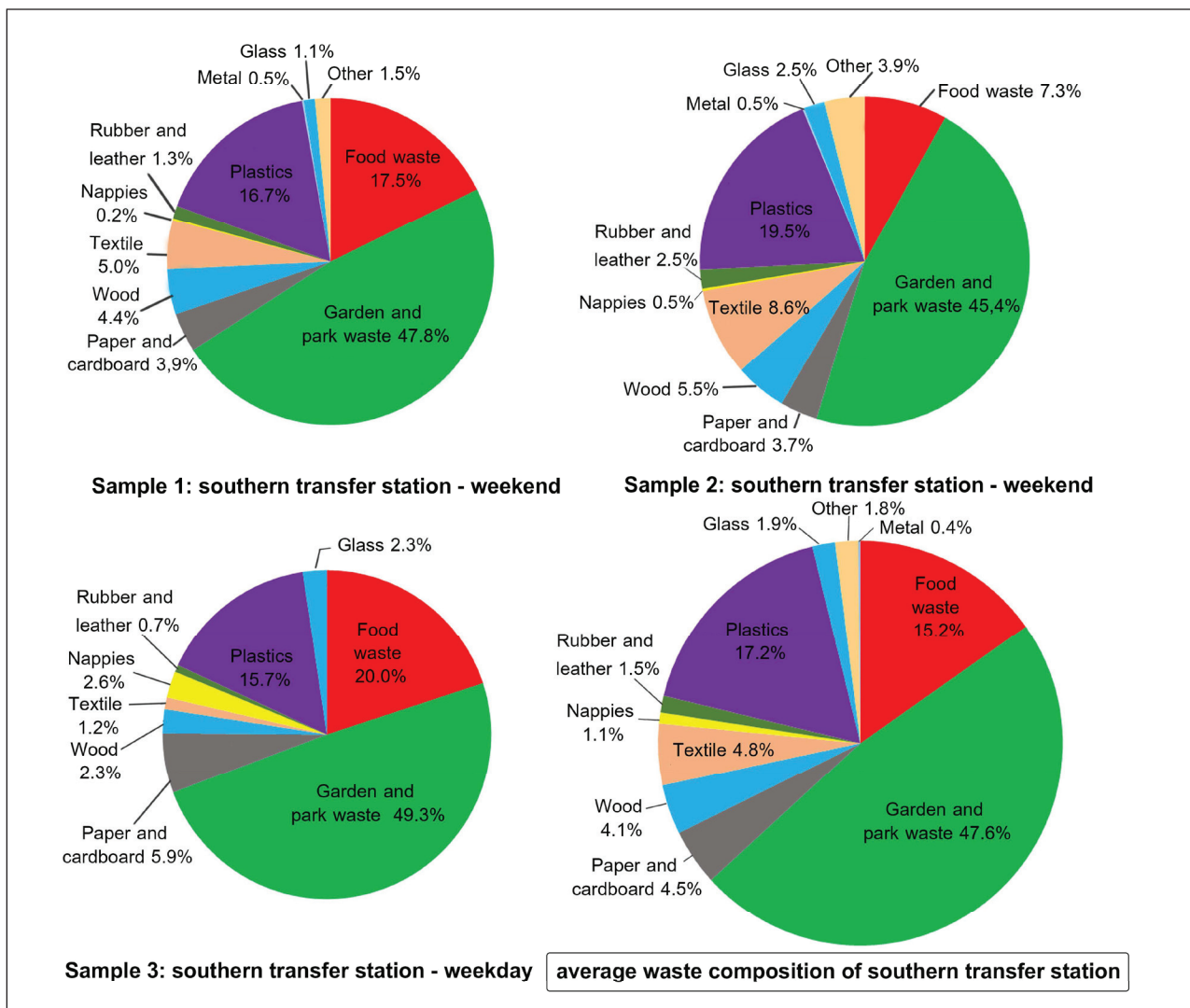


Figure 4 MSW composition (wt%) for the southern transfer station of Mandalay municipality (analyzed in March 2019)

Plastic waste was the second most significant portion of MSW ($15.4 \pm 3.6\%$), showing a high recyclable and energy recovery potential, such as for refuse-derived fuel (RDF). Paper and cardboard waste was detected in only 3.7% because it was collected mainly by scavengers before disposal. A significant proportion of paper waste

found at the transfer stations was tissue paper, mainly from restaurants and houses. The rubber waste was mostly motorcycle tyres and a few car or truck tyres. Only a small amount of construction and electrical waste was found in the waste stream.

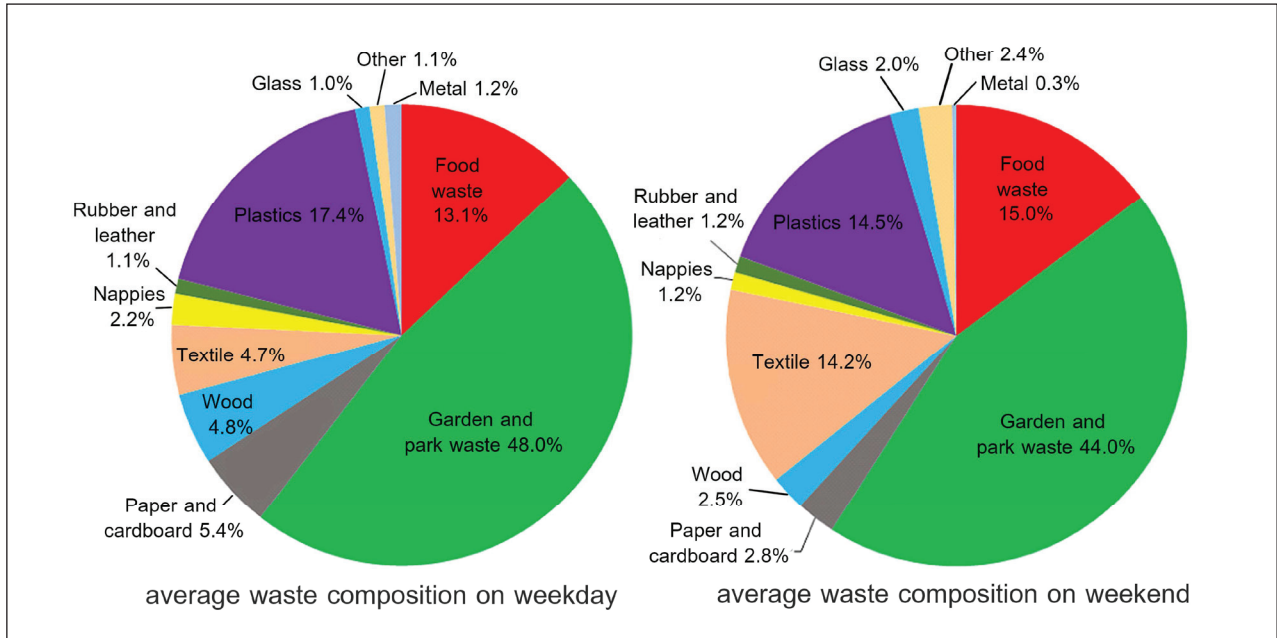


Figure 5 Average MSW composition (wt%) of Mandalay municipality on weekdays and weekends (analyzed in March 2019)

The informal sector, including scavengers, waste collectors, and waste dealers, is commonly involved in recycling papers and plastic waste. Waste collectors and scavengers collect recyclable materials such as newspapers, cardboard, containers made of tin, valuable metals, glass and plastic from homes, public warehouses, streets, commercial areas, and final disposal sites. Then, they sell the collected materials to waste dealers who clean, sort, store, and sell them in bulk to the local or international recycling industries.

It is noted that the textile waste fraction for the northern site is significantly higher than that of the southern site. The difference could be explained by the better socio-economic position of the northern towns, which allows them to throw away more textiles than their southern counterparts.

Figure 5 shows the differences between the MSW compositions detected on weekdays and weekends. There are differences in the percentages of food waste (1.9%), garden and park waste (4.0%), textile (9.5%), wood (2.3%), and paper and cardboard (2.6%). Food waste was found to be higher on weekends, possibly because most people buy food and cook more during the weekends. Textile waste was also increased by household activities during weekends, for example, house cleaning and closet clearing. The amount of garden and park waste was higher on weekdays than on weekends. The reason could be the clearing of branches along the roadside and the landscaping activities of the municipal staff, who usually work on weekdays. The effects of weekdays and weekends on MSW composition in Mandalay were not apparent on some types of waste such as glass, metal, rubber and leather, nappies, and other waste.

Table 3 Energy contents (MJ) in Mandalay's MSW in 2019 using the lowest and highest GCVs from literature and the IPCC default NCVs

Type of MSW	Energy content (MJ), based on GCV from the literature					
	Highest GCVs from literature (MJ/kg db)	References	Possible highest energy content (MJ, db)	Lowest GCVs from literature (MJ/kg db)	References	Possible lowest energy content (MJ, db)
Food waste	20.93	Komilis <i>et al.</i> (2012)	447,616,763	18.40	Menikpura& Basnayake (2009)	393,509,243
Garden and park waste	17.2	Komilis <i>et al.</i> (2012)	1,161,161,601	15.80	Menikpura& Basnayake (2009)	1,066,648,447
Paper and card-board	16.21	Franjo Franjo <i>et al.</i> (1992)	222,740,530	15.00	Menikpura& Basnayake (2009)	206,114,000
Wood	14.2	Menikpura& Basnayake (2009)	162,245,483	14.20	Menikpura& Basnayake (2009)	162,245,483
Textile	23.34	Franjo Franjo <i>et al.</i> (1992)	845,142,500	17	Menikpura& Basnayake (2009)	615,438,959
Nappies	23.34	Franjo Franjo <i>et al.</i> (1992)	53,513,665	17	Menikpura& Basnayake (2009)	38,969,043
Rubber and leather	23.00	Menikpura& Basnayake (2009)	90,528,217	23.00	Menikpura& Basnayake (2009)	2,046,626,324
Plastic	39.35	Komilis <i>et al.</i> (2012)	2,546,150,675	31.63	Franjo Franjo <i>et al.</i> (1992)	1,099,988,856
Total			5,529,099,434			4,620,079,715
Energy content (MJ), based on IPCC default NCVs						
Biomass fraction	10.00	IPCC (2006) Vol.2	1,792,459,327			
Non-biomass fraction	11.60	IPCC (2006) Vol.2	565,456,046			
Total			2,357,915,373			

The moisture content from MSW samples collected from the northern and the southern transfer stations was 43.3 and 43.7%, respectively. The average moisture content for MSW of Mandalay municipality was estimated to be 43.2%.

Energy potential

The energy potential of Mandalay municipality's MSW in 2019, estimated using the lowest and highest

GCVs from literature and the IPCC default NCVs, are shown in Table 3.

The energy potential based on GCV values found in the literature was 4,620 TJ when calculated with the lowest GCVs and 5,529 TJ when calculated with the highest GCVs. On the other hand, the energy potential based on IPCC default NCVs was 2,357 TJ. Plastic waste, garden and park waste, and textile waste were the primary energy sources in Mandalay's MSW. Plastic waste

generally contains higher heating values than those other waste components. Therefore, waste with a high percentage of plastic is considered a promising energy source. Recently, problems with plastic waste have become more severe, particularly in developing countries. Treating plastic waste with WtEI can be a long-term solution to the increasing plastic pollution and can help solve the problems of an unstable electricity supply. However, the moisture content in the MSW must be less than 50% for the combustion process to be used for energy recovery; otherwise, a pre-drying process may be necessary (Aderoju *et al.*, 2019).

The electricity production potential was estimated using the energy content value based on NCVs. The potential estimate was 5.2-10.3 MW for the WtEI, with an overall efficiency of 10-20%. The calculation based on GCVs was not carried out due to the lack of necessary information, such as the percentages of hydrogen, oxygen and nitrogen in each MSW component.

Critical challenges in setting up a WtEI in developing countries include its high capital, operation, and maintenance costs, high moisture content and the heterogeneous nature of MSW (Tun *et al.*, 2020), and insufficient human resources with relevant skills. Myanmar has operated its first WtEI plant in Yangon (the largest city in Myanmar) since 2017. The plant's installed capacity is 700 KW, with a waste feeding rate of 60 t MSW/day. The plant uses almost 43% of its electricity for internal consumption, leaving approximately 57% for the grid

(Huisman *et al.*, 2017). Lessons learned from the Yangon WtEI plant will certainly benefit Mandalay city when it plans to implement WtEI technology.

Forecasts of MSW generation

The forecasting results of Mandalay municipality's MSW generation up to 2030, based on the GM (1,1) model and 2012-2017 MSW data, are shown in Figure 6. The model predicts that the MSW generation will increase from 419,165 t/year (1,148 t/day) in 2019 to 585,208 t/year (1,603 t/day) in 2025 and 797,066 t/year (2,183 t/day) in 2030. On average, the increasing rate is approximately 6.8% per year. The model accuracy evaluation using MAPE yielded a MAPE of 2.2%, indicating the excellent performance of the forecasting model (Intharathirat *et al.*, 2015). The forecasted MSW generation for 2020 was 429,662 t/year and 1,177 t/day. This result was in line with Premakumara *et al.* (2016), who reported that the MSW generation of Mandalay municipality was 1,020 t/day in 2020. This municipality's rapid growth in MSW generation emphasizes the need for proper MSW management planning.

The MSW generation per capita per day (kg/capita/day) from 2020-2030 was estimated using the future population in the respective year. The future population was forecasted using the GM (1,1) and the historical data of Mandalay municipality's population from 2012-2019. The population in Mandalay was predicted to increase from 1,809,360 in 2019 to 1,897,965 and 1,975,108 in 2025 and 2030, respectively.

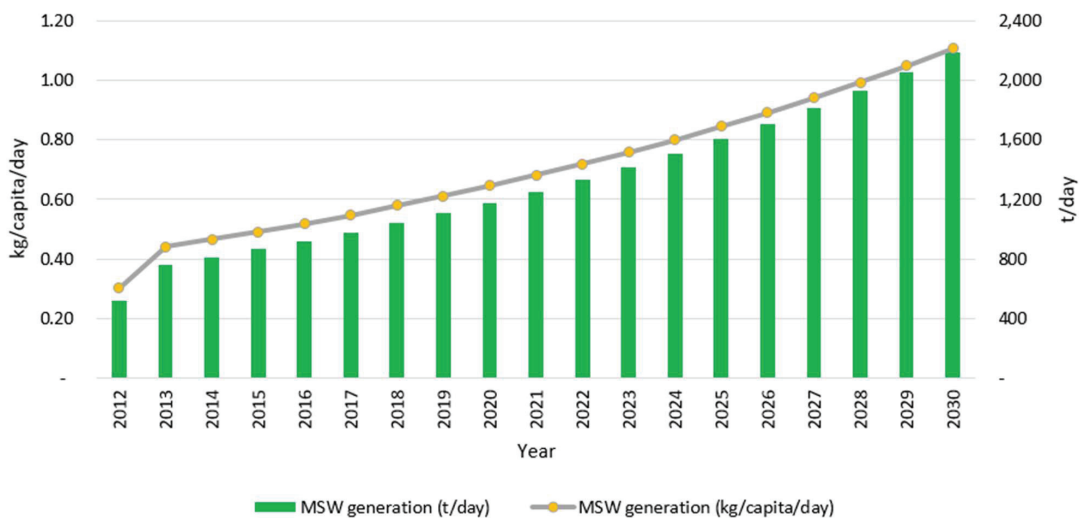


Figure 6 The MSW generation rate of Mandalay municipality: historical data (2012-2019) and forecasted data (2020-2030).

Consequently, the amounts of MSW generation per capita per day were estimated to increase from 0.63 kg/capita/day in 2019 to 0.84 and 1.11 kg/capita/day in 2025 and 2030, respectively. The forecast for 2025 agrees with Hoornweg & Bhada (2012), who reported the MSW generation rate of Myanmar as 0.85 kg/capita/day by 2025.

GHG emission Results

The GHG emission from MSW management and disposal of Mandalay municipality was estimated to be 94 Gg CO₂-eq/year in 2019. Under the BAU scenario, the emission was predicted to reach 517 Gg CO₂-eq/year (0.74 kg CO₂-eq/capita/day) in 2025 and 820 Gg CO₂-eq/year (1.13 kg CO₂-eq/capita/day) in 2030. Meanwhile, Tun & Juchelkova (2018) reported that the GHG emission from MSW management and disposal of Yangon municipality could reach 900 Gg CO₂-eq/year in 2025. As Yangon municipality's population was projected to reach 6,762,371 in 2025 by assuming a 2.4% annual growth rate, the GHG emission from MSW management would be equivalent to 0.36 kg CO₂-eq/capita/day. Therefore, regarding GHG emission per head, our estimate for Mandalay municipality was more than two times higher than that of Yangon municipality. Results from these two

studies indicated that more attention should be given to the Mandalay municipality's MSW management and GHG mitigation planning.

The comparison of GHG emissions from MSW treatment and disposal of Mandalay municipality under BAU, S1 and S2 scenarios from 2019- 2030 are shown in Figure 7. Suppose the government could efficiently implement a sound waste management system as planned in the S1 (strategy's midterm goals). In that case, the GHG emissions could be decreased by 5% and 6% compared to BAU in 2025 and 2030, respectively. If the government continues to reach the strategy's long-term targets as in S2, The GHG reduction could increase to 54% and 55% in 2025 and 2030, respectively.

The GHG reduction in S1 was due to the increased rate of waste collection (+2%), reusing-recycling (+2%), composting (+5%), and anaerobic digestion (+1%) while reducing waste sent to landfills (-6%) compared to BAU. More GHG reduction potential could be achieved in S2 as a result of higher rates of reusing-recycling (+3%), composting (+5%), the addition of WtEI (+3%) compared to S1, and the conversion of all sanitary landfills to semi-aerobic landfills.

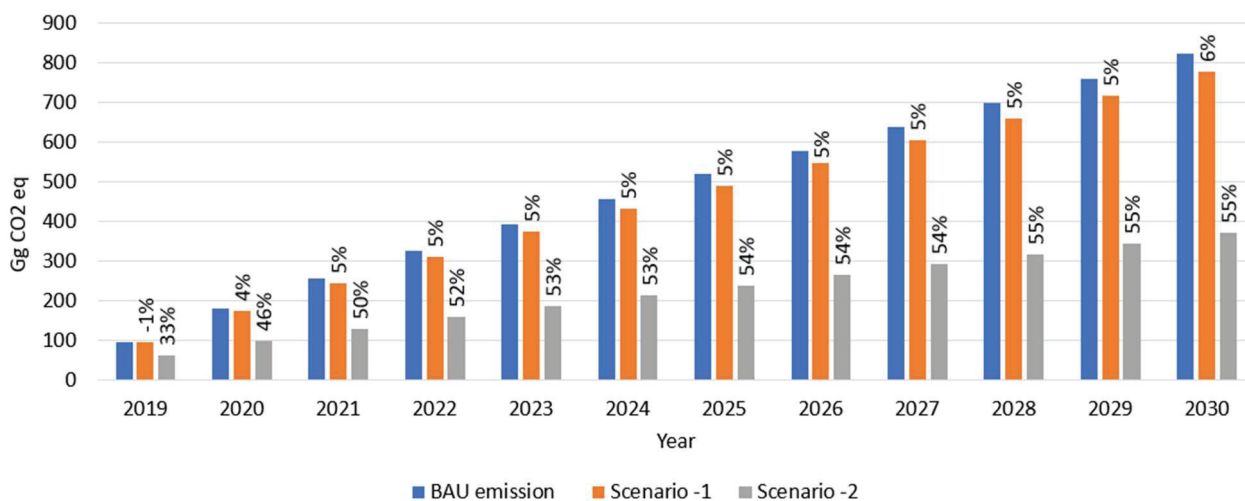


Figure 7 GHG emissions (Gg CO₂-eq) from MSW treatment and disposal of Mandalay municipality under three scenarios (BAU, S1 and S2) from 2019-2030.

Composting is an attractive waste treatment option for Mandalay municipality because organic waste makes up the majority of waste fractions. Composting facilities for organic waste have been successfully

implemented in Indonesia (Zurbrügg *et al.*, 2012) and Bangladesh (Menon, 2002). However, both countries have faced difficulties in popularizing compost products in existing markets. Both countries' governments over-

come this challenge by planning to replace the chemical fertilizer with compost products within a target year. Lessons learned from those countries will undoubtedly benefit Mandalay city when it intends to implement composting facilities.

Using MSW as fuel or RDF provides great benefits as it can reduce fossil fuel consumption and GHG emissions from fuel combustion. However, the moisture of MSW should be minimized before energetic utilizations. The drier weight means less transportation cost and fuel requirement and a higher heating value suitable for thermal waste treatment technologies. Some simple methods for reducing the moisture content in MSW or RDF include biostabilization, biodrying, solar drying, thermal drying (Tun & Juchelkova, 2019b).

Recommendations for future work

This study conducted waste sampling and composition analysis in March 2019, during the dry season, when the average temperature range was 20 °C-37 °C. The results obtained from this sampling were used to estimate GHG emissions and energy potential in all years, as we assumed a constant waste composition. This assumption was designed to minimize the uncertainties from varying the unknown future waste composition. Furthermore, it was due to limitations on-site during the sampling period. Therefore, our results do not reflect the fluctuation of waste composition that may arise from seasonal change and growing urbanization rate. Population growth, gross domestic product (GDP), expenditure, urbanization rate, consumption habits and seasonal variations are factors controlling waste generation and its characteristics (Edo & Johansson, 2018; Tun *et al.*, 2020). The season could affect human consumption and waste generation and composition. For example, in Mexico, the amounts of food waste, paper, cardboard, plastics, and glass, were higher in summer than in winter (Aguilar-Virgen *et al.*, 2013). Changes in MSW amount and its composition significantly affect GHG emissions. Therefore, it is recommended that future work systematically plans for more waste sampling and composition analysis to improve the accuracy of waste forecasting and GHG emission estimates.

Moreover, it was suggested that a data recording system should be established for waste management. Such a system will be useful in evaluating the appropriate MSW treatment technologies for Mandalay and Myanmar.

This study used GM (1,1) to forecast MSW generation. The model used only the historical MSW generation data as its input variable. Future work could improve waste forecasting by using multivariate forecasting models that consider other vital parameters such as the socio-economic variable (e.g. GDP, household expenditure, employment) and demographic variable (e.g. population, urbanization, education).

Finally, it was noted that our current study was based on the municipality's statistics for collected MSW. There was no official record for the amount of uncollected waste and the total MSW generation in Mandalay municipality at the time of writing. We recommend that future studies investigate the MSW generation, waste collection efficiency and percentages of different waste treatment methods. A systematic on-site survey could improve these data. As a result, Mandalay city can effectively design its waste management action plans and strategy.

Conclusions

The MSW generation of Mandalay municipality was 1,148 t/day in 2019, and it was projected to reach 1,603 t/day in 2025 and 2,183 t/day in 2030. In 2019, garden and park waste was the most significant component contributing up to 45.4%, followed by plastic (15.4%), food waste (14.4%) and textile (11%). The rest comprised other waste components such as wood, rubber, leather, paper, nappies, metal, and glass. The moisture content of MSW samples was 43.2%. Because of its high organic waste fractions and high moisture content, composting is an interesting option for Mandalay municipality. The estimated energy potential from MSW was 2,357 TJ, equivalent to 5.2-10.3 MW of electricity. Under the BAU scenario, the GHG emission would increase from 94 Gg CO₂-eq in 2019 to 820 Gg CO₂-eq in 2030. GHG emissions could be reduced under both suggested scenarios. S1 (enhanced recycling and operations of composting and aerobic digestion facilities) could reduce GHG emissions by 6% in 2030. S2

(additional material and energy recovery, landfill conversion into semi-aerobic landfills) could reduce GHG emissions by 55% in 2030. S2 is the best scenario for the reduction of GHG emissions. However, implementing this scenario will require significant changes in Mandalay. Challenges include investments for efficient waste collection and treatment systems, private sector involvement, public participation, and the lack of in-country capacities and a skilful workforce. These issues should be addressed in the future city's plans to establish a sustainable MSW management system.

Acknowledgements

The authors would like to thank Prof. Dr. Chart Chiemchaisri, Asst. Prof. Dr. Komsilp Wangyao, Dr. Rotchana Intharathirat and Ms. Natvaree Chommontha for their guidance and support. The authors would like to express their gratitude to The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi and the Center of Excellence on Energy Technology and Environment (CEE), Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation (MHESI) for the financial support to perform this study. In addition, we would like to thank the Ministry of Natural Resources and Environmental Conservation (MONREC) and Mandalay City Development Committee (MCDC) for their support during on-site study.

References

- ADB. (2016). *Asian Development Bank, TA-8566 REG: Mainstreaming Integrated Solid Waste Management in Asia-Solid Waste Management Team (46248-001)*. Integrated SWM Plan-Mandalay.
- Aderoju, O. M., Oke, A. B., Agbaje, G. I., & Dias, A. G. (2019). Plastic Waste for Electrical Power Generation: A Case Study in Nigeria. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 8 (3).
- Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P., & Ojeda-Benítez, S. (2013). Seasonal analysis of the generation and composition of solid waste: potential use—a case study. *Environmental Monitoring Assessment*, 185(6), 4633-4645.
- Allan, R. P., Hawkins, E., Bellouin, N., & Collins, B. (2021). *IPCC, 2021: Summary for Policymakers*.
- Anshar, M., Ani, F. N., & Kader, A. S. (2014). The energy potential of Municipal solid waste for power generation in Indonesia. *Jurnal Mekanikal*, 37, 42-54.
- ASTM-D3173/D3171-17a. (2017). *Standard test method for moisture in the analysis sample of coal and coke*. ASTM International. https://doi.org/10.1520/d3173_d3173m-17a
- ASTM-D5231-92. (2016). *Standard test method for determination of the composition of unprocessed municipal solid waste*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/d5231-92r16>
- Bogner, J., Abdelrafie Ahmed, M., Diaz, C., Faaij, A., Gao, Q., Hashimoto, S., Mareckova, K., Pipatti, R., & Zhang, T. (2007). Waste management, In B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Edo, M., & Johansson, I. (2018). International perspectives of energy from waste—Challenges and trends. *Proceedings of the IRRRC Waste-to-Energy Conference*, Austria.
- Eggleston, H. S., Buendia, L., & Miwa, K. (2006). *2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories*. National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Emmerton, M. (2015). *Myanmar energy master plan*. National Energy Management committee Myanmar.
- Ferreira, A. G., Gonçalves, L. M., & Maia, C. B. (2014). Solar drying of a solid waste from steel wire industry. *Applied Thermal Engineering*, 73(1), 104-110. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.07.047>
- Franjo Franjo, C., Ledo, J. P., Anon, J. A. R., & Regueira, L. N. (1992). Calorific value of municipal solid waste. *Environmental Technology*, 13(11), 1085-1089. <https://doi.org/10.1080/09593339209385246>
- Goldenfum, J. A. (2012). Challenges and solutions for assessing the impact of freshwater reservoirs on natural GHG emissions. *Ecology & Hydrobiology*, 12(2), 115-122.
- Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: A global review of solid waste management*.

- Hsu, L.-C., & Wang, C.-H. (2009). Forecasting integrated circuit output using multivariate grey model and grey relational analysis. *Expert Syst. Appl.*, 36(2), 1403-1409.
- Hu, B., Xu, X., Zhang, J. J., Wang, T., Meng, W., & Wang, D. (2020). Diurnal variations of greenhouse gases emissions from reclamation mariculture ponds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 237, 106677.
- Huang, Y.-L. (2012). Forecasting the demand for health tourism in Asian countries using a GM (1, 1) -Alpha model. *Tourism and Hospitality Management*, 18(2), 171-181.
- Huisman, H., Breukelman, H., & Keesman, B. (2017). Myanmar waste scoping mission report. Netherlands Enterprise Agency.
- Intharathirat, R., Abdul Salam, P., Kumar, S., & Untong, A. (2015). Forecasting of municipal solid waste quantity in a developing country using multivariate grey models. *Waste Management*, 39, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.026>
- Institute for Global Environmental Strategies. (2008). *IPCC 2006, 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. The National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Komilis, D., Evangelou, A., Giannakis, G., & Lymperis, C. (2012). Revisiting the elemental composition and the calorific value of the organic fraction of municipal solid wastes. *Waste Management*, 32(3), 372-381. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.034>
- Kumar, A., Yang, T., & Sharma, M. (2019). Greenhouse gas measurement from Chinese freshwater bodies: A review. *Journal of Cleaner Production*, 233, 368-378.
- Liu, G., & Yu, J. (2007). Gray correlation analysis and prediction models of living refuse generation in Shanghai city. *Waste Management*, 27(3), 345-351.
- Liu, S., & Forrest, J. Y. L. (2010). *Grey systems: theory and applications*. Springer Science & Business Media.
- Malahayati, M., & Masui, T. (2019). The impact of green house gas mitigation policy for land use and the forestry sector in Indonesia: Applying the computable general equilibrium model. *Forest Policy and Economics*, 109, 102003.
- Marzouk, O. A. (2021). Assessment of three databases for the NASA seven-coefficient polynomial fits for calculating thermodynamic properties of individual species. *International Journal of Aeronautical Science & Aerospace Research*.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S.,... Gomis, M. (2021). *The physical science basis*. The Intergovernmental Panel on Climate Change
- MCDC. (2017). *Waste management strategy and action plan for mandalay city (2017-2030)*. United Nations Development Programme
- Menikpura, S. N. M., & Basnayake, B. F. A. (2009). New applications of 'Hess Law' and comparisons with models for determining calorific values of municipal solid wastes in the Sri Lankan context. *Renewable Energy*, 34(6), 1587-1594. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.005>
- Menon, M. (2002). *Solid waste management in Dhaka Bangladesh, innovation in community driven composting. Analysis of community based initiative for solid waste management*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Solid-Waste-Management-in-Dhaka%2C-Bangladesh-in-Memon/f10452d49ccb868a854c71abecb6d21a023a6e8e>
- MIP. (2015). *The 2014 Myanmar population and housing census. "The Union Report: Census Report 3-1*. OCHA services.
- Nidoni, P. G. (2017). Incineration process for solid waste management and effective utilization of by products. *International Research Journal of Engineering Technology*, 4(12), 378-382.
- Pai, T. Y., Tsai, Y. P., Lo, H. M., Tsai, C. H., & Lin, C. Y. (2007). Grey and neural network prediction of suspended solids and chemical oxygen demand in hospital wastewater treatment plant effluent. *Computers Chemical Engineering*, 31(10), 1272-1281.
- Phongphiphat, A., Wulyapash, W., Wangyao, K., Chiemchaisri, C., & Towprayoon, S. (2022). Greenhouse gas mitigation potentials from waste to energy incineration in Thailand. *8th International Conference on Sustainable Energy and Environment*. Bangkok, Thailand.

- Premakumara, D., Hengesbaugh, M., Onogawa, K., & Hlaing, O. (2016). Quick study on waste management in Myanmar: Current situation and key challenges. *First National/City Workshops for Developing National/City Waste Management Strategies in Myanmar* (pp.1-22). IGES, Japan.
- Quina, M. J., Bordado, J. M., & Quinta-Ferreira, R. M. (2014). Recycling of air pollution control residues from municipal solid waste incineration into lightweight aggregates. *Waste Management*, 34(2), 430-438. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.029>
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). *CO₂ and greenhouse gas emissions*. Our World in Data. <https://doi.org/https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- Tun, M. M., & Juchelkova, D. (2018). Assessment of solid waste generation and greenhouse gas emission potential in Yangon city, Myanmar. *Journal of Material Cycles Waste Management*, 20(3), 1397-1408.
- Tun, M. M., & Juchelkova, D. (2019a). Estimation of greenhouse gas emissions An alternative approach to waste management for reducing the environmental impacts in Myanmar. *Environmental Engineering Research*, 24(4), 618-629. <https://doi.org/10.4491/eer.2018.364>
- Tun, M. M., & Juchelková, D. (2019b). Drying methods for municipal solid waste quality improvement in the developed and developing countries: A review. *Environmental Engineering Research*, 24(4), 529-542.
- Tun, M. M., Palacky, P., Juchelkova, D., & Sít'ař, V. (2020). Renewable waste-to-energy in southeast Asia: Status, challenges, opportunities, and selection of waste-to-energy technologies. *Applied Sciences*, 10(20), 7312.
- Wang, Z.-X., Li, Q., & Pei, L.-L. (2018). A seasonal GM (1,1) model for forecasting the electricity consumption of the primary economic sectors. *Energy*, 154, 522-534. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.155>
- Xu, L., Gao, P., Cui, S., & Liu, C. (2013). A hybrid procedure for MSW generation forecasting at multiple time scales in Xiamen City, China. *Waste management*, 33 (6), 1324-1331.
- Zurbrügg, C., Gfrerer, M., Ashadi, H., Brenner, W., & Küper, D. (2012). Determinants of sustainability in solid waste management-The Gianyar Waste Recovery Project in Indonesia. *Waste Management*, 32(11), 2126-2133.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งบทความวิจัยเพื่อรับการพิจารณาลงตีพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิกและไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน รวมถึงไม่อยู่ระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลงแก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล และนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษร่วมกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษ ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร **Browallia New**

3.1 ชื่อเรื่องให้อักษรขนาด **18 pt. ตัวหนา**

3.2 ชื่อผู้พิมพ์ให้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ**

3.3 หัวข้อหลักให้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา**

3.4 หัวข้อรองให้อักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา**

3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวบาง**

3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ให้อักษรขนาด 12 pt. ตัวบาง และใส่ Corresponding author

4. ผู้พิมพ์จะต้องจัดเตรียมต้นฉบับในรูปแบบของไฟล์ “.doc” (MS Word) และ “.pdf” (Portable Document Format)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

6. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

7. การส่งบทความ ส่ง online ผ่านระบบ ThaiJo โดยสามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.scjmsu.msu.ac.th

8. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะจัดส่งคืนผู้พิมพ์เพื่อปรับแก้ไข ก่อนเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา ซึ่งอาจทำให้กระบวนการตีพิมพ์ล่าช้า

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลักของงานวิจัย ไม่ใช่คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร

ชื่อผู้พิมพ์ [Author (s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงบรรณของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหา ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ ผลการค้นพบที่สำคัญ และสรุป มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยบทคัดย่อภาษาอังกฤษมีความยาวไม่เกิน 300 คำ สำหรับบทคัดย่อภาษาไทยให้สอดคล้องกับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

คำสำคัญ (Keywords) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 5 คำ ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานการศึกษาท่อนหน้า

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ สิ่งื่อนำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปรผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อน และมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิประกอบการรายงานผลการศึกษา

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) การอภิปรายผลการศึกษาว่าตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ผู้พิมพ์อาจมีข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่อง โดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) ระบุงานวิจัยได้รับการสนับสนุนงบประมาณ หรือสนับสนุนด้านอื่นๆ รวมถึงความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุงานการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ APA Style ดังตัวอย่าง สามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.scjmsu.msu.ac.th

เอกสารอ้างอิงให้เขียนตามรูปแบบ “Publication Manual of the American Psychological Association” (7th Edition)

1. หนังสือ (ในรูปแบบรูปเล่ม)

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). *ชื่อเรื่อง* (พิมพ์ครั้งที่). สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง:

วิธาน ฐานะวุฑฒิ. (2547). *หัวใจใหม่-ชีวิตใหม่*. ปิตติศึกษา.

2. บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, เลขของปีที่ (เลขของฉบับที่), เลขหน้า. /<https://doi.org/เลขdoi>

ตัวอย่าง:

มานะ สันฐานพานนท์. (2549). ปัจจัยส่งเสริมการจัดการศึกษาที่ส่งผลต่อคุณภาพนักเรียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารครุศาสตร์*, 18 (2), 115-116.

3. รายงานการประชุมเชิงวิชาการ (Proceeding)

ชื่อ-สกุล. (ปี). ชื่อบทความ. ใน/ชื่อบรรณานุกรม (บ.ก.), ชื่อหัวข้อการประชุม. ชื่อการประชุม (น. เลขหน้า). ฐานข้อมูล.

ตัวอย่าง:

พัชราภา ตันติชูเวช. (2553). การศึกษาทั่วไปกับคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ในประเทศมาเลเซีย และสิงคโปร์ ศึกษาโดยเปรียบเทียบกับประเทศไทย. ใน ศิริชัย กาญจนวาสี (บ.ก.), *การขับเคลื่อนคุณภาพการศึกษาไทย. การประชุมวิชาการและเผยแพร่ ผลงานวิจัยระดับชาติ* (น. 97-102). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

4. หนังสือพิมพ์และหนังสือพิมพ์ออนไลน์

ชื่อสกุล. (ปี, /วัน/เดือน). ชื่อคอลัมน์. ชื่อหนังสือพิมพ์, เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

พงษ์พรรณ บุญเลิศ. (2561, 15 สิงหาคม). เติลนิวิส์ว่าไรดี: 'สื่อพิพิธภัณฑน์' เชื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย 'มิติใหม่' อินเทอร์เน็ต. *เติลนิวิส์*, 4.

5. หนังสือ (ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์)

ชื่อ สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่). URL

ตัวอย่าง:

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรการศึกษาปฐมวัย พุทธศักราช 2560 สำหรับเด็กอายุ ต่ำกว่า 3-5 ปี*. http://drive.google.com/file/d/1HiTwiRh1Er73hVYIMh1cYWzQiaNI_Vc/view

Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are **Accepted** from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be **Revised** as appropriate to the standard. The manuscript must be interesting topic, review knowledge, modern knowledge, and academic comments that are beneficial to readers. The journal publishes 6 issues a year. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December).

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. The use of Thai language adheres to the principles of vocabulary, transliteration in English according to the principles of the Royal Society of Thailand. Manuscript should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. Mixing Thai and English should be avoided except for the case of necessity, such as academic vocabulary with no translation or mixing words for easier understanding. English vocabulary written in Thai must use all lowercase except for unique names. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscript should be on A4 standard size paper. Each side must have 1" margins with 2 columns.

3. Browallia New font is required with font size as follows:

3.1 Title of the article: **18 pt. Bold**

3.2 Name (s) of the authors: **16 pt. Unbold**

3.3 Main Heading: **16 pt. Bold**

3.4 Sub-heading: **14 pt. Bold**

3.5 Body of the text: **14 pt. Unbold**

3.6 Footnotes for authors and their affiliations: **12 pt. Unbold**, must be cited at the bottom of the first page. Academic position and corresponding author must be added at footnotes.

4. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" and ".pdf" (Portable Document Format)

5. The number of pages are limited to 12 pages, including references, tables, graphs, or pictures.

6. Types of manuscripts: research articles and review articles.

7. Manuscript submission: online submission via www.scjmsu.msu.ac.th.

8. Manuscript with uncorrected format will be sent back to the author before review process which can delay the publication process.

Research article / review article must be in sequence as follows:

Title: denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters.

Name (s) of the author (s) : denoted with affiliation must be in Thai and English, academic position must be specified, and email address for contact the author.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important of findings. The abstract must include objectives, findings, and conclusion. Thai and English abstract is required. The English abstract is restricted to **300 words**. Thai abstract should be relevant to English version.

Keywords: Give 4-5 concise words to specify your article

Introduction: This section is the initial part of the article, contain information about background, reasons, purposes, and review section.

Materials and Methods: A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation

Results: Present the output. Li the information in complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant/oppose to the objective and hypothesis. How the result is different/relevant when comparing to the former findings. Give us your reason why result is like that base on reliable researches. This part should end with suggestions for research utilization or providing questions for future studies.

Tables, figures, diagrams: Selected only necessary objects to insert in the body of manuscript in accordance with the description in the text. The short description is required in English with completely meaningful. For figures and diagrams, the description is below the picture. But, for table, the description is on top of the table.

Acknowledgement: the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

References: listed and referred in APA.

Reference are written in “Publication Manual of the American Psychological Association” (7th Edition)

1. Book

Mertens, D.M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (4th ed.). SAGE.

2. Academic Journal

Herbst-Damm, K.L., & Kulik, J.A. (2005). Volunteer support, marital status, and the survival times of terminally ill patients. *Health Psychology*, 24, 225-229. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.24.2.225>

3. Conference Proceeding

Katz, I., Gabayan, K., & Aghajan, H. (2007). A multi-touch surface using multiple cameras. In J. Blanc-Talon, W. Philips, D. Popescu, & P. Scheunders (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 4678. Advanced concepts for intelligent vision systems* (pp. 97-108). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74607-2_9

4. Newspaper / Online Newspaper

Brody, J.E. (2007, December 11). Mental reserves keep brain agile. *The New York Times*. <http://www.nytimes.com>

5. E-book

Dahlberg, G., & Moss, P. (2005). *Ethics and politics in early childhood education*. <https://epdf.tips/ethics-and-politics-in-early-childhoodeducation-contesting-early-childhood.html>

Aim and Scope:

The Journal of Science and Technology aims to disseminate of scientific knowledge in the discipline of Mathematics, Science, Technology, Engineering, Agriculture, Medicine, Health Science, Interdisciplinary in science and technology. The journal publishes both research article and review article.

Ownership

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

Advisors

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

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

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

Editorial Board

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

Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Suwanna Boonyaleepun
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Chantana Aromdee
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Boonchong Chawsithiwong
National Institute of Development Administration
Associate Professor Dr.Porntep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Chawalit Boonpok
Maharakham University
Associate Professor Terdsak Khammeng
Nakhon Phanom University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr.Natapol Pumipuntu
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Assistant Professor Dr.Seckson Sukhasena
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Walaiorn Tongjaroenbuengam
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom
Maharakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Adrian Roderick Plant
Maharakham University

Secretary

Director of the Division of Research Facilitation
and Dissemination

Assistant secretary

Phakwilai Rungwisai
Jirarat Puseerit

Six issues per year

Number 1 January-February
Number 2 March-April
Number 3 May-June
Number 4 July-August
Number 5 September-October
Number 6 November-December

วารสาร

วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่ 42 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม 2566

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

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
INDEXED IN

