

วารสาร

วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่ 43 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2567

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 โทรศัพท์/โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

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

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิขำ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.อริชญ์ กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็ร้อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.วงศา เล้าหิรัญศรี
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 ขาวสิทธิพงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนอมแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต 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

พัทธวิไล รุ่งวิสัย
จิรารัตน์ 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

บทบรรณาธิการ

ภัยพิบัติมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเข้าใจและจัดการกับความเสี่ยงที่อาจสร้างผลกระทบทั้งต่อระบบสังคมและสิ่งแวดล้อมภายในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ การมีความเข้าใจที่ถูกต้องและการดำเนินการที่เหมาะสมต่อภัยพิบัติจึงเกิดผลกระทบที่น้อยลงและมีการฟื้นฟูที่รวดเร็วมากขึ้น การศึกษาเชิงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในด้านนี้จึงมีบทบาทสำคัญในการเตรียมความพร้อมและการจัดการวิกฤติที่อาจจะเกิดขึ้น

วารสารฉบับนี้ เป็นฉบับแรกของปี 2567 ประกอบด้วยบทความทั้งหมด 8 บทความ ที่มีความเข้มข้นของเนื้อหาในหลากหลายกลุ่มสาขาทั้งด้านสาขาชีววิทยา เรื่อง การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำหมักไหมข้าวโพดหวาน *Zea mays* L. ด้วยวิธีการหมักแบบเหลว สาขาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยี เรื่อง การพัฒนานวัตกรรมทางด้านเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์และสามารถใช้งานได้ สาขาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ และสาขาคณิตศาสตร์ ซึ่งบทความทั้งหมดได้เข้าสู่กระบวนการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิและมีข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ทำให้วารสารฉบับนี้มีความเข้มข้นทางด้านการวิจัยมากขึ้น

ศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



สารบัญ

Biological Science

- ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำหมักไหมข้าวโพดหวาน *Zea mays* L. ด้วยวิธีการหมักแบบเหลว 1
 Antioxidant activity and total phenolic content of fermented juice from sweet corn silk *Zea mays* L. obtained
 by submerged fermentation
 กมลวรรณ ผลพิกุล, สิริลักษณ์ ชัยจรัส, ดิยะภรณ์ เหลืองพิพัฒน์ และ ทะเนตร อุฤทธิ์
 Kamonwan Pholphikul, Sirilux Chaijamrus, Tiyaom Luangpipat and Thanet Urit

Computer and Information Technology

- การพัฒนาวัตกรรมการเชื่อมด้วยการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต 8
 ทุกสรรพสิ่ง (IoT)
 The innovation development of a hybrid oven using automatic temperature controlled by solar energy and Internet of Things
 วีรวัตร คำภู, ชาญชัย นามพล และ สุทธิพงษ์ เป้งทอง
 Weerawat Kampoo, Chanchai Namphol and Suthip Penthong
- การสร้างแบบจำลองโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อจำแนกข้อความสนทนาจากแอปพลิเคชันไลน์ 16
 Creating a deep learning model for classifying conversation messages from a line application
 ไพชญนต์ คงไชย
 Phaichayon Kongchai

Engineering

- แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการทำความเย็นในการผลิตน้ำแข็งหลอด 25
 Thermodynamic model of a freezing process in tube ice production
 กมลวิสิทธิ์ พันวอ และ วีระชาติ พรพิบูลย์
 Kamonwisit Phanwor and Teerachart Pompibul

Health Science

- สถานการณ์เสพติดเกมออนไลน์และผลกระทบ กรณีศึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรี 38
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีการศึกษา 2564
 The situations of online game addiction and effects: A case study of undergraduate students,
 Khon Kaen University, 2021
 วิชุดา ไชยสีวามงคล, ลิขสิทธิ์ เกษวงษา และ ธนกฤต หินทอง
 Wichuda Chaisiwamongkol, Likkasit Ketwongsa and Tanakit Hinthong

Mathematics

- การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบสำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวนสำหรับข้อมูล 51
 ที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ
 An efficiency comparison of test statistics for testing homogeneity of variances for non-normally distributed data
 สุกัญญา ยอดนวล, จุฬารัตน์ ชุมนวล และ กรกช วิจิตรสงวน เจ็ดวรรณะ
 Sukanya Yodnual, Jularat Chumnaul and Korakot Wichitsa-nguan Jetwanna
- การพยากรณ์จำนวนแรงงานต่างด้าวในประเทศไทย โดยใช้วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง 63
 Forecasting the number of foreign workers in Thailand by exponential smoothing method
 ธนายุทธ ช่างเรือนงาม, สุรัสวดี นางแล, ธัญวรัชย์ บุตรสาร และ ศิวรี สุดสนธิ
 Thanayut Changruengnam, Suruswadee Nanglae, Thanwarat Butsan and Sivaree Sudsanit
- แบบจำลองการพยากรณ์สำหรับปริมาณการส่งออกเครื่องเทศของประเทศไทย 73
 Forecasting model for spice export volume in Thailand
 สุภาวิณี ชันคำ และ สิโรรัตน์ จันทาม
 Supawinee Khankham and Sirorath Channgam

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำหมักไหมข้าวโพดหวาน *Zea mays* L. ด้วยวิธีการหมักแบบเหลว

Antioxidant activity and total phenolic content of fermented juice from sweet corn silk *Zea mays* L. obtained by submerged fermentation

กมลวรรณ ผลพิกุล¹, สิริลักษณ์ ชัยจำรัส¹, ดิยะภรณ์ เหลืองพิพัฒน์² และ ทะเนตร อุฤทธิ์²
Kamonwan Pholphikul¹, Sirilux Chaijamrus¹, Tiyaoporn Luangpipat² and Thanet Urit²

Received: 4 February 2023; Revised: 27 March 2023; Accepted: 11 April 2023

บทคัดย่อ

ไหมข้าวโพดจัดเป็นส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งไหมข้าวโพดมีฤทธิ์ขับร้อน ขับปัสสาวะ แก้ไตอักเสบ รักษาดีซ่าน บำรุงตับ แก้เบาหวาน และรักษาโพรงจมูกอักเสบ (Hasanudin *et al.*, 2012) นอกจากนี้ พบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมากมาย (Sarepoua *et al.*, 2013; Eman 2011; Ebrahimzadeh *et al.*, 2008) โดยเลือกใช้วิธีการหมักเพื่อสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากไหมข้าวโพด การหมักสามารถเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ โดยการหมักไหมข้าวโพดหวานแบบเหลว (Submerged fermentation) และศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของน้ำหมัก วิธีการทดลองใช้ไหมข้าวโพดหวานสดพันธุ์ Hy-brix 10 หมักด้วยเชื้อแบคทีเรีย *Lactobacillus casei* TISTR 1463 และยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 1464 ทั้งเชื้อเดี่ยวและผสม โดยใช้สภาวะหมักแบบนิ่ง เป็นเวลา 14 วัน ผลการทดลองพบว่าไหมข้าวโพดหวานที่หมักนาน 14 วัน โดยเชื้อ *Lactobacillus casei* TISTR 1463 มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด (0.27 มิลลิกรัมกรดแกลลิก / มิลลิลิตร) อีกทั้งยังมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงที่สุด (31.4 มิลลิกรัมเคอร์ซีตินต่อกรัมของสารสกัด) และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงถึง 63.89 %

คำสำคัญ: ไหมข้าวโพดหวาน, สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

Corn silk is classified as agricultural waste. Corn silk is a heat insulator, diuretic, useful for treating nephritis and jaundice, nourishing the liver, curing diabetes and treating sinusitis (Hasanudin *et al.*, 2012). Numerous health advantages of bioactive substances and antioxidant activity have also been discovered in corn silk (Sarepoua *et al.*, 2013; Eman 2011; Ebrahimzadeh *et al.*, 2008). The objective of this study was to to extract bioactive substances from corn silk prepared by submerged fermentation. Fermentation can add value to food products by increasing amount of bioactive substances.

This study aimed to examine the conditions of submerged fermentation as well as the functional properties of water in the fermenter, specifically its antioxidant activity (including all phenolic substances). Fresh sweet corn silk of Hy-brix 10 was fermented by the microorganisms *Lactobacillus casei* TISTR 1463 and *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 1464. in both individual and co-culture using stationary fermented in the still state, close with an air lock. The

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ 60000

* ติดต่อผู้พิมพ์: กมลวรรณ ผลพิกุล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
อีเมล: pholphikul.k@gmail.com

¹ Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand 65000

² Faculty of Science and Technology, Nakhonsawan Rajabhat University, Nakhonsawan, Thailand 60000

* Corresponding author: Kamonwan Pholphikul Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand 65000
Email: pholphikul.k@gmail.com

results showed that for 14 days the sweet corn silk fermented by *Lactobacillus casei* TISTR 1463 had the highest of total phenolic compound content (0.27 mg GAE/mL). Additionally, it had the highest total flavonoids content (31.4 mg CE/g of Extract) and antioxidant activity 63.89 %.

Keywords: Sweet corn silk, total phenolic compounds, antioxidant activity

บทนำ

ไหมข้าวโพด (*Zea mays* hair, corn silk, maize silk) คือเส้นใยที่เกาะอยู่บนฝักข้าวโพด เป็นเกสรตัวเมียของดอกข้าวโพด ถือว่าเป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต โดยทั่วไปจะนำไปทิ้งหรือนำไปเป็นอาหารสัตว์ (อมร บุญสมบัติ, 2559) หรือนำไปต้มน้ำเพื่อดื่ม เนื่องจากไหมข้าวโพดมีสรรพคุณในด้านสุขภาพมากมาย เช่น มีฤทธิ์ขับร้อน ขับปัสสาวะ ขับน้ำดี นิ่วในถุงน้ำดี แก้ไตอักเสบ รักษาฝีซ่าน บำรุงตับ แก้เบาหวาน โพรงจมูกอักเสบ ซึ่งอาจจะเกิดจากฤทธิ์ของสารพฤกษเคมี (Hasanudin *et al.*, 2012) และมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Sarepoua *et al.*, 2013; Eman 2011; Ebrahimzadeh *et al.*, 2008) นอกจากนี้ ยังพบสารพฤกษเคมีที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพอีกหลายชนิด เช่น ฟีนอล โพลีฟีนอล กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ ฟลาโวนโกลโคไซด์ แอนโธไซยานิน แคโรทีนอยด์ เทอร์ปีนอยด์ อัลคาลอยด์ สเตียรอยด์ ลูทีน แทนนิน ซาโปนิน น้ำมันระเหย วิตามิน น้ำตาลบางชนิด และโพลีแซ็กคาไรด์ (Haq *et al.*, 2018) ซึ่งสารเหล่านี้ล้วนได้มาจากวิธีการสกัดทางเคมี อย่างไรก็ตามงานวิจัยจำนวนหนึ่งพบว่า การหมักพืชร่วมกับจุลินทรีย์สามารถเพิ่มสารพฤกษเคมีได้ เช่น เพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ (Amadou *et al.*, 2009; Adetuyi & Ibrahim, 2014; Kwak *et al.*, 2018)

การหมักเป็นกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์เพื่อสร้างพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์ด้วยเอนไซม์ โดยมีสารอินทรีย์เป็นทั้งตัวให้และตัวรับอิเล็กตรอน โดยผลิตภัณฑ์อาหารหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีและกายภาพของอาหารนั้นด้วยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร และส่งผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bamforth & Ward, 2014; Chisti, 2010)

ดังนั้นเพื่อให้ไหมข้าวโพดกลายเป็นของเหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูป งานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณฟลาโวนอยด์ และการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไหมข้าวโพดโดยการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ยา เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร หรือส่วนผสมของอาหารที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Random Design (CRD) ทดริตเมนต์ประกอบด้วยน้ำไหมข้าวโพดหมักด้วยแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก ยีสต์ และแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกผสมยีสต์ แต่ละทรีตเมนต์มี 3 ซ้ำ วัดการเจริญเติบโตโดยนับจำนวนเซลล์ และวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับตัวควบคุม ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ ตลอดจนการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การเตรียมไหมข้าวโพด

ไหมข้าวโพดหวาน (sweet corn) สายพันธุ์ Hy-brix 10 เก็บมาจากตำบลทับกฤชใต้ อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง และผึ่งเพื่อสะเด็ดน้ำให้แห้ง จากนั้นหั่นไหมข้าวโพดให้มีขนาดประมาณ 2-3 เซนติเมตร ก่อนบรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน ซิลิโคนสุญญากาศ ถุงละ 70 กรัม และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะใช้ในการทดลอง

การเตรียมน้ำไหมข้าวโพด

นำไหมข้าวโพดที่ผ่านขั้นตอนการเตรียม ปริมาณ 140 กรัม เติมน้ำกลั่น 630 มิลลิลิตร นำไปต้มเดือดนาน 15 นาที กรองแยกไหมข้าวโพดออกด้วยตะแกรงละเอียด จากนั้นเติมน้ำกลั่น 21 กรัม (30 กรัม/ลิตร) ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำไหมข้าวโพดให้มีค่าเท่ากับ 6.0 โดยปรับปริมาตรสุดท้ายให้เท่ากับ 630 มิลลิลิตร จากนั้นเทใส่ลงในฟลาสก์ขนาด 1000 มิลลิลิตร

การเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์

การเตรียมกล้าเชื้อแบคทีเรีย

นำ stock culture เชื้อแบคทีเรีย *Lactobacillus casei* TISTR 1463 ที่ซื้อมาจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่เพาะเลี้ยงไว้มาเชื้อเชื้อลงบนอาหารแข็ง De Man Rogosa and Sharpe (MRS) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เชื้อเชื้อจุลินทรีย์ที่ขึ้นบนอาหารแข็ง 2-3 หลบ ใส่ลงในอาหารเหลว MRS ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 16-18 ชั่วโมง

จากนั้นทำการเตรียมกล้าเชื้อไว้สำหรับการหมัก โดยทำการเจือจางเชื้อให้มีปริมาณ 10^6 cell/mL ซึ่งใช้ Hemocytometer ในการนับเซลล์ (อุทัยทิพย์ ทนเถื่อน และคณะ, 2555)

การเตรียมกล้าเชื้อยีสต์

นำ stock culture เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* Tlohe9KJSTR 1464 ซึ่งมาจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่เพาะเลี้ยงไว้มาเชื้อเชื้อลงบนอาหารแข็ง Potato Dextrose Agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง เชื้อเชื้อจุลินทรีย์ที่ขึ้นบนอาหารแข็ง 2-3 ลูกปัดใส่ลงในอาหารเหลว PDB ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในฟลาस्कขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการเตรียมกล้าเชื้อไว้สำหรับการหมัก โดยเจือจางเชื้อให้มีปริมาณ 10^5 cell/mL ซึ่งใช้ Hemocytometer ในการนับเซลล์

การเตรียมกล้าเชื้อผสมแบคทีเรียและยีสต์

นำกล้าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อยีสต์ผสมกัน โดยการเจือจางเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อยีสต์ให้มีปริมาณ 10^6 และ 10^5 cell/mL ตามลำดับ

การหมักแบบเหลว (Submerge fermentation)

นำน้ำไหมข้าวโพดที่เตรียมไว้ จากนั้นเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ทั้งแบบเดี่ยวและผสม ลงในแต่ละฟลาस्क ปริมาตร 70 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุก Air lock บ่มที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30-37 องศาเซลเซียส) เป็นเวลานาน 14 วัน ในสภาวะนิ่งไม่ให้อากาศ ในระหว่างการหมักจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำหมักทุกวัน โดยการดูดน้ำหมักด้วยสายยางผ่านทางท่อที่ใส่ไว้ เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ค่าของแข็งที่ละลายได้ และค่าความเป็นกรด-ด่าง จากนั้นตัวอย่างที่เก็บนั้นจะถูกแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบชีวภาพ และการทดสอบการออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำหมักต่อเวลาของการหมัก โดยจะทำการหมัก 3 ชั่วโมงการทดลอง

การวิเคราะห์ทางเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) โดยวิธี DNS Method (Miller, 1959)

ปิเปตตัวอย่างน้ำหมักจากไหมข้าวโพด 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง จากนั้นปิเปตสารละลาย DNS ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร นำไปเขย่าให้เข้ากันแล้วต้มน้ำเดือดทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นนำหลอดทดลองไปแช่ในอ่างน้ำเย็น 10 นาที ทำการเติมน้ำกลั่นใสในหลอดทดลองหลอดละ 2.5 มิลลิลิตร นำไปเขย่าให้เข้ากัน และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่มี

ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยหาได้จากสมการที่ (1)

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัม/ลิตร) = [ค่า OD540 x อัตราการเจือจาง] / ค่าความชันของกราฟมาตรฐานกลูโคส (1)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu's phenol reagent (Singleton & Rossi, 1965) ปิเปตตัวอย่างน้ำหมักจากไหมข้าวโพด 0.3 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลาย 10 เปอร์เซ็นต์ Folin-Ciocalteu's phenol reagent (Merck, Germany) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Na_2CO_3 (7.5% w/v) ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร และทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดสอบน้ำหมักตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) (Fluka, United States) เพื่อคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในน้ำหมักตัวอย่าง

วิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์โดยวิธี Aluminum chloride colorimetric method (ดัดแปลงจาก Prommuak et al., 2008) ปิเปตตัวอย่างน้ำหมักจากไหมข้าวโพด 0.5 มิลลิลิตร ตามด้วยเอทานอล ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ตามด้วย 10% aluminium chloride ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ตามด้วย 1 M potassium acetate 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 2.8 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ในที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดสอบน้ำหมักตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานเคอร์เซทิน (Quercetin) (Sigma-aldrich, USA) เพื่อคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในน้ำหมักตัวอย่าง

การทดสอบการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH: 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (Brand et al., 1995) ปิเปตตัวอย่างน้ำหมักจากไหมข้าวโพด 0.3 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นละลาย DPPH ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 40 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยเครื่อง UV-1201 spectrophotometer (UV-1201, Shimadzu Corporation, Japan) นำค่าที่ได้ไปคำนวณ % inhibition โดยหาได้จากสมการที่ (2)

$$\% \text{ inhibition} = \frac{[A_0 - (A_1 - A_2)]}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

A_0 = ethanol 0.3 ml + DPPH 1.5 ml

A_1 = sample 0.3 ml + DPPH 1.5 ml

A_2 = sample 0.3 ml + ethanol 1.5 ml

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยวิธี One-way Analysis of Variance (ANOVA) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยกำหนดความเชื่อมั่นทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ โดยใช้โปรแกรม SPSS 15.0

ผลการทดลองและอภิปรายผล

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

จากการศึกษาการหมักไหมข้าวโพดหวานด้วยจุลินทรีย์ 3 ชนิด ผลการเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักสามารถแสดงได้ดัง Figure 1-3 พบว่าปริมาณเชื้อมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-4 วันแรก เนื่องจากการใช้ออกซิเจนและน้ำตาลที่มีอยู่ในน้ำไหมข้าวโพด เมื่อออกซิเจนเริ่มหมดเชื้อจุลินทรีย์จะหยุดเพิ่มจำนวนและเปลี่ยนน้ำตาลที่เหลือให้อยู่ในรูปของแอลกอฮอล์ โดยเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 1464 เมื่อหมักน้ำไหมข้าวโพดจนครบ 14 วันแล้ว จะเห็นได้ว่าจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์ ค่าพีเอช และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มคงที่สามารถหยุดกระบวนการหมักได้ สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชพบว่า มีค่าลดลงจาก 4.48 เป็น 2.80 ในเชื้อ *L. casei* TISTR 1463; 4.28 เป็น 3.58 ในเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 1464 และ 4.56 เป็น 3.05 ในการหมัก 2 เชื้อข้างต้นผสมกัน นอกจากนี้ในการหมักโดยใช้เชื้อผสมพบว่า ในด้านของจำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์ พบว่ามีการไต่ระดับจนเริ่มจะคงที่ในช่วงท้ายของการหมัก ซึ่งมีความแตกต่างจากการหมักแบบเชื้อเดี่ยว โดยในระหว่างการหมักเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีหลายอย่าง มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางสารอาหารของพืช ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆ เช่น การออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bamforth & Ward, 2014; Chisti, 2010)

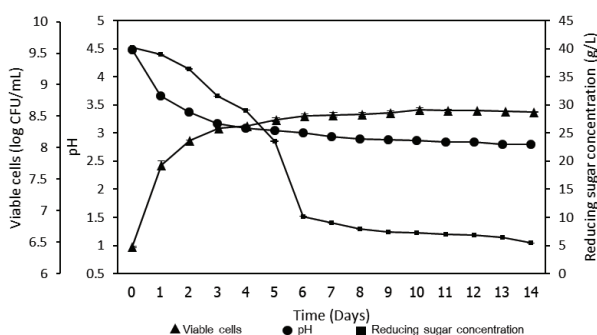


Figure 1 Fermentation profiles of corn silk with *L. casei* TISTR 1463.

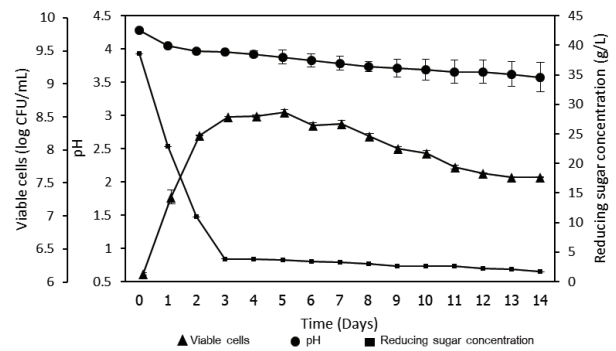


Figure 2 Fermentation profiles of corn silk with *S. cerevisiae* TISTR 1464.

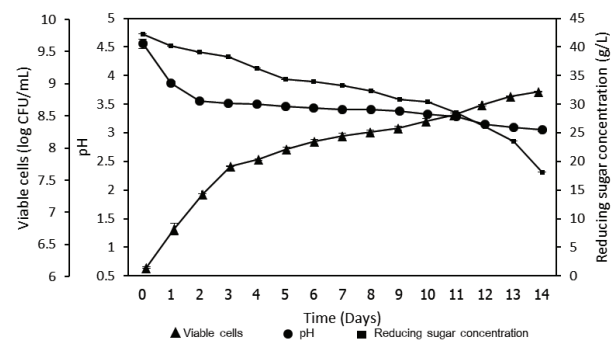


Figure 3 Fermentation profiles of corn silk with mixed culture between *L. casei* TISTR 1463 and *S. cerevisiae* TISTR 1464.

ความสัมพันธ์ของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ต่อการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการหมัก

ไหมข้าวโพดหวานที่หมักด้วยเชื้อแบคทีเรีย *L. casei* TISTR 1463 ในวันสุดท้ายมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวันแรกของการหมัก ไหมข้าวโพดหวานมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น 4.5 เท่า (Figure 4-6) ส่วนปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ พบว่ามีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก จากรายงานของ Casarotti *et al.* (2018) และ Bhat *et al.* (2015) พบสารฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อหมักแบคทีเรียผลิตเชื้อแลคติกซึ่งระยะเวลาในการหมักมีผลต่อปริมาณของสารฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย เนื่องจากสารฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่มีความเป็นขี้ จึงสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีสภาพขี้ใกล้เคียงกัน (Walter & Purcell, 1979) ซึ่งน้ำ มีสภาพขี้สูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Solihah *et al.* (2012) ที่รายงานปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดน้ำของไหมข้าวโพดสูงกว่าในสารสกัดเมทานอลสูงถึง 1.06 เท่า นอกจากนี้ จากรายงานของ Kwak *et al.* (2018) ยังพบข้อมูล

เกี่ยวกับการหมักด้วยยีสต์ว่าช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดกาแฟสีเขียว และเพิ่มกลิ่นหอมของกาแฟอีกด้วย

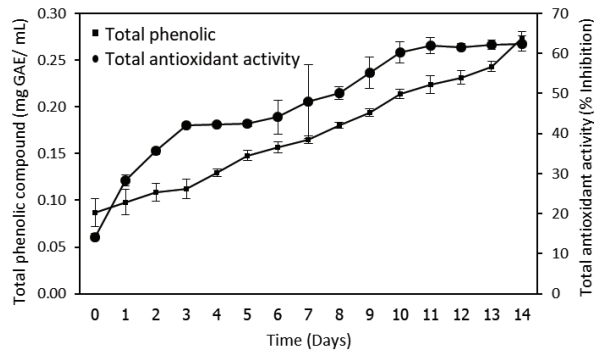


Figure 4 Total antioxidant activity and Total phenolic in fermented corn silks with *L. casei* TISTR 1463.

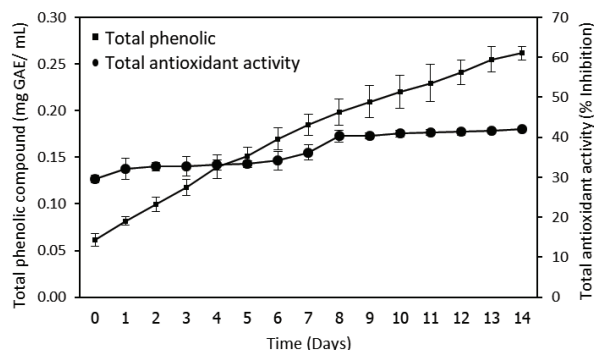


Figure 5 Total antioxidant activity and Total phenolic in fermented corn silks with *S. cerevisiae* TISTR 1464.

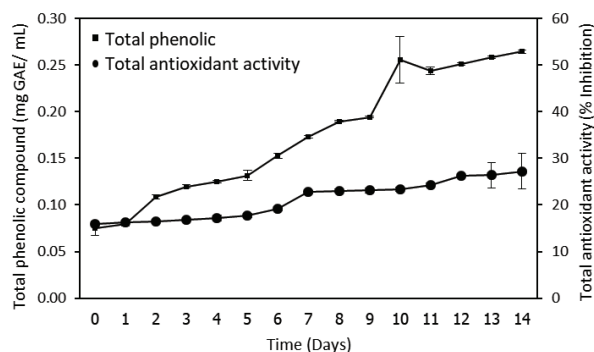


Figure 6 Total antioxidant activity and Total phenolic in fermented corn silks with mixed between *L. casei* TISTR 1463 and *S. cerevisiae* TISTR 1464.

ไหมข้าวโพดอุดมไปด้วยองค์ประกอบทางพฤกษเคมีที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ แต่อย่างไรก็ดี สารพวกนี้ถูกห่อหุ้มด้วยผนังเซลล์พืชและโปรตีน (Sanjukta & Rai, 2015) ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการศึกษาสารประกอบทางชีวภาพจากไหมข้าวโพดจะทำการสกัดออกมาด้วยวิธีทางเคมี ดังนั้นจึงอาจจะมีสารประกอบทางชีวภาพบางส่วนที่ยังหลงเหลือ

อยู่ในเซลล์ของพืชอีกด้วย จากรายงานของ Salar *et al.* (2016) พบว่าการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีเอนไซม์ที่สามารถย่อยผนังเซลล์และโปรตีนออกได้ สามารถปลดปล่อยสารประกอบทางพฤกษเคมีในพืชและช่วยเพิ่มปริมาณได้อีกด้วย ซึ่งจากรายงานของ Huynh *et al.* (2014) พบว่าในเชื้อ *L. casei* TISTR 1463 และ *S. cerevisiae* TISTR 1464 มีเอนไซม์ที่สามารถย่อยผนังเซลล์พืชเพื่อปลดปล่อยสารประกอบทางพฤกษเคมีเช่นกัน ได้แก่ β -Glucosidase, Cellulase และ β -Glucosidase, Feruoyl esterase ตามลำดับ นอกจากนี้ ในรายงานของ Martins *et al.* (2011) กล่าวว่า การหมักถือเป็นกระบวนการที่ดีที่สุดในวิธีหนึ่งของการได้มาซึ่งสารสกัดที่มีคุณภาพและมีปริมาณที่ค่อนข้างสูง โดยใช้เทคนิคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากผลการศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า การใช้เชื้อจุลินทรีย์ในการหมักไหมข้าวโพดสามารถเพิ่มปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดได้สูงถึง 0.27 mg GAE/mL และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 63.89% ในการหมักด้วยเชื้อ *L. casei* TISTR 1463 (Table 1)

Table 1 Total antioxidant activity and Total phenolic in fermented corn silks 14 days.

Bioactive compounds	Before fermentation	Type of Microorganism		
		L	S	+
TAO (% inhibition)	15 ^a	63.89 ^b	61.03 ^c	52.85 ^d
TPC (mgGAE/mL)	0.06 ^a	0.27 ^b	0.18 ^c	0.14 ^d
TFC mgCE/g of Extract)	9.6 ^a	31.4 ^b	20 ^c	24.2 ^d

L: *Lactobacillus casei* TISTR 1463

S: *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 1464

+: *L. casei* TISTR 1463 + *S. cerevisiae* TISTR 1464

TAO: Total antioxidant activity

TPC: Total phenolic compound

TFC: Total flavonoids content

Note: a-d Different small letters in the same row indicate significant difference at $P < 0.05$.

จากการศึกษาพบว่าการหมักด้วยเชื้อ *L. casei* TISTR 1463 มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์สูงที่สุด รองลงมาคือ การหมักด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 1464 และการหมัก 2 เชื้อข้างต้นผสมกัน มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ต่ำที่สุด (31.4, 24.2 และ 20 mg CE/g of Extract ตามลำดับ) (Table 1) โดยสารฟลาโวนอยด์เป็นสารที่มีขั้ว ดังนั้นเมื่อนำเป็นตัวสกัดจึงได้ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่สูง เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูงและมีไฮโดรเจนที่สามารถแตกตัวได้สูง (Loudon & Mark, 2002) นอกจากนี้ ยังพบว่าไหมข้าวโพดเมื่อหมักนานขึ้นจะมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ

ฟีนอลิกทั้งหมดเนื่องจากสารฟลาโวนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก

จากผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่าการหมักไหมข้าวโพดหวานด้วยเชื้อเดี่ยว *L. casei* TISTR 1463 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ต่อการออกฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระในระหว่างการหมักสูงกว่าการหมักไหมข้าวโพดหวานด้วยเชื้อเดี่ยว *S. cerevisiae* TISTR 1464 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Casarotti *et al.* (2018) พบว่าการหมักด้วยเชื้อ *Lactobacillus casei* Lc-1 สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใย ระดับฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่ม นอกจากนี้จากรายงานของ Bhat *et al.* (2015) พบว่าการหมักด้วยเชื้อกลุ่ม *Lactobacillus* สามารถเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำผลไม้ได้เช่นเดียวกัน อีกทั้งจากรายงานของ Amadou *et al.* (2009); Adetuyi, & Ibrahim (2014); Kwak *et al.* (2018) พบว่าการหมักด้วยยีสต์ช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ในถั่วเหลือง เมล็ดกระเจียบ พืชตระกูลถั่ว และกาแฟอีกด้วย อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ต่อการออกฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระในระหว่างการหมัก 2 เชื้อข้างต้นผสมกันมีปริมาณที่น้อยกว่าการหมักด้วยเชื้อเดี่ยวทั้ง 2 เชื้อ ซึ่งจากการศึกษาของ Dan *et al.* (2019) พบว่าการใช้เชื้อแลคโตบาซิลลัสและยีสต์มาเป็นเชื้อเริ่มต้นสำหรับการทำขนมปังขาวโดว์ทำให้ขนมปังมีลักษณะที่ซับซ้อนของสารระเหย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของเอสเทอร์ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังขาวโดว์โดยใช้ยีสต์เป็นเชื้อเริ่มต้นสำหรับการทำพบว่า ขนมปังมีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าระหว่างแลคโตบาซิลลัสและยีสต์มีปฏิสัมพันธ์เป็นแบบแข่งขันเพื่อสารอาหารชนิดเดียวกัน (Nakamura & Hartman, 1961; Viljoen, 2006) อีกทั้งในแบคทีเรียแลคโตบาซิลลัสบางชนิดก็เป็นปฏิปักษ์ต่อยีสต์ (Fleet, 2007) จึงอาจจะมีผลต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพข้างต้น

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า น้ำหมักจากการหมักไหมข้าวโพดหวานด้วยเชื้อ *L. casei* TISTR 1463 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารฟลาโวนอยด์ และอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ซึ่งถือเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกสำคัญในการสกัดสารพฤษเคมีออกมาใช้ประโยชน์ และสามารถเพิ่มปริมาณสารพฤษเคมี รวมทั้งเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ที่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรจาก

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2564 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- อุทัยทิพย์ ทนเถื่อน, สุภารัตน์ สุวรรณชัย, วีรานันท์ พงศาภักดี และวิโรจน์ กนกศิลป์ธรรม. (2555). การวิเคราะห์จำนวนนับเซลล์แบคทีเรียจาก Hemacytometer ด้วยวิธีการเชิงสถิติ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 20(2), 117-126.
- อมร บุญสมบัติ. (2559). *ผลของวิธีการคั่วต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในไหมข้าวโพดแห้งเพื่อการผลิตชา* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น]. บัณฑิต วิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Adetuyi, F. O., & Ibrahim, T. A. (2014). Effect of fermentation time on the phenolic, flavonoid and vitamin C contents and antioxidant activities of okra (*Abelmoschus esculentus*) seeds. *Niger Food Journal*, 32, 128-137.
- Amadou, I., Yong-Hui, S., Sun, J., & Guo-Wei, L. (2009). Fermented soybean products: Some methods, antioxidants compound extraction and their scavenging activity. *Asian Journal of Biochemistry*, 4, 68-76.
- Bamforth, C. W., & Ward, R. E. (2014). *The Oxford handbook of food fermentations*. Oxford University Press.
- Brand, W.W., Cuvelier, M., & Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Tech*, 28, 25-30.
- Bhat, R., Suryanarayana, L. C., Chandrashekar, K. A., Krishnan, P., Kush, A., & Ravikumar, P. (2015). *Lactobacillus plantarum* mediated fermentation of *Psidium guajava* L. fruit extract. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 119, 430-432.
- Casarotti, S. N., Borgonovi, T. F., Batista, C. L. F. M., & Penna, A. L. B. (2018). Guava, orange and passion fruit by-products: Characterization and its impacts on kinetics of acidification and properties of probiotic fermented products. *Lwt—food Science and Technology*, 98, 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.010>

- Chisti, Y. (2010). Solid substrate fermentations, enzyme production, food enrichment. In M. C. Flickinger (Ed.), *Encyclopedia of industrial biotechnology, bioprocess, bioseparation, and cell technology* (pp. 4516-4534). Wiley.
- Ebrahimzadeh, M. A., F. Pourmorad, & S. Hafezi. (2008). Antioxidant activities of Iranian corn silk. *Turk. Journal of Biological*, 32, 43-49.
- Eman, A. A. (2011). Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of Egyptian Maydis stigma *Zea mays* hairs) rich of bioactive constituents. *Journal of American Science*, 7, 726-729.
- Fleet, G.H. (2007). Yeasts in foods and beverages: Impact on product quality and safety. *Current Opinion Biotechnol.*, 18, 170-175.
- Hasanudin, K., P. Hashim, & S. Mustafa. (2012). Corn silk (*Stigma Maydis*) in healthcare: A phytochemical and pharmacological review. *Molecules*, 17, 9697-9715.
- Haq, N., Saima, M., Momna, A., & Shakeel A. (2018). Phytochemical Composition: Antioxidant Potential and Biological Activities of Corn. In Amanullah & S. Fahad (eds). *Corn - Production and Human Health in Changing Climate*. IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.79648>
- Huynh, N., Van C., John; Smagghe, G., & R a e s , K. (2014). Improved release and metabolism of flavonoids by steered fermentation processes: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(11), 19369-19388. doi:10.3390/ijms151119369
- Kwak, H. S., Jeong, Y., & Kim, M. (2018). Effect of yeast fermentation of green coffee beans on antioxidant activity and consumer acceptability. *Journal of Food Quality*, 2018, 5967130.
- Loudon, G., & Mark. (2002). *Organic chemistry*. Oxford University Press.
- Martins, S., Mussatto, S.I., Martínez-Avila, G., Montañez-Saenz, J., Aguilar, C.N., & Teixeira, J.A. (2011). *Bioactive phenolic compounds: Production and extraction by solid-state fermentation: A review. Biotechnol. Adv.*, 29, 365-373.
- Miller, G., (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. *Analytical Chemistry*, 31, 426-429.
- Nakamura, L.K. & Hartman, P.A. (1961): Lactobacillus: yeast interrelationships. *Journal of Bacteriology*, 81, 519-523
- Prommuak, C, De-Eknamkul, W, & Shotipruk, A. (2008). Extraction of flavonoids and carotenoids from Thai silk waste and antioxidant activity of extracts. *Sep. Puri. Tech.*, 62, 444-448.
- Salar, R. J., Purewal, S. S., & Bhatti, M.S. (2016). Optimization of extraction conditions and enhancement of phenolic content and antioxidant activity of pearl millet fermented with *Aspergillus awamori* MTCC-54. *Resour. Effic. Technol.*, 2, 148-157.
- Sanjukta, S., Rai, A. K., Muhammed, A., Jeyaram, K. & Talukdar, N. C., (2015), Enhancement of antioxidant properties of two soybean varieties of Sikkim Himalayan region by proteolytic *Bacillus subtilis* fermentation. *Journal of Functional Foods*, 14, 650-658.
- Sarepoua, E., Tangwongchai, R., Suriarn, B., & Lertrat, K. (2013). Relationships between photochemical and antioxidant activity in corn silk. *Int. Food Research Journal*, 20, 2073-2079.
- Singleton, V.L., Rossi, J.A. (1965) Colorimetry of total phenolics with phos-phomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16,144-158.
- Solihah, M. A., Wan Rosil, W. I., & Nurhanan, A.R. (2012). Phytochemicals screening and total phenolic content of Malaysian *Zea mays* hair extracts. *International Food Research Journal*, 19, 1533-1538.
- Viljoen, B.C. (2006). Yeast ecological interactions. Yeast-yeast, yeast-bacteria, yeast-fungi interactions and yeasts as biocontrol agents. In Querol, A. & Fleet, G. (Eds), *The yeast handbook* (pp. 83-110). Springer Verlag.
- Walter, W., & Purcell, A. E. (1979). Evaluation of several methods for analysis of sweet potato phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27, 942-964.

การพัฒนานวัตกรรมเครื่องอบด้วยการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IoT)

The innovation development of a hybrid oven using automatic temperature controlled by solar energy and Internet of Things

วีรวัตร คำภู¹, ชาญชัย นามพล^{1*} และ สุทธิพิย์ เป้งทอง¹

Weerawat Kampoo¹, Chanchai Namphol¹ and Suthip Penthong¹

Received: 10 April 2023; Revised: 7 June 2023; Accepted: 27 June 2023

บทคัดย่อ

การพัฒนานวัตกรรมเครื่องอบด้วยการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบและพัฒนานวัตกรรมเครื่องอบด้วยการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง 2) เพื่อส่งเสริมการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารหมักและเพิ่มรายได้ให้กับชุมชน โดยผ่านกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานและความเหมาะสมของนวัตกรรมจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของนวัตกรรมโดยใช้เวลาในการทดสอบทั้งสิ้นเป็นเวลา 3 วัน ระหว่างวันที่ 25-27 มกราคม 2566 ทดสอบเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์จากหมักในตู้อบกับการตากในรูปแบบเดิม มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโดยรวม 47 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์โดยรวม 20 เปอร์เซ็นต์ การตากผลิตภัณฑ์ในรูปแบบเดิม มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิโดยรวม 27 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์โดยรวม 52 เปอร์เซ็นต์ การประเมินประสิทธิภาพความเหมาะสมของนวัตกรรม พบว่า มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.73$ S.D. = 0.23) การประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานของนวัตกรรมกับชุมชน พบว่า มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.56$ S.D. = 0.57) เครื่องสามารถลดระยะเวลาในการตากแดด เนื่องจากสามารถลดความชื้นได้มากกว่า มีอัตราอบแห้งสูงกว่า จึงส่งผลให้สามารถนำมาจำหน่ายได้เร็วกว่า ถือได้ว่าเป็นการลดระยะเวลาในการผลิต

คำสำคัญ: นวัตกรรม, พลังงานแสงอาทิตย์, เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

Abstract

We report an innovative development of a hybrid oven that utilizes automatic temperature control through solar energy and the Internet of Things, aims to 1) designing and developing an innovative hybrid oven using automatic temperature control, controlled by solar energy and the Internet of Things, 2) promoting the product transformation of fermented meat, aiming to increase community incomes. Functional testing and innovation appropriateness were evaluated by three experts. To collect data for analyzing the mean and standard deviation of the innovation's performance test, the test was conducted over a period of 3 days from January 25th to January 27th, 2023. The comparison test between the cabinet with fermented meat inside and the original method using solar energy drying revealed an overall average temperature of 47 °C and an overall average relative humidity of 20 %HR for the developed innovation; by using the original method of solar energy drying, the overall average temperature was 27 °C and the overall average relative humidity was 52 %HR. The evaluation of innovation appropriateness revealed the overall highest level of Mean ($\bar{X} = 4.73$ S.D. = 0.23). The assessment of satisfaction with the use of the innovation within the community showed that the overall average was the highest ($\bar{X} = 4.56$, S.D. = 0.57). The machine can reduce drying time in the sun as it has a higher moisture reduction capacity, leading to faster sales.

Keywords: Innovation, solar energy, Internet of Things

¹ อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

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

* Corresponding author: E-mail: chanchai.n@ubru.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันอาชีพพื้นฐานคนในประเทศไทยกว่าหกสิบเปอร์เซ็นต์ มีวิธีการประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก โดยมีสวนผัก สวนผลไม้ ไร่นา ปศุสัตว์ต่างๆ ครอบคลุมกระบวนการทั้งด้านอาหารเครื่องใช้ เครื่องนุ่งห่มที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการผลักดันให้เกิดแนวคิดนโยบายการพัฒนาประเทศให้เป็นรากฐานการผลิตอาหารหล่อเลี้ยงประชาคมโลกหรือครอบครัวชาวโลก ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรปี 2565 มีการขยายตัวร้อยละ 0.8 เมื่อเทียบกับปี 2564 โดยเฉพาะสาขาพืช สาขาบริการทางการเกษตร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญในการประกอบการด้านกิจกรรมประการหนึ่งคือการรักษาคุณภาพ ความสดของผลผลิตผลทางเกษตรมิให้เสื่อมสลายเน่าเสียถือเป็นข้อจำกัดที่ชาวเกษตรกรและผู้เกี่ยวข้องให้ความสนใจค่อนข้างน้อย วิธีการดำเนินชีวิตของเกษตรกรที่ผ่านมาจะพบว่าโดยพื้นฐานเกษตรกรไทยในทุกภูมิภาคล้วนมีความรู้ประสบการณ์ความเข้าใจในการจัดการกับผลผลิตที่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ ไม่ต่างจากศาสตร์ความรู้หรือเทคโนโลยีสมัยใหม่แต่อย่างใดโดยเฉพาะหากมีการศึกษาพัฒนาความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ได้สืบทอดกันมาปรับปรุงให้มีความสอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจสังคมในปัจจุบันก็จะเป็นผลดีต่อการพัฒนา คุณภาพชีวิตของเกษตรกรได้เป็นอย่างดี ดังเช่นเคล็ดลับวิถีในการถนอมอาหารที่แพร่หลายอยู่ในหมู่เกษตรกรชาวบ้านทั่วไป สาเหตุทำให้เกิดการบาดเจ็บของผลผลิตทางการเกษตร มีสาเหตุมาจากเอนไซม์หรือน้ำย่อยซึ่งเป็นสารที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ทั้งพืชและสัตว์โดยเอนไซม์หรือน้ำย่อยนั้นมีหน้าที่คอยขับเคลื่อนวงจรของ สิ่งมีชีวิตต่างๆ ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การที่ผลไม้ดิบ กลายเป็นผลไม้สุกจากสุกเป็นงอมถือเป็นวงจรวัฏจักรของสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เทคนิค เคล็ดวิธียมนุสย์ได้ค้นพบในการใช้ควบคุมจำกัดการเจริญเติบโตหรือการเคลื่อนไหวของเอนไซม์เหล่านี้ คือ การปรับอุณหภูมิให้เกิดความเหมาะสมในการถนอมอาหารโดยอาจใช้ทั้งความร้อนและความเย็นเป็นการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เชื้อรา ที่พบในอาหารต่างๆ ก็เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียผลผลิตต่างๆ ไปอย่างน่าเสียดาย

สำหรับแนวทางในการเก็บรักษาถนอมอาหารของชาวบ้านที่ผ่านมาในอดีต มีทั้งการทำให้แห้ง โดยการตากแดด ผึ่งลม รมควันการใช้สารเคมีบางชนิด เช่น เกลือ น้ำตาล น้ำมัน รวมทั้งใช้สารอื่นๆ ที่ผลกระทบด้านความเป็นพิษตกค้างในอาหารอีกหลายชนิด การเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องปกติโดยใช้น้ำและความชื้นหล่อเลี้ยง การปรับอุณหภูมิความร้อน เย็น การหมักดองทำให้เกิดกรดและแอลกอฮอล์ ถือเป็นความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ควรมีการศึกษาพัฒนาให้มีประสิทธิภาพ

เหมาะสมต่อวิถีการดำเนินชีวิตในสังคมปัจจุบัน มีการใช้งานเทคโนโลยีที่ทันสมัย สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์เครือข่าย อินเทอร์เน็ตและประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับอุปกรณ์ระบบเซ็นเซอร์ในรูปแบบต่างๆ ผ่านการรับส่งข้อมูลระหว่างกันที่เชื่อมโยงไปยังอุปกรณ์อื่นๆ ทำให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือเรียกว่า อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง คือ การผสมผสานระหว่างการใช้อุปกรณ์วงจรการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์กับสื่อสารในรูปแบบไร้สาย และมีการนำเอาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง มาปรับปรุงใช้กับทางการเกษตร ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถส่งเสริม พัฒนามูลค่าให้กับสินค้าทางเกษตรให้อยู่ในรูปแบบยั่งยืนได้

ในจังหวัดอุบลราชธานีมีกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้สร้างผลิตภัณฑ์ถนอมอาหารขึ้นชื่อ เรียกว่า หม่ำ เป็นอาหารของท้องถิ่นที่ชาวบ้านรู้จักการแปรรูปจากเนื้อสัตว์ แปรรูปถนอมอาหารตามภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นสร้างผลิตภัณฑ์จำหน่ายให้กับนักท่องเที่ยว สร้างรายได้ให้กับชุมชนในท้องถิ่น การส่งเสริมและสนับสนุนภูมิปัญญาการถนอมอาหารถือเป็นปัจจัยที่เอื้อต่อการบริโภคอาหารปลอดภัยและเป็นอาหารเพื่อสุขภาพในระดับชุมชนอย่างยั่งยืน ถือเป็นยุทธศาสตร์ในการพัฒนาจังหวัดให้เป็นแหล่งผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นที่มีคุณภาพ เป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ให้มีความมั่นใจในการบริโภค โดยให้ชุมชนมีส่วนร่วมการพัฒนาเพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจ โดยเน้นการพัฒนาจากชุมชน โดยชุมชน เพื่อชุมชนให้เข้มแข็งสามารถอยู่ได้ด้วยตนเอง เพื่อยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและเพิ่มมาตรฐานคุณภาพชีวิตของชุมชนให้เกิดการผลิตอาหารที่ปลอดภัย ซึ่งในปัจจุบันมีเทคโนโลยีการอบแห้งได้พัฒนาเพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการเลือกใช้แหล่งพลังงานที่เหมาะสมมาใช้ในการกระบวนการอบแห้ง เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับชุมชน สำหรับกระบวนการผลิตโดยยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน

จากการสำรวจข้อมูลพื้นฐานของผู้วิจัยในชุมชนพบว่า ชุมชนยังประสบปัญหาด้านกระบวนการผลิตและมาตรฐานผลิต ทำให้ผลิตภัณฑ์ชุมชนที่ได้คุณภาพไม่แน่นอน ปัญหาการปนเปื้อนฝุ่นละอองในอาหาร ปัญหาแมลงรบกวนในอาหาร ปัญหาสภาพอากาศไม่ปกติ คณะวิจัยจึงมุ่งหวังที่จะพัฒนานวัตกรรมกระบวนการแปรรูปอาหารอบแบบพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ เนื่องจากอบเป็นวิธีการที่สะอาดและเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ โดยใช้ชุมชนเป็นฐานในการนำองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และบูรณาการการเรียนการสอน ตลอดจนสามารถนำความรู้ที่ได้มาพัฒนาเป็นวิทยะระดับท้องถิ่นได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาวัตกรรมการอบด้วย การควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบ ผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง
2. เพื่อส่งเสริมการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารหม่า และเพิ่มรายได้ให้กับชุมชน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้น โดยส่วนใหญ่ ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออก โดยการระเหย โดยใช้อาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย โดยปกติจะให้ความชื้นเป็นตัวบ่งบอก ปริมาณของน้ำที่อยู่ในวัสดุ ความชื้นในวัสดุ ความชื้นใน ผลิตภัณฑ์อาหาร และเมล็ดพืชมีความชื้นที่เกาะติดที่ผิว ของวัสดุ ซึ่งสามารถไล่ความชื้น นี้ออกไปได้หมดโดยการให้ ความร้อน ความชื้นอาจเกาะติดอยู่ภายในผนังด้านในท่อเล็กๆ ที่อยู่ภายในเนื้อวัสดุ โดยไม่สามารถไล่ความชื้นภายในเนื้อวัสดุ นี้ได้หมด ซึ่งสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

- 1) ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ชื้น โดยมีสมการดังนี้

$$M_w = [(w-d)/w]*100$$

- 2) ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) คือ อัตราส่วน น้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง โดยมี สมการดังนี้

$$M_d = [(w-d)/d]*100$$

โดยที่

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์

d คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง

โดยทั่วไปการอบแห้งวัสดุสามารถแบ่งออกเป็นช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุ มีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤติที่ผิวของวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ การถ่ายเท ความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุ ช่วงนี้ อุณหภูมิผิวของวัสดุอบแห้งและอัตราการอบแห้งจะมีค่าคงที่

และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุ มีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเท ไปยังวัสดุ น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในเนื้อวัสดุมาที่ผิวของวัสดุ ในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำและน้ำที่ผิว จึงจะระเหยไปกับ อากาศ ดัง Figure 1

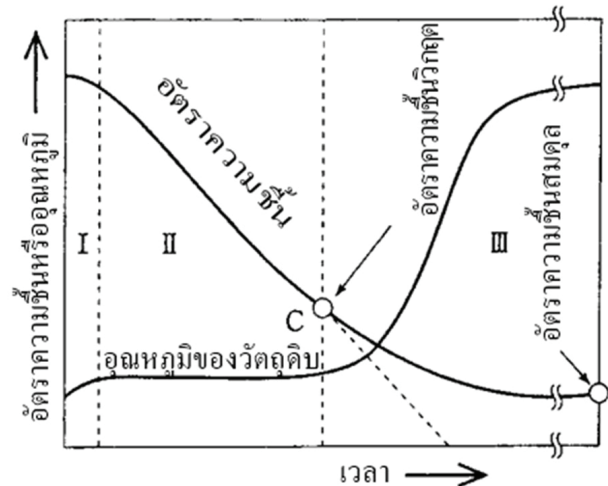


Figure 1 Changes in the humidity rate with the temperature of raw materials

Source: Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, 2015.

การถนอมอาหาร หม่า พืชบ้านอีสาน

“หม่า” หรือ “หม้า” (ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตสถาน) เป็นอาหารชนิดหนึ่งมีลักษณะเหมือน “ไส้กรอก” แต่มีเครื่องปรุงที่สำคัญ คือ ตับสับ ม้ามสับ เนื้อสับ ปรุงเครื่อง แล้วยัดใส่ในถุงกระเพาะหมู แล้วเก็บไว้กินกันเป็นแรมเดือน ถือเป็นอาหารประเภทไส้กรอกของแท้พื้นเมืองของคนอีสานแน่นอน จึงมีชื่อเรียกตามภาษาพื้นเมืองขึ้นมาว่า “หม่า” ถือเป็นอาหารไส้กรอกประเภทเครื่องปรุงสุรส มีส่วนผสมที่สำคัญ คือ ตับกับม้าม ดังนั้นบางครั้งชาวบ้านก็เรียกหม่าอีกชื่อหนึ่งว่า “ตับม้าม” เพราะหม่าเป็นอาหารที่กินเปรี้ยว ชื่อหม่าจึงถูกเรียกว่า “จ่อม” ซึ่งมีความหมายว่าเปรี้ยวอีกด้วย เป็นภูมิปัญญาพื้นบ้านของชาวอีสานในการใช้ประโยชน์จากเนื้อสัตว์อย่างคุ้มค่า และหม่ายังเป็นการเก็บรักษาอาหารไว้กินนานๆ ซึ่งถือเป็นลักษณะเด่นอย่างหนึ่งที่เห็นชัดของอาหารพื้นบ้านทางอีสาน คือมักเป็นอาหารที่ผ่านการหมักดองเพื่อเก็บถนอมอาหาร เช่น ปลาแดก ปลาส้ม เป็นต้น เพียงแต่หม่าเป็นวิธีหมักแบบแห้ง ต้องผึ่งแดดและใช้เครื่องในเป็นส่วนผสมหม่า เป็นการนำเนื้อวัวหรือควายหรือเนื้อหมูสับให้ละเอียดผสมกับตับสับ ม้ามสับ กระเทียม ข้าวเหนียวหนึ่งข้าวคั่ว คลุกเกลือ กระเทียม ขยำให้เข้ากัน แล้วยัดในไส้หรือกระเพาะหมู หม่าจะมีลักษณะแห้งและมีรสเปรี้ยว เมื่อผ่านตากไปแล้ว 3-5 วัน สามารถเก็บไว้ได้นานถึง 3 เดือน และควรเก็บไว้ในตู้เย็น

ขั้นตอนการทดสอบ

ผู้พัฒนาได้ทำการทดสอบการใช้งานของเครื่องอบด้วยการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ดังนี้

การทดสอบเปรียบเทียบด้วยการควบคุมอุณหภูมิด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้ากับวิธีการตากเดิมๆ เพื่อวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ช่วงเวลาตั้งแต่ 8.30-17.00 น. โดยผู้พัฒนาได้ทำการทดสอบ ณ วันที่ 25-27 มกราคม 2566 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี เพื่อวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นของตู้อบในรูปแบบผลิตภัณฑ์จากหม้า ด้วยปริมาณของผลิตภัณฑ์จากหม้าน้ำหนัก 4,000 กรัม ใช้สำหรับอบในตู้และผลิตภัณฑ์จากหม้าปริมาณน้ำหนัก 4,000 กรัม ตากรูปแบบเดิมๆ โดยใช้เวลาในการทดลองทั้งสิ้นเป็นเวลา 3 วัน เพื่อเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิและความชื้นเปรียบเทียบในแต่ละวันทุกๆ 30 นาที

การประเมินผลประสิทธิภาพความเหมาะสมของนวัตกรรมด้วยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 ท่าน

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานนวัตกรรมจากกลุ่มชุมชนตำบลพังเคน อำเภอนาตาล จังหวัดอุบลราชธานี กลุ่มสร้างผลิตภัณฑ์จากหม้าทั้งสิ้น 20 คน

การดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้เลือกการพัฒนานวัตกรรมเครื่องอบด้วยการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ดังนี้

1. ศึกษากระบวนการและรวบรวมความต้องการของผู้ใช้งานในพื้นที่ตำบลพังเคน อำเภอนาตาล จังหวัดอุบลราชธานี

2. การวิเคราะห์ กลุ่มผู้วิจัยได้ศึกษาวรรณกรรม ทฤษฎี และวิเคราะห์เอกสารที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาระบบจากแหล่งข้อมูล ประกอบด้วย การลงพื้นที่ตำบลพังเคน อำเภอนาตาล จังหวัดอุบลราชธานี

3. การออกแบบ กลุ่มผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโครงสร้างเป็นทรงโดม ขนาดความ 120x170x160 เซนติเมตร มีระบบควบคุมอุณหภูมิใช้งานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานแสงอาทิตย์ ดัง Figure 2

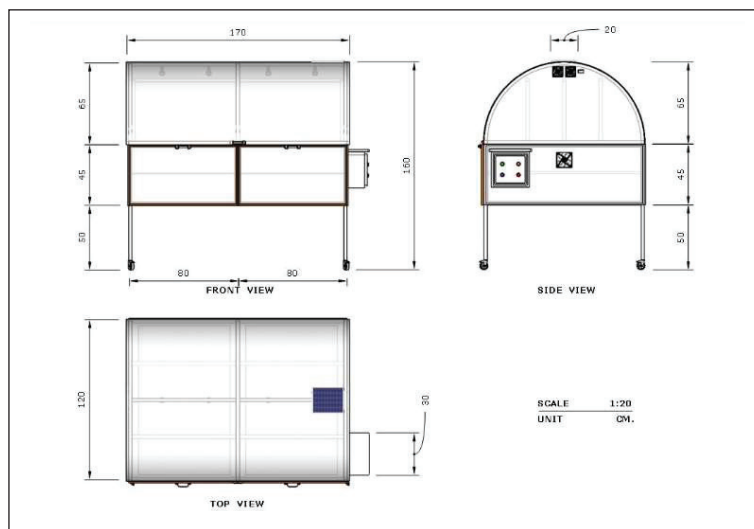


Figure 2 Drying or drying machine design.

4. การทดสอบการทำงานของเครื่องอบด้วยการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานไฟฟ้า โดยการจ่ายไฟผ่านอุปกรณ์ Switching Power Supply จากไฟกระแสสลับเป็นไฟกระแสตรงให้กับอุปกรณ์ NodeMCU ESP32 เพื่อเป็นตัวกลางทำหน้าที่ควบคุมการทำงานด้วยการรับค่ากับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น เพื่อส่งค่าผลลัพธ์แสดงผลผ่านหน้าจออุปกรณ์แอลซีดี เมื่อมีอุณหภูมิมากกว่า

38 องศาเซลเซียสพัดลมจะทำงานระบายความร้อนภายในตู้ เมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 31 เปอร์เซ็นต์ หลอดไฟจะทำงานเพื่อให้ความร้อนภายในตู้ สามารถแสดงผลการทำงานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมีการทำงานร่วมกันกับแอปพลิเคชัน ByLink เพื่อควบคุมอุปกรณ์ผ่านเครื่องมือโทรศัพท์ ดัง Figure 3

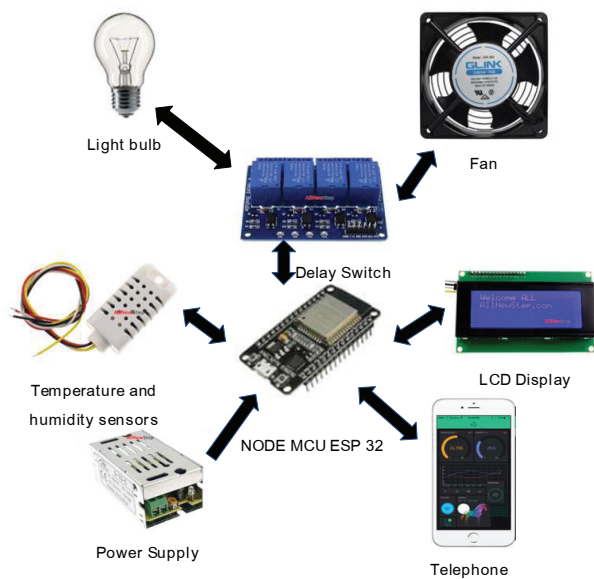


Figure 3 Principle of operation of temperature and humidity control system.

5. การติดตั้งประกอบตัวเครื่องโดยใช้เป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนตแบบสี่เหลี่ยม ขนาดความหนา 6 มิล ประกอบเข้าแต่ละด้านของตัวเครื่อง เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวรับแสงและกระจายความร้อนภายในตู้ มีระบบการทำความร้อนร่วมกับพลังงานไฟฟ้า ผู้พัฒนาได้ใช้อุปกรณ์การให้ความร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้าเป็นหลอดไฟฟ้ากระแสดับ 220 โวลต์ ขนาด 40 วัตต์ ติดตั้งบริเวณใต้หลังคาโคม จำนวน 4 หลอด และติดตั้งระบบพัดลมระบายความชื้นพลังงานไฟฟ้ากระแสดับ 220 โวลต์ ขนาด 0.14 แอมป์ จำนวน 2 เครื่อง บริเวณด้านข้างตู้ในแต่ละด้าน ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นไว้ด้านข้างตู้ สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องผ่านโทรศัพท์ ดัง Figure 3



Figure 4 Install the machine and temperature and humidity control system.

การทดสอบและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผู้พัฒนาได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องอบด้วยการควบคุมอุณหภูมิด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้ากับวิธีการตากเดิมๆ เพื่อวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น ช่วงเวลาตั้งแต่ 8.30-17.00 น. ระหว่างวันที่ 25-27 มกราคม 2566 โดยทำการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นของตู้อบกับผลิตภัณฑ์จากหม้า ด้วยปริมาณของผลิตภัณฑ์จากหม้าน้ำหนักก่อนตาก 4,000 กรัม ใช้สำหรับอบในตู้ และผลิตภัณฑ์จากหม้าปริมาณน้ำหนักก่อนตาก 4,000 กรัม ใช้สำหรับตากรูปแบบเดิมๆ โดยใช้เวลาในการทดลองทั้งสิ้นเป็นเวลา 3 วัน เพื่อเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิและความชื้นเปรียบเทียบในแต่ละวันทุกๆ 30 นาที

จากการผลการทดสอบสรุปพบว่า การตากภายในตู้อบมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจากพลังงานไฟฟ้าโดยรวมอยู่ที่ 47 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์จากพลังงานไฟฟ้าโดยรวมอยู่ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้พัดลมระบายความร้อนทำงาน และทำให้หลอดไฟจากพลังงานไฟฟ้าไม่ทำงาน เปรียบเทียบกับการตากรูปแบบเดิม มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโดยรวมทั่วไปอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์โดยรวมทั่วไปอยู่ที่ 52 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ตู้อบมีความร้อนสะสมมากกว่าอุณหภูมิภายนอกถึง 57.45 เปอร์เซ็นต์ ดัง Figure 5

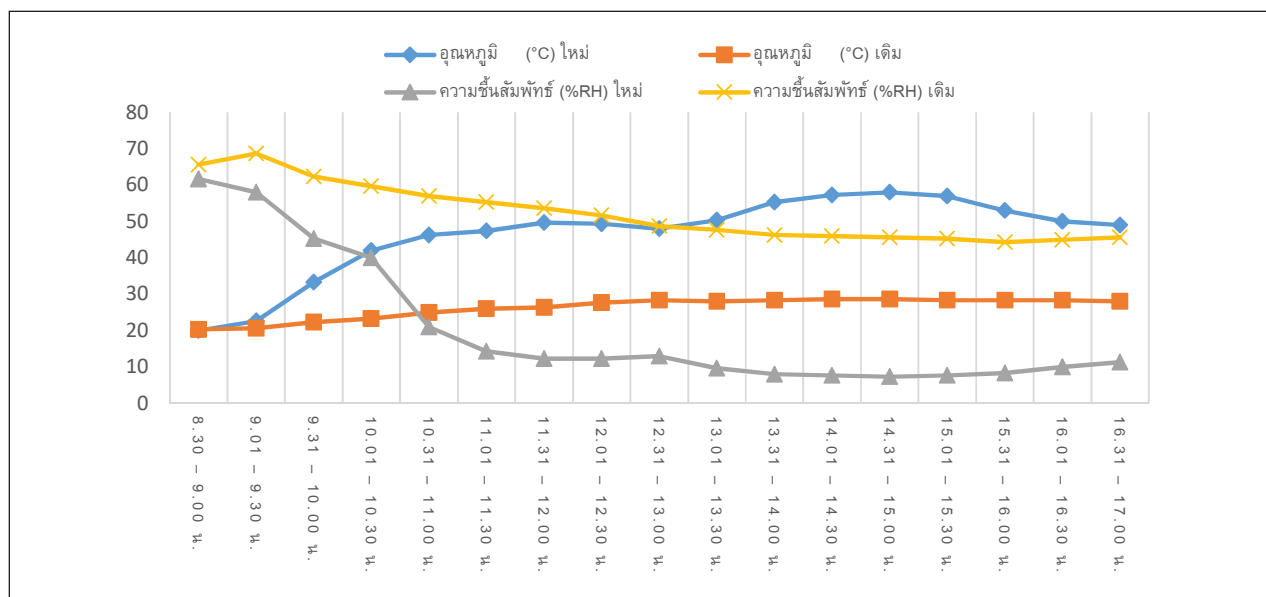


Figure 5 The test results for the three-day average relative temperature and humidity during 25-27 January 2023 are as follows.

จากการทดสอบเครื่องอบผลิตภัณฑ์หม้า ระหว่างวันที่ 25-27 มกราคม 2566 ผู้วิจัยได้ทำคำนวณหาต้นทุนค่าไฟฟ้าจากการใช้งานเครื่องอบ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟ ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 4 หลอด ทำงานวันละ 2 ชั่วโมง รวมพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 960 วัตต์ การใช้พลังงานจากพัดลม ขนาด 31 วัตต์ จำนวน 2 เครื่อง ทำงานวันละ

6-8 ชั่วโมง รวมพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1,209 วัตต์ พลังงานชุดหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 38 วัตต์ทำงานวันละ 8.5 ชั่วโมง รวมพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 646 วัตต์ รวมพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปทั้งสิ้นในการทดสอบเท่ากับ 3,138 วัตต์ มีหน่วยเท่ากับ 3.14 หน่วย ค่าไฟต่อหน่วยเท่ากับ 4.77 บาท คิดเป็นต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้งานกับเครื่องอบเท่ากับ 14.99 บาท ดัง Table 1

Table 1 The electricity costs used in the dryer test from January 25th to January 27th, 2023, were recorded.

Date	Electric power of the bulb (in watts).	Electric power of the fan (in Watts)	Power transformer (watts)	Total Power (Watts)	Cost of electricity (Baht)
1	320	465	323	1,108	5.30
2	320	403	323	1,046	5.01
3	320	341	323	984	4.68
	960	1,209	646	3,138	14.99

ผลการทดสอบเปรียบเทียบปริมาณน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หม้าจากตู้อบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าทั้ง 3 วันเปรียบเทียบกับวิธีตากเดิมๆ พบว่า ปริมาณน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จากหม้าก่อนอบ 4,000 กรัม หลังอบใช้เวลา 25 ชั่วโมง 30 นาที มีปริมาณน้ำหนักคงเหลือ 3,200 กรัม ลดลง 800 กรัม อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ขึ้น เท่ากับ 23.00 M_w และอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง เท่ากับ 25.00 M_d จากน้ำหนักรวม เปรียบเทียบกับวิธีตากแบบเดิมๆ พบว่าปริมาณน้ำหนักของผลิตภัณฑ์จากหม้าก่อนตาก 4,000 กรัม หลังตากใช้เวลา 25 ชั่วโมง 30 นาที มีปริมาณน้ำหนัก

คงเหลือ 3,420 กรัม ลดลง 580 กรัม อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ขึ้น เท่ากับ 16.00 M_w และอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง เท่ากับ 18.00 M_d สรุปได้ว่าการใช้งานเครื่องอบผลิตภัณฑ์จากหม้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าจะมีปริมาณน้ำหนักน้อยกว่าทำให้ทำให้เครื่องสามารถลดระยะเวลาในการตากแดด เนื่องจากสามารถลดความชื้นได้มากกว่า อัตราการอบแห้งสูงกว่า จึงส่งผลให้การนำไปจำหน่ายได้เร็วกว่า ถือได้ว่าเป็นการลดระยะเวลาในการผลิต ดัง Table 2

Table 2 The test results compared the weight of the product from the incubator or dried from the product with solar energy and electricity for 3 days compared to the traditional drying method.

date	Weight content (gram)		Residual weight (gram)	M_w	M_d	The same amount of weight (gram)		Residual weight (gram)	M_w	M_d
	Incubator or drying									
	Before drying	After drying				Before drying	After drying			
1	4,000	3,700	300	8.00	9.00	4,000	3,820	180	5.00	5.00
2	3,700	3,400	300	9.00	9.00	3,820	3,600	220	6.00	7.00
3	3,400	3,200	200	6.00	7.00	3,600	3,420	180	5.00	6.00
Total residual weight			800	23.00	25.00	Total residual weight		580	16.00	18.00

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาวัตกรรมการเครื่องอบด้วยการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง สรุปผลการวิจัยดังนี้

1. ผลการทดสอบการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของเครื่องอบผลิตภัณฑ์จากหม้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าทั้ง 3 วัน สรุปได้ว่าการใช้งานด้วยเครื่องอบผลิตภัณฑ์จากหม้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าจะมีปริมาณน้ำหนักร้อยกว่าทำให้เครื่องสามารถลดระยะเวลาในการตากแดด เนื่องจากสามารถลดความชื้นได้มากกว่า อัตราการอบแห้งสูงกว่า จึงส่งผลให้การนำไปจำหน่ายได้เร็วกว่า ถือได้ว่าเป็นการลดระยะเวลาในการผลิต

2. สรุปผลการประเมินความเหมาะสมของการพัฒนาวัตกรรมการจากผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อการพัฒนาวัตกรรมการเครื่องอบหรือตากด้วยการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง พบว่ามีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับความเหมาะสมที่สุดมาก ($\bar{X} = 4.73$, S.D. = 0.23)

3. ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานของนวัตกรรมกับชุมชน พบว่า มีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.56$, S.D. = 0.57) จากการเผยแพร่นวัตกรรมลงสู่ชุมชน ทำให้ชุมชนได้ใช้ประโยชน์จากนวัตกรรม และเกิดความต้องการในการเพิ่มจำนวนเครื่องและพัฒนานวัตกรรมให้สอดคล้องกับต้นทุนที่ชุมชนสามารถสร้างตนเองได้

การพัฒนาวัตกรรมการเครื่องอบด้วยการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลเปรียบเทียบการทำงานของนวัตกรรมและการประเมินประสิทธิภาพความเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มีการอภิปรายผลดังต่อไปนี้

ผลการพัฒนานวัตกรรมเครื่องอบผลิตภัณฑ์จากหม้าด้วยการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง กับวิธีการตากผลิตภัณฑ์หม้าแบบดั้งเดิม จากการศึกษาปัญหาและความต้องการของผู้ใช้งาน ออกแบบและสร้างนวัตกรรมและทำการประเมินผล พบว่าอุณหภูมิจากพลังงานไฟฟ้าในตู้อบเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 47 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของอุณหภูมิการตากหม้าแบบวิธีดั้งเดิมเฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยโดยรวมอยู่ที่ 52 เปอร์เซ็นต์ ทำให้อุณหภูมิในตู้อบมีความร้อนสะสมมากกว่าภายนอกตู้ ทำให้ผลิตภัณฑ์หม้าได้จากการตากทั้ง 2 รูปแบบมีน้ำหนักและสีใกล้เคียงกัน ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของธีรพงศ์ บริรักษ์ และคณะ (2564) ได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถนอมอาหารด้วยวิธีการตากแห้งโดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ที่โดยสามารถวัดค่าอุณหภูมิภายในตู้อบมากกว่าภายนอกตู้ สามารถทำการแปรรูปผลิตภัณฑ์โดยวิธีการตากได้ตลอดฤดูกาล และมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของอนุชิต กลัปประสิทธิ์ และคณะ (2564) วิจัยได้ทำการศึกษาวิจัยในการสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตปลาช่อนแดดเดียวโดยใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสาน สามารถจ่ายลมร้อนสู่ห้องอบแห้งที่อุณหภูมิ 40-55 องศาเซลเซียสทุกตำแหน่งของชั้นวางผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ รัฐพงษ์ โปเคนและวิเศษศักดิ์ เสริมศักดิ์ (2563) ได้ศึกษาวิจัยออกแบบและสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ตู้อบกล้วยเพื่ออำนวยความสะดวกในการถนอมอาหารและจะจัดเก็บไว้ทำอาหารได้นานขึ้น โดยผู้วิจัยได้เพิ่มสามารถของการสร้างนวัตกรรมเครื่องอบผลิตภัณฑ์จากหม้าด้วยการควบคุมอุณหภูมิจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานให้สามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับการนำเทคโนโลยีอุปกรณ์ IoT มาใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ที่สามารถควบคุมการเปิด-ปิดสวิตซ์จากระยะ

ไกลได้ เพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานในชีวิตประจำวัน และสอดคล้องกับวิวัฒนาการ มีสุวรรณ (2559) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (internet of things) กับ การศึกษา Internet of Thing on Education แนวคิดสำคัญของอินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (internet of things) เป็นการใช้ประโยชน์จากความก้าวหน้าของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และการเพิ่มขึ้นของข้อมูลสารสนเทศจำนวนมาก (big data) จากอุปกรณ์หรือสรรพสิ่งต่างๆ ที่อยู่รอบตัว ให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม เป็นการเสริมสร้างการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรแหล่งสารสนเทศให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด ทำให้เวลาการตากผลิตภัณฑ์จากหม้อแห้งเร็วขึ้น เมื่อเทียบเปรียบกับการตากแบบธรรมชาติซึ่งมีความสอดคล้องกับฮาดิมมี บากาและคณะ (2560) ได้ทำการศึกษาวิจัยด้วยแพลตฟอร์มโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมไฟฟ้า ประสิทธิภาพการทำให้แห้งมากที่สุดเมื่อเทียบกับการตากแบบธรรมชาติ

ผลประเมินประสิทธิภาพความเหมาะสมของ การทำงานการพัฒนาวัตกรรมการเชื่อมต่อการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งพบว่า มีผลการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ อภิญา สายศรีแก้วและคณะ (2565) ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการแปรรูปอาหารควบคุมด้วยระบบ Internet of Things (IoT) พบว่า ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยผู้เชี่ยวชาญมีผลการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด และมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ รัฐพงษ์ ไร่เคน และวิเศษศักดิ์ เสงี่ยมศักดิ์ (2563) ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง ออกแบบและสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยผู้เชี่ยวชาญ มีผลการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุดเช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาวัตกรรมการเชื่อมต่อการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง โดยมีข้อเสนอแนะและพัฒนาให้วัตกรรมการมีประสิทธิภาพ ควรมีการพัฒนาระบบแจ้งเตือนอุณหภูมิและความชื้นผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตกับอุปกรณ์เคลื่อนที่ ควรมีการพัฒนาระบบควบคุมการตั้งเวลาการทำงานของเครื่องให้สามารถควบคุมเวลาที่เหมาะสมกับการอบหรือตากกับผลิตภัณฑ์ในชนิดอื่นๆ ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านพังเคน กลุ่มวิสาหกิจชุมชน และคณาจารย์ในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ สาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ การทำโครงการวิจัยในครั้งนี้จะไม่สำเร็จไปด้วยดี หากไม่ได้รับความกรุณาจากผู้เชี่ยวชาญท่านรองศาสตราจารย์เอกรินทร์ วัฏญญเลิศสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยุทธศักดิ์ สันตมาศ และผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ นระมาตย์ ที่เป็นผู้ประเมินประสิทธิภาพความเหมาะสมการทำงานของนวัตกรรม

เอกสารอ้างอิง

- ธีรพงศ์ บริรักษ์, พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ, ณรงค์ ภูอยู่ และวรลักษณ์ เสถียรรังษะ (2564). ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 5(1), 180-195.
- รัฐพงษ์ ไร่เคนและวิเศษศักดิ์ เสงี่ยมศักดิ์. (2563). *ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์*. *วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ*, 6(1), 48-57.
- วิวัฒน์ มีสุวรรณ. (2559). อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things) กับการศึกษา Internet of Things on Education. *วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 4(2), 83-92.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2565*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- อนุชิต กลีบประสิทธิ์, ดุชนัน สุวรรณระกูล, ประสutti สิทธิ สรวง, รัชมี แสงศิริมงคลยิ่ง. (2564). การสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการจัดการเทคโนโลยีการผลิตปลาช่อนแดดเดียว. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 12(2), 82-96.
- อภิญา สายศรีแก้ว, อัญญา วรรณกายนต์, อภิชัย ไพรสิทธิ์ และสุชาติ ดุมนิล. (2565). การพัฒนาตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการแปรรูปอาหารควบคุมด้วยระบบ Internet of Things (IoT). *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*, 7(2), 42-52.
- ฮาดิมมี บากา, รอกียะ อาแว, ซุลกิฟลี กาชอ, และสุนิตย์ ไรจนสุวรรณ. (2560). การศึกษาประสิทธิภาพการอบแห้งของปลาช่อนด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมไฟฟ้า. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจร.*, 1(1), 13-24.

การสร้างแบบจำลองโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกเพื่อจำแนกข้อความการสนทนาจากแอปพลิเคชันไลน์

Creating a deep learning model for classifying conversation messages from a line application

ไพชญนต์ คงไชย^{1*}

Phaichayon Kongchai^{1*}

Received: 22 January 2023; Revised: 21 March 2023; Accepted: 18 April 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการจำแนกข้อความจากกลุ่มแชทในแอปพลิเคชันไลน์ของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เพื่อแจ้งเตือนเฉพาะบางข้อความที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยลดจำนวนการแจ้งเตือนไปยังผู้เชี่ยวชาญ การทดลองการทำนายด้วยการเปรียบเทียบ 5 อัลกอริทึม ดังนี้ อัลกอริทึม Random Forest อัลกอริทึม Naïve Bayes อัลกอริทึม Logistic Regression อัลกอริทึม Support Vector Classification และเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก อัลกอริทึม Long Short-Term Memory จากผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม Long Short-Term Memory มีค่าความถูกต้องในการจำแนกมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 90.66 มีค่าความแม่นยำและค่าความถ่วงดุลมากที่สุด เมื่อจำแนกข้อความประเภทข้อความเฉพาะเจาะจงหรือคำถามที่ต้องการผู้เชี่ยวชาญ มีค่าความระลึกและค่าความถ่วงดุลมากที่สุดเมื่อจำแนกข้อความประเภทข้อความทั่วไป การวิจัยชี้ให้เห็นว่าวิธีนี้สามารถนำไปใช้กับการแชทกลุ่มอื่นที่คล้ายคลึงกัน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการส่งการแจ้งเตือน

คำสำคัญ: การจำแนกประเภทข้อความ, ไลน์แอปพลิเคชัน, การเรียนรู้เชิงลึก

Abstract

This report presents a method for classifying text from the chat group within the Line application of the Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, to notify only relevant messages and reduce the number of notifications to experts. This experiment compared five predictive algorithms: Random Forest, Naïve Bayes, Logistic Regression, Support Vector Classification and Deep Learning named Long Short-Term Memory. The results showed that the Long Short-Term Memory algorithm had the highest accuracy of 90.66%, with the highest precision and recall when classifying specific targeted messages or questions that require expert attention, and with the highest precision and F-measure when classifying general targeted messages. Additionally, the research demonstrated that this method could be applied to similar chat groups to improve the efficiency of notification.

Keywords: text classification, line application, deep learning

¹ อาจารย์, สาขาวิทยาการข้อมูลและนวัตกรรมซอฟต์แวร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 34190

¹ Lecturer, Major of Data Science and Software Innovation, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University 34190

* Corresponding Email: Phaichayon.k@ubu.ac.th

บทนำ

การคัดเลือกนักศึกษาใหม่เข้าเรียนในคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีวิธีการคัดเลือกนักศึกษาหลายรอบ เช่น รอบใช้แฟ้มสะสมผลงาน รอบโควตา รอบแอดมิชชัน และรอบรับตรงอิสระ โดยแต่ละรอบจะประกอบไปด้วยขั้นตอนการรับสมัคร สอบสัมภาษณ์ สอบคัดเลือก แจ้งความจำนง ยืนยันสิทธิ์เพื่อเข้าศึกษา ซึ่งแต่ละขั้นตอน ผู้สมัครอาจจะมีข้อสงสัยหรือพบปัญหาที่ต้องการคำตอบอย่างเร่งด่วน เช่น ชำระเงินยืนยันสิทธิ์ไม่ได้ หมดเวลายืนยันสิทธิ์ตอนไหน ไม่ยืนยันสิทธิ์ได้ไหม สาขานี้ต้องสอบสัมภาษณ์ที่ไหน ซึ่งคำถามเหล่านี้ อาจส่งผลให้พลาดโอกาสการเข้าศึกษาได้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีทราบถึงปัญหาดังกล่าว จึงเปิดช่องทางให้นักศึกษาติดต่อหลายช่องทาง ไม่ว่าจะเป็นช่องทางเพจบนเฟซบุ๊ก ช่องทางโทรศัพท์ ช่องทางอีเมล และช่องทางไลน์แอปพลิเคชันที่มีผู้สมัครติดต่อมามากที่สุด โดยจะมีผู้เชี่ยวชาญคอยให้คำตอบ แต่การที่จะทำให้ผู้สมัครได้รับประสบการณ์ที่ดีและได้รับคำตอบรวดเร็วที่สุด อีกด้านของการตอบคำถามคือผู้เชี่ยวชาญจะต้องคอยตอบคำถามอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอาจส่งผลให้ผู้เชี่ยวชาญมีปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพจิต

สุขภาพกาย หรือความสัมพันธ์กับครอบครัวน้อยลง เพราะต้องคอยตอบคำถามจากนักเรียนผ่านกลุ่มแชทในแอปพลิเคชันไลน์ตลอดเวลา ผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บข้อมูลจากไลน์กลุ่มแชทงานรับเข้าคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตั้งแต่วันที่ 18/08/2022 ถึงวันที่ 12/12/2022 (จำนวน 117 วัน) พบว่ามีจำนวนข้อความทั้งหมด 3179 ข้อความ (ไม่รวมข้อความที่แจ้งเตือนเมื่อมีสมาชิกใหม่เข้าร่วมกลุ่ม) โดยมีจำนวนข้อความแจ้งเตือนต่อวันแสดงดัง Figure 1 มีข้อความแจ้งเตือนตามช่วงเวลาการ 1767 ข้อความ และข้อความแจ้งเตือนนอกเวลาการ 1412 ข้อความ ดัง Table 1 ผู้วิจัยจึงได้ทำการจำแนกข้อความแจ้งเตือนตามช่วงเวลา ดัง Table 2 จากทั้ง 2 ตารางจะเห็นได้ว่ามีข้อความแจ้งเตือนเข้ามาตลอดทุกช่วงเวลา และมีข้อความแจ้งเตือนนอกเวลาการมากถึงร้อยละ 44.57 แต่มีข้อความที่ผู้เชี่ยวชาญต้องตอบทั้งหมดเพียง 569 ข้อความหรือประมาณร้อยละ 18 โดยวัดจากการตอบจริงในกลุ่มแชทการใช้ปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยจำแนกข้อความเพื่อแจ้งเตือนเฉพาะบางข้อความที่เหมาะสม จะช่วยลดจำนวนการอ่านข้อความของผู้เชี่ยวชาญลงได้ถึง 2610 ข้อความหรือประมาณร้อยละ 82

Table 1 The number of chats in Working Hours.

Parts of the Day	#Chats
Official Working Hours (08.00 - 16.59)	1767
Outside Official Working Hours (17.00 - 07.59)	1412
Total	3179

Table 2 The number of chats per time period.

Parts of the Day	#Chats
Early Morning (05.00 - 07.59)	316
Morning (08.00 - 11.59)	804
Noon (12.00 - 15.59)	772
Evening (16.00 - 19.59)	857
Night (20.00 - 23.59)	407
Late Night (00.00 - 04.59)	23
Total	3179

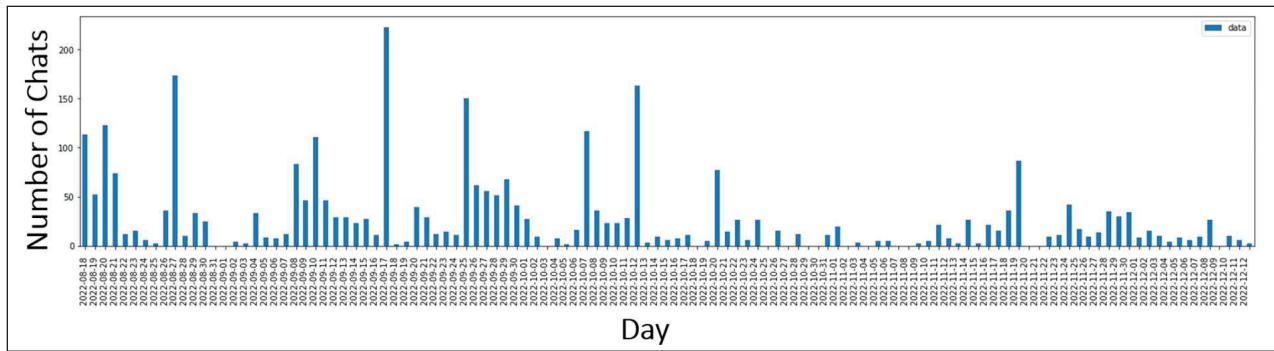


Figure 1 The number of chats per day (18/08/2022 to 12/12/2022).

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษางานวิจัยที่ใกล้เคียงพบว่ามียานงานวิจัยที่มุ่งเน้นทำวิจัยเกี่ยวกับการประมวลผลภาษาไทย เช่น (อิทธิศักดิ์ ศรีดำ, 2565) ระบบการจัดหมวดหมู่ข้อความและข้อเสนอแนะของประชาชนที่มีต่อโครงการของรัฐโดยวิธีปัญญาประดิษฐ์ เสนอวิธีการใช้อัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจในการจัดหมวดหมู่ข้อความ (มุกดา หมาหนะ และคณะ, 2563) โมเดลสำหรับจำแนกความรู้สึกของความคิดเห็นโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจบนเว็บไซต์จองโรงแรม โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทดลองการใช้เครื่องมือในการตัดคำไทยที่มีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ NewMM (วสุวัตติ์ อินทร์แปลง และคณะ, 2563) การวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อเกมมือถือผับจีด้วยเหมืองข้อความ ได้เก็บรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นต่อเกมมือถือผับจีจำนวน 3,798 ข้อความ และใช้เทคนิคการปรับความสมดุลของข้อมูลด้วยวิธี SMOTE เพื่อทำให้ข้อมูลของคลาสสมดุลกัน จากนั้นนำไปสร้างแบบจำลองด้วย 5 อัลกอริทึม ดังนี้ อัลกอริทึม Random Forest อัลกอริทึม Naïve Bayes อัลกอริทึม C4.5 อัลกอริทึม Support Vector Machine และอัลกอริทึม K-Nearest Neighbor เพื่อหาอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จากการทดลองพบว่าอัลกอริทึม K-Nearest Neighbor มีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลมากที่สุด (ศรัญญา กาญจนวัฒนา และคณะ, 2565) การจำแนกอารมณ์ของมนุษย์จากการรู้จำเสียงพูดโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก เพื่อจำแนกข้อมูล 5 อารมณ์ประกอบด้วย โกรธ ปกติ ประหลาดใจ มีความสุข และเศร้า ผลการทดลองสรุปว่า Long Short-Term Memory (LSTM) เป็นอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับการจำแนกอารมณ์จากเสียงพูดมากกว่า Convolution Neural Networks (CNN)

จากการศึกษางานวิจัย ผู้วิจัยจึงได้นำข้อดีของแต่ละงานมาประยุกต์ใช้ และได้เสนอการสร้างแบบจำลองโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก เพื่อจำแนกข้อความการสนทนาจากแอปพลิเคชันไลน์ โดยขั้นตอนการทดลองได้เปรียบเทียบ 5 อัลกอริทึม ดังนี้ อัลกอริทึม Random Forest อัลกอริทึม Naïve Bayes อัลกอริทึม Logistic Regression อัลกอริทึม Support

Vector Classification และเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก อัลกอริทึม Long Short-Term Memory โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการทดลองในหัวข้อถัดไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการจำแนกข้อความจากกลุ่มแชทในแอปพลิเคชันไลน์

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ การเก็บรวบรวมข้อมูล การเตรียมข้อมูล การจำแนกประเภทข้อมูล และการวัดผลและการประเมินผลลัพธ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากไลน์กลุ่มแชท งานรับเข้าศึกษาคณะวิทย์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตั้งแต่วันที่ 18/08/2022 ถึงวันที่ 12/12/2022 มีจำนวนข้อความทั้งหมด 3179 ข้อความ โดยมีตัวอย่างดัง Figure 2

	date	data
2	2022-08-18 13:08:00	Song! ขออนุญาตสอบถามคำ มีใครไปจากศรีสะเกษไหม...
3	2022-08-18 13:08:00	K ❤️ it
4	2022-08-18 13:10:00	Song! เราขอไต่ได้ไหมคะ อยากรู้ด้วย
5	2022-08-18 13:10:00	K ❤️ unsent a message.
6	2022-08-18 13:12:00	พพ ❌ ขออนุญาตค่ะ มีใครไปคนเดียวมั๊ยคะ คือเรา...
...	...	...
3679	2022-12-23 09:30:00	Ig ; ทำไมถึงขึ้นเอกสารไม่ครบหะ @Tutiyaoporn
3680	2022-12-23 10:08:00	Tutiyaoporn@Ig ; รอทางรับเข้าตรวจสอบเอกสารนค...
3681	2022-12-23 10:09:00	Tutiyaoporn@Chinnawat ตามประกาศถือว่าสละสิทธิ์...
3682	2022-12-23 10:10:00	Chinnawat\ในแล้วว่าสละสิทธิ์การเข้าเรียนใหม่ครบ
3683	2022-12-23 10:14:00	Tutiyaoporn@Chinnawat นร. ที่มีรายชื่อเป็นผู้ผ...
3179 rows x 2 columns		

Figure 2 Examples of data set.

การเตรียมข้อมูล

1) ตรวจสอบความถูกต้องและติดฉลากข้อมูล นำข้อมูลจาก Figure 2 มาทำการตัดข้อความ "Unsent a message" (ข้อความที่มีการลบออก) และข้อความที่มีเฉพาะรูปภาพออก (เนื่องจากงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถประมวลผลข้อมูลรูปภาพได้) ทำให้เหลือข้อความทั้งหมด 2784 ข้อความ จากนั้นทำความสะอาดข้อมูลด้วยการกำจัด ชื่อ สัญลักษณ์ที่ปรากฏในข้อความ แล้วทำการติดฉลากให้กับข้อความ (data labelling) ดัง Table 3 ในคอลัมน์ Class โดยหมายเลข

0 แทนข้อความทั่วไป (general chats) มีจำนวน 2215 ข้อความ และหมายเลข 1 แทนข้อความที่เป็นข้อคำถามที่ผู้เชี่ยวชาญต้องตอบ (specific chats) มีจำนวน 569 ข้อความ

2) การตัดคำ กำจัดคำหยุดและแก้ไขคำที่เรียงผิด งานวิจัยนี้ได้เลือกไลบรารี PyThaiNLP ในด้านการประมวลผลข้อมูลภาษาไทย โดยใช้เทคนิคการตัดคำด้วยอัลกอริทึม maximum matching (NewMM) กำจัดคำหยุดด้วย thai_stopwords ในคลังข้อมูล PyThaiNLP และแก้ไขคำที่เรียงผิดด้วยฟังก์ชัน Normalize (Phatthiyaphaibun *et al*, 2023)

Table 3 Examples of data labeling.

Chats	Class
มีใครยุกมุดหาหามใหม่จ้บ	0
เราอยู่ยูลบคำ	0
ขอสอบถามหน่อยคะ เกรดสะสมเอาแค่ 4 เทอมหรือ	1
หนูสามารถโอนชำระได้ไหมคะ	1
สาขาไหนเธอ	0

Table 4 Examples of bag of words.

Rows	เกรด (1)	ชำระ (2)	ยูลบ (3)	สอบ (4)
1	0	0	0	0
2	0	0	1	0
3	1	0	0	0
4	0	1	0	0
5	0	0	0	0

3) การแปลงคุณลักษณะของข้อมูล ขั้นตอนนี้เป็น การแปลงคุณลักษณะของข้อมูล ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปประมวลผลเพื่อสร้างแบบจำลอง ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือก การสร้างคลังคำศัพท์ (bag of word) ซึ่งเป็นการแปลงคำที่ไม่ซ้ำกันให้เป็นตัวบ่งชี้ของคำ โดยที่คำศัพท์ใดไม่ปรากฏในประโยค ตัวบ่งชี้ในประโยคนั้นจะมีค่าเป็น 0 แต่ถ้าคำศัพท์ใดปรากฏในประโยค ตัวบ่งชี้ในประโยคนั้นจะมีค่าเป็น 1 แสดงตัวอย่างดัง Table 4

การจำแนกประเภทข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้เลือก 5 อัลกอริทึม โดยมี 4 อัลกอริทึม เป็นการเรียนรู้ของเครื่องแบบดั้งเดิม (traditional machine learning) ได้แก่ อัลกอริทึม Random Forest (RF) อัลกอริทึม Naïve Bayes (NB) อัลกอริทึม Logistic Regression (LR) และอัลกอริทึม Support Vector Classification (SVC) ด้วย

ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้แล้ว (default parameter) และอีกหนึ่งอัลกอริทึมเป็นการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) คือ อัลกอริทึม Long Short-Term Memory (LSTM) โดยการทำงานของแต่ละอัลกอริทึมมีรายละเอียดดังนี้

อัลกอริทึม RF ใช้แนวคิดของการสร้างต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree) ในการสร้างตัวแบบ โดยจะสร้างต้นไม้ตัดสินใจจำนวน N ต้น ตามผู้กำหนด งานวิจัยนี้ได้ใช้มาตรวัด Gini Index ดังสมการที่ (1) จากนั้นนำผลลัพธ์จากการทำนายของแต่ละต้นมาคิดเป็นค่าตอบของตัวแบบ โดยเลือกคำตอบที่ซ้ำกันมากที่สุด (Pal, 2005)

$$\text{Gini}(t) = 1 - \sum_{j=1}^n p_j^2 \quad (1)$$

โดยที่

t แทนข้อมูลสำหรับฝึกและ p_j คือ สัดส่วนของจำนวนข้อมูลที่อยู่ในแต่ละกลุ่ม โดย j เป็นจำนวนกลุ่ม นอกจากนี้ งานวิจัยนี้มีการใช้เทคนิค Grid Search เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยมีค่า $n_estimators$ เริ่มต้น 10 ถึง 100 (ปรับค่าเพิ่มทีละ 10) ค่า max_depth เริ่มต้น 5 ถึง 20 (ปรับค่าเพิ่มทีละ 5) และไม่จำกัดความลึก

อัลกอริทึม NB ใช้แนวคิดความน่าจะเป็นด้วยทฤษฎีของเบย์ โดยการหาความสัมพันธ์ของระหว่างตัวแปร เพื่อใช้ในการสร้างตัวแบบ (Rish, 2001) ดังสมการที่ (2)

$$P(C_i | X) = \frac{P(X | C_i)P(C_i)}{P(X)} \quad (2)$$

โดยที่

$P(C_i | X)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นที่เกิดแอททริบิวต์ X ก่อนความน่าจะเป็น C_i

$P(C_i)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นในการเกิดคลาส C_i

$P(X)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นในการเกิดแอททริบิวต์ X

งานวิจัยนี้ได้สร้างตัวแบบจาก Multinomial Naive Bayes และมีการเทคนิคใช้ Grid Search เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยมีค่า Alpha เริ่มต้น 0.01 ถึง 10.00 (ปรับค่าเพิ่มทีละ 10 เท่า)

อัลกอริทึม LR ใช้แนวคิดทางสถิติที่วิเคราะห์สมการแบบถดถอย เพื่อทำนายโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจแล้วใช้ฟังก์ชันทดสอบสมมติฐานเพื่อจำแนกข้อมูล (Antipov & Pokryshevskaya, 2010)

$$\log\left(\frac{P(y)}{1-P(y)}\right) = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n \quad (3)$$

โดยที่

$P(y)$ คือ ความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ

$Q(y)$ คือ ความน่าจะเป็นเหตุการณ์ที่สนใจไม่เกิด

b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

x คือ แอททริบิวต์

ซึ่งการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจะใช้ความน่าจะเป็นสูงสุด แล้วเทียบกับผลการทำนาย เพื่อหาค่าทำนายของตัวแปรให้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุด นอกจากนี้ งานวิจัยนี้มีการใช้เทคนิค Grid Search เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยมีค่า Penalty เป็น L1 และ L2 ค่า C เริ่มต้น 0.01 ถึง 100 (ปรับค่าเพิ่มทีละ 10 เท่า)

อัลกอริทึม SVC (Cortes *et al*, 1995) ใช้แนวคิดการหาสัมประสิทธิ์ของสมการ เพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกข้อมูล (hyperplane) โดยมีเส้นขอบ (margin) ของเส้นตรงที่เป็นเส้นแบ่ง เส้นขอบที่แบ่งกลุ่มกว้างมากที่สุดของทั้งสองกลุ่ม แต่ถ้าข้อมูลไม่เป็นเชิงเส้นจะใช้เคอร์เนล (Kernel) ฟังก์ชันเพื่อให้สามารถจำแนกข้อมูลบนระนาบได้หลายมิติ และเวกเตอร์ที่อยู่ข้างระนาบจะเรียกว่าเวกเตอร์สนับสนุน (support vectors) นอกจากนี้งานวิจัยนี้มีการใช้เทคนิค Grid Search (Bui *et al*, 2020). เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยมีค่า C อยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 100 (ปรับค่าเพิ่มทีละ 10 เท่า) ค่า $gamma$ อยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 100 (ปรับค่าเพิ่มทีละ 10 เท่า) และ Kernel มีค่าเป็น linear, rbf และ poly

อัลกอริทึม LSTM (Schmidhuber *et al*, 1997) ใช้แนวคิดของโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) โดยเลียนแบบการทำงานคล้ายกับสมองมนุษย์ มีพื้นฐานมาจากอัลกอริทึม Recurrent Neural Network (RNN) ซึ่งเป็นตัวแบบประมวลผลข้อมูลที่มีการเชื่อมต่อกันอยู่ระหว่างชั้นของข้อมูล ซึ่งจะช่วยให้ตัวแบบสามารถรับรู้ความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ อัลกอริทึม LSTM ถูกพัฒนาให้มีความสามารถในการจดจำข้อมูลในระยะเวลายาวๆ โดยมีการเพิ่มขึ้นของข้อมูล ซึ่งจะช่วยให้แบบจำลองสามารถจดจำข้อมูลนานขึ้นได้ ปกติจะใช้ในงานประมวลผลข้อมูลภาษามนุษย์ที่มีความซับซ้อนสูง โดยผู้วิจัยได้ออกแบบปรับแต่งขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม LSTM ดัง Figure 3 มีการปรับอัตราการเรียนรู้ที่ 0.0001 ขนาดของ batch เป็น 32 และประมวลผล 100 อีพ็อก ด้วย Adam Optimizer

```
1 def simple_LSTM(MaxLength):
2     inputlayer = Input((MaxLength,))
3     x = Embedding(NumWords+2, 400)(inputlayer)
4     x = Conv1D(32,3,padding='same',activation='relu')(x)
5     x = MaxPool1D()(x)
6
7     x = LSTM(32)(x)
8     x = Dropout(0.65)(x)
9     out = Dense(2, activation='softmax')(x)
10
11     return out,inputlayer
```

Figure 3 LSTM python code.

Table 5 LSTM Description.

Line	Describe
3	ทำการแปลงค่าให้เป็นเวกเตอร์ด้วย Word Embedding โดยมีข้อมูลอินพุตเท่ากับจำนวนคำทั้งหมดของประโยคมากที่สุดและข้อมูลเอาต์พุตเท่ากับ 400
4	ชั้นคอนโวลูชันแบบ 1 มิติ ประกอบด้วย 32 filter ความกว้างของ kernel เป็น 3 และกำหนด padding เป็น same ที่ใช้ในการเพิ่มขนาดของ input โดยไม่เปลี่ยนขนาดของ output และฟังก์ชันกระตุ้นเป็น relu
5	ทำการเปลี่ยนขนาดของข้อมูลให้เล็กลงและเอาเฉพาะค่าที่สำคัญมาเก็บไว้ ด้วย MaxPool ขนาด 1 มิติ
7	ชั้น LSTM ที่มีขนาด hidden state เท่ากับ 32
8	ทำการ Dropout ด้วยอัตราส่วน 0.65 (ตัวเลขนี้ได้จากการทดลองใน Table 6) เพื่อป้องกันแบบจำลองเกิดการ Overfitting
9	สุดท้าย คือ ชั้นที่เชื่อมโยกับข้อมูลชุด x ก่อนหน้า ซึ่งจะมีจำนวนโนนด 2 โนนด และฟังก์ชันกระตุ้นเป็น softmax เป็นฟังก์ชันที่คำนวณความน่าจะเป็นของแต่ละคลาส และค่าที่คำนวณจะอยู่ในช่วง [0,1]

จาก Figure 3 ผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรเริ่มต้นของ MaxLength มีค่าเท่ากับ 30 (ความยาวของประโยคมากที่สุด) และ NumWords มีค่าเท่ากับ 20000 (จำนวนคำทั้งหมด) โดยคำสั่งที่สำคัญอธิบายดัง Table 5 และสรุปจำนวนพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ใช้ ดัง Figure 4

Layer (type)	Output Shape	Param #
input_1 (InputLayer)	[(None, 30)]	0
embedding (Embedding)	(None, 30, 400)	8000800
conv1d (Conv1D)	(None, 30, 32)	38432
max_pooling1d (MaxPooling1D)	(None, 15, 32)	0
lstm (LSTM)	(None, 32)	8320
dropout (Dropout)	(None, 32)	0
dense (Dense)	(None, 2)	66
=====		
Total params: 8,047,618		
Trainable params: 8,047,618		
Non-trainable params: 0		

Figure 4 All of the parameters.**Table 6** Dropout testing with LSTM algorithm (ACC: accuracy).

No.	Dropout	Train/ACC	Test/ACC
1	0.00	100.00	88.27
2	0.10	100.00	90.66*
3	0.20	100.00	90.19
4	0.30	100.00	90.31
5	0.40	100.00	89.92
6	0.50	100.00	90.19
7	0.60	100.00	89.59
8	0.70	100.00	89.83
9	0.80	99.96	89.83
10	0.90	98.80	89.95

การวัดผลและการประเมินผลลัพธ์

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบที่สร้างขึ้นด้วยการใช้เกณฑ์ค่าความถูกต้อง (accuracy) ค่าความแม่นยำ (precision) ค่าความระลึก (recall)

และค่าความถ่วงดุล (F-measure) ดังสมการที่ 4, 5, 6 และ 7 ตามลำดับ ข้อมูลสำหรับการทดสอบเป็นข้อมูลสำหรับฝึกปริมาณ 2 ใน 3 ของข้อมูลทั้งหมด และข้อมูลสำหรับทดสอบปริมาณ 1 ใน 3 ของข้อมูลทั้งหมด

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (4)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (5)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6)$$

$$F\text{-measure} = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (7)$$

โดยที่

TP คือ จำนวนที่ทำนายถูกคลาส Positive

TN คือ จำนวนที่ทำนายถูกคลาส Negative

FP คือ จำนวนที่ทำนายผิดคลาส Positive

FN คือ จำนวนที่ทำนายผิดคลาส Negative

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำแนกข้อความงานรับเข้า เพื่อแจ้งเตือนเฉพาะบางข้อความที่ต้องให้ผู้เชี่ยวชาญตอบ โดยใช้ 5 อัลกอริทึม ดังนี้ อัลกอริทึม RF อัลกอริทึม NB อัลกอริทึม LR อัลกอริทึม SVC และอัลกอริทึม LSTM การทดลองโดยเขียนคำสั่งด้วยภาษา Python ไลบรารี Scikit-Learn และ Keras ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เก็บข้อมูลจากกลุ่มแชทในแอปพลิเคชันไลน์ งานรับเข้าคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตั้งแต่วันที่ 18/08/2022 ถึงวันที่ 12/12/2022 มีจำนวนข้อความทั้งหมด 3179 ผ่านการเตรียมข้อมูลแล้วเหลือ 2784 ข้อความ แบ่งเป็นข้อมูลสำหรับฝึกด้วยวิธีการสุ่มได้ 1948 ข้อความ และเป็นข้อมูลสำหรับทดสอบสุ่มได้ 836 ข้อความ แต่ด้วยชุดข้อมูลสำหรับฝึกมีคลาสที่ไม่สมดุลกัน โดยคลาส 0 มีจำนวนข้อมูล 1550 ข้อความ ส่วนคลาส 1 มีจำนวนข้อมูล 398 ข้อความ ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการปรับข้อมูลให้สมดุล SMOTE (Chawla *et al*, 2002) โดยการสุ่มเพิ่มข้อมูลจากคลาสจำนวนน้อยให้มีค่าเท่ากับกับคลาสจำนวนมาก (over sampling) และวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความถูกต้อง (ค่าความแม่นยำ และค่าความระลึกลับ แสดงใน Table 7 - 9

Table 7 The testing results of accuracy.

Algorithms	Test/ACC
RF	84.80
NB	78.82
LR	85.52
SVC	83.97
LSTM	90.66*

จาก Table 7 แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม LSTM มีค่าความถูกต้องมากที่สุด คือ ร้อยละ 90.66 และอัลกอริทึม LR

อัลกอริทึม RF อัลกอริทึม SVC และอัลกอริทึม NB มีค่าความถูกต้องรองลงมาตามลำดับ

Table 8 The testing results of general chats (Class = 0).

Algorithms	Precision	Recall	F-measure
RF	97.00*	84.00	90.00
NB	96.00	76.00	85.00
LR	95.00	87.00	90.00
SVC	94.00	85.00	89.00
LSTM	93.00	94.00*	94.00*

จาก Table 8 อัลกอริทึม RF มีค่าความแม่นยำในการทำนายคลาสข้อความทั่วไปมากที่สุด คือ ร้อยละ 97 และ

อัลกอริทึม LSTM มีค่าความระลึกลับและค่าความถ่วงดุลที่สูงสุดระดับที่เท่ากัน คือ ร้อยละ 94

Table 9 The testing results of specific chats (Class = 1).

Algorithms	Precision	Recall	F-measure
RF	58.00	89.00*	71.00
NB	49.00	89.00	63.00
LR	61.00	81.00	70.00
SVC	58.00	78.00	67.00
LSTM	75.00*	74.00	75.00*

จาก Table 9 อัลกอริทึม RF มีค่าความความระลึกในการทำนายคลาสข้อความเฉพาะเจาะจงมากที่สุด คือ ร้อยละ 89 และอัลกอริทึม LSTM มีค่าความแม่นยำและความถ่วงดุลสูงที่สุดระดับที่เท่ากัน คือ ร้อยละ 75

สรุปผลและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการจำแนกข้อความจากกลุ่มแชทในแอปพลิเคชันไลน์ งานรับเข้าคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เพื่อแจ้งเตือนเฉพาะบางข้อความที่เหมาะสม ช่วยลดจำนวนการอ่านข้อความของผู้เชี่ยวชาญลง โดยการทดลองผู้วิจัยได้ทำการทดสอบด้วยวิธีการเปรียบเทียบมาตรฐาน ค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก และค่าความถ่วงดุล กับ 5 อัลกอริทึม ดังนี้ อัลกอริทึม RF อัลกอริทึม NB อัลกอริทึม LR อัลกอริทึม SVC และอัลกอริทึม LSTM จากผลการวิจัยพบว่าอัลกอริทึม LSTM มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการจำแนกข้อความ เพราะมีค่าความถูกต้องมากที่สุด ค่าความแม่นยำมากที่สุด เมื่อคลาสเป็น 1 ค่าความระลึกมากที่สุด เมื่อคลาสเป็น 0 และค่าความถ่วงดุลมากที่สุด เมื่อคลาสเป็น 0 และ 1 จะเห็นได้ชัดว่าอัลกอริทึม LSTM ไม่ได้มีค่าความแม่นยำสูงที่สุดในคลาสเป็น 0 แต่ในคลาสเป็น 1 อัลกอริทึม LSTM มีค่าความแม่นยำสูงที่สุด (คลาสเป็น 1 มีอีกหนึ่งความหมายคือข้อความที่ผู้เชี่ยวชาญต้องตอบ) อัลกอริทึม LSTM สามารถจำแนกข้อมูลได้ดีในทั้งสองคลาสมากกว่าอัลกอริทึมอื่นที่สามารถจำแนกข้อมูลได้ดีในคลาสเดียว เพราะมีจำนวนพารามิเตอร์มากถึงแปดล้านตัว ดังนั้นอัลกอริทึม LSTM จึงเหมาะสมนำไปสร้างแบบจำลองเพื่อใช้งานในการจำแนกข้อความกลุ่มแชทในแอปพลิเคชันไลน์ งานรับเข้าคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (ศรัญญา กาญจนวัฒนา และคณะ, 2565) ที่มีค่าความถูกต้องมากที่สุดในการจำแนกข้อมูลที่เป็นข้อความซับซ้อน แต่อัลกอริทึม LSTM ไม่สามารถจำแนกข้อมูลได้ถูกต้องทั้งหมด มีบางข้อความที่ทำนายผิดพลาด คือ 1) ข้อความที่ต้องการผู้เชี่ยวชาญแต่แบบจำลองทำนายเป็นข้อมูลทั่วไป เช่น “สาขาวิทยาการข้อมูล ต้องยื่นพอร์ตทุกคน

ใช้มัยจะรวมถึงเด็กชีว” 2) ข้อความทั่วไปที่ผู้ใช้ถามเพื่อนในกลุ่ม แต่แบบจำลองทำนายเป็นข้อความที่ต้องการผู้เชี่ยวชาญ เช่น “มีกลุ่มไลน์วิหิชีวะไหมคะ” การทำวิจัยต่อไปควรนำข้อความคำถามที่ได้จากการทำนายของแบบจำลอง ไปแยกประเภทคำถามย่อยเฉพาะด้าน เพื่อให้โปรแกรมสามารถตอบคำถามได้อย่างอัตโนมัติแทนผู้เชี่ยวชาญ จะช่วยลดงานของผู้เชี่ยวชาญ และส่งผลทางอ้อมจะช่วยลดความเครียดจากการทำงานของผู้เชี่ยวชาญ

เอกสารอ้างอิง

- มุกตา หมานเหม, สิทธิพงศ์ ต่ละ, สารภี จุลแก้ว, และสุภาวดี มากอัน. (2563). โมเดลสำหรับจำแนกความรู้สึกของความคิดเห็นโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจกรณีศึกษาเว็บไซต์จองโรงแรม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา*, 2(1), 69-79.
- วสวัตดี อินทร์แปลง, จารี ทองคำ. (2563). การวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อเกมมือถือพับจิดด้วยเหมืองข้อความ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 39(5), 523-531.
- ศรัญญา กาญจนวัฒนา, อัษฎายุทธ จารัตน์ และปัญญ์ ชลธิ์ ปรานีตพลกรัง. (2565). การจำแนกอารมณ์ของมนุษย์จากการรู้จำเสียงพูดโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก. *วารสาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ*, 2(2), 1-11.
- อิทธิศักดิ์ ศรีดำ. (2565). ระบบการจัดหมวดหมู่ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะของประชาชนที่มีต่อโครงการของรัฐโดยวิธีปัญญาประดิษฐ์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 41(3), 134-141.
- Antipov, E. & Pokryshevskaya, E. (2010). Applying CHAID for logistic regression diagnostics and classification accuracy improvement. *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, 18(2), 109-117.

- Bui, D. T. & Tsangaratos, P. & Nguyen, V. T. & Van Liem, N., & Trinh, P. T. (2020). Comparing the prediction performance of a Deep Learning Neural Network model with conventional machine learning models in landslide susceptibility assessment. *Catena*, 188, 104426.
- Chawla, N. V. & Bowyer, K. W. & Hall, L. O. & Kegelmeyer, P. W. (2002). SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16, 321-357.
- Cortes, C. & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20, 273-297.
- Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), pp. 217-222.
- Phatthiyaphaibun, W., Chaovavanich, K., Polpanumas, C., Suriyawongkul, A., Lowphansirikul, L., & Chormai, P. (22 january 2023). *PyThaiNLP: Thai natural language processing in Python*. <https://pythainlp.github.io/docs/3.1/>
- Rish, I. (2001). An empirical study of the naive Bayes classifier. *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 3(22), 41-46.
- Schmidhuber, J. & Hochreiter, S. (1997). Long short-term memory. *Neural Comput*, 9(8), 1735-1780.

แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการทำความเย็นในการผลิตน้ำแข็งหลอด

Thermodynamic model of a freezing process in tube ice production

กมลวิสิทธิ์ พันวอ^{1*} และ ธีระชาติ พรพิบูลย์²
Kamonwisit Phanwor^{1*} and Teerachart Pornpibul²

Received: 10 January 2023; Revised: 16 March 2023; Accepted: 4 April 2023

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการทำความเย็นในเครื่องทำน้ำแข็งหลอด เพื่อหาระยะเวลาที่ใช้และภาระการทำความเย็นตลอดกระบวนการทำความเย็นภายใต้ความหนาแน่นน้ำแข็งหลอดที่ต้องการผลิต เนื่องจากปัจจุบันการผลิตน้ำแข็งหลอดให้มีความหนาตามต้องการ เครื่องทำน้ำแข็งหลอดถูกตั้งเวลาของกระบวนการทำความเย็นไว้คงที่ทุกรอบการผลิตภายใต้อุณหภูมิน้ำป้อนค่าหนึ่ง แต่ความเป็นจริงความหนาแน่นน้ำแข็งหลอดที่ผลิตได้ไม่เป็นไปตามต้องการจากอุณหภูมิน้ำป้อนที่เปลี่ยนแปลง 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและการลดอุณหภูมิน้ำป้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำเย็นทั้งจากการละลายน้ำแข็งในรอบผลิตก่อนเพื่อการประหยัดพลังงาน ยิ่งไปกว่านั้นการทำนายภาระการทำความเย็นจากแบบจำลองที่มีการศึกษาวิจัยในอดีตขาดการพิจารณาช่วงการลดอุณหภูมิน้ำซึ่งมีแนวโน้มเกิดภาระการทำความเย็นสูงสุดขึ้น ผลการศึกษานี้พบว่า สามารถทำนายระยะเวลาของกระบวนการทำความเย็นได้แม่นยำขึ้น 15.18% เมื่อเทียบกับงานวิจัยในอดีต ภาระการทำความเย็นสูงสุดเกิดในช่วงลดอุณหภูมิน้ำและลดลงต่อเนื่องจนสิ้นสุดช่วงก่อตัวของน้ำแข็งหลอด เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำกับสารทำความเย็นและความต้านทานความร้อนของน้ำแข็งหลอดที่เพิ่มความหนา ภาระการทำความเย็นในช่วงเวลาต่างๆ นำไปสู่อัตราการระเหยสารทำความเย็นซึ่งเป็นผลลัพธ์สำคัญในการกำหนดอัตราการดูดสารทำความเย็นของเครื่องอัดไอที่เหมาะสมกับเครื่องทำน้ำแข็งหลอด

คำสำคัญ: แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์, อุณหภูมิน้ำป้อน, ระยะเวลาของกระบวนการทำความเย็น, ความหนาของน้ำแข็งหลอด, ภาระการทำความเย็น

Abstract

This research article proposes a thermodynamic model of a freezing process in a tube ice-making machine to determine process time and cooling load throughout the freezing process. Nowadays, for production of tube ice to the required thickness, a tube ice-making machine will set the freezing process time to be constant in every production cycle under only one feed water temperature. However, our experiments found that the actual thickness of the tube ice produced was not as required because the feed water temperature deviated in response to two factors. - (1) the ambient temperature and (2) the reduction in the feed water temperature at the heat exchanger using the chilled water from the defrost process of production cycle ago for energy saving. Moreover, the prediction of cooling load from earlier research models lacked consideration of the water temperature decrease period, which tends to be the maximum cooling load. The results of this research revealed that simulation predicts the process's time of the freezing process with 15.18% accuracy compared to past research. The maximum cooling load occurred during the water temperature

¹ นิสิตปริญญาโท, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

² อาจารย์, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

* ติดต่อผู้พิมพ์: กมลวิสิทธิ์ พันวอ อีเมล: M6401641@g.sut.ac.th

¹ Master degree student, School of mechanical engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

² Lecturer, School of mechanical engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

* Corresponding author: Kamonwisit Phanwor, Email: M6401641@g.sut.ac.th

decrease period, then kept decreasing until the end of the tube ice-making period due to the temperature difference between the water and the refrigerant and the thermal resistance of tube ice from increasing thickness. This cooling load has a known evaporation rate of the refrigerant throughout the freezing process, which is the main result that guides the determination of the refrigerant suction rate of a compressor suitable for the tube ice-making machine.

Keywords: Thermodynamic model, feed water temperature, freezing process time, tube ice thickness, cooling load

บทนำ

กระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดมี 4 กระบวนการใน 1 รอบการผลิต ได้แก่ กระบวนการป้อนน้ำคือการป้อนน้ำสะอาดเข้าสู่หอทำน้ำแข็งหลอด กระบวนการทำความเย็นคือการทำความเย็นน้ำภายในหอทำน้ำแข็งหลอดที่ความดันบรรยากาศด้วยสารทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิน้ำจนกระทั่งน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งหลอดที่มีความหนาเป็นไปตามต้องการ กระบวนการละลายน้ำแข็งคือการละลายน้ำแข็งที่เกาะกับผิวท่อทำน้ำแข็งหลอดจนน้ำแข็งหลอตดังกล่าวร่วงหล่นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และกระบวนการตัดน้ำแข็งคือการตัดน้ำแข็งหลอดที่ร่วงหล่นจากท่อทำน้ำแข็งหลอดให้ได้ความยาวตามต้องการ

ปัจจุบันกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอดให้มีความหนาตามต้องการเครื่องทำน้ำแข็งหลอดจะถูกตั้งเวลาของกระบวนการทำความเย็นไว้คงที่ทุกรอบการผลิตภายใต้อุณหภูมิน้ำป้อนค่าหนึ่ง แต่ความเป็นจริงความหนาน้ำแข็งหลอดที่ผลิตได้ไม่เป็นไปตามต้องการจากอุณหภูมิน้ำป้อนที่เบี่ยงเบนด้วย 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและการลดอุณหภูมิน้ำป้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำเย็นทิ้งของกระบวนการละลายน้ำแข็งรอบการผลิตก่อนหน้าเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยมีการศึกษาวิจัยในอดีตเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิน้ำป้อนจากน้ำเย็นทิ้งในกระบวนการละลายน้ำแข็งมาลดอุณหภูมิน้ำป้อนในรอบการผลิตถัดไป (ณัฐนัยพรรณเจริญวงศ์ และคณะ, 2556; Pannucharoenwong *et al.*, 2016) ทำการศึกษาเชิงการทดลองและ (Thongdee & Chinsuwan, 2019) ทำการวิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบลดอุณหภูมิน้ำป้อนล่วงหน้าสำหรับการผลิตน้ำแข็งหลอด ทั้ง 3 การศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิน้ำป้อนทั้งในด้านการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตและการก่อตัวของน้ำแข็งหลอดที่ส่งผลไปยังระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งหลอดภายใต้ความหนาน้ำแข็งหลอดที่ต้องการ

การทำนายความหนาของน้ำแข็งหลอดและการทำนายภาระการทำความเย็นตลอดกระบวนการทำความเย็น (ภูวนาท กาบคำ, 2547; Tangthieng, 2011) หาค่าอัตราการก่อตัวของน้ำแข็งหลอดด้วยวิธีการสมดุลความร้อนกับวิธีเชิงตัวเลขคือวิธีการซิมป์สันและวิธีผลต่างจำกัด และได้

ทำนายภาระการทำความเย็นด้วยแบบจำลองจากกฎการทำความเย็นของนิวตันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมที่พิจารณาความต้านทานความร้อนจากการนำความร้อนผ่านน้ำแข็งผ่านท่อและการพาความร้อนขณะเดือดของสารทำความเย็น ทั้ง 2 งานวิจัยได้นำผลลัพธ์ความหนาน้ำแข็งหลอดช่วงเวลาต่างๆ เทียบกับผลการตรวจวัด พบว่าภาระการทำความเย็นสูงสุดเกิดช่วงแรกและลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดระยะเวลาของกระบวนการทำความเย็น ความหนาน้ำแข็งหลอดมีความสอดคล้องเชิงคุณภาพแต่มีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากวิเคราะห์ระบบ 1 มิติและแบบจำลองดังกล่าวพิจารณาเพียงช่วงการก่อตัวของน้ำแข็งหลอดทำให้ทำนายภาระการทำความเย็นได้เฉพาะช่วงดังกล่าว ซึ่งไม่สามารถทำนายภาระการทำความเย็นในช่วงการลดอุณหภูมิน้ำได้ เนื่องจากลักษณะการถ่ายโอนความร้อนที่แตกต่างกันของทั้ง 2 ช่วง ทำให้ไม่สามารถนำผลอัตราการก่อตัวของน้ำแข็งหลอดของแบบจำลองดังกล่าวไปใช้ในการทำนายระยะเวลาที่ใช้ในการทำความเย็นและไม่สามารถใช้ผลลัพธ์ภาระการทำความเย็นดังกล่าวไปกำหนดขนาดของเครื่องอัดไอได้ เนื่องจากภาระการทำความเย็นสูงสุดมีแนวโน้มเกิดในช่วงการลดอุณหภูมิน้ำซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำและสารทำความเย็น ในการศึกษาวิจัยนี้จึงนำแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์จากวิธีสมดุลมวลและสมดุลพลังงานมาทำนายภาระการทำความเย็นและความหนาของน้ำแข็งหลอดตลอดช่วงการลดอุณหภูมิน้ำและช่วงการก่อตัวของน้ำแข็งหลอดนำไปสู่การทำนายระยะเวลาที่ใช้ของกระบวนการทำความเย็นที่แม่นยำมากยิ่งขึ้นภายใต้ความหนาของน้ำแข็งหลอดที่ต้องการผลิต

ดังนั้น บทความวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการทำความเย็นในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด เพื่อหาระยะเวลาที่ใช้และภาระการทำความเย็นตลอดกระบวนการทำความเย็นภายใต้ความหนาของน้ำแข็งหลอดที่ต้องการผลิต ภาระการทำความเย็นในช่วงเวลาต่างๆ ของกระบวนการทำความเย็นนำไปสู่อัตราการระเหยของสารทำความเย็นซึ่งเป็นผลลัพธ์สำคัญในการกำหนดอัตราการดูดสารทำความเย็นของเครื่องอัดไอที่เหมาะสมกับเครื่องทำน้ำแข็งหลอดต่อไปในอนาคต

วิธีการศึกษา

1. กระบวนการทำความเย็นในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด

เมื่อน้ำป้อนเข้าสู่หอทำน้ำแข็งหลอดและไหลลงด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกผ่านท่อทำน้ำแข็งหลอดในขณะเดียวกันน้ำจะถ่ายโอนความร้อนผ่านท่อทำน้ำแข็งหลอดไปยังสารทำความเย็นเหลวอิมัลชันในตัวทำความเย็นและอุณหภูมิต่ำ ทำให้น้ำถูกลดอุณหภูมิและต่อมาเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งเกาะที่ผิวท่อทำน้ำแข็งหลอดจนน้ำแข็งหลอดมีความหนาเป็นไปตามความต้องการผลิต จึงแบ่งกระบวนการทำความเย็นเป็น 2 ช่วงตามหลักการถ่ายโอนความร้อนที่แตกต่างกัน ดังนี้

1.1 ช่วงการลดอุณหภูมิน้ำ คือ น้ำป้อนที่เข้าสู่หอทำน้ำแข็งหลอดและไหลเวียนผ่านท่อทำน้ำแข็งหลอดที่มีสารทำความเย็นเหลวอิมัลชันรอบๆ จะถูกทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิไปสู่ 0 องศาเซลเซียส

1.2 ช่วงการก่อตัวของน้ำแข็งหลอด คือ น้ำภายในหอทำน้ำแข็งหลอดที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสถูกทำความเย็นต่อเนื่องภายในตัวอุณหภูมิน้ำคงที่ ในขณะเดียวกันทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งเกาะที่ผิวท่อทำน้ำแข็งหลอดเพิ่มความหนาขึ้นต่อเนื่องจนได้ความหนาน้ำแข็งหลอดตามความต้องการผลิต

ในบทความนี้ได้ประยุกต์การจำลองแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ด้วยวิธีการสมดุลมวลและสมดุลพลังงาน (ธีรวัฒน์ คลับคล้าย และธีระชาติ พรพิบูลย์, 2556) ที่สร้างแบบจำลองดังกล่าวของกระบวนการต้มและอุ่นน้ำย่อยแบบหลายขั้นตอนที่กระบวนการอยู่ในสภาวะคงตัว (steady state) มาใช้กับกระบวนการที่อยู่ในสภาวะไม่คงตัว (unsteady state) รวมทั้งการจำลองระบบทางความร้อนด้วยวิธีแทนค่าลำดับเพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการทำความเย็นตลอดจนการทำความเย็นและอัตราการระเหยของสารทำความเย็นที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาของกระบวนการดังกล่าว

2. แบบจำลองอุปกรณ์ทางความร้อนของกระบวนการทำความเย็น

2.1 แบบจำลองอุปกรณ์ทางความร้อนของหอทำน้ำแข็งหลอด

สร้างระบบควบคุมมวล ซึ่งเป็นระบบมวลคงที่ (fixed mass) สำหรับหอทำน้ำแข็งหลอด แสดงดัง Figure 1

2.1.1 ช่วงการลดอุณหภูมิน้ำ ทำการสร้างแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์เพื่อหาอุณหภูมิของน้ำภายในหอทำน้ำแข็งหลอดที่เปลี่ยนแปลงไปจากอุณหภูมิน้ำป้อนสู่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาของช่วงการลดอุณหภูมิ

จาก Figure 1 แสดงหอทำน้ำแข็งหลอดโดยพิจารณาเป็นระบบและมีมวลน้ำคงที่

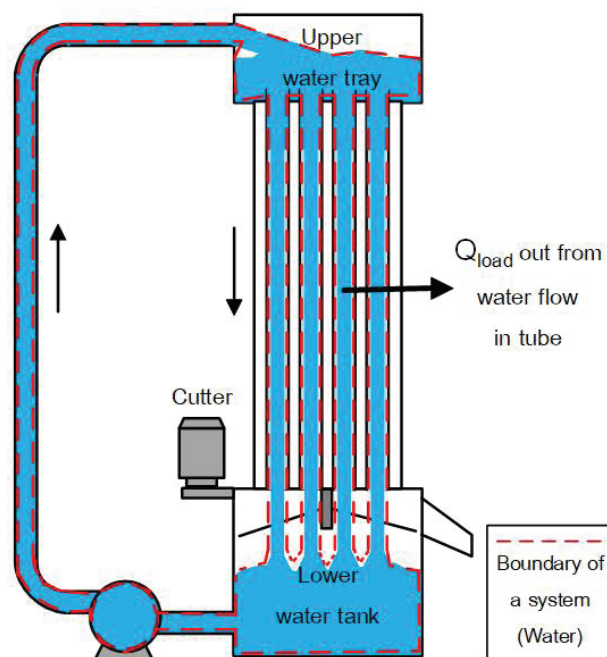


Figure 1 Control mass of water in freezer tower.

1) สมดุลพลังงานจากกฎข้อที่ 1 ทางอุณหพลศาสตร์ พิจารณาให้

$$E_{in} = 0$$

$$E_{out} = \dot{Q}_{Load}$$

$$\Delta E_{sys} = \frac{1}{\Delta t} (U_{w,t+\Delta t} - U_{w,t})_{sys}$$

จัดรูปสมการ แสดงดังสมการที่ (1)

$$-\dot{Q}_{Load} = \frac{1}{\Delta t} (U_{w,t+\Delta t} - U_{w,t}) \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) ภาระการทำความเย็นรวมจากท่อทำน้ำแข็งหลอดทุกท่อ ($\dot{Q}_{Load}$) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของน้ำ จึงพิจารณาการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในดังกล่าวในรูปอุณหภูมิ เพื่อหาอุณหภูมิน้ำทั้งหมดที่เปลี่ยนแปลงไปที่เกิดจากภาระการทำความเย็นดังกล่าว จัดรูปสมการที่ (1) ได้

$$T_{w,t+\Delta t} = T_{w,t} - \left(\frac{\dot{Q}_{Load} \Delta t}{m_{w,sys} c_{p,w}} \right) \quad (2)$$

2.1.2 ช่วงการก่อตัวของน้ำแข็งหลอด ทำการสร้างแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์เพื่อหาภาระการ

ความเย็นที่เกิดขึ้นตลอดช่วงเวลาที่ใช้ในช่วงการก่อตัวของน้ำแข็งหลอดภายใต้ความหนาของน้ำแข็งหลอดที่ต้องการผลิต

จาก Figure 1 แสดงการทำน้ำแข็งหลอดโดยพิจารณา น้ำและน้ำแข็งหลอดเป็นระบบ

1) สมดุลมวลจากปริมาตรควบคุม พิจารณาให้

- ไม่มีมวลน้ำที่เข้าและออกจากระบบ ทำให้มวลน้ำที่ลดลงเท่ากับมวลน้ำแข็งหลอดที่เกิดขึ้นในระบบ คือ มวลน้ำที่ลดลงในระบบเท่ากับมวลน้ำแข็งหลอดที่เกิดขึ้นในส่วนย่อย (Δm_i^j) รวมทุกท่อน เมื่อ j แทนท่อทำน้ำแข็งหลอดส่วนย่อยและ n แทนจำนวนท่อส่วนย่อย

$$(m_{w,t} - m_{w,t+\Delta t}) = (m_{i,t+\Delta t} - m_{i,t}) = \sum_{j=1}^n \Delta m_i^j \quad (3)$$

2) สมดุลพลังงานจากกฎข้อที่ 1 ทางอุณหพลศาสตร์ พิจารณาให้

$$\begin{aligned} E_{in} &= 0 \\ E_{out} &= \dot{Q}_{Load} \\ \Delta E_{sys} &= \frac{1}{\Delta t} [(u_{w,t+\Delta t} - u_{w,t}) + (u_{i,t+\Delta t} - u_{i,t})]_{sys} \end{aligned}$$

จัดรูปสมการ แสดงดังสมการที่ (4)

$$-\dot{Q}_{Load} = \frac{1}{\Delta t} [(u_{w,t+\Delta t} - u_{w,t}) + (u_{i,t+\Delta t} - u_{i,t})] \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) ภาระการทำความเย็นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของน้ำและน้ำแข็งหลอด จึงพิจารณาในรูปพลังงานภายในจำเพาะและมวลน้ำแข็งหลอดที่เกิดขึ้นในส่วนย่อย (Δm_i^j) รวมทุกท่อน เพื่อหาภาระการทำความเย็นรวมที่เกิดจากมวลน้ำแข็งหลอดดังกล่าว ($\dot{Q}_{Load}$) พลังงานภายในจำเพาะของน้ำและน้ำแข็งหลอดมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการ เนื่องจากภายในหอทำน้ำแข็งหลอดอยู่ภายใต้ความดันบรรยากาศ จัดรูปสมการที่ (3) และ (4) ได้

$$\dot{Q}_{Load} = \frac{\sum_{j=1}^n \Delta m_i^j}{\Delta t} (u_w - u_i) \quad (5)$$

2.1.3 การระเหยของสารทำความเย็น

ทำการสร้างปริมาตรควบคุม สำหรับหอทำน้ำแข็งหลอด เมื่อระบบคือ สารทำความเย็นเหลวอิ่มตัวภายในหอทำน้ำแข็งหลอด แสดงดัง Figure 2

ตลอดกระบวนการทำความเย็น สมมุติฐานให้สารทำความเย็นเหลวอิ่มตัวรับความร้อนจากการทำความเย็นจนเกิดการระเหยภายใต้ความดันอิ่มตัวคงที่ จึงสร้างแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์เพื่อหาอัตราการระเหยของสารทำความเย็นตลอดระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการทำความเย็น

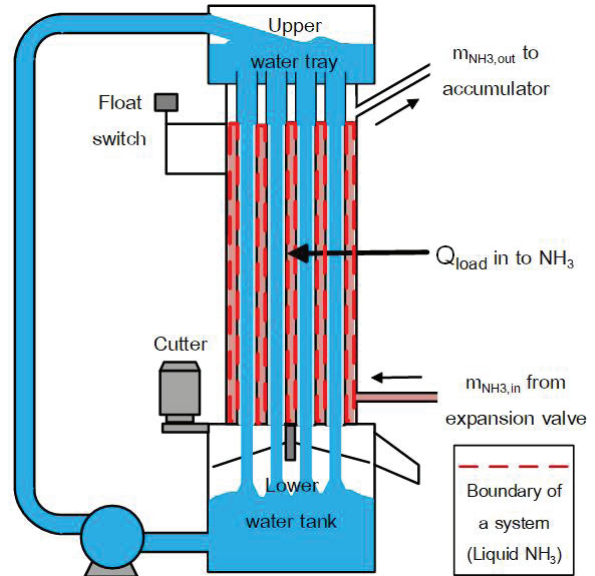


Figure 2 Control volume of saturated liquid refrigerant in a freezer tower.

1) สมดุลมวล พิจารณาให้

- สารทำความเย็นเหลวอิ่มตัวมีระดับคงที่ตลอดกระบวนการ มวลสารทำความเย็นในระบบจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

$$\dot{m}_{NH_3,in} = \dot{m}_{NH_3,out} \quad (6)$$

2) สมดุลพลังงานจากกฎข้อที่ 1 ทางอุณหพลศาสตร์ พิจารณาให้

$$\begin{aligned} E_{in} &= (\dot{m}_{NH_3} h_{NH_3})_{in} \\ E_{out} &= (\dot{m}_{NH_3} h_{NH_3})_{out} + \dot{Q}_{Load} \\ \Delta E_{sys} &= 0 \end{aligned}$$

จัดรูปสมการ เพื่อหาอัตราการระเหยของสารทำความเย็น ($\dot{m}_{NH_3}$) แสดงดังสมการที่ (7)

$$\dot{m}_{NH_3} = \frac{\dot{Q}_{Load}}{(h_{NH_3,out} - h_{NH_3,in})} \quad (7)$$

2.2 แบบจำลองอุปกรณ์ทางความร้อนของท่อทำน้ำแข็งหลอด

ทำการสร้างปริมาตรควบคุมของระบบ สำหรับท่อทำน้ำแข็งหลอดที่ถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยแต่ละท่อนแทนด้วย j และจำนวนท่อนส่วนย่อยทั้งหมดแทนด้วย n ปริมาตรควบคุมของระบบแสดงดัง Figure 3

2.2.1 ช่วงการลดอุณหภูมิน้ำ ทำการสร้างแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์เพื่อหาภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่ใช้ในช่วงการลดอุณหภูมิน้ำภายในท่อทำน้ำแข็งหลอด จากอุณหภูมิน้ำป้อนเปลี่ยนแปลงไปสู่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

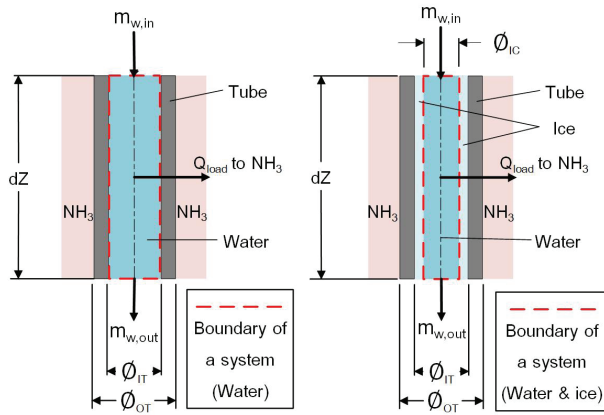


Figure 3 Control volume of a water tube (left) and ice tube (right).

จาก Figure 3 (ซ้าย) ปริมาตรควบคุมของระบบภายในท่อทำน้ำแข็งหลอด เมื่อระบบคือน้ำภายในท่อนส่วนย่อยพิจารณาให้เป็นระบบเปิด เนื่องจากการถ่ายโอนมวลน้ำเข้าและออกจากระบบ

1) สมดุลมวลจากปริมาตรควบคุม พิจารณาให้ - การไหลคงตัว (steady flow) คือ มวลน้ำเข้าระบบเท่ากับออกจากระบบ ซึ่งแทนด้วย $\dot{m}_w^j$ คือ อัตราการไหลมวลน้ำของท่อนส่วนย่อย

$$\dot{m}_{w,in}^j = \dot{m}_{w,out}^j = \dot{m}_w^j \quad (8)$$

2) สมดุลพลังงานจากกฎข้อที่ 1 ทางอุณหพลศาสตร์ พิจารณาให้

$$\begin{aligned} E_{in} &= \dot{m}_{w,in}^j \left[h_w^j + \frac{1}{2} (v_w^j)^2 + gz_w^j \right]_{in} \\ E_{out} &= \dot{m}_{w,out}^j \left[h_w^j + \frac{1}{2} (v_w^j)^2 + gz_w^j \right]_{out} + \dot{Q}_{Load}^j \\ \Delta E_{sys} &= 0 \end{aligned}$$

จัดรูปสมการ เพื่อหาภาระการทำความเย็นของท่อนส่วนย่อย ($\dot{Q}_{Load}^j$) แสดงดังสมการที่ (9)

$$\dot{Q}_{Load}^j = \dot{m}_w^j \left[c_{p,w} (T_{w,in}^j - T_{w,out}^j) + (K P^j) \right] \quad (9)$$

2.2.2 ช่วงการก่อตัวของน้ำแข็งหลอด ทำการสร้างแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์เพื่อหามวลและความหนาของน้ำแข็งหลอดที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่ใช้ในช่วงการก่อตัวของน้ำแข็งหลอด

จาก Figure 3 (ขวา) ปริมาตรควบคุมของระบบภายในท่อทำน้ำแข็งหลอด เมื่อระบบคือน้ำและน้ำแข็งหลอดภายในท่อนส่วนย่อย พิจารณาให้เป็นระบบเปิด เนื่องจากการถ่ายโอนมวลน้ำเข้าและออกจากระบบ

1) สมดุลมวลจากปริมาตรควบคุม พิจารณาให้ - การไหลไม่คงตัว (unsteady flow) คือ มวลในระบบเปลี่ยนแปลงจากผลต่างมวลน้ำเข้าและออกจากระบบ

$$\dot{m}_{w,in}^j - \dot{m}_{w,out}^j = \frac{1}{\Delta t} (m_{i,t+\Delta t}^j - m_{i,t}^j) \quad (10)$$

จัดรูปสมการที่ (10) เพื่อพิจารณารัศมีภายในของน้ำแข็งหลอด

$$r_{iC,t+\Delta t} = \sqrt{r_{iC,t}^2 - \frac{\Delta m_i^j}{\rho_i \pi dz}} \quad (11)$$

จากสมการที่ (11) พิจารณาความหนาของน้ำแข็งหลอดที่เกิดขึ้นจากรัศมีพื้นผิวภายในของท่อและน้ำแข็งหลอดได้

$$\Delta r_{i,t+\Delta t} = r_{iT} - r_{iC,t+\Delta t} \quad (12)$$

2) สมดุลพลังงานจากกฎข้อที่ 1 ทางอุณหพลศาสตร์ พิจารณาให้

$$\begin{aligned} E_{in} &= \dot{m}_{w,in}^j \left[h_w^j + \frac{1}{2} (v_w^j)^2 + gz_w^j \right]_{in} \\ E_{out} &= \dot{m}_{w,out}^j \left[h_w^j + \frac{1}{2} (v_w^j)^2 + gz_w^j \right]_{out} + \dot{Q}_{Load}^j \\ \Delta E_{sys} &= \frac{1}{\Delta t} (U_{i,t+\Delta t}^j - U_{i,t}^j)_{sys} \end{aligned}$$

จัดรูปสมการ เพื่อหาภาระการทำความเย็นของท่อส่วนย่อย ($\dot{Q}_{Load}^j$) แสดงดังสมการที่ (13)

$$\dot{Q}_{Load}^j = \frac{\Delta m_i^j}{\Delta t} \left[(u_w - u_i) + \frac{(v_{w,out}^j)^2}{2} \right] + \dot{m}_{w,in}^j [KP^j] \quad (13)$$

2.3 การถ่ายโอนความร้อนระหว่างน้ำกับสารทำความเย็น

การถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นนี้มีพฤติกรรมเหมือนการถ่ายโอนความร้อนในเครื่องระเหย (evaporator) (Stoecker & Jones, 1982) คือ การถ่ายโอนความร้อนจากของไหลด้านร้อนไปสู่ของไหลด้านเย็นที่มีอุณหภูมิคงที่ (constant cold fluid temperature) ดังนั้นการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถพิจารณาได้จากกฎการทำความเย็นของนิวตัน (Newton's law of cooling) โดยการใช้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม (overall heat transfer coefficients) (Ozisik, 1985)

2.3.1 ช่วงการลดอุณหภูมิน้ำ จากกฎการทำความร้อนของนิวตัน พิจารณาภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในท่อส่วนย่อย ($\dot{Q}_{Load}^j$) ได้ดังสมการที่ 14

$$\dot{Q}_{Load}^j = U_d A (T_{w,avg}^j - T_{NH_3}) \quad (14)$$

จากสมการที่ (14) เมื่อความยาวท่อส่วนย่อยมีค่าน้อย (dz^j) จึงสามารถพิจารณาความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในท่อส่วนย่อย ($T_{w,avg}^j$) ได้

$$T_{w,avg}^j = \frac{T_{w,in}^j + T_{w,out}^j}{2} \quad (15)$$

จากภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในท่อส่วนย่อย ($\dot{Q}_{Load}^j$) ให้สมการที่ (9) เท่ากับ (14) และแทน (15) ลงในสมการดังกล่าว จากนั้นจัดรูปสมการเพื่อหาอุณหภูมิน้ำที่ออกจากท่อส่วนย่อย ($T_{w,out}^j$) ได้

$$T_{w,out}^j = \left[\frac{U_d A}{2 + \dot{m}_w^j C_{p,w}} \right]^{-1} \left[\begin{array}{c} \dot{m}_w^j \left(C_{p,w} T_{w,in}^j + KP^j \right) \\ -U_d A \left(\frac{T_{w,in}^j}{2} - T_{NH_3} \right) \end{array} \right] \quad (16)$$

จาก Figure 3 (ซ้าย) พิจารณาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมกับพื้นที่การถ่ายโอนความร้อนของน้ำที่ถ่ายโอนความร้อนผ่านท่อไปยังสารทำความเย็น โดยพิจารณา

ความต้านทานความร้อนจากการพาความร้อนของน้ำ การนำความร้อนของท่อทำน้ำแข็งหลอดและการพาความร้อนขณะเดือด (Stephan & Abdelsalam, 1980) ของสารทำความเย็น

$$U_d A = \frac{1}{(R_w + R_{Tube} + R_{NH_3})} \quad (17)$$

2.3.2 ช่วงการก่อตัวของน้ำแข็งหลอด น้ำอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสจะถูกทำความเย็นต่อเนื่องภายใต้อุณหภูมิน้ำคงที่ จึงสามารถพิจารณาค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำกับสารทำความเย็นอิมตัวมีค่าคงที่ตลอดช่วงการก่อตัวของน้ำแข็งหลอด จากกฎการทำความเย็นของนิวตัน พิจารณาภาระการทำความเย็นของท่อทำน้ำแข็งหลอดส่วนย่อย ($\dot{Q}_{Load}^j$) ได้

$$\dot{Q}_{Load}^j = U_d A (T_w - T_{NH_3}) \quad (18)$$

จากภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของท่อส่วนย่อย ($\dot{Q}_{Load}^j$) ให้สมการที่ (18) เท่ากับ (13) จากนั้นจัดรูปสมการเพื่อหามวลน้ำแข็งหลอดที่เกิดขึ้นในท่อส่วนย่อย (Δm_i^j) แสดงดังสมการที่ (19)

$$\Delta m_i^j = \Delta t \left\{ \frac{\left[U_d A (T_w - T_{NH_3}) \right] - \dot{m}_{w,in}^j (KP^j)}{\left[(u_w - u_i) + \left(\frac{(v_{w,out}^j)^2}{2} \right) \right]} \right\} \quad (19)$$

จาก Figure 3 (ขวา) พิจารณาสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมกับพื้นที่การถ่ายโอนความร้อนจากน้ำไปยังสารทำความเย็น พิจารณาเพียงความต้านทานความร้อนจากการนำความร้อนผ่านน้ำแข็งหลอดและผ่านท่อ และการพาความร้อนขณะเดือดของสารทำความเย็น เนื่องจากความต้านทานความร้อนจากการพาความร้อนของน้ำที่ไหลเวียนไม่เกิดความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างน้ำและพื้นผิวภายในน้ำแข็งหลอด

$$U_d A = \frac{1}{(R_i + R_{Tube} + R_{NH_3})} \quad (20)$$

โดยที่

$\dot{Q}_{Load}$ แทน ภาระการทำความเย็นรวม (kW)
 $\dot{Q}_{Load}^j$ แทน ภาระการทำความเย็นท่อส่วนย่อย (kW)

Δt	แทน ช่วงเวลาที่พิจารณา (s)	$\dot{m}_{\text{NH}_3, \text{out}}$	แทน อัตราการไหลแอมโมเนียออกจากระบบ (kg/s)
$U_{w,t+\Delta t}$	แทน พลังงานภายในน้ำที่เวลาเปลี่ยนไป (kJ)	$h_{w, \text{in}}^j$	แทน เอนทาลปีน้ำเข้าสู่ท่อส่วนย่อย (kJ/kg)
$U_{w,t}$	แทน พลังงานภายในน้ำที่เวลาเริ่มต้น (kJ)	$h_{w, \text{out}}^j$	แทน เอนทาลปีน้ำออกจากท่อส่วนย่อย (kJ/kg)
$U_{i,t+\Delta t}$	แทน พลังงานภายในน้ำแข็งที่เวลาเปลี่ยนไป (kJ)	$h_{\text{NH}_3, \text{in}}$	แทน เอนทาลปีแอมโมเนียเข้าระบบ (kJ/kg)
$U_{i,t+\Delta t}^j$	แทน พลังงานภายในน้ำแข็งในท่อส่วนย่อยที่เวลาเปลี่ยนไป (kJ)	$h_{\text{NH}_3, \text{out}}$	แทน เอนทาลปีแอมโมเนียออกจากระบบ (kJ/kg)
$U_{i,t}$	แทน พลังงานภายในน้ำแข็งที่เวลาเริ่มต้น (kJ)	KP^j	แทน ผลรวมพลังงานจลน์และพลังงานศักย์จำเพาะของท่อส่วนย่อย (kJ/kg)
$U_{i,t}^j$	แทน พลังงานภายในน้ำแข็งในท่อส่วนย่อยที่เวลาเริ่มต้น (kJ)	$KP^j = \left(\frac{v_{w, \text{in}}^2 - v_{w, \text{out}}^2}{2} \right)^j + (gdz)^j \quad (21)$	
u_w	แทน พลังงานภายในจำเพาะน้ำ (kJ/kg)		
u_i	แทน พลังงานภายในจำเพาะน้ำแข็ง (kJ/kg)	$v_{w, \text{in}}^j$	แทน ความเร็วน้ำเข้าสู่ท่อส่วนย่อย (m/s)
$u_{i,t+\Delta t}$	แทน พลังงานภายในจำเพาะน้ำแข็งที่เวลาเปลี่ยนไป (kJ/kg)	$v_{w, \text{out}}^j$	แทน ความเร็วน้ำออกจากท่อส่วนย่อย (m/s)
$u_{i,t}$	แทน พลังงานภายในจำเพาะน้ำแข็งที่เวลาเริ่มต้น (kJ/kg)	$z_{w, \text{in}}^j$	แทน ความสูงตำแหน่งเข้าสู่ท่อส่วนย่อยจากจุดอ้างอิง (m)
$C_{p,w}$	แทน ค่าความร้อนจำเพาะน้ำที่ความดันคงที่ (kJ/kg $\cdot$ °C)	$z_{w, \text{out}}^j$	แทน ความสูงตำแหน่งออกจากท่อส่วนย่อยจากจุดอ้างอิง (m)
$m_{w, \text{sys}}$	แทน มวลน้ำภายในระบบ (kg)	g	แทน แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s ²)
$\dot{m}_w$	แทน อัตราการไหลมวลน้ำ (kg/s)	j	แทน ท่อทำน้ำแข็งหลอดส่วนย่อยที่พิจารณา
$\dot{m}_{w, \text{in}}^j$	แทน อัตราการไหลมวลน้ำเข้าสู่ท่อส่วนย่อย (kg/s)	n	แทน จำนวนท่อทำน้ำแข็งหลอดส่วนย่อย
$\dot{m}_{w, \text{out}}^j$	แทน อัตราการไหลมวลน้ำออกจากท่อส่วนย่อย (kg/s)	U	แทน สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม (kW/m ² ·°C)
$m_{i,t+\Delta t}$	แทน มวลน้ำแข็งที่เวลาเปลี่ยนไป (kg)	dA	แทน พื้นที่ถ่ายโอนความร้อนขนาดเล็ก (m ²)
$m_{i,t+\Delta t}^j$	แทน มวลน้ำแข็งที่เวลาเปลี่ยนไปในท่อส่วนย่อย (kg)	$T_{w,t+\Delta t}$	แทน อุณหภูมิน้ำที่เวลาเปลี่ยนแปลงไป (°C)
$m_{i,t}$	แทน มวลน้ำแข็งที่เวลาเริ่มต้น (kg)	$T_{w,t}$	แทน อุณหภูมิน้ำที่เวลาเริ่มต้น (°C)
$m_{i,t}^j$	แทน มวลน้ำแข็งที่เวลาเริ่มต้นในท่อส่วนย่อย (kg)	$T_{w, \text{in}}^j$	แทน อุณหภูมิน้ำเข้าสู่ท่อส่วนย่อย (°C)
Δm_i^j	แทน มวลน้ำแข็งในท่อส่วนย่อย (kg)	$T_{w, \text{out}}^j$	แทน อุณหภูมิน้ำออกจากท่อส่วนย่อย (°C)
$\dot{m}_{\text{NH}_3}$	แทน อัตราการไหลแอมโมเนีย (kg/s)		
$\dot{m}_{\text{NH}_3, \text{in}}$	แทน อัตราการไหลแอมโมเนียเข้าระบบ (kg/s)		

$T_{w,avg}^j$	แทน อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยของท่อส่วนย่อย (°C)
T_w	แทน อุณหภูมิน้ำ (°C)
T_{NH_3}	แทน อุณหภูมิแอมโมเนีย (°C)
$\Delta r_{i,t+\Delta t}$	แทน ความหนาแน่นที่เวลาเปลี่ยนไป (m)
$r_{i,t+\Delta t}$	แทน รัศมีผิวภายในน้ำแข็งที่เวลาเปลี่ยนไป (m)
$r_{i,t}$	แทน รัศมีผิวภายในน้ำแข็งที่เวลาเริ่มต้น (m)
r_{IT}	แทน รัศมีผิวภายในท่อทำน้ำแข็ง (m)
r_{OT}	แทน รัศมีผิวนอกท่อทำน้ำแข็ง (m)
dz^j	แทน ความยาวท่อส่วนย่อย (m)
r_i	แทน ความหนาแน่นของน้ำแข็ง (kg/m ³)
R_w	แทน ความต้านทานความร้อนจากการพาความร้อนของน้ำ (°C/kW)

$$R_w = \frac{1}{2\pi r_{IT} dz \alpha_w} \quad (22)$$

R	แทน ความต้านทานความร้อนจากการนำความร้อนของน้ำแข็ง (°C/kW)
-----	---

$$R_i = \frac{\ln(r_{IT}/r_{i,t})}{2\pi dz k_i} \quad (23)$$

R_{Tube}	แทน ความต้านทานความร้อนจากการนำความร้อนของท่อทำน้ำแข็ง (°C/kW)
------------	--

$$R_{Tube} = \frac{\ln(r_{OT}/r_{IT})}{2\pi dz k_{Tube}} \quad (24)$$

R_{NH_3}	แทน ความต้านทานความร้อนจากการพาความร้อนระเหิดของแอมโมเนีย (°C/kW)
------------	---

$$R_{NH_3} = \frac{1}{2\pi r_{OT} dz \alpha_{NH_3}} \quad (25)$$

a_w	แทน สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำ (kW/m ² °C)
a_{NH_3}	แทน สัมประสิทธิ์การพาความร้อนขณะเดือดในช่วงการเกิดฟองของแอมโมเนีย (kW/m ² °C)
k_{Tube}	แทน ค่าการนำความร้อนของท่อ (kW/m °C)
k_i	แทน ค่าการนำความร้อนของน้ำแข็ง (kW/m °C)

3. การจำลองระบบทางความร้อน

3.1 การจำแนกตัวแปรในการวิเคราะห์ระบบของกระบวนการทำความเย็น

จากแบบจำลองอุปกรณ์ทางความร้อน ได้แก่ หอทำน้ำแข็งหลอดและท่อทำน้ำแข็งหลอด พิจารณาในช่วงการลดอุณหภูมิของน้ำและการก่อตัวของน้ำแข็งหลอด จึงจำแนกตัวแปรออกเป็น 3 กลุ่มคือ ตัวแปรอิสระ ตัวแปรควบคุมและตัวแปรตาม ได้ดังนี้

1) ตัวแปรอิสระ

- ระยะเวลาของกระบวนการทำความเย็น

2) ตัวแปรควบคุม

- ความหนาของน้ำแข็งหลอดที่ต้องการผลิต
- ขนาดมิติของหอทำน้ำแข็งหลอด
- กำลังการผลิตของเครื่องทำน้ำแข็งหลอด
- ค่าการนำความร้อนของท่อทำน้ำแข็งหลอด
- ค่าการนำความร้อนของน้ำแข็งหลอด
- พลังงานภายในจำเพาะของน้ำแข็งหลอด
- อุณหภูมิพื้นผิวภายในน้ำแข็งหลอดเท่ากัน

ตลอดความยาวท่อ

- อุณหภูมิพื้นผิวนอกของท่อทำน้ำแข็งหลอดเท่ากันตลอดความยาวท่อ

- น้ำไหลเต็มท่อในแนวดิ่งภายใต้ความดัน

บรรยากาศ

- ความดันอิมิตัวของสารทำความเย็นเหลวคงที่

3) ตัวแปรตาม

- ภาระการทำความเย็น
- อัตราการระเหยของสารทำความเย็น
- อุณหภูมิของน้ำ (ช่วงการลดอุณหภูมิของน้ำ)
- มวลน้ำแข็งหลอด (ช่วงก่อตัวน้ำแข็งหลอด)

- ความหนาแน่นแข็งหลอด (ช่วงก่อดัวน้ำแข็งหลอด)

3.2 ระบบสมการจากแบบจำลองอุปกรณ์ทางความร้อนของกระบวนการทำความเย็น

จากการวิเคราะห์กระบวนการทำความเย็นและสร้าง

แบบจำลองอุปกรณ์ทางความร้อนไปสู่ระบบสมการเพื่อหาระยะเวลาของกระบวนการทำความเย็นภายใต้ความหนาแน่นน้ำแข็งหลอดที่ต้องการผลิต ซึ่งจะนำไปสู่การทำความเย็น อัตราการระเหยของสารทำความเย็น มวลน้ำแข็งหลอดที่ผลิตได้ แสดงความสัมพันธ์ของระบบสมการดัง Table 1

Table 1 Equation system of the freezing process.

Process	Function	Equation	Relation
Water temperature decreasing	F1	(17)	$F1 = f(\alpha_w, \alpha_{NH_3})$
	F2	(16)	$F2 = f(F1, \dot{m}_w)$
	F3	(9)	$F3 = f(F2)$
	F4	(2)	$F4 = f(F3, T_{w,i})$
Tube ice-making	f1	(20)	$f1 = f(r_{ic,i}, \alpha_{NH_3})$
	f2	(19)	$f2 = f(f1, \dot{m}_{w,in})$
	f3	(11)	$f3 = f(f2)$
	f4	(12)	$f4 = f(f3)$
	f5	(5)	$f5 = f(f2)$
Both	f6	(7)	$f6 = f(f3, f5)$

3.3 การแก้ระบบสมการด้วยวิธีการแทนค่าลำดับ (sequential simulation)

การจำลองด้วยวิธีการแทนค่าลำดับ คือ การป้อนผลลัพธ์ของสมการก่อนหน้าเพื่อใช้คำนวณหาผลลัพธ์ของสมการถัดไป คำนวณแบบลำดับต่อเนื่องจนถึงสมการสุดท้าย จำเป็นต้องเรียงลำดับสมการที่คำนวณให้สัมพันธ์กับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในระบบ (Stoecker, 1989)

จากแบบจำลองอุปกรณ์ทางความร้อนจำเป็นต้องทราบระยะเวลาของกระบวนการทำความเย็นที่นำไปสู่ตัวแปรต่างๆ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดกระบวนการทำความเย็น ได้แก่ ภาระการทำความเย็น อัตราการระเหยของสารทำความเย็นและความหนาแน่นน้ำแข็งหลอด จึงสร้างแผนผังและแก้ระบบสมการด้วยวิธีการแทนค่าลำดับ ดัง Figure 4

3.4 ข้อมูลสำหรับการจำลองระบบทางความร้อนของกระบวนการทำความเย็น

การจำลองระบบทางความร้อนของกระบวนการทำความเย็นในกระบวนการผลิตน้ำแข็งหลอด ใช้ข้อมูลของเครื่องทำน้ำแข็งหลอดกำลังการผลิตเต็มพิกัดขนาด 30 ตันต่อวัน และภายในหอทำน้ำแข็งหลอดมีท่อทำน้ำแข็งหลอดจำนวน 315 ท่อน น้ำแข็งหลอดในท่อทุกท่อนยาว 3 เมตร สำหรับการตรวจสอบความแม่นยำการจำลองระบบของกระบวนการทำความเย็น ใช้ผลลัพธ์ความหนาแน่นน้ำแข็งหลอดเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดความหนาแน่นน้ำแข็งหลอดของเครื่องทำน้ำแข็งหลอดดังกล่าว และข้อมูลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ (ภูวนาถ กาบคำ, 2547) การจำลองระบบทางความร้อนใช้ข้อมูลดัง Table 2

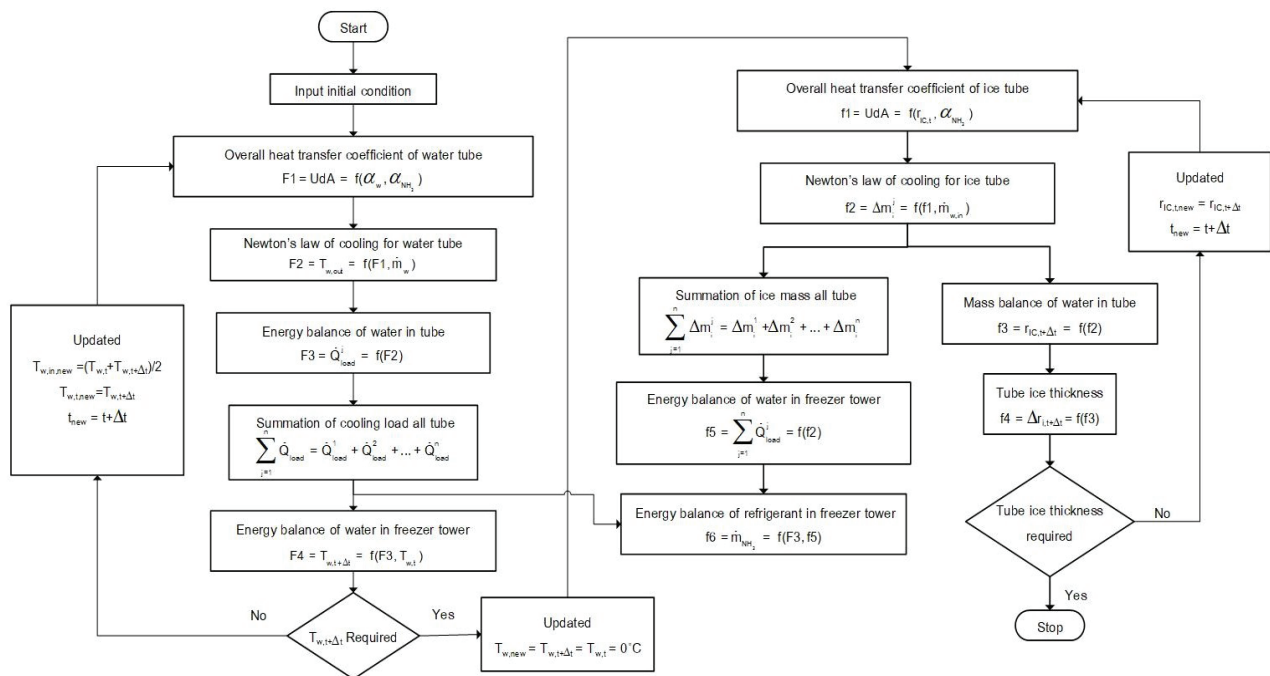


Figure 4 Flow diagram of sequential simulation in the freezing process.

ผลการศึกษา

1. ผลอุณหภูมิน้ำและความหนาน้ำแข็งตลอดระยะเวลาของกระบวนการทำความเย็นจากการจำลอง

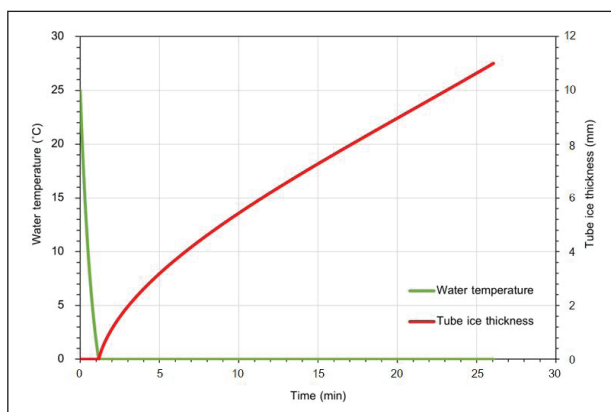


Figure 5 Water temperature and tube ice thickness throughout the freezing process.

2. ผลภาระการทำความเย็นและความหนาน้ำแข็งตลอดระยะเวลากระบวนการทำความเย็นจากการจำลอง

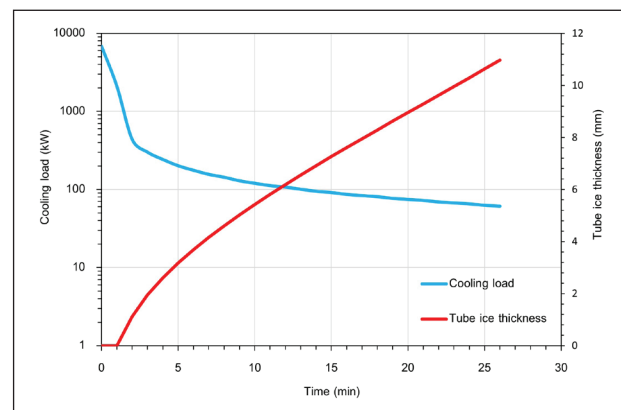


Figure 6 Cooling load and tube ice thickness throughout the freezing process.

3. ผลภาระการทำความเย็นและอัตราการระเหยของสารทำความเย็นตลอดระยะเวลากระบวนการทำความเย็นจากการจำลอง

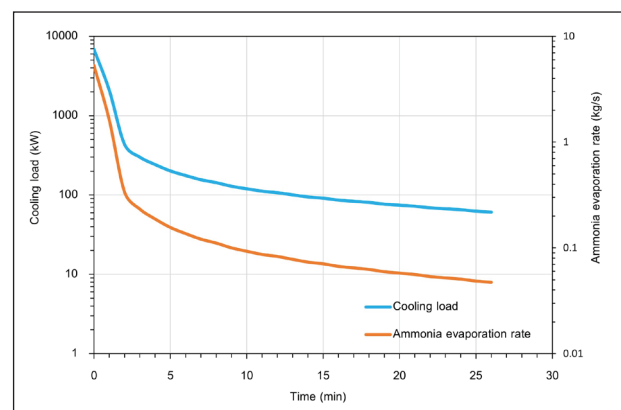


Figure 7 Cooling load and ammonia evaporation rate throughout the freezing process.

Table 2 Data for simulation in freezing process.

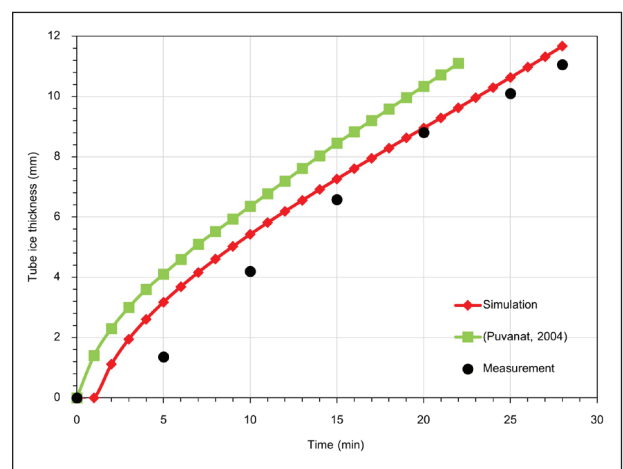
Variable	Value	Unit
Inner diameter of tube	35	mm
Outer diameter of tube	41	mm
Tube discretize quantity	9450	tube
Length tube discretize	10	cm
Ice density	910	kg/m ³
Ice thermal conductivity	2.214	W/m °C
Tube thermal conductivity	15.09	W/m °C
Ammonia saturated temperature	-8	°C
Ice thickness required	11	mm
Feed water volume	2.5	m ³
Initial condition		
Feed water temperature	25	°C

วิจารณ์และสรุปผล

จาก Figure 5 และ 6 จะเห็นว่า ในช่วงนาที่แรกของกระบวนการทำความเย็นไม่เกิดน้ำแข็งหลุดขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงการลดอุณหภูมิ น้ำ เมื่อน้ำเข้าสู่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความหนาของน้ำแข็งหลุดเพิ่มขึ้นตามเวลาอย่างรวดเร็ว จากนั้นเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้าลงในช่วงท้ายของกระบวนการทำความเย็น เป็นผลมาจากความต้านทานความร้อนของน้ำแข็งหลุด ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนจากน้ำไปยังสารทำความเย็นได้ยากขึ้น ทำให้น้ำแข็งก่อตัวได้ในอัตราที่ช้าลง

จาก Figure 7 จะเห็นว่า ภาระการทำความเย็นและอัตราการระเหยของสารทำความเย็นเกิดขึ้นสูงสุด ณ เวลาเริ่มต้นในช่วงการลดอุณหภูมิของกระบวนการทำความเย็นซึ่งลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและช้าลงในช่วงการก่อตัวของน้ำแข็งหลุด เนื่องจากในช่วงแรกความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำกับสารทำความเย็นเหลืออ้อมตัวมีค่าสูงจากนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว และต่อมาช่วงการก่อตัวของน้ำแข็งหลุดเกิดความต้านทานความร้อนจากความหนาของน้ำแข็งหลุดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้ถ่ายโอนความร้อนจากน้ำไปยังสารทำความเย็นได้ยากขึ้น

นำข้อมูลความหนาของน้ำแข็งหลุดจากผลการจำลองใน Figure 5 มาเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดความหนาของน้ำแข็งหลุดทุกช่วงเวลา 5 นาทีและผลจากแบบจำลองของ (ภูวนาท กาบคำ, 2547) แสดงดัง Figure 8

**Figure 8** Tube ice thickness comparison between measurement and simulation.

นำข้อมูลความหนาของน้ำแข็งหลุดจากการจำลองและผลจากแบบจำลองของ (ภูวนาท กาบคำ, 2547) มาเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดความหนาของน้ำแข็งหลุดที่เครื่องทำน้ำแข็งหลุดทุกช่วงเวลา 5 นาทีจนถึงสิ้นสุดกระบวนการทำความเย็น เพื่อหาความคลาดเคลื่อน แสดงดัง Table 3

Table 3 Comparison tube ice thickness error between measurement and simulation.

Time (min)	Error (%)	
	(Puvanat, 2004)	Simulation
0	0	0
5	201.47	133.48
10	51.34	29.18
15	28.42	10.37
20	17.53	1.78
25	-	5.26
28	-	5.51

จาก Table 3 จะเห็นว่า เมื่อกระบวนการทำความเย็นผ่านไป 5 นาที ผลจากการจำลองมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดถึง 133.48% และลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นผลมาจากการจำลองระบบนี้มีสมมุติฐานให้สารทำความเย็นรับความร้อนภายใต้ความดันและอุณหภูมิคงที่ตลอดกระบวนการ แต่กระบวนการจริงความดันของสารทำความเย็นมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากช่วงแรกของกระบวนการทำความเย็นมีภาระการทำความเย็นสูงทำให้เกิดอัตราการระเหยของสารทำความเย็นสูงตามไปด้วย ซึ่งสมมุติฐานว่าอัตราการระเหยของสารทำความเย็นสูงกว่าอัตราการดูดซับทำความเย็นของเครื่องอัดไอที่มีอัตราการดูดซับที่ ส่งผลให้สารทำความเย็นสถานะไอที่ถูกดูดซับกลับมีปริมาตรจำเพาะลดลงและมีความดันสูงขึ้น เพื่อให้เข้าสู่ภาวะสมดุลสารทำความเย็นเหลวจึงมีความดันสูงขึ้น ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสารทำความเย็นเหลวและน้ำมีค่าลดลงจนเกิดการถ่ายเทความร้อนได้ยากขึ้น การก่อตัวของน้ำแข็งหลุดจากกระบวนการจริงจึงช้ากว่า ผลจากการจำลอง เพราะฉะนั้นแล้วผลลัพธ์จากการศึกษาวิจัยนี้จะเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดอัตราการดูดซับทำความเย็นของเครื่องอัดไอที่สามารถควบคุมสภาวะของสารทำความเย็นให้เหมาะสมกับเครื่องทำน้ำแข็งหลอดต่อไป

จาก Figure 8 จะเห็นว่า น้ำแข็งหลอดที่ผลิตได้มีความหนา 11 มิลลิเมตร เครื่องทำน้ำแข็งหลอดใช้เวลาผลิตจริง 28 นาที ขณะที่ผลการจำลองนี้ได้ระยะเวลาของกระบวนการทำความเย็นเป็น 26 นาที 15 วินาที เกิดความคลาดเคลื่อน 6.25% ซึ่งแม่นยำขึ้น 15.18% จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ (ภูวนาท กาบคำ, 2547) ที่ได้ระยะเวลา 22 นาที เกิดความคลาดเคลื่อน 21.43% เมื่อเทียบกับเวลาผลิตจริงจากการตรวจวัด เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวขาดการพิจารณา การลดอุณหภูมิน้ำภายในหอทำน้ำแข็งหลุดจากอุณหภูมิน้ำป้อนไปสู่อุณหภูมิน้ำพร้อม

แข็งตัวรวมถึงพลังงานที่อยู่ในมวลน้ำขณะเกิดการไหลในท่อทำน้ำแข็ง โดยเฉพาะในช่วงการลดอุณหภูมิน้ำที่เกิดภาระการทำความเย็นสูงสุดขึ้น ด้วยเหตุนี้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวจึงไม่สามารถใช้ประเมินอัตราการระเหยของสารทำความเย็นที่นำไปสู่การกำหนดอัตราการดูดซับทำความเย็นของเครื่องอัดไอที่เหมาะสมกับเครื่องทำน้ำแข็งหลอดได้

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐดนัย พรรณเจริญวงศ์, จัตรชัย เบญจปิยะพร, รพีพัฒน์ ลาดศรีทา, & สุกัญญา ทองโยธี. (2556). การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการแข็งตัวของน้ำแข็งหลอด. *The Journal of Industrial Technology*, 9(3), 63-80.
- ธีรวัฒน์ คลับคล้าย, & ธีระชาติ พรพิบูลย์. (2556). แบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ของกระบวนการต้มและอุ่นน้ำอ้อยแบบหลายขั้นตอนในกระบวนการผลิตน้ำตาล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 32(5), 606-616.
- ภูวนาท กาบคำ. (2547). *การศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตน้ำแข็งหลอด*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/1515>
- Ozisik, M. N. (1985). *Heat transfer: A basic approach*. McGraw-Hill.
- Pannucharoenwong, N., Benjapiyaporn, C. Theerakulpisut, S., Saeng-Uthai, S., Benjapiyaporn, J. & Promteerawong, P. (2016). 50 Ton tubular ice factory production optimization. *Engineering and Applied Science Research*, 43, 180-182.

- Stephan, K., & Abdelsalam, M. (1980). Heat-transfer correlations for natural convection boiling. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 23(1), 73-87.
- Stoecker, W. F. (1989). *Design of thermal systems* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Stoecker, W. F., & Jones, J. W. (1982). *Refrigeration and air conditioning*. McGraw-Hill.
- Tangthieng, C. (2011). Effect of tube diameter on the specific energy consumption of the ice making process. *Applied Thermal Engineering*, 31(5), 701-707.
- Thongdee, A. & Chinsuwan A. (2019). An optimization of the components and operating conditions of a pre-cooling system for tubular ice making machines. *Energy Procedia*, 157, 602-610.

สถานการณ์เสพติดเกมออนไลน์และผลกระทบ กรณีศึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีการศึกษา 2564

The situations of online game addiction and effects: A case study of undergraduate students, Khon Kaen University, 2021

วิชชุดา ไชยศิริวามงคล^{1*}, ลิขสิทธิ์ เกษวงษา² และ ธนกฤต หินทอง²
Wichuda Chaisiwamongkol^{1*}, Likkasit Ketwongsa² and Tanakit Hinthong²

Received: 22 January 2023; Revised: 17 March 2023; Accepted: 4 April 2023

บทคัดย่อ

จากการรายงานของคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ ปี 2564 พบว่าเด็กไทยเล่นเกมเฉลี่ย 5 ชั่วโมงต่อวัน ส่งผลต่อสภาวะด้านอารมณ์ที่ไม่พึงประสงค์ และเข้าสู่สภาวะโรคเสพติดเกมได้ งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อศึกษาสถานการณ์เสพติดเกมออนไลน์และผลกระทบในกลุ่มนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีการศึกษา 2564 เป็นการวิจัยเชิงสำรวจด้วยแบบสอบถามจากนักศึกษาจำนวน 420 คน ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิตามกลุ่มสาขาวิชา 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และ (3) สาขามนุษยและสังคมศาสตร์ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ t-test, MANOVA, Chi-Square test และการถดถอยเชิงพหุ สำหรับสถานการณ์ทั่วไป พบว่าเป็นนักศึกษาชั้นปี 1 ร้อยละ 31.67 ชั้นปี 2 ร้อยละ 26.67 ชั้นปี 3 ร้อยละ 22.38 และ ชั้นปี 4 ร้อยละ 19.29 นักศึกษาใช้เวลาในการเล่นเกมนเฉลี่ย 2 ชั่วโมง 11 นาทีต่อวัน ส่วนใหญ่สนใจเกมต่อสู้กันระหว่างผู้เล่นสองฝ่ายร้อยละ 33.57 รองลงมา คือเกมยิงมุมมองบุคคลที่หนึ่งร้อยละ 29.52 วัตถุประสงค์เพื่อความบันเทิงและผ่อนคลายร้อยละ 83.33 ค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยต่อเดือนในการเล่นเกมหาเท่ากับ 177.55 บาท

แบบทดสอบการเสพติดเกม (GAST) สามารถแบ่งนักศึกษาตามระดับการติดเกมได้เป็น 3 กลุ่ม โดยร้อยละ 55.24 เป็นกลุ่มที่ไม่ติดเกม และร้อยละ 17.86 เป็นกลุ่มติดเกม นอกนั้นเป็นกลุ่มคลั่งไคล้ ในกลุ่มที่ติดเกมร้อยละ 50.67 เป็นนักศึกษากลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งพบว่าระดับการติดเกมกับกลุ่มสาขาที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) เมื่อวิเคราะห์เฉพาะกลุ่มติดเกมกับกลุ่มคลั่งไคล้ พบว่าทั้ง 2 กลุ่มนิยมเล่นเกมประเภทยิงมุมมองบุคคลที่หนึ่งมากที่สุด ส่วนความรุนแรงของผลกระทบทั้ง 5 ด้าน (ด้านสุขภาพ, ด้านการเรียน, ด้านความสัมพันธ์ทางสังคมและครอบครัว, ด้านสุขภาพจิต และด้านการเงิน) โดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.83 ถึง 3.22 โดยผลกระทบด้านสุขภาพจะมีคะแนนสูงที่สุด รองลงมาคือด้านการเงิน และด้านการเรียน ทั้งนี้ กลุ่มติดเกมมีค่าเฉลี่ยผลกระทบสูงกว่ากลุ่มคลั่งไคล้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: เกมออนไลน์, ผลกระทบ, นักศึกษา, เสพติดเกม

¹ สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

² บัณฑิต, หลักสูตรสารสนเทศสถิติ สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

* ติดต่อผู้พิมพ์ วิชชุดา ไชยศิริวามงคล อีเมล: wichuda@kku.ac.th

¹ Associate Professor., Department of Statistics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

² Bachelor of Statistical Information Program, Department of Statistics, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

* Corresponding author: Wichuda Chaisiwamongkol, Email: wichuda@kku.ac.th

Abstract

The 2021 report by the Mental Health Department stated that Thai children playing online games on average 5 hours a day were affected by adverse emotional and addiction states. This research aims to study the situations of online game addiction and effects on undergraduate students at Khon Kaen University, 2021. This is survey research using questionnaires from 420 subjects in 3 major groups: Health Sciences (Health), Science and Technology (SC&TE), and Human and Social Sciences (Huso). Descriptive and inferential statistics were used for data analysis, comprising t-test, MANOVA, Chi-square test and multiple regression. Subjects were first-year students (31.67%) , second-year students (26.67 %), third-year students (22.38 %) and fourth-year students (19.29). Most of the subjects spent 2 hours and 11 minutes on average per day, 33.57% were interested in Multiplayer Online Battle Arena games (MOBA), 29.52% were interested in First Person Shooter (FPS), and 83.33% played games for entertainment and relaxation propose. The average expenditure for playing games was 177.55 baht per month.

The Game Addiction Screening Test (GAST) was used to divide the level of game addiction into 3 groups: 55.24% for non-gaming, 17.86% for game addiction, and 26.90% for the frantic group. In the game addiction group, 50.67 % were SC&TE students. There was a statistically significant relationship between the level of game addiction and 3 major groups ($p < 0.01$). If analyzing only the game addiction and the fanatic group, it was found that they preferred to play in First Person Shooter (FPS). Severity of the impacts in all 5 effects (health, academic, social and family relations, mental health, and financial) was at a moderate level (2.83 to 3.22). The highest score was the health effects, followed by finance and learning. The average impact of the game addiction group was significantly higher than the frantic group ($p < 0.05$).

Keywords: Online games, impact, student, game addiction

บทนำ

จากการเสวนาออนไลน์หัวข้อ “Healthy Games, Happy Life: ความรับผิดชอบร่วมของสังคม” ในวันที่ 29 มกราคม 2564 จัดโดยสมาคมวิทยุและสื่อเพื่อเด็กและเยาวชน (สสดย.) ร่วมกับสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) ได้สำรวจข้อมูลจากนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ปวส. และปริญญาตรี จำนวน 3,292 คน พบว่า 1 ใน 3 เล่นเกมเป็นประจำทุกวัน และมีถึง 10% ที่เล่นมากกว่าวันละ 5 ชั่วโมง บางครั้งเสียค่าใช้จ่ายมากกว่า 5,000 บาทต่อเดือน และพบว่า มีผลกระทบต่อนิสัย อารมณ์ และผลการเรียน โดยเกือบ 20% มีอารมณ์รุนแรง ทะเลาะกับครอบครัว รวมถึงหย่าร้างขึ้น หากพิจารณาเป็นรายภูมิภาคพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่อาศัยอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เล่นเกมมากกว่าวันละ 5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นตัวเลขที่สูงกว่าภาคอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ, 2564) ในปัจจุบันประเทศไทยมีสถิติการเล่นเกมออนไลน์ติดอันดับ 3 ของโลก (TNN ONLINE, 2564) ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความรุนแรงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากปัญหาในระดับครอบครัว ไปสู่ระดับโรงเรียน และกลายเป็นปัญหาในระดับประเทศ นอกจากนี้จากข่าวไทยรัฐออนไลน์เมื่อวันที่ 3 ธ.ค. 2563 ได้รายงานว่าเด็กไทยร้อยละ 5 ใช้ชีวิตติดเกมจนหมกมุ่น ในขณะที่ประเทศทางยุโรปมีปัญหาเด็กติดเกมอยู่เพียงร้อยละ 1 ส่วนสหรัฐอเมริกาอยู่ที่ร้อยละ 2 ซึ่งการติดเกมนั้น จะส่งผลกระทบต่อพัฒนาการ

ด้านภาษา การควบคุมตนเอง หรือ EQ และในปี 2561 องค์การอนามัยโลก หรือ WHO ประกาศให้การติดเกมเป็นโรคทางจิตเวช หรืออาจเรียกว่าเป็นโรคเสพติดเกม (game addiction) เพราะเมื่อสแกนสมองผู้ที่ติดสารเสพติดเปรียบเทียบกับผู้ป่วยติดเกม พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของเซลล์สมอง และมีจุดที่สมองทำงานบกพร่องเหมือนกัน (ไทยรัฐออนไลน์, 2563)

สถาบันสุขภาพจิตเด็กและวัยรุ่น กระทรวงสาธารณสุข ร่วมกับ ชาญวิทย์ พรนภดล และคณะ (2557) สร้างแบบทดสอบการติดเกม GAST (Game Addiction Screening Test) รวม 16 ข้อคำถาม (ชาญวิทย์ พรนภดล และคณะ, 2557) จากคุณลักษณะหลัก 4 ประการ คือ (1) เล่นมากจนเกินไป เล่นไม่รู้จึกเวลา (2) มีอาการถอนเมื่อไม่ได้เล่น เช่น หงุดหงิด อาละวาด (3) มีความต้องการที่จะเล่นเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ (4) มีพฤติกรรมไม่ดีที่ตามมาเพื่อให้ได้เล่นเกม โดยแต่ละข้อมี 4 คำตอบ ที่เป็นมาตราส่วนประมาณค่าของลิเคิร์ท ได้แก่ 0=ไม่ใช้เลย 1=ใช้นานๆ 2=น่าจะใช่ และ 3=ใช่เลย ผลรวมของคะแนนสามารถนำมาเทียบกับเกณฑ์ เพื่อคัดกรองพฤติกรรมการติดเกม หรือจัดกลุ่มระดับการติดเกม หรือจัดระดับความรุนแรงในการเล่นเกมนได้ โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มไม่ติดเกม กลุ่มคลั่งไคล้ และกลุ่มติดเกม ดังที่ปรากฏใน Table 1

Table 1 Criteria for grouping of game addiction level by Game Addiction Screening Test.

Score for male group	Score for female group	level of game addiction
under 24	under 16	Normal level or non-gaming group
between 24-32	between 16-22	Frantic group
greater than or equal to 33	greater than or equal to 23	Game addiction group

Source: Chanwit Pornopdol, et al. (2014)

สายสุดา ปันตระกูล (2553) ศึกษาพฤติกรรมการเล่นเกมออนไลน์ของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ชั้นปีที่ 1 ได้กล่าวว่าเกมออนไลน์ (Online Game) เป็นเกมที่ต้องเล่นผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (Internet) โดยผ่าน server ข้อมูลของผู้เล่นจะถูกเก็บไว้ใน server โดยผู้เล่นจะต้องเสียค่าบริการในการเล่นตามอัตราที่ผู้ให้บริการกำหนดไว้ ทั้งนี้ ผู้เล่นมีโอกาสรู้จักกับผู้เล่นอื่นๆ ในโลกเสมือนจริงจำนวนมาก หากผู้เล่นใช้เวลาในการเล่นเกมนานเกินไปจะมีผลกระทบต่อชีวิตและความเป็นอยู่ในด้านต่างๆ และจากการศึกษาพฤติกรรมการเล่นเกมออนไลน์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาและนักศึกษาของ ชลดา บุญโท (2554); กฤตนิย แซ่อึ้ง และคณะ (2559) และ กุลนรี หาญพัฒนชัยกุล และคณะ (2564) สามารถสรุปผลกระทบจากการเล่นเกมออนไลน์ได้ 5 ด้าน ได้แก่ (1) ด้านสุขภาพ ได้แก่ ปวดศีรษะ ปวดหลัง ปวดท้อง เจ็บหน้าอก และอ่อนเพลีย (2) ด้านการเรียนรู้ ได้แก่ แบ่งเวลาไม่ได้ทำให้กระทบต่อการเรียน ความรับผิดชอบ และผลการเรียนตกถอย (3) ด้านการเงิน ได้แก่ สิ่งของในเกมทำให้อยากได้ ส่งผลให้กระจ่ายเพิ่มมากขึ้น เป็นต้น (4) ด้านอารมณ์และสุขภาพจิต ได้แก่ พฤติกรรมก้าวร้าวรุนแรง เกิดการเลียนแบบพฤติกรรมที่ไม่ดีจากเกม เป็นต้น (5) ด้านความสัมพันธ์ในครอบครัวและสังคม ได้แก่ การโกหก การทำร้ายผู้อื่น ไม่เชื่อฟังผู้ปกครองทำให้ขาดความสัมพันธ์ในครอบครัว ก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ภายในครอบครัว เป็นต้น

จากสภาพปัญหาและผลกระทบต่อสังคมและประเทศชาติของเด็กไทยที่ติดเกม ประกอบกับนักศึกษาระดับอุดมศึกษาที่ส่วนใหญ่ใช้ Smart Phone ที่มีอินเทอร์เน็ต จากการสำรวจของสำนักงานสถิติแห่งชาติ (2563) พบว่ากลุ่มดังกล่าวใช้โทรศัพท์มือถือ อินเทอร์เน็ต และคอมพิวเตอร์สูงที่สุดคือ ร้อยละ 99.5 ร้อยละ 98.2 และร้อยละ 66.8 ตามลำดับ ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่มีโอกาสเข้าถึงเกมออนไลน์ได้ง่าย ทำให้เกิดข้อสงสัยว่า นักศึกษามหาวิทยาลัยขอนแก่น มีพฤติกรรมการเล่นหรือเสพติดเกมออนไลน์เป็นอย่างไร และเกิดผลกระทบในด้านต่างๆ เป็นเช่นไร ทั้งนี้ เพื่อนำผลไปใช้ในการเฝ้าระวัง หรือหาแนวทางในการลดความเสี่ยงที่เกิดจากผลกระทบแต่ละด้านต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสถานการณ์เสพติดเกมออนไลน์และผลกระทบของนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีการศึกษา 2564

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือมีขั้นตอนดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ประชากรและขนาดตัวอย่าง

ประชากรเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ภาคเรียนปกติ ปีการศึกษา 2564 โดยไม่รวมวิทยาเขตหนองคาย จำนวนทั้งหมด 23,858 คน (แหล่ง: ระบบทะเบียนมหาวิทยาลัยขอนแก่น ณ กรกฎาคม 2564) เนื่องจากต้องการศึกษาค่าเฉลี่ยผลกระทบจากการเล่นเกมออนไลน์เป็นสำคัญ ดังนั้น ในการคำนวณขนาดตัวอย่าง (n) จึงใช้หลักการของ Cochran (1977) (จุฬาลักษณ์ โกลลตรี, 2555) กรณีทราบจำนวนประชากรตามสูตร ① ซึ่งพบว่าควรใช้จำนวนตัวอย่าง อย่างน้อย 418 คน ในการนี้ ผู้วิจัยใช้ 420 คน

$$n_0 = \frac{\sigma^2 Z_{\alpha}^2}{d^2}; \quad n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad ①$$

N คือ จำนวนประชากร

n_0 คือ จำนวนตัวอย่างกรณีไม่ทราบจำนวนประชากร

n คือ จำนวนตัวอย่างขั้นต่ำที่ต้องใช้ เมื่อทราบจำนวนประชากร

σ^2 คือ ความแปรปรวนของคะแนนผลกระทบจากการเล่นเกมออนไลน์ ผู้วิจัยกำหนดไว้ที่ 0.263^2 (กำหนดมาจากข้อมูลที่ได้จากการนำแบบสอบถามไปทดลองใช้)

$Z_{\frac{\alpha}{2}}$ คือ ค่าคะแนนมาตรฐาน ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ($\alpha = 0.05$) ค่า $Z_{0.025} = 1.96$

d คือ ขอบเขตความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าดังกล่าวไม่เกิน 0.025

ในระบบสารสนเทศของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้จัดนักศึกษาออกเป็น 3 กลุ่มสาขา ตามคุณลักษณะของศาสตร์ ได้แก่ (1) สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ (Health) (2) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (SC&TE) (3) สาขามนุษย์และสังคมศาสตร์ (Huso) ซึ่งเป็นที่น่าสนใจว่าเวลาว่างจากการเรียนของแต่ละกลุ่มสาขามีโอกาสที่จะนำไปสู่การเล่น

เกมออนไลน์ที่อยู่ในระดับติดเกมมากน้อยเพียงใด ดังนั้น ในการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (stratified random sampling) ตามกลุ่มสาขา โดยจัดสรรจำนวนตัวอย่างลงในแต่ละชั้นภูมิ (h) ตามสัดส่วนของขนาดชั้นภูมิ (proportional allocation) (สุชาติ กิระนันท์, 2542; จุฬาลักษณ์ โกมลตรี, 2555) ได้ผลตามที่ปรากฏใน Table 2

Table 2 Number of students in 2021 academic year, classified by 3 major groups (n=420).

Group (h)	Number of Population (N_h)	Number of Samples (n_h)
1. Health : 7 faculties	4,483	79
2. SC&TE : 5 faculties	8,977	158
3. Huso : 8 faculties	10,398	183
All	23,858	420

2. การพัฒนาเครื่องมือในการวิจัย

ในการสร้างเครื่องมือนั้น ผู้วิจัยได้จัดทำร่างแบบสอบถาม นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินเชิงเนื้อหา จากนั้นนำไปทดลองใช้ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 จัดทำร่างแบบสอบถามแบ่งเป็น 4 ตอน ได้แก่ **ตอนที่ 1** ข้อมูลส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ ระดับชั้นปี คณะ รายได้ต่อเดือน และเกรดเฉลี่ยสะสม **ตอนที่ 2** พฤติกรรมการเล่นเกมออนไลน์ ได้แก่ จำนวนชั่วโมงที่เล่นเกมต่อวัน (ในการวิเคราะห์ข้อมูลแปลงเป็นนาที) ช่วงเวลาที่ใช้ในการเล่น เกม สถานที่ในการเล่น เกม ค่าใช้จ่ายในการเล่นต่อเดือน ประเภทของเกมที่น่าสนใจ วัตถุประสงค์ในการเล่น **ตอนที่ 3** แบบทดสอบการติดเกมของ GAST (game addiction screening test) ซึ่งมีทั้งหมด 16 ข้อ โดยใช้ความรู้สึของผู้ตอบเป็นหลัก แต่ละข้อมี 4 คำตอบ ได้แก่ 0) ไม่ใช้เลย 1) ไม่น่าใช่ 2) น่าจะใช่ และ 3) ใช่เลย ซึ่งเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) จัดอันดับ ส่วน**ตอนที่ 4** ผลกระทบจากการเล่นเกมออนไลน์ ประกอบด้วย 5 ด้าน ได้แก่ (1) ด้านสุขภาพ (2) ด้านการเรียน (3) ด้านความสัมพันธ์ทางสังคมและครอบครัว (4) ด้านสุขภาพจิตและด้านอารมณ์ (5) ด้านการเงิน โดยแต่ละข้อใช้มาตราส่วนประมาณค่า มีคะแนน 5 ระดับของลิเคิร์ต (Likert's rating scale) สำหรับเกณฑ์การแปลผลค่าเฉลี่ยของผลกระทบแบ่งเป็น 5 ระดับ มากที่สุด คือ 4.21-5.00 มาก คือ 3.41-4.20 ปานกลาง คือ 2.61-3.40 น้อย คือ 1.81-2.60 และน้อยที่สุด คือ 1.00-1.80

2.2 การหาความเที่ยงตรงของเนื้อหา (content validity) ใช้ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (item-objective congruence index: IOC) จากผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมิน

ผลกระทบและอาจารย์ฝ่ายพัฒนานักศึกษา ซึ่งพบว่าแต่ละข้อมีค่า IOC มากกว่า 0.5

2.3 การหาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม (reliability) โดยนำแบบสอบถามที่แก้ไขแล้วไปทดลองใช้ (try out) กับกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงกับประชากร ที่ทำการวิจัยกลุ่มสาขาวิชาละ 10 คน รวม 30 คน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอันดับได้ค่าเท่ากับ 0.956 ซึ่งมากกว่า 0.80 ถือว่าเครื่องมือมีความเที่ยงตรงสามารถนำไปใช้ได้

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยจัดทำข้อคำถามในรูปแบบของแบบสอบถามออนไลน์ผ่าน Google Form โดยมีขั้นตอนในการเข้าถึงกลุ่มตัวอย่าง ด้วยวิธีการสุ่มดังนี้

1) แบ่งนักศึกษาออกเป็น 3 ชั้นภูมิ ตามกลุ่มสาขาวิชา ดังที่ปรากฏในตาราง 2 จากนั้นในแต่ละชั้นภูมิทำการสุ่มคณะและสาขามา 1 คณะ และคณะละ 1 สาขาด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย

2) จากรายการ email address นักศึกษาของคณะและสาขาที่สุ่มได้ (แหล่งข้อมูล: ฝ่ายบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น) สุ่ม email address ของนักศึกษาด้วยวิธีการสุ่มอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้จำนวนหน่วยตัวอย่างครบตามที่ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ จากนั้นส่งลิงค์ Google form แบบสอบถามพร้อมคำชี้แจง ให้กับหน่วยตัวอย่าง

3) ตรวจสอบความครบถ้วนของแบบสอบถาม และทำความสะอาด โดยตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องของข้อมูล ปรับแก้ให้ถูกต้องก่อนนำไปวิเคราะห์

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

4.1 สำหรับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบ ดำเนินการวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความถี่ และร้อยละ

4.2 วิเคราะห์สถานการณ์ของการเสพติดเกมออนไลน์ โดยจัดระดับการเสพติดเกมออนไลน์หรือจัดระดับความรุนแรงในการเล่นเกมน ด้วยแบบทดสอบการติดเกม (GAST) สามารถจำแนกความรุนแรงในการเล่นเกมนหรือระดับการติดเกมได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มไม่ติดเกม กลุ่มคลั่งไคล้ และกลุ่มติดเกม ตามเกณฑ์ใน Table 1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงอนุมาน ดังนี้

1) วิเคราะห์เปรียบเทียบสัดส่วนหรือจำนวนของนักศึกษาระหว่าง 3 กลุ่มของระดับการติดเกมว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้การทดสอบความเป็นเอกพันธ์ (test of homogeneity) ด้วยตัวสถิติไคสแควร์

2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการติดเกมกับตัวแปรเชิงคุณภาพที่สนใจ 7 ตัว ได้แก่ กลุ่มสาขาวิชา เพศ ชั้นปีที่ศึกษา ช่วงเวลาที่ใช้ในการเล่นเกมน สถานะในการเล่นเกมน ประเภทเกมออนไลน์ที่สนใจมากที่สุด และวัตถุประสงค์หลักในการเล่นเกมนออนไลน์ โดยทดสอบความเป็นอิสระ (test of independence) ด้วยตัวสถิติไคสแควร์ หากตัวแปรเป็นมาตราวัดแบบเรียงลำดับ (ordinal) ใช้ตัวสถิติทดสอบ Kendall Tau

3) วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองที่สนใจ 3 ตัวแปร (ได้แก่ เกรดเฉลี่ย ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการเล่นเกมน และจำนวนนาที่เฉลี่ยในการเล่นเกมน) ระหว่าง 3 กลุ่มของระดับความรุนแรงของการติดเกม ด้วยการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปร (multivariate analysis of variance: MANOVA) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองที่สนใจหลายตัวในคราวเดียวกัน และตรวจสอบรายคู่ (multiple comparison test) ด้วยวิธี Bonferroni t-test สำหรับตัวแปรตอบสนองที่สนใจศึกษา

4) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนการติดเกมหรือความรุนแรงของการติดเกม กับตัวแปรอิสระที่สนใจ 3 ตัวแปร ได้แก่ เกรด ค่าใช้จ่ายในการเล่นเกมน และจำนวนนาที่ในการเล่นเกมน ด้วยสถิติวิเคราะห์ Pearson Correlation และแปลผลด้วยเกณฑ์ของ Hinkle *et al.* (1998) คือ หากค่าความสัมพันธ์ต่ำกว่า 0.3 ถือว่ามีความสัมพันธ์กันเล็กน้อย ค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.5 ถือว่ามีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ ค่าระหว่าง 0.5-0.7 ถือว่ามีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง ค่าระหว่าง 0.7-0.9 ถือว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับสูง และ

ค่า 0.9 ขึ้นไปถือว่ามีความสัมพันธ์ในระดับสูงมาก จากนั้นวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (multiple linear regression) สำหรับทำนายคะแนนระดับการติดเกมจำแนกตามเพศ

4.3 วิเคราะห์ผลกระทบของการเล่นเกมออนไลน์ระหว่างนักศึกษา 3 กลุ่มสาขา โดยศึกษาเฉพาะหน่วยตัวอย่างในกลุ่มคลั่งไคล้และกลุ่มติดเกม

1) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลกระทบทั้ง 5 ด้านระหว่าง 3 กลุ่มสาขา ด้วยการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปร หากมีความแตกต่างกันจะทำการตรวจสอบรายคู่โดยใช้วิธี Bonferroni t-test

2) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลกระทบระหว่างเพศชายและเพศหญิง และระหว่างกลุ่มคลั่งไคล้และกลุ่มติดเกมด้วย Independent Sample t-test

ผลการวิจัย

1. ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง ตามที่ปรากฏใน Table 3 และ Table 4 พบว่าเป็นเพศหญิงจำนวน 217 คน (51.67%) เรียนในชั้นปีที่ 1 จำนวน 133 คน (31.67%) มีเงินเดือนอยู่ในช่วง 6,001-6,500 บาท จำนวน 107 คน (25.48%) ช่วง 5,501-6,000 บาท จำนวน 73 คน (17.38%) ส่วนเกรดเฉลี่ยของนักศึกษา เท่ากับ 2.76 (S.D. = 0.42) โดยกลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพมีเกรดเฉลี่ยมากที่สุดคือ 3.06 (S.D. = 0.32)

สำหรับสถานการณ์การเล่นเกมนออนไลน์ของนักศึกษาในกลุ่มนี้ พบว่าส่วนใหญ่เล่นเกมนในช่วงเวลา 18.01-22.00 น. จำนวน 194 คน (46.19%) โดยรวมใช้เวลาเล่นเกมนเฉลี่ย 2 ชั่วโมง 11 นาทีต่อวัน สาขาวิชาที่ใช้เวลาเล่นเกมนเฉลี่ยมากที่สุด คือ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ รองลงมาคือสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ตามลำดับ ส่วนใหญ่เล่นที่หอพักและบ้าน จำนวน 370 คน (88.10%) ประเภทเกมที่สนใจเล่นมากที่สุด คือ เกมต่อสู้กันระหว่างผู้เล่นสองฝ่าย (multiplayer online battle arena: MOBA) จำนวน 141 คน (33.57%) รองลงมา คือเกมยิงมุมมองบุคคลที่หนึ่ง (first person shooter: FPS) จำนวน 124 คน (29.52%) ซึ่งนักศึกษาในกลุ่มสาขา SC&TE ส่วนใหญ่สนใจเกมประเภท FPS จำนวน 57 คน (36.08%) วัตถุประสงค์หลักในการเล่นเกมนออนไลน์ คือ เพื่อความบันเทิงและผ่อนคลาย จำนวน 350 คน (83.33%) ส่วนค่าใช้จ่ายในการเล่นเกมนเฉลี่ยต่อเดือน 177.55 บาท กลุ่มสาขาวิชาที่มีค่าใช้จ่ายในการเล่นเกมนมากที่สุด คือ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เท่ากับ 244.80 บาทต่อเดือน รองลงมาคือสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ และสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ตามลำดับ

2. ผลการวิเคราะห์ระดับการเสพติดเกมออนไลน์
เมื่อใช้แบบประเมินและเกณฑ์ประเมินระดับการติดเกมของ GAST พบว่าสามารถแบ่งระดับการติดเกมได้ 3 กลุ่ม ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มที่ไม่ติดเกมมีจำนวน 232 คน (55.24%)

ส่วนกลุ่มที่อยู่ในระดับการติดเกมนั้นมีจำนวน 75 คน (17.86%) เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบสัดส่วน และค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่สำคัญ มีผลที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

Table 3 Means and standard deviations of quantitative variables classified by 3 major group.

Variables	Health group		SC&TE group		Huso group		Total	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
GPA	3.06	0.32	2.65	0.37	2.73	0.43	2.76	0.42
Average daily minutes on playing game	70.13	66.30	135.19	107.35	154.54	120.67	131.38	111.39
Cost of playing online games per month: Baht	58.86	174.27	243.80	379.40	171.58	296.56	177.55	319.56
Score of game addiction test (16 questions)	9.94	9.78	19.04	12.44	18.60	10.98	17.14	11.84
• Male	15.96	9.16	23.78	11.22	22.36	9.98	22.07	10.63
• Female	6.81	8.62	14.19	11.80	14.45	10.58	12.53	11.05

Table 4 Number and percentage classified by 3 major groups.

Variables	Health group		SC&TE group		Huso group		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Total	79	18.81%	158	37.62%	183	43.57%	420	100.00%
gender								
Male	27	34.18%	80	50.63%	96	52.46%	203	48.33%
Female	52	65.82%	78	49.37%	87	47.54%	217	51.67%
Year of study								
1 st Year	29	36.71%	52	32.91%	52	28.42%	133	31.67%
2 nd Year	19	24.05%	45	28.48%	48	26.23%	112	26.67%
3 rd Year	14	17.72%	37	23.42%	43	23.50%	94	22.38%
≥ 4 th Year	17	21.52%	24	15.19%	40	21.86%	81	19.29%
income per month								
≤ 4,000 Bath	7	8.86%	32	20.25%	31	16.94%	70	16.67%
4,001 - 5,500 Bath	6	7.59%	18	11.39%	22	12.02%	46	10.95%
5,501 - 6,000 Bath	18	22.78%	29	18.35%	26	14.21%	73	17.38%
6,001 - 6,500 Bath	24	30.38%	46	29.11%	37	20.22%	107	25.48%
6,501 - 7,000 Bath	11	13.92%	13	8.23%	28	15.30%	52	12.38%
≥ 7,001 Bath	13	16.46%	20	12.66%	39	21.31%	72	17.14%
Time period for playing games								
06:01 AM - 10:00 AM	2	2.53%	13	8.23%	9	4.92%	24	5.71%
10.01 AM - 02:00 PM	11	13.92%	18	11.39%	23	12.57%	52	12.38%
02:01 PM - 06:00 PM	17	21.52%	27	17.09%	27	14.75%	71	16.90%

Table 4 Number and percentage classified by 3 major groups. (cont.).

Variables	Health group		SC&TE group		Huso group		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
06:01 PM - 10:00 PM	39	49.37%	73	46.20%	82	44.81%	194	46.19%
10:01 PM - 02:00 AM	8	10.13%	27	17.09%	36	19.67%	71	16.90%
02:01 AM - 06:00 AM	2	2.53%	0	0.00%	6	3.28%	8	1.90%
Place for playing games								
Accommodation	76	96.20%	135	85.44%	159	86.89%	370	88.10%
school	0	0.00%	1	0.63%	0	0.00%	1	0.24%
internet cafe	3	3.80%	22	13.92%	24	13.11%	49	11.67%
Type of the most interests online game								
FPS	10	12.66%	57	36.08%	57	31.15%	124	29.52%
MMORPG	7	8.86%	19	12.03%	21	11.48%	47	11.19%
MOBA	31	39.24%	49	31.01%	61	33.33%	141	33.57%
RTS	0	0.00%	5	3.16%	4	2.19%	9	2.14%
Racing/Sports	4	5.06%	15	9.49%	12	6.56%	31	7.38%
other	27	34.18%	13	8.23%	28	15.30%	68	16.19%
The main purpose for playing online games								
To entertain or stress relief	75	94.94%	123	77.85%	152	83.06%	350	83.33%
To meet new friends or replace the feeling of loneliness	3	3.80%	18	11.39%	14	7.65%	35	8.33%
To be a winner or to be Accepted by others	0	0.00%	12	7.59%	12	6.56%	24	5.71%
To make money, such as selling items	1	1.27%	2	1.27%	0	0.00%	3	0.71%
other	0	0.00%	3	1.90%	5	2.73%	8	1.90%

Table 5 Homogeneity and independent test between game addiction level and 7 variables (n=420).

variable	Non-Gaming Level (L1)		Frantic Level (L2)		Game Addicting Level (L3)		Statistics value
	n	%	n	%	n	%	
Total	232	55.24%	113	26.90%	75	17.86%	
							Chi-Square 95.843**
Major group							Chi-Square 31.341**
Health group	65	28.02%	9	7.96%	5	6.67%	
SC&TE group	73	31.47%	47	41.59%	38	50.67%	
Huso group	94	40.52%	57	50.44%	32	42.67%	
Gender							Chi-Square 39.258**
Male	89	38.36%	83	73.45%	31	41.33%	
Female	143	61.64%	30	26.55%	44	58.67%	

Table 5 Homogeneity and independent test between game addiction level and 7 variables (n=420) (cont.).

variable	Non-Gaming Level (L1)		Frantic Level (L2)		Game Addicting Level (L3)		Statistics value
	n	%	n	%	n	%	
Year of study						Kendall	-0.179**
1 st Year	57	24.57%	44	38.94%	32	42.67%	
2 nd Year	56	24.14%	33	29.20%	23	30.67%	
3 rd Year	67	28.88%	16	14.16%	11	14.67%	
≥ 4 th Year	52	22.41%	20	17.70%	9	12.00%	
Time period for playing games						Kendall	-0.234**
06:01 AM - 10:00 AM	6	2.59%	9	7.96%	9	12.00%	
10:01 AM - 02:00 PM	9	3.88%	19	16.81%	24	32.00%	
02:01 PM - 06:00 PM	37	15.95%	14	12.39%	20	26.67%	
06:01 PM - 10:00 PM	138	59.48%	44	38.94%	12	16.00%	
10:01 PM - 02:00 AM	35	15.09%	27	23.89%	9	12.00%	
02:01 AM - 06:00 AM	7	3.02%	0	0.00%	1	1.33%	
Place for playing games						Chi-Square	46.630**
Accommodation	226	97.41%	85	75.22%	59	78.67%	
school	1	0.43%	0	0.00%	0	0.00%	
internet cafe	5	2.16%	28	24.78%	16	21.33%	
Type of the most interests online game						Chi-Square	109.339**
FPS	41	17.67%	56	49.56%	27	36.00%	
MMORPG	15	6.47%	17	15.04%	15	20.00%	
MOBA	99	42.67%	25	22.12%	17	22.67%	
RTS	2	0.86%	3	2.65%	4	5.33%	
Racing/Sports	10	4.31%	11	9.73%	10	13.33%	
other	65	28.02%	1	0.88%	2	2.67%	
The main purpose of playing online games						Chi-Square	59.312**
To entertain or stress relief	213	91.81%	83	73.45%	54	72.00%	
To meet new friends or replace the feeling of loneliness	9	3.88%	10	8.85%	16	21.33%	
To be a winner or to be Accepted by others	2	0.86%	17	15.04%	5	6.67%	
To make money, such as selling items, game competition	0	0.00%	3	2.65%	0	0.00%	
other	8	3.45%	0	0.00%	0	0.00%	

** ($p < 0.01$)

1) จากผลใน Table 5 พบว่าจำนวนของนักศึกษา ระหว่าง 3 กลุ่มของระดับการติดเกม มีสัดส่วนที่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยส่วนใหญ่เป็นกลุ่มที่ไม่ติดเกมตามที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

2) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการติดเกมกับตัวแปรเชิงคุณภาพทั้ง 7 ตัวที่ศึกษา พบว่ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรเชิงคุณภาพทั้ง 7 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ตามที่ปรากฏใน Table 5 โดยในกลุ่มที่ติดเกม

ทั้งหมด 75 คนนั้น พบว่าเป็นกลุ่มสาขาวิชา SC&TE จำนวน 38 คน (50.67%) เป็นเพศชาย 44 คน (58.67%) เป็นชั้นปีที่ 1 จำนวน 32 คน (42.67%) เล่นเกมในช่วงกลางวันเวลา 10.01 น. ถึง 14.00 น. จำนวน 24 คน (32.00%) เล่นที่หอพักและบ้าน จำนวน 59 คน (78.67%) ส่วนใหญ่เล่นเกมยิงมุมมองบุคคลที่หนึ่ง (first person shooter: FPS) จำนวน 27 คน (36.00%) และให้เหตุผลว่าวัตถุประสงค์หลักในการเล่นเกมนั้นคือเพื่อความบันเทิง/ผ่อนคลายความตึงเครียดจำนวน 54 คน (72.00%)

3) ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเกรดเฉลี่ย จำนวนนาที่ในการเล่นเกมนต่อวัน และค่าใช้จ่ายในการเล่นเกมนออนไลน์

ต่อเดือน รวมถึงผลกระทบทั้ง 5 ด้าน (รวมตัวแปรตอบสนอง 8 ตัว) ระหว่างระดับการติดเกมทั้ง 3 ระดับ ด้วย MANOVA ได้ผลดัง Table 6 โดย Box's M Test พบว่าเมตริกความแปรปรวนร่วม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) การวิเคราะห์ครั้งนี้จึงเลือกใช้ Pillai's Trace เพราะสามารถใช้ได้ในกรณีที่ขนาดกลุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน และความแปรปรวนร่วมไม่เท่ากัน ซึ่งสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของระดับการติดเกมอย่างน้อย 1 ระดับแตกต่างจากระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

Table 6 Mean comparison between 3 levels of game addiction (n=420).

Variables	Non-Gaming Level (L1)		Frantic Level (L2)		Game Addicting Level (L3)		Levene's Test	F
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
1. GPA	2.86	0.39	2.62	0.42	2.68	0.42	0.066	16.735** L1 ^a L2 ^b L3 ^b
2. Average daily minutes on playing game	103.10	103.24	176.55	108.37	150.80	114.92	0.917	19.484** L1 ^a L2 ^b L3 ^b
3. Cost of playing online games per month: Baht	100.22	256.62	257.26	351.06	296.67	378.50	22.868**	16.681** L1 ^a L2 ^b L3 ^b
4. Health effects	2.12	0.68	3.04	0.48	3.48	0.52	15.991**	184.168** L1 ^a L2 ^b L3 ^c
5. Learning effects	1.81	0.67	2.95	0.56	3.32	0.59	5.091**	224.786** L1 ^a L2 ^b L3 ^c
6. Family and social relationships effects	1.71	0.62	2.71	0.60	3.24	0.68	1.040	208.332** L1 ^a L2 ^b L3 ^c
7. Emotional and mental health effects	1.72	0.68	2.71	0.62	3.01	0.63	1.538	153.202** L1 ^a L2 ^b L3 ^c
8. Financial effects	1.64	0.77	3.03	0.71	3.29	0.61	2.124	219.738** L1 ^a L2 ^b L3 ^b
Box's Test=196.425, F=2.634, Sig.=0.000; Pillai's Trace =0.667, F=25.698, Sig.=0.000								

** ($p<0.01$); ^{a, b} and ^c are the result of a multiple comparison test

เมื่อเปรียบเทียบรายคู่ (Multiple comparison Test) ของตัวแปรตอบสนองทั้ง 8 ตัว พบว่ากลุ่มที่ไม่ติดเกมมีเกรดเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มคลั่งไคล้และกลุ่มติดเกม ($\bar{X} = 2.86$, S.D. = 0.39) ในขณะที่เดียวกันพบว่าค่าเฉลี่ยของจำนวนชั่วโมงในการเล่นเกมนต่อวัน รวมถึงค่าใช้จ่ายในการเล่นเกมนเฉลี่ยต่อเดือน และผลกระทบทั้ง 5 ด้าน มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มคลั่งไคล้และกลุ่มติดเกมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) นอกจากนี้ยังพบว่าผลกระทบด้านสุขภาพ ด้านการเรียน และด้านความสัมพันธ์ทางสังคมและครอบครัว รวมถึงด้านสุขภาพจิตและด้านอารมณ์ ระหว่างกลุ่มคลั่งไคล้และกลุ่มติดเกมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยกลุ่มติดเกม

จะมีค่าเฉลี่ยของผลกระทบทั้ง 5 ด้าน สูงกว่ากลุ่มคลั่งไคล้

4) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ด้วยสถิติวิเคราะห์ Pearson Correlation พบว่าคะแนนการติดเกมกับตัวแปรอิสระ ได้แก่ เกรดเฉลี่ย จำนวนนาที่ในการเล่นเกมนต่อวัน และค่าใช้จ่ายในการเล่นเกมนออนไลน์ต่อเดือนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงต่อกัน ($p<0.01$) ทั้งนี้ขนาดของความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ (0.3 ถึง 0.5) โดยมีความสัมพันธ์กับเกรดในลักษณะผกผัน ส่วนค่าใช้จ่ายและจำนวนนาที่ในการเล่นเกมนต่อวันมีความสัมพันธ์กับระดับการเล่นเกมนในทิศทางเดียวกัน เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการการถดถอย แยกตามเพศ (เนื่องจากเกณฑ์การแบ่งระดับการติดเกมนั้น จำแนกตามเพศ) ด้วยวิธี

Stepwise พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแก้แล้ว (Adj. R²) ของกลุ่มเพศหญิงและกลุ่มชายมีค่าเป็นร้อยละ 12.0 และร้อยละ 22.7 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าจำนวนนาที่เฉลี่ยในการเล่นเกมนั้นมีผลต่อคะแนนการติดเกมในทิศทางเดียวกัน

ทั้งกลุ่มเพศหญิงและชาย ตามที่ปรากฏใน Table 8 สำหรับในกลุ่มเพศหญิงจะมีตัวแปรเกรตเฉลี่ยและค่าใช้จ่ายในการเล่นเกมนั้นส่งผลต่อคะแนนการติดเกมด้วย สามารถเขียนสมการการถดถอยได้ดังนี้

$$\text{คะแนนการติดเกมในกลุ่มเพศหญิง} = 38.041 + (0.006X1) - (7.809X2) + (0.017X3)$$

$$\text{คะแนนการติดเกมในกลุ่มเพศชาย} = 9.095 + (0.037X3)$$

เมื่อ X1 คือค่าใช้จ่ายในการเล่นเกมนั้นต่อเดือน

X2 คือเกรตเฉลี่ย

X3 คือจำนวนนาที่เฉลี่ยในการเล่นเกมนั้นต่อวัน

Table 7 Correlation between game addiction scores and 3 quantitative variables (n=420).

variable	$\bar{X}$	S.D.	Pearson Correlation
Scores of game addiction (16 questions)	17.14	11.84	1
• male	22.07	10.63	
• female	12.53	11.05	
GPA	2.76	0.42	-.324**
Average daily minutes on playing game	131.38	111.39	.436**
Cost of playing online games per month: Baht	177.55	319.56	.373**

** ($p < 0.01$)

Table 8 Regression analysis to predict scores of game addiction (n=420).

	Coefficients	t	p-value	VIF
Male group Adj. R ² = 22.7%, Durbin-Watson = 1.681				
(Constant)	9.095	9.690**	0.000	
Average daily minutes on playing game	0.037	5.523**	0.000	1.000
Female group Adj. R ² = 12.0%, Durbin-Watson = 1.782				
(Constant)	38.041	7.845**	0.000	
The cost of playing online games	0.006	2.796**	0.006	1.505
GPA	-7.809	-4.556**	0.000	1.058
Average daily minutes on playing game	0.017	2.169**	0.031	1.465

3. ผลกระทบของการเล่นเกมออนไลน์ระหว่างนักศึกษา 3 กลุ่มสาขา

จากผลการวิเคราะห์ในข้างต้น จะเห็นว่ากลุ่มไม่ติดเกมจะมีค่าเฉลี่ยของผลกระทบทั้ง 5 ด้าน อยู่ในระดับที่ต่ำและแตกต่างจากกลุ่มคลั่งไคล้และกลุ่มติดเกม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) จึงเป็นที่น่าสนใจว่ากลุ่มที่ไม่เล่นเกมไม่ได้อยู่ในระดับคลั่งไคล้หรือติดเกมก็ตาม ผลกระทบทั้ง 5 ด้านระหว่างสาขาวิชาและระหว่างเพศแตกต่างกันหรือไม่ ผู้วิจัยจึง

ศึกษาเจาะลึกโดยนำหน่วยตัวอย่างเฉพาะกลุ่มที่คลั่งไคล้และกลุ่มติดเกมมาวิเคราะห์ (n=118) ได้ค่าสถิติเชิงพรรณนาของชุดข้อมูลดังกล่าวตาม Figure 1 จะเห็นว่าทั้ง 3 สาขาวิชามีค่าเฉลี่ยของผลกระทบแต่ละด้านอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.61-3.40) ยกเว้นด้านสุขภาพจิตและอารมณ์ของกลุ่มสาขาวิชาสุขภาพ ผลกระทบจะอยู่ในระดับน้อย ($\bar{X} = 2.57$, S.D. = 0.65)

1) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลกระทบทั้ง 5 ด้าน ระหว่างกลุ่มสาขาทั้ง 3 ด้วย MANOVA โดย Box's Test = 40.13, Sig. = 0.19 แสดงว่าเมตริกความแปรปรวนร่วมไม่แตกต่างกัน จากค่า Pillai's Trace = 0.050, Sig. = 0.508 สรุปว่า

ระหว่าง 3 สาขาวิชามีค่าเฉลี่ยของผลกระทบทั้ง 5 ด้าน ไม่แตกต่างกัน หรืออาจจะกล่าวได้ว่านักศึกษาในกลุ่มติดเกมและกลุ่มคลั่งไคล้ระหว่าง 3 กลุ่มสาขา มีผลกระทบทั้ง 5 ด้าน ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ตามที่ปรากฏใน Table 9

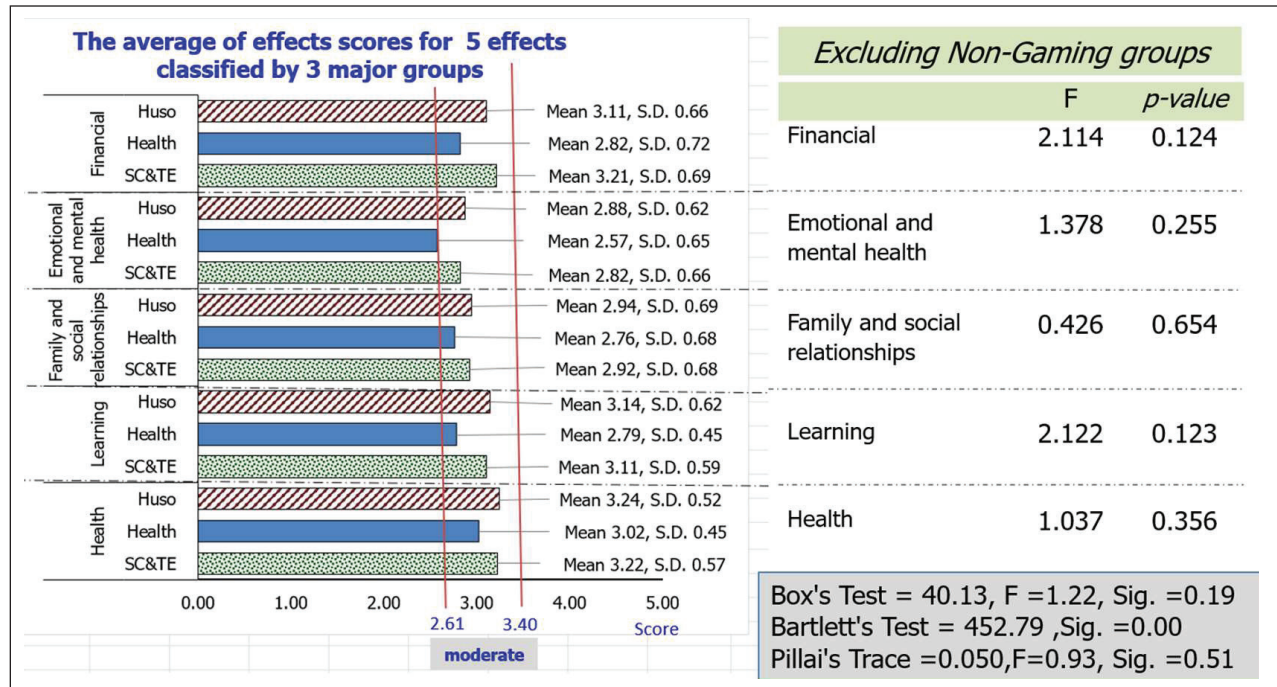


Figure 1 The average of effects scores for 5 effects between 3 major groups (n=118).

Table 9 Compare means of effects between 3 major groups (n=118).

Effects Issues	Health group		SC&TE group		Huso group		F	p-value
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.		
Health	3.02	0.45	3.22	0.57	3.24	0.52	1.037	0.356
Learning	2.79	0.45	3.11	0.59	3.14	0.62	2.122	0.123
Family and social relationships	2.76	0.68	2.92	0.68	2.94	0.69	0.426	0.654
Emotional and mental health	2.57	0.65	2.82	0.66	2.88	0.62	1.378	0.255
Financial	2.82	0.72	3.21	0.69	3.11	0.66	2.114	0.124

Box's Test=40.13, F=1.22, Sig.= 0.19; Pillai's Trace =0.05, F=0.93, Sig.= 0.51

2) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลกระทบทั้ง 5 ด้าน ระหว่างเพศชายและหญิงได้ผลตามที่ปรากฏใน Table 10 พบว่าค่าเฉลี่ยของผลกระทบระหว่างเพศเกือบทุกด้านมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยเพศชายจะมีค่าเฉลี่ยผลกระทบสูงกว่าของเพศหญิง ยกเว้นด้าน

สุขภาพจิตและอารมณ์ผลกระทบระหว่างเพศไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ทั้งนี้ความรุนแรงของผลกระทบโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.83 ถึง 3.22 โดยผลกระทบด้านสุขภาพจะมีคะแนนสูงที่สุด รองลงมาคือด้านการเงิน และด้านการเรียน

Table 10 Compare means between gender for 5 effects (n=118).

Effects Issues	All		Male		Female		t	p-value
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
Health	3.22	0.54	3.28	0.49	3.11	0.59	2.08**	0.039
Learning	3.10	0.60	3.20	0.52	2.94	0.68	2.84**	0.005
Family and social relationships	2.92	0.68	3.03	0.59	2.75	0.78	2.61*	0.010
Emotional and mental health	2.83	0.64	2.89	0.59	2.74	0.71	1.55	0.124
Financial	3.13	0.68	3.27	0.54	2.92	0.82	3.29**	0.001

** ($p<0.01$); * ($p<0.05$)

สรุปผลการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 51.67 เป็นเพศหญิง ร้อยละ 46.19 เล่นเกมช่วงเวลา 18.01 -22.00 น. ร้อยละ 88.10 เล่นเกมที่หอพักและบ้าน ร้อยละ 83.33 มีวัตถุประสงค์หลักในการเล่นเพื่อความบันเทิงและผ่อนคลาย สำหรับจำนวนเวลาที่ใช้ในการเล่นเฉลี่ย 2 ชั่วโมง 11 นาที (131.38 นาที) ต่อวัน และโดยรวมร้อยละ 33.57 สนใจเกมประเภทต่อสู้กันระหว่างผู้เล่นสองฝ่าย (MOBA) แต่สำหรับกลุ่มที่ติดเกมและกลุ่มคลั่งไคล้ส่วนใหญ่จะชอบเล่นเกม FPS

วิเคราะห์สถานการณ์เสพติดเกมออนไลน์ ด้วยแบบประเมินและเกณฑ์ประเมินระดับการติดเกมของ GAST พบว่าสามารถแบ่งระดับการเล่นเกมได้ 3 กลุ่ม กลุ่มติดเกมมีจำนวน 75 คน (17.86%) ทั้งนี้กลุ่มที่ไม่ติดเกมจะมีเกรดเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มอื่น โดยระหว่างกลุ่มคลั่งไคล้และกลุ่มติดเกมจะมีค่าเฉลี่ยของผลกระทบด้านสุขภาพ ด้านการเรียนรู้ และด้านความสัมพันธ์ทางสังคมและครอบครัว รวมถึงด้านสุขภาพจิตและด้านอารมณ์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยกลุ่มติดเกมจะมีค่าเฉลี่ยของผลกระทบทั้ง 5 ด้าน สูงกว่ากลุ่มคลั่งไคล้ นอกจากนี้พบว่าตัวแปรค่าใช้จ่ายในการเล่นเกมนั้น ต่อเดือน เกรด จำนวนเวลาในการเล่นเกมนั้นส่งผลต่อการทำนายคะแนนการติดเกมของเพศหญิง ส่วนเพศชายตัวแปรที่ส่งผลต่อการทำนายคือจำนวนเวลาในการเล่นเกมนั้น

เมื่อศึกษาเฉพาะกลุ่มคลั่งไคล้และกลุ่มติดเกมรวม 118 คน พบว่าความรุนแรงของผลกระทบทั้ง 5 ด้านอยู่ในระดับปานกลาง โดยผลกระทบด้านสุขภาพจะมีคะแนนสูงที่สุด รองลงมาคือด้านการเงิน และด้านการเรียนรู้ ส่วนค่าเฉลี่ยของผลกระทบระหว่างเพศเกือบทุกด้านมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยเพศชายจะมีค่าเฉลี่ยผลกระทบสูงกว่าของเพศหญิง ยกเว้นด้านสุขภาพจิตและอารมณ์ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าจำนวนชั่วโมงในการเล่นเกมนั้นเฉลี่ย 2 ชั่วโมง 11 นาทีต่อวัน ซึ่งต่ำกว่าสำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพรายงานไว้ (สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ, 2564) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างของสำนักงานฯ จะรวมนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ปวส. และปริญญาตรี สำหรับในครั้งนี้ศึกษาเฉพาะนักศึกษาปริญญาตรีเท่านั้น แต่เป็นที่น่าสังเกตว่านักศึกษาปี 1 มีคนติดเกม 32 คน (42.67%) นับว่าเป็นสัดส่วนค่อนข้างสูง และเป็นกลุ่มที่มาจากนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังนั้น สำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ควรมีการดูแลและให้คำปรึกษาในการใช้เวลาว่างและการเล่นเกมอย่างใกล้ชิด

เนื่องจากการสำรวจครั้งนี้ดำเนินการเก็บข้อมูลในช่วงที่เกิดสถานการณ์โควิด-19 ซึ่งมีการเรียนการสอนส่วนใหญ่เป็นแบบออนไลน์ ทำให้นักศึกษามีเวลาปฏิสัมพันธ์คอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน มากกว่าสถานการณ์ปกติ ซึ่งอาจส่งผลให้มีแรงจูงใจในการเล่นเกมนั้นมากกว่าสถานการณ์ปกติได้ ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบกับสถานการณ์ปกติอีกครั้ง ซึ่งอาจจะได้ข้อสรุปที่แตกต่างจากสถานการณ์โควิด-19

จากการศึกษาครั้งนี้ สนับสนุนว่ากลุ่มที่ไม่ติดเกมจะมีผลการเรียนดีกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างชัดเจน ส่วนค่าเฉลี่ยผลกระทบทั้ง 5 ด้าน ระหว่าง 3 กลุ่มสาขาไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สายสุตา ปันตระกูล (2553) อย่างไรก็ตามในครั้งนี้พบว่ากลุ่มที่คลั่งไคล้และกลุ่มติดเกมพบว่ามีร้อยละ 26.90 และ 17.86 ตามลำดับ รวมแล้ว 44.76 ซึ่งนับว่าค่อนข้างสูง โดยส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและกลุ่มสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ถึงแม้ว่าผลกระทบทั้ง 5 ด้านจะอยู่ในระดับปานกลาง แต่ก็มีโอกาสที่จะพัฒนาเป็นระดับมากได้

การเล่นเกมนอนไลน์จะเกิดโทษหรือประโยชน์ต่อผู้เล่นนั้น ขึ้นกับการเลือกลักษณะหรือประเภทเกมที่จะเล่น การเลือกช่วงเวลาที่จะเล่น และระยะเวลาในการเล่น ดังนั้น นักศึกษาเองจะต้องมีวิจารณญาณในการเลือกที่จะเล่นและควบคุมตนเองให้ได้ โดยต้องจัดสรรเวลาในการเล่นอย่างเหมาะสม ไม่กระทบต่อการเรียนและการใช้ชีวิตประจำวัน ประกอบกับหากทางมหาวิทยาลัยสามารถจัดกิจกรรมด้านสุขภาพ และกิจกรรมความรู้เสริมทักษะผ่านทาง Online ที่น่าสนใจ เพื่อลดทอนเวลาที่นักศึกษาจะไปเพื่อเล่นเกมได้ จะส่งผลดีต่อสุขภาพกายและใจของนักศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ทำให้การศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณคณะกรรมการพิจารณากลั่นกรองบทความทุกท่านที่ให้คำชี้แนะที่เป็นประโยชน์ต่อการตีพิมพ์ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กฤตชัย แซ่อึ้ง, นรินทร์ รมณชีต, พงศ์ศักดิ์ แก้วประทีป, วิทวัส กองจันทร์, วีรภูมิ นาคนวน, สหรัฐ บัตรพิมาย. (2559). การศึกษาพฤติกรรมการเล่นเกมออนไลน์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

กุลนรี หาญพัฒนชัยกุล, เอมอร บุตรอุดม, ทิพย์รัตน์ อุดมเมืองเพีย, สุกัญญา รักศรี, ภาสินี ไทอินทร์ และสุดา หมั่นไธสง. (2564). พฤติกรรมและผลกระทบจากการติดเกมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา โรงเรียนในเขตเทศบาลนครขอนแก่น. วารสารศูนย์อนามัยที่ 9, 15(38), 561-573.

จุฬาลักษณ์ โกมลตรี, (2555). บทความพิเศษ: การคำนวณขนาดตัวอย่าง. วารสารสุขภาพจิตแห่งประเทศไทย, 20(3), 192-198.

ชลดา บุญโท. (2554). พฤติกรรมการเล่นเกมออนไลน์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและผลกระทบจากเกมออนไลน์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ชาญวิทย์ พรนภดล บัณฑิต ศรไพศาล, กุสุมาวดี คำเกลี้ยง, เสาวนีย์ พัฒนอมร. (2557). การพัฒนาแบบทดสอบการติดเกม. วารสารสมาคมจิตแพทย์แห่งประเทศไทย, 59(1), 3-14.

ไทยรัฐออนไลน์. (2563). เด็กไทยร้อยละ 5 ใช้ชีวิตติดเกมขึ้นหมกมุ่น. <https://www.thairath.co.th/news/society/198830>.

สายสุดา ปันตระกูล. (2553). พฤติกรรมการเล่นเกมออนไลน์ของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ชั้นปีที่ 1. วารสารปัญญาภิวัฒน์, 3(1), 47-58.

สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ (2564). ผลวิจัยชี้เด็ก-เยาวชน ติดเกมเฉลี่ย 5 ชั่วโมง/วัน ค่าใช้จ่าย 5,000 บาท/เดือน. <https://www.nationalhealth.or.th/th/node/3006>

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2563). สำรวจการมีการใช้สารสนเทศและการสื่อสารในครัวเรือน พ.ศ. 2563. กรุงเทพมหานคร. <http://www.nso.go.th/sites/2014en/Survey/ICT/Survey%20In%20Household/2020>.

สุชาดา กิระนันท์. (2542). ทฤษฎีและวิธีการสำรวจตัวอย่าง. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3rd ed). John Wiley and Sons.

Hinkle, D.E, William, W., & Stephen G. J. (1998). *Applied statistics for the behavior sciences* (4th ed). Houghton Mifflin.

TNN ONLINE. (2564). สถิติใหม่เผย “ไทยใช้เน็ตเล่นเกมเป็นอันดับ 3 ของโลก”. <https://www.tnnthailand.com/news/tech/98037/>

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบสำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวนสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

An efficiency comparison of test statistics for testing homogeneity of variances for non-normally distributed data

สุกัญญา ยอดนวน¹, จุฬารัตน์ ชุมนวล² และ กรกช วิจิตรสงวน เจ็ดวรรณะ^{2*}

Sukanya Yodnual¹, Jularat Chumnaul² and Korakot Wichitsa-nguan Jetwanna^{2*}

Received: 24 February 2023; Revised: 11 April 2023; Accepted: 28 April 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบสำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวนของประชากร 3 วิธี ได้แก่ สถิติทดสอบของ Levene สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen เมื่อข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ โดยจำนวนกลุ่มประชากรที่ศึกษา คือ 3 กลุ่ม การแจกแจงของประชากรที่ศึกษา คือ การแจกแจงแกมมา $((\alpha, \beta) = (2, 2), (3, 2), (4, 2), (6, 2), (10, 2))$ การแจกแจงไวบูล $((\alpha, \beta) = (2, 6.105), (2, 7.478), (2, 8.635), (2, 10.575), (2, 13.652))$ การแจกแจงลอจิสติก $((\mu, s) = (2, 1.559), (2, 1.910), (2, 2.205), (2, 2.701), (2, 3.487))$ และการแจกแจงเอกรูป $((a, b) = (0, 9.798), (0, 12), (0, 13.856), (0, 16.971), (0, 21.909))$ และพิจารณาเฉพาะกรณีขนาดตัวอย่างแต่ละกลุ่มเท่ากัน สำหรับเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธี คือ ความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ความแกร่ง และกำลังการทดสอบ โดยสถิติทดสอบที่สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้และให้ค่าประมาณกำลังการทดสอบสูงที่สุดจะสรุปว่าเป็นสถิติทดสอบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ผลการศึกษาพบว่า กรณีข้อมูลมีการแจกแจงลอจิสติกและการแจกแจงเอกรูป สถิติทดสอบของ Levene มีประสิทธิภาพดีกว่าสถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen เกือบทุกกรณีเนื่องจากสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้และให้ค่าประมาณกำลังการทดสอบสูงที่สุด ส่วนกรณีข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล สถิติทดสอบของ Levene ยังคงมีประสิทธิภาพดีกว่าสถิติทดสอบทั้งสองตัวเมื่อตัวอย่างแต่ละกลุ่มมีขนาดตั้งแต่ 30 ขึ้นไป และกรณีข้อมูลมีการแจกแจงแกมมา สถิติทดสอบของ Fligner-Killeen มีประสิทธิภาพดีที่สุดในทุกกรณี

คำสำคัญ: ความเท่ากันของความแปรปรวน, ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1, ความแกร่ง, กำลังการทดสอบ

Abstract

This research aimed to study and compare the efficiency of three test statistics for testing homogeneity of variances, (Levene's test, Brown-Forsythe's test, and Fligner-Killeen's test) when data are not normally distributed. The number of populations considered in this study was three groups and considered only when sample sizes of all groups were equal. The distributions considered in this study were Gamma distributions $((\alpha, \beta) = (2, 2), (3, 2), (4, 2), (6, 2), (10, 2))$, Weibull distributions $((\alpha, \beta) = (2, 6.105), (2, 7.478), (2, 8.635), (2, 10.575), (2, 13.652))$, Logistic distributions $((\mu, s) = (2, 1.559), (2, 1.910), (2, 2.205), (2, 2.701), (2, 3.487))$, and Uniform distributions $((a, b) = (0, 9.798), (0, 12), (0, 13.856), (0, 16.971), (0, 21.909))$. The criteria used to compare the efficiency of proposed test statistics

¹ นักศึกษา, หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (สาขาวิชาสถิติ) สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

¹ Bachelor of Science (Statistics), Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University

² Assistant Professor, Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University

* Corresponding author: Assistant Professor, Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Email: korakot.w@psu.ac.th

were the ability to control the probability of type 1 error, robustness, and power of a test. In this study, the test statistic that could control the probability of type 1 error and had the highest empirical power was concluded to be the best test statistic. The results showed that Levene's test performed better than Brown-Forsythe's test and Figner-Killeen's test in almost all cases when data followed Logistic and Uniform distributions because it could control the probability of type 1 error and had the higher empirical power. In the case of Weibull distribution, Levene's test still performed better than other tests when the sample size of each group was 30 or more. Finally, Figner-Killeen's was the best in all cases when data followed the Gamma distribution.

Keywords: Homogeneity of variances, probability of type I error, robustness, power of a test

บทนำ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยโดยใช้สถิติเชิงอนุมาน (statistical inference) ผู้วิจัยจำเป็นต้องเลือกสถิติวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับข้อมูล เพื่อให้ได้ข้อสรุปไปยังประชากรที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ ยกตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประชากรมากกว่า 2 กลุ่มโดยใช้สถิติทดสอบเอฟ (F-test) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) มีเงื่อนไขหรือข้อตกลงเบื้องต้น (assumptions) ที่สำคัญคือ ตัวอย่างต้องถูกสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ (normal distribution) และมีความแปรปรวนเท่ากัน (homogeneity of variances) แต่ในทางปฏิบัติเรามักพบว่าลักษณะของข้อมูลไม่เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นและหากนักวิจัยยังคงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยสถิติทดสอบเอฟในการวิเคราะห์ข้อมูล ผลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นก่อนการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประชากรมากกว่า 2 กลุ่มโดยใช้สถิติทดสอบเอฟของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของข้อมูลก่อนเสมอเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ

สำหรับการทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวนซึ่งเป็นหนึ่งในข้อตกลงเบื้องต้นของการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประชากรที่เป็นอิสระกัน เป็นที่ทราบกันดีว่าในกรณีประชากร 2 กลุ่มมีการแจกแจงปกติ สถิติทดสอบเอฟ เป็นสถิติทดสอบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ส่วนกรณีประชากรมากกว่า 2 กลุ่ม และประชากรแต่ละกลุ่มมีการแจกแจงปกติ สถิติทดสอบของ Bartlett (Bartlett's test) เป็นสถิติทดสอบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด อย่างไรก็ตาม หากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีการแจกแจงแบบอื่นหรือไม่ได้มาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติ สถิติทดสอบดังกล่าวข้างต้นอาจมีประสิทธิผลลดลง ยกตัวอย่างเช่น สถิติทดสอบของ Bartlett มีแนวโน้มไม่สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ เมื่อข้อมูลเบี่ยงเบนจากการแจกแจงปกติ (Conover *et al.*, 1981; Lim & Loh, 1996; Wang *et al.*, 2017) เป็นต้น

ในหลายปีที่ผ่านมา นักสถิติหลายท่านได้คิดค้นและพัฒนาสถิติทดสอบสำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวนสำหรับกรณีประชากรไม่มีการแจกแจงปกติ ยกตัวอย่างเช่น Levene (1960) ได้เสนอสถิติทดสอบสำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวน โดยใช้การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของค่าสัมบูรณ์ของส่วนเบี่ยงเบนระหว่างค่าสังเกตกับค่าเฉลี่ยตัวอย่างที่ถูกสุ่มมาจากประชากรแต่ละชุด โดยจากการศึกษาพบว่า สถิติทดสอบของ Levene มีความแข็งแกร่งในกรณีที่ประชากรไม่มีการแจกแจงปกติ ต่อมา Brown และ Forsythe (Brown & Forsythe, 1974) ได้พัฒนาสถิติทดสอบจากวิธีการของ Levene โดยใช้ค่ามัธยฐานแทนค่าเฉลี่ยตัวอย่าง โดยแทนค่าสังเกตแต่ละค่าด้วยค่าสัมบูรณ์ของส่วนเบี่ยงเบนระหว่างค่าสังเกตกับค่ามัธยฐานของตัวอย่าง ทำให้สถิติทดสอบนี้มีความแข็งแกร่งเมื่อประชากรไม่มีการแจกแจงปกติเช่นเดียวกับสถิติทดสอบของ Levene (Conover *et al.*, 1981) สำหรับในประเทศไทยมีนักสถิติหลายท่านได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของสถิติทดสอบสำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวนทั้งนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้สถิติทดสอบให้เหมาะสมกับลักษณะข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น วรางคณา เรียนสุทธิ (2561) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบอิงพารามิเตอร์สำหรับการทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวน ผลการศึกษาพบว่า สถิติทดสอบของ Bartlett สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์และให้กำลังการทดสอบสูงเมื่อประชากรมีการแจกแจงปกติ แต่เมื่อประชากรมีการแจกแจงเบ้ซ้ายและเบ้ขวาที่มีความโด่งสูงหรือต่ำมากกว่าปกติ สถิติทดสอบของ Bartlett ไม่สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ และเมื่อประชากรมีการแจกแจงเบ้ซ้ายหรือเบ้ขวาที่มีความโด่งสูงกว่าปกติ สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้มากกว่าสถิติทดสอบของ Bartlett และสถิติทดสอบของ Levene (วรางคณา เรียนสุทธิ, 2561) ในขณะที่สายชล สินสมบูรณ์ทอง (2561) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ของสถิติทดสอบสำหรับทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของประชากร 3 กลุ่ม ภายใต้การแจกแจงที่มีความโด่งมากและความเบ้มาก ผลการศึกษาพบว่า ในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงปกติที่มีลักษณะโด่งมาก สถิติทดสอบของ Lehman (Lehman's test) มีกำลังการทดสอบสูงสุดในเกือบทุกสถานการณ์ ยกเว้นในกรณีที่ตัวอย่างขนาดเล็ก สถิติทดสอบของ Bartlett มีกำลังการทดสอบสูงสุดในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแกมมาที่มีความโด่งมาก สถิติทดสอบของ Levene และสถิติทดสอบของ Bartlett มีกำลังการทดสอบสูงสุด (สายชล สันสมบุรณ์ทอง, 2561) และวารณา เรียนสุทธิ (2562) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์สำหรับการทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวน ผลการศึกษาพบว่า สถิติทดสอบของ Mood (Mood's test) มีความเหมาะสมมากกว่าสถิติทดสอบของ Klotz (Klotz's test) เมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็กและขนาดกลาง และข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ซ้ายหรือเบ้ขวาที่มีความโด่งสูงกว่าปกติ ส่วนในกรณีที่ความแตกต่างของความแปรปรวนประชากรน้อย หรือตัวอย่างมีขนาดกลางที่มีขนาดเท่ากันและข้อมูลมีการแจกแจงเบ้ซ้ายหรือเบ้ขวาที่มีความโด่งต่ำกว่าปกติ หรือตัวอย่างมีขนาดใหญ่ และข้อมูลมีการแจกแจงปกติ หรือมีการแจกแจงเบ้ซ้ายหรือเบ้ขวาที่มีความโด่งต่ำกว่าปกติ สถิติทดสอบของ Klotz มีความเหมาะสมมากกว่าสถิติทดสอบของ Mood (วารณา เรียนสุทธิ, 2562)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสนใจศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบสำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวน 3 วิธี ได้แก่ สถิติทดสอบของ Levene สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบ คือ ความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 (probability of type I error) ความแกร่ง (robustness) และกำลังการทดสอบ (power of a test) ทั้งนี้ เพื่อหาสถิติทดสอบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวนกรณีที่ข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติและเป็นแนวทางในการเลือกใช้สถิติวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับข้อมูล

สถิติทดสอบสำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวน

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบสำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวน 3 วิธี ได้แก่ สถิติทดสอบของ Levene สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen โดยมีสมมุติฐานการทดสอบคือ

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$$

$$H_1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$$

อย่างน้อย 1 คู่ โดยที่ $i = j$ และ $i, j = 1, 2, 3$ (1)

สำหรับสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. สถิติทดสอบของ Levene (Levene's test)

Levene (1960) ได้เสนอสถิติทดสอบแบบอิงพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวนสำหรับประชากร k กลุ่ม ซึ่งสถิติทดสอบนี้จะมี ความแกร่งในกรณีที่ประชากรไม่มีการแจกแจงปกติ โดยค่าสถิติทดสอบของ Levene สามารถคำนวณได้ดังสมการ (2)

$$L = \frac{(n-k)}{(k-1)} \left(\frac{\sum_{i=1}^k n_i (\bar{z}_i - \bar{z})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} n_i (z_{ij} - \bar{z}_i)^2} \right) \quad (2)$$

$$\text{โดยที่ } z_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_i)^2, \quad \bar{z}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} z_{ij}}{n_i}, \quad \bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \bar{z}_i}{n}$$

เมื่อ

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

n_i คือ ขนาดตัวอย่างกลุ่มที่ i

$\bar{x}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยตัวอย่างกลุ่มที่ i

k คือ จำนวนกลุ่มของประชากร

สำหรับสถิติทดสอบของ Levene มีการแจกแจงใกล้เคียงกับการแจกแจงเอฟ (F distribution) โดยมีองศาเสรีเท่ากับ $k - 1$ และ $n - k$ ดังนั้น ในการทดสอบสมมุติฐานภาวะความเท่ากันของความแปรปรวน เราจะปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 ใน (1) เมื่อ $L \geq f_{\alpha; k-1, n-k}$ โดย α คือ ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ

2. สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe (Brown-Forsythe's test)

Brown and Forsythe (1974) สายชล สันสมบุรณ์ทอง, 2561) ได้เสนอสถิติทดสอบสำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวนที่ได้พัฒนามาจากสถิติทดสอบของ Levene โดยใช้ค่ามัธยฐานแทนค่าเฉลี่ยตัวอย่าง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe มีความแกร่งในกรณีที่ประชากรไม่มีการแจกแจงปกติ โดยค่าสถิติทดสอบของ Brown-Forsythe สามารถคำนวณได้ดังสมการ (3)

$$BF = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (\bar{z}_i - \bar{z})^2 / (k-1)}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} n_i (\bar{z}_{ij} - \bar{z})^2 / \sum_{i=1}^k (n_i - 1)} \quad (3)$$

โดยที่ $\bar{z}_i = |x_{ij} - \bar{x}_{ij}|$ และ $\bar{x}_{ij}$ คือ มัธยฐานของตัวอย่าง
กลุ่มที่ i

สำหรับการทดสอบสมมุติฐานภาวะความเท่ากัน
ของความแปรปรวน เราจะปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 ใน (1) เมื่อ
 $BF \geq f_{\alpha; k-1, n-k}$

3. สถิติทดสอบของ Fligner-Killeen (Fligner-Killeen's test)

สถิติทดสอบของ Fligner และ Killeen เป็นสถิติ
ทดสอบแบบไม่อิงพารามิเตอร์สำหรับทดสอบภาวะความเท่า
กันของความแปรปรวน ซึ่งเหมาะสำหรับข้อมูลที่ไม่มีการ
แจกแจงปกติ เป็นสถิติทดสอบที่แก้ไขโดย Conover *et al.*
(1981) โดยการใช้อันดับของ $|x_{ij} - \bar{x}_j|$ เมื่อ $\bar{x}_j$ คือ มัธยฐาน
ของประชากรที่ j ดังนั้น สถิติทดสอบนี้จึงถูกเรียกว่า สถิติ
ทดสอบของ Fligner-Killeen แบบมัธยฐาน (Niu, 2004) โดย
ค่าสถิติทดสอบของ Levene สามารถคำนวณได้ดังสมการ (4)

$$FK = \frac{\sum_{j=1}^k n_j (\bar{A}_j - \bar{a})^2}{V^2} \quad (4)$$

$$\text{โดยที่ } \bar{a} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_{N,i}$$

$$\text{และ } V^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (a_{N,i} - \bar{a})^2$$

เมื่อ

$\bar{A}_j$ คือ คะแนนเฉลี่ยสำหรับตัวอย่างอันดับที่ j

$\bar{a}$ คือ คะแนนเฉลี่ยรวม

สำหรับตัวอย่างขนาดใหญ่ สถิติทดสอบของ
Fligner-Killeen จะมีการแจกแจงแบบไคกำลังสอง (Chi-square
distribution) โดยมีองศาเสรีเท่ากับ $k-1$

เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ สถิติทดสอบ

สำหรับเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ
ของสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธีจะพิจารณาจากความสามารถในการ
ควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ความแกร่ง
และกำลังการทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 (Probability of type I error)

ความผิดพลาดแบบที่ 1 (type I error) คือ ความผิด
พลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมุติฐานหลัก (H_0) เมื่อสมมุติฐาน
หลักเป็นจริง โดยความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1
เขียนแทนด้วย α

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ จะใช้ค่าประมาณความน่าจะเป็น
ของความผิดพลาดแบบที่ 1 (empirical probability of
type I error, $\hat{\alpha}$) ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติ
ทดสอบ โดยค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาด
แบบที่ 1 จะคำนวณจากจำนวนครั้งในการปฏิเสธสมมุติฐาน
หลักเมื่อสมมุติฐานหลักเป็นจริงหารด้วยจำนวนครั้งในการทำ
ซ้ำ (10,000 รอบ) ถ้าสถิติทดสอบใดให้ค่าประมาณความน่า
จะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ตามเกณฑ์ของ Bradley
(Bradley, 1978) กล่าวคือ ให้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของ
ความผิดพลาดแบบที่ 1 อยู่ในช่วง [0.025, 0.075] ที่ระดับ
นัยสำคัญ 0.05 จะสรุปว่า สถิติทดสอบนั้นสามารถควบคุม
ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้

2. ความแกร่ง (robustness)

ความแกร่ง เป็นคุณสมบัติที่ตัวสถิติทดสอบใดๆ ไม่ไว
เมื่อข้อมูลมีการเบี่ยงเบนไปจากข้อสมมุติที่กำหนดหรือ
ยังคงสมบัติเดิม

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ จะใช้ค่าประมาณความน่าจะเป็น
ของความผิดพลาดแบบที่ 1 ($\hat{\alpha}$) ในการพิจารณาความ
แกร่งของสถิติทดสอบ ถ้าสถิติทดสอบใดให้ค่าประมาณ
ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ตามเกณฑ์
ของ Cochran (Cochran, 1952) กล่าวคือ ให้ค่าประมาณ
ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 อยู่ในช่วง [0.04,
0.06] ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จะสรุปว่า สถิติทดสอบนั้น
มีความแกร่ง

3. กำลังการทดสอบ (Power of a test)

กำลังการทดสอบ คือ ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธ
สมมุติฐานหลัก (H_0) เมื่อสมมุติฐานหลักไม่เป็นจริง เขียนแทน
ด้วย $1 - \beta$

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ จะใช้ค่าประมาณกำลังการ
ทดสอบ ($1 - \hat{\beta}$) ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติ
ทดสอบ โดยค่าประมาณกำลังการทดสอบจะคำนวณจาก
จำนวนครั้งในการปฏิเสธสมมุติฐานหลักเมื่อสมมุติฐานหลัก
เป็นเท็จหารด้วยจำนวนครั้งในการทำซ้ำ (10,000 รอบ) ถ้า
สถิติทดสอบใดสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิด
พลาดแบบที่ 1 ได้และให้ค่าประมาณกำลังการทดสอบสูงสุด
จะสรุปว่าสถิติทดสอบนั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุด

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงจำลองข้อมูล (simulation study) ด้วยโปรแกรม RStudio โดยผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตและขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ขอบเขตการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. กำหนดจำนวนกลุ่มประชากรที่ศึกษาเท่ากับ 3 กลุ่มและขนาดตัวอย่างแต่ละกลุ่มเท่ากันโดยกำหนดขนาดตัวอย่างครอบคลุมทั้งกรณีตัวอย่างขนาดเล็ก ขนาดปานกลาง และขนาดใหญ่ รายละเอียดดัง Table 1

Table 1 Sample sizes considered in this study.

Cases	Sample sizes (n_1, n_2, n_3)
Small	(5, 5, 5), (10, 10, 10)
Medium	(20, 20, 20), (30, 30, 30)
Large	(70, 70, 70), (100, 100, 100)

2. กำหนดความแตกต่างของความแปรปรวนโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ไม่มีศูนย์กลาง (non-centrality parameter, ϕ) เป็นเกณฑ์วัดความแตกต่างของความแปรปรวนของประชากร รายละเอียดดัง Table 2

Table 2 Population variance ratios based on ϕ .

Levels	Ratios	ϕ
Slightly ($0 < \phi < 1.5$)	8:12:16	1.155
Moderately ($1.5 \leq \phi < 3$)	8:16:24	2.309
Highly ($\phi \geq 3$)	8:24:40	4.619

3. กำหนดการแจกแจงของประชากรที่ศึกษา 4 การแจกแจง คือ การแจกแจงแกมมา (Gamma distribution) การแจกแจงไวบูล (Weibull distribution) การแจกแจงลอจิสติก (logistic distribution) และการแจกแจงเอกรูป (uniform distribution) รายละเอียดการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงต่างๆ เพื่อให้ข้อมูลมีความเบ้ความโด่งที่แตกต่างกัน แสดงดัง Table 3-6 และลักษณะการแจกแจงต่างๆ ภายใต้อพารามิเตอร์ที่ศึกษาแสดงดัง Figure 1-4

4. กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05

5. กำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบ คือ ความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ความแข็งแกร่ง และกำลังการทดสอบ

6. โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา คือ โปรแกรม R-Studio เวอร์ชัน 4.2.2

Table 3 Parameters of Gamma distribution.

(α, β)	$E(X)^*$	$Var(X)^{**}$
(2, 2)	4	8
(3, 2)	6	12
(4, 2)	8	16
(6, 2)	12	24
(10, 2)	20	40

* $E(X) = \alpha\beta$, ** $Var(X) = \alpha\beta^2$

Table 4 Parameters of Weibull distribution.

(α, β)	$E(X)^*$	$Var(X)^{**}$
(2, 6.105)	5.41	8
(2, 7.478)	6.63	12
(2, 8.635)	7.65	16
(2, 10.575)	9.37	24
(2, 13.652)	12.10	40

* $E(X) = \alpha\Gamma(1 + 1/\beta)$, ** $Var(X) = \alpha^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right)^2 \right]$

Table 5 Parameters of Logistic distribution.

(μ, s)	$E(X)^*$	$Var(X)^{**}$
(2, 1.559)	2	8
(2, 1.910)	2	12
(2, 2.205)	2	16
(2, 2.701)	2	24
(2, 3.487)	2	40

* $E(X) = \mu$, ** $Var(X) = \frac{s^2\pi^2}{3}$

Table 6 Parameters of Uniform distribution.

(a, b)	$E(X)^*$	$Var(X)^{**}$
(0, 9.798)	2	8
(0, 12)	2	12
(0, 13.856)	2	16
(0, 16.971)	2	24
(0, 21.909)	2	40

* $E(X) = \frac{a+b}{2}$, ** $Var(X) = \frac{1}{12}(b-a)^2$

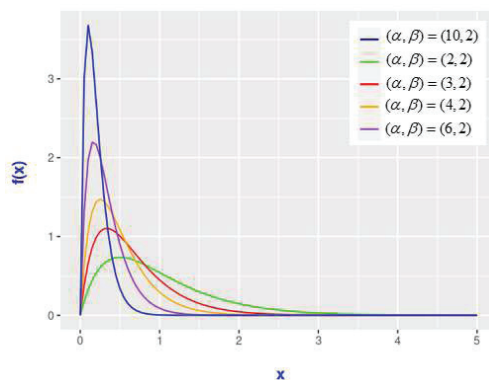


Figure 1 Gamma distributions under various parameters.

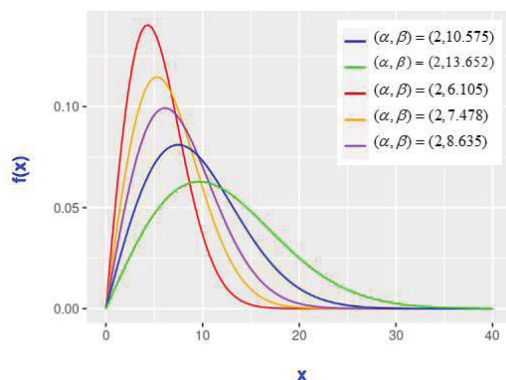


Figure 2 Weibull distributions under various parameters.

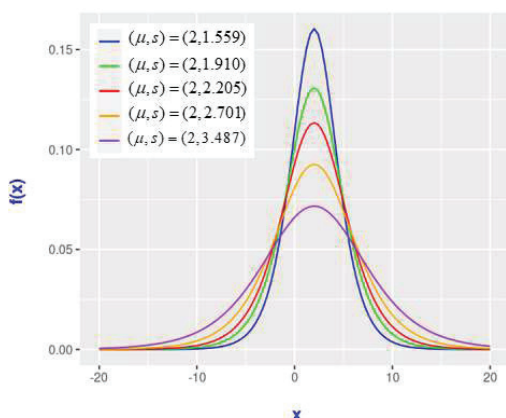


Figure 3 Logistic distributions under various parameters.

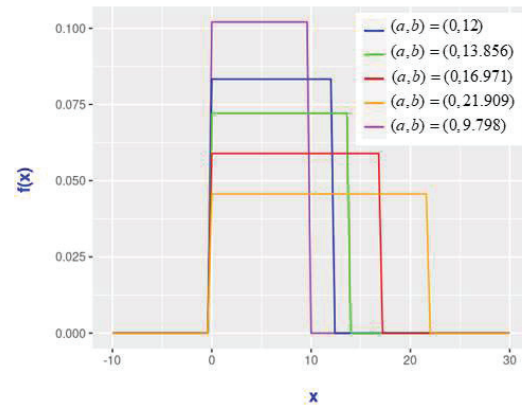


Figure 4 Uniform distributions under various parameters.

2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแยกเป็น 2 กรณี ดังนี้

2.1 การศึกษาความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1

ขั้นตอนการจำลองข้อมูลเพื่อศึกษาความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ของสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธีมีดังต่อไปนี้

1) กำหนดสมมติฐานสำหรับการทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวนดังนี้

$$H_0 : \sigma_1^2 = 8, \sigma_2^2 = 8, \sigma_3^2 = 8$$

$$H_1 : \sigma_i^2 \neq 8, \sigma_j^2 \text{ อย่างน้อย 1 คู่}$$

โดยที่ $i \neq j$ และ $i, j = 1, 2, 3$

โดยที่ $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$ คือ ความแปรปรวนของประชากรกลุ่มที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ

2) จำลองข้อมูลภายใต้สมมติฐานหลัก (H_0) ในข้อ 1. ที่เป็นจริง โดยกำหนดค่าของเลขสุ่มเริ่มต้นคือ 23456

3) คำนวณค่าสถิติทดสอบและ p -value ทั้ง 3 วิธี

4) เปรียบเทียบ p -value กับระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยถ้า p -value น้อยกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญ จะตัดสินใจปฏิเสธสมมติฐานหลัก และถ้า p -value มากกว่าระดับนัยสำคัญจะตัดสินใจยอมรับสมมติฐานหลัก

5) บันทึกจำนวนครั้งที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

6) ทำซ้ำข้อ 1-4 จำนวน 10,000 ครั้ง

7) คำนวณค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ของสถิติทดสอบแต่ละตัว

8) เปรียบเทียบค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ของสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธีกับเกณฑ์ของ Bradley ถ้าค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาด

แบบที่ 1 อยู่ในช่วง $[0.5 \alpha, 1.5 \alpha]$ หรือ $[0.025, 0.075]$ จะสรุปว่า สถิติทดสอบนั้นสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ และสถิติทดสอบที่ให้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 อยู่ในช่วง $[0.04, 0.06]$ ตามเกณฑ์ของ Cochran จะสรุปว่า สถิติทดสอบนั้นมีความแกร่ง

2.2 การศึกษากำลังการทดสอบ

ขั้นตอนการจำลองข้อมูลเพื่อศึกษากำลังการทดสอบของสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธีมีดังต่อไปนี้

1) กำหนดสมมุติฐานสำหรับการทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวน 3 กรณี ดัง Table 7

Table 7 Hypotheses for power study.

Cases	Hypotheses	ϕ
1	$H_0 : \sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$ $H_1 : \sigma_1^2 = 8, \sigma_2^2 = 12, \sigma_3^2 = 16$	1.155
2	$H_0 : \sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$ $H_1 : \sigma_1^2 = 8, \sigma_2^2 = 16, \sigma_3^2 = 24$	2.309
3	$H_0 : \sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2$ $H_1 : \sigma_1^2 = 8, \sigma_2^2 = 24, \sigma_3^2 = 40$	4.619

2) จำลองข้อมูลภายใต้สมมุติฐานทางเลือก (H_1) ในข้อ 1. ที่เป็นจริง โดยกำหนดค่าของเลขสุ่มเริ่มต้นคือ 23456

3) คำนวณค่าสถิติทดสอบและ p -value ทั้ง 3 วิธี

4) เปรียบเทียบ p -value กับระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยถ้า p -value น้อยกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญ จะตัดสินใจปฏิเสธสมมุติฐานหลัก และถ้า p -value มากกว่าระดับนัยสำคัญจะตัดสินใจยอมรับสมมุติฐานหลัก

5) บันทึกจำนวนครั้งที่ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก

6) ทำซ้ำข้อ 1-4 จำนวน 10,000 ครั้ง

7) คำนวณค่าประมาณกำลังการทดสอบ (empirical power) ของสถิติทดสอบแต่ละตัว

8) เปรียบเทียบค่าประมาณกำลังการทดสอบ เฉพาะสถิติทดสอบที่สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้เท่านั้น โดยสถิติทดสอบที่มีค่าประมาณกำลังการทดสอบสูงสุด จะสรุปว่าสถิติทดสอบนั้นเป็นสถิติทดสอบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยจำแนกออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. ผลการศึกษาความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1

ผลการศึกษาความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ของสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธี แสดงดัง Table 8-11 และ Figure 5

Table 8 Empirical probability of type I error when data follow Gamma distribution.

Sample sizes	Test statistics		
	L	BF	FK
(5, 5, 5)	0.1407	0.0087	0.0003
(10, 10, 10)	0.1363	0.0448*	0.0531*
(20, 20, 20)	0.1289	0.0419*	0.0556*
(30, 30, 30)	0.1244	0.0455*	0.0616*
(70, 70, 70)	0.1266	0.0489*	0.0724*
(100, 100, 100)	0.1247	0.0480*	0.0754

Note: L = Levene's test, BF = Brown-Forsythe's test,

FK = Fligner-Killeen's test, * Probability of type I error in control

กรณีประชากรทั้ง 3 กลุ่มมีการแจกแจงแกมมา ผลการศึกษาพบว่า สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้เกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีตัวอย่างขนาดเล็ก $((n_1, n_2, n_3) = (5, 5, 5))$ ส่วนสถิติทดสอบของ Levene ไม่สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ และให้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 สูงกว่าระดับนัยสำคัญของการทดสอบทุกกรณี อย่างไรก็ตาม สถิติทดสอบของ Levene มีแนวโน้มที่จะให้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น (Table 8)

Table 9 Empirical probability of type I error when data follow Weibull distribution.

Sample sizes (n_1, n_2, n_3)	Test statistics		
	L	BF	FK
(5, 5, 5)	0.0966	0.0038	0.0002
(10, 10, 10)	0.0816	0.0363*	0.0351*
(20, 20, 20)	0.0754	0.0376*	0.0369*
(30, 30, 30)	0.0725*	0.0398*	0.0405*
(70, 70, 70)	0.0686*	0.0460*	0.0483*
(100, 100, 100)	0.0685*	0.0483*	0.0510*

Note: L = Levene's test, BF = Brown-Forsythe's test, FK = Fligner-Killeen's test, * Probability of type I error in control

กรณีประชากรทั้ง 3 กลุ่มมีการแจกแจงไวบูล ผลการศึกษาพบว่า สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้เกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีตัวอย่างขนาดเล็ก ($(n_1, n_2, n_3) = (5, 5, 5)$) ส่วนสถิติทดสอบของ Levene ไม่สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ในกรณีตัวอย่างขนาดเล็ก ($(n_1, n_2, n_3) = (5, 5, 5)$ และ $(10, 10, 10)$) และขนาดกลาง ($(n_1, n_2, n_3) = (20, 20, 20)$) และให้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 สูงกว่าระดับนัยสำคัญของการทดสอบทุกกรณี อย่างไรก็ตาม สถิติทดสอบของ Levene มีแนวโน้มที่จะให้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ลดลงเมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับกรณีประชากรทั้ง 3 กลุ่มมีการแจกแจงแกมมา (Table 9)

กรณีประชากรทั้ง 3 กลุ่มมีการแจกแจง ลอจิสติก ผลการศึกษาพบว่า สถิติทดสอบของ Levene สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้เกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีตัวอย่างขนาดเล็ก ($(n_1, n_2, n_3) = (5, 5, 5)$) (Table 10)

Table 10 Empirical probability of type I error when data follow Logistic distribution.

Sample sizes (n_1, n_2, n_3)	Test statistics		
	L	BF	FK
(5, 5, 5)	0.0859	0.0048	0.0002
(10, 10, 10)	0.0690*	0.0342*	0.0339*
(20, 20, 20)	0.0595*	0.0392*	0.0386*
(30, 30, 30)	0.0531*	0.0404*	0.0398*
(70, 70, 70)	0.0532*	0.0472*	0.0450*
(100, 100, 100)	0.0530*	0.0494*	0.0471*

Note: L = Levene's test, BF = Brown-Forsythe's test, FK = Fligner-Killeen's test, * Probability of type I error in control

Table 11 Empirical probability of type I error when data follow Uniform distribution.

Sample sizes (n_1, n_2, n_3)	Tests		
	L	BF	FK
(5, 5, 5)	0.0906	0.0019	0.0002
(10, 10, 10)	0.0704*	0.0303*	0.0245
(20, 20, 20)	0.0573*	0.0288*	0.0265*
(30, 30, 30)	0.0548*	0.0316*	0.0294*
(70, 70, 70)	0.0496*	0.0368*	0.0398*
(100, 100, 100)	0.0521*	0.0436*	0.0440*

Note: L = Levene's test, BF = Brown-Forsythe's test, FK = Fligner-Killeen's test, * Probability of type I error in control

กรณีประชากรทั้ง 3 กลุ่มมีการแจกแจงเอกรูป ผลการศึกษาพบว่า สถิติทดสอบของ Levene และสถิติทดสอบของ Brown-Forsythe สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้เกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีตัวอย่างขนาดเล็ก ($(n_1, n_2, n_3) = (5, 5, 5)$) และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen ไม่สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ในกรณีตัวอย่าง (n_1, n_2, n_3) มีขนาด $(5, 5, 5)$ และ $(10, 10, 10)$ (Table 11)

2. ผลการศึกษาความแกร่ง

จาก Table 8-11 พบว่า กรณีประชากรทั้ง 3 กลุ่มมีการแจกแจงแกมมา สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe มีความแกร่งเกือบทุกสถานการณ์ ยกเว้นกรณีตัวอย่างขนาดเล็ก ($(n_1, n_2, n_3) = (5, 5, 5)$) สำหรับกรณีประชากรทั้ง 3 กลุ่มมีการแจกแจงไวบูลและการแจกแจงลอจิสติก สถิติ

ทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen มีความแกร่งเมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่ $((n_1, n_2, n_3) = (70, 70, 70)$ และ $(100, 100, 100)$) ส่วนสถิติทดสอบของ Levene มีความแกร่งในกรณีที่ประชากรทั้ง 3 กลุ่มมีการแจกแจงลอจิสติกและการแจกแจงเอกรูป และตัวอย่างแต่ละกลุ่มมีขนาด 20 ขึ้นไป

3. ผลการศึกษาการทำการทดสอบ

ผลการศึกษาการทำการทดสอบของสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธี แสดงดัง Table 12 และ Figure 6

กรณีประชากรทั้ง 3 กลุ่มมีการแจกแจงแกมมา ผลการศึกษาพบว่า สถิติทดสอบของ Fligner-Killeen มีประสิทธิภาพดีที่สุดเนื่องจากให้กำลังการทดสอบสูงสุดทุกกรณี

กรณีประชากรทั้ง 3 กลุ่มมีการแจกแจงไวบูล สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe ให้กำลังการทดสอบสูงสุดสำหรับทุกค่า ϕ เมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็ก สำหรับตัวอย่างขนาดกลางและขนาดใหญ่ สถิติทดสอบของ Levene ให้กำลัง

การทดสอบสูงสุดในการณ์ค่า ϕ เท่ากับ 1.155 และ 2.309 ส่วนกรณีค่า ϕ เท่ากับ 4.619 สถิติทดสอบของ Levene ให้กำลังการทดสอบสูงสุดสำหรับตัวอย่างขนาดกลาง และเมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่ สถิติทดสอบทั้ง 3 วิธี ให้กำลังการทดสอบสูงไม่แตกต่างกัน

กรณีประชากรทั้ง 3 กลุ่มมีการแจกแจงลอจิสติก สถิติทดสอบของ Levene มีประสิทธิภาพดีที่สุดเนื่องจากให้กำลังการทดสอบสูงสุดทุกกรณี รองลงมาคือ สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen ตามลำดับ

กรณีประชากรทั้ง 3 กลุ่มมีการแจกแจงเอกรูป สถิติทดสอบของ Levene ให้กำลังการทดสอบสูงสุดเกือบทุกกรณี ยกเว้นกรณีตัวอย่างขนาดใหญ่และค่า ϕ เท่ากับ 1.155 และ 2.309 สถิติทดสอบของ Fligner-Killeen ให้กำลังการทดสอบสูงสุด และสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธี ให้กำลังการทดสอบสูงไม่แตกต่างกันเมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่และค่า ϕ เท่ากับ 4.619

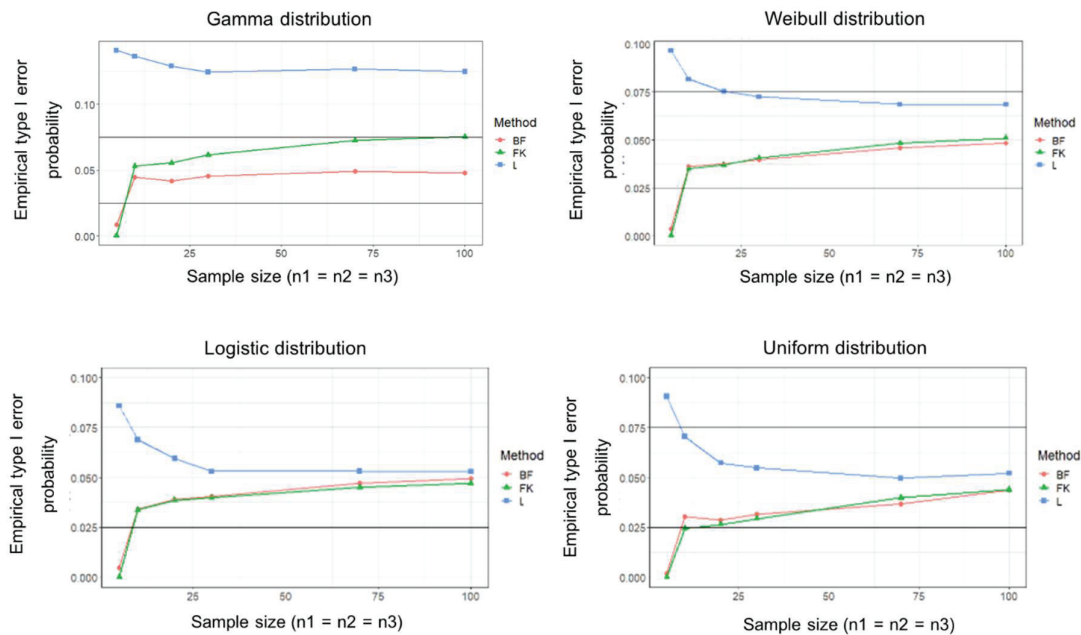


Figure 5 Empirical probability of type I error of three test statistics when data follow Gamma, Weibull, Logistic, and Uniform distribution.

Table 12 Empirical power of Levene's test, Brown-Forsythe's test and Fligner-Killeen's test.

Sample Sizes	ϕ	Gamma distribution			Weibull distribution			Logistic distribution			Uniform distribution		
		L	BF	FK	L	BF	FK	L	BF	FK	L	BF	FK
(5, 5, 5)	1.155	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2.309	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4.619	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(10, 10, 10)	1.155	-	0.0852	0.0917*	-	0.0800*	0.0756	0.1269*	0.0725	0.0697	0.1782*	0.0893	0.0785
	2.309	-	0.1568	0.1626*	-	0.1496*	0.1390	0.2106*	0.1311	0.1242	0.3380*	0.1866	0.1699
	4.619	-	0.2918	0.3035*	-	0.285*	0.2723	0.3716*	0.2452	0.2362	0.5950*	0.3797	0.3461
(20, 20, 20)	1.155	-	0.1681	0.1894*	-	0.1608*	0.1554	0.1834*	0.1402	0.1354	0.3244*	0.2171	0.2344
	2.309	-	0.3767	0.3960*	-	0.3731*	0.3586	0.3853*	0.3148	0.2964	0.6677*	0.5343	0.5411
	4.619	-	0.7059	0.7149*	-	0.6945*	0.6821	0.6990*	0.6248	0.6041	0.9378*	0.8833	0.8688
(30, 30, 30)	1.155	-	0.2628	0.2964*	0.3384*	0.2553	0.2519	0.2592*	0.2209	0.2058	0.4746*	0.3812	0.4420
	2.309	-	0.5800	0.6093*	0.6686*	0.5829	0.5672	0.5597*	0.5099	0.4859	0.8664*	0.8040	0.8338
	4.619	-	0.9064	0.9150*	0.9435*	0.9138	0.9007	0.8820*	0.8530	0.8345	0.9955*	0.9909	0.9884
(70, 70, 70)	1.155	-	0.5799	0.6482*	0.6724*	0.6151	0.6092	0.5576*	0.5374	0.5083	0.8750	0.8501	0.9344*
	2.309	-	0.9458	0.9610*	0.9711*	0.9610	0.9544	0.9295*	0.9242	0.9105	0.9990	0.9987	0.9997*
	4.619	-	0.9996	0.9997*	0.9999	0.9999	0.9998	0.9995*	0.9994	0.9987	1.0000	1.0000	1.0000
(100, 100, 100)	1.155	-	0.7571	0.8190*	0.8289*	0.7973	0.7903	0.7279*	0.7168	0.6959	0.9676	0.9622	0.9914*
	2.309	-	0.9906	0.9948*	0.9971*	0.9956	0.9949	0.9872*	0.9861	0.9811	1.0000	1.0000	1.0000
	4.619	-	0.9999	1.0000*	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Note: L = Levene's test, BF = Brown-Forsythe's test, FK = Fligner-Killeen's test, - Probability of type I error not in control, * Highest power

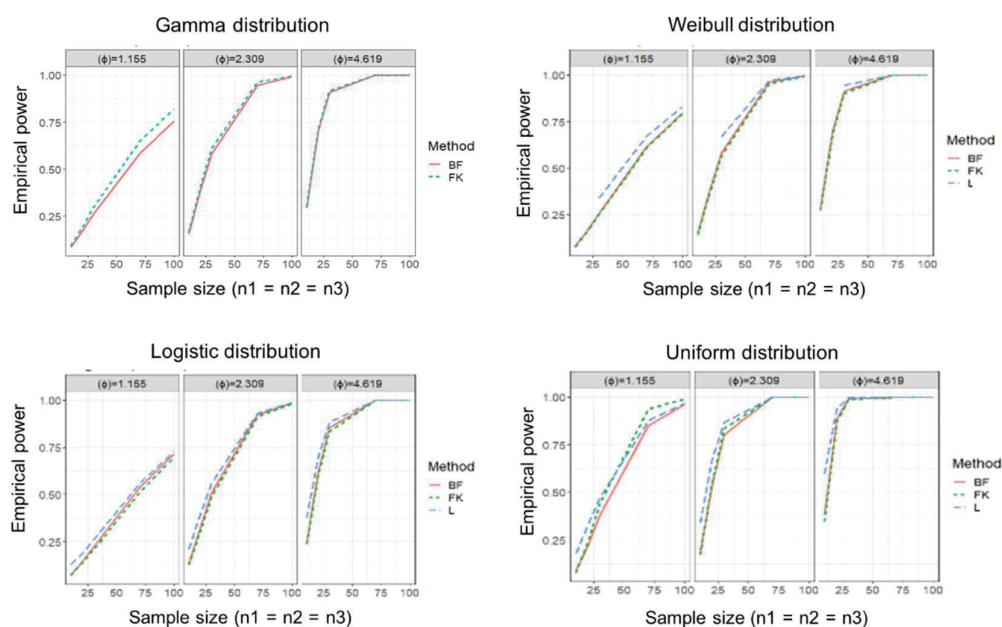


Figure 6 Empirical power of three test statistics when data follow Gamma, Weibull, Logistic, and Uniform distribution.

นอกจากนี้ จาก Figure 6 แสดงให้เห็นว่า กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มเพิ่มขึ้นและเมื่ออัตราส่วนความแปรปรวนของประชากรทั้ง 3 กลุ่มเพิ่มขึ้น (ค่า ϕ เพิ่มขึ้น)

สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบสำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวน 3 วิธี คือ สถิติทดสอบของ Levene สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-killeen โดยพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ความแกร่ง และกำลังการทดสอบ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 และความแกร่ง

จากการศึกษาความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ตามเกณฑ์ของ Bradley (ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 อยู่ในช่วง $[0.025, 0.075]$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05) และความแกร่งตามเกณฑ์ของ Cochran (ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 อยู่ในช่วง $[0.04, 0.06]$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05) ผลการศึกษาพบว่า สถิติทดสอบของ Levene มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในกรณีที่ประชากรมีการแจกแจงแกมมาที่มีลักษณะเบ้ขวาและโด่งต่ำ ($\alpha, \beta = (2, 2)$) เนื่องจากไม่สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ตามเกณฑ์ของ Bradley และให้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 สูงกว่าระดับนัยสำคัญของการทดสอบทุกกรณี อย่างไรก็ตาม สถิติทดสอบของ Levene สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ดีขึ้นเมื่อประชากรมีการแจกแจงไวบูล (มีความเบ้น้อยกว่าการแจกแจงแกมมา) และตัวอย่างมีขนาดใหญ่ และสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ดีและมีความแกร่งเมื่อประชากรมีลักษณะการแจกแจงที่สมมาตรมากขึ้น (การแจกแจงลอจิสติกและการแจกแจงเอกรูป) ซึ่งผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของดวงพร หัซชะวณิช (2557) ที่พบว่า สถิติทดสอบของ Levene ไม่ใช่สถิติทดสอบที่ดีที่สุด ยังมีสถิติทดสอบอื่นๆ ที่ให้ผลการทดสอบดีกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การแจกแจงของข้อมูล

สำหรับสถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen จากผลการศึกษาพบว่า สถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้สำหรับการแจกแจงที่ศึกษา

และในเกือบทุกสถานการณ์ ยกเว้นกรณีตัวอย่างขนาดเล็ก

2. กำลังการทดสอบ

จากการศึกษากำลังการทดสอบของสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธี โดยพิจารณาเฉพาะสถิติทดสอบที่สามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ตามเกณฑ์ของ Bradley ได้ ผลการศึกษาพบว่า กรณีประชากรมีการแจกแจงลอจิสติกและการแจกแจงเอกรูปสถิติทดสอบของ Levene มีประสิทธิภาพดีกว่าสถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen ในเกือบทุกสถานการณ์ เนื่องจากให้ค่าประมาณกำลังการทดสอบที่สูงกว่า ส่วนกรณีประชากรมีการแจกแจงไวบูล สถิติทดสอบของ Levene จะมีประสิทธิภาพดีกว่าสถิติทดสอบของ Brown-Forsythe และสถิติทดสอบของ Fligner-Killeen เมื่อตัวอย่างแต่ละกลุ่มมีขนาดตั้งแต่ 30 ขึ้นไป ซึ่งผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Conover *et al.* (1981) Lim & Loh (1996) และ Wang *et al.* (2017) ที่พบว่า ถึงแม้ว่าสถิติทดสอบของ Brown-Forsythe จะสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้เกือบทุกลักษณะการแจกแจงของข้อมูลแต่สถิติทดสอบวิธีนี้มีแนวโน้มให้ค่ากำลังการทดสอบต่ำ สำหรับกรณีประชากรมีการแจกแจงแกมมา สถิติทดสอบของ Fligner-Killeen มีประสิทธิภาพดีกว่าสถิติทดสอบตัวอื่นๆ ในทุกสถานการณ์ ซึ่งผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Conover *et al.* (1981) ที่พบว่า สถิติทดสอบของ Fligner-Killeen มีความแกร่งและกำลังการทดสอบสูงเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแกมมาที่มีพารามิเตอร์ $\beta = 2$

3. ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตัวอย่าง ค่าพารามิเตอร์ไม่มีศูนย์กลาง และประสิทธิภาพของสถิติทดสอบ

สำหรับสถิติทดสอบของ Levene ผลการศึกษาพบว่า สถิติทดสอบของ Levene มักจะให้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 สูงกว่าระดับนัยสำคัญของการทดสอบเสมอ แต่เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น สถิติทดสอบของ Levene มีแนวโน้มที่จะให้ค่าประมาณความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 ลดลงและเพิ่มความสามารถในการควบคุมความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มขนาดตัวอย่าง ส่งผลให้กำลังการทดสอบของสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธีสูงขึ้น และเมื่อค่าพารามิเตอร์ไม่มีศูนย์กลาง (ϕ) เพิ่มขึ้นหรืออัตราส่วนความแปรปรวนของประชากรทั้ง 3 กลุ่มเพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังการทดสอบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น การเพิ่มขนาดตัวอย่างและค่าพารามิเตอร์ไม่มีศูนย์กลางจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของสถิติทดสอบทั้ง 3 วิธีสูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งต่อไป สามารถขยายขอบเขตการศึกษาประสิทธิภาพของสถิติทดสอบสำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวนของประชากรให้กว้างขึ้นโดยอาจศึกษาการแจกแจงที่นำเสนอในบทความนี้ที่มีค่าพารามิเตอร์อื่นๆ แตกต่างจากที่ผู้วิจัยได้ศึกษาไว้หรือใช้การแจกแจงอื่นๆ ที่มีลักษณะความเบ้ และความโค้งแตกต่างกัน เช่น การแจกแจงพาเรโต (Pareto distribution) การแจกแจงเลขชี้กำลังคู่ (double exponential distribution) การแจกแจงบีตา (beta distribution) เป็นต้น และควรเพิ่มสถิติทดสอบวิธีอื่นๆ ที่นอกเหนือจากที่ได้ศึกษาไปแล้ว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ปีการศึกษา 2565

เอกสารอ้างอิง

- ดวงพร หัซชะวนิช. (2557). การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 1 และอำนาจการทดสอบของสถิติทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน. *Journal of Science Ladkrabang*, 23(1), 17-28.
- วรางคณา เรียนสุทธิ. (2561). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบอิงพารามิเตอร์ สำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวน. *Naresuan University Journal: Science and Technology (NUJST)*, 26(3), 170-180.
- วรางคณา เรียนสุทธิ. (2562). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถิติทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์ สำหรับทดสอบภาวะความเท่ากันของความแปรปรวน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 21(2), 163-170.
- สายชล สันสมบุญทอง. (2561). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความเท่ากันของความแปรปรวนประชากร 3 กลุ่ม ภายใต้การแจกแจงที่มีความโด่งมากและความเบ้มาก. *Thai Science and Technology Journal*, 721-738.

- Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974). Robust tests for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association*, 69(346), 364-367. <https://doi.org/10.2307/2285659>
- Bradley, J. V. (1978). Robustness?. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 31(2), 144-152. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8317.1978.tb00581.x>
- Cochran, W. G. (1952). The C^2 test of goodness of fit. *The Annals of Mathematical Statistics*, 23(3), 315-345. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177729380>
- Conover, W. J., Johnson, M. E., & Johnson, M. M. (1981). A comparative study of tests for homogeneity of variances, with applications to the outer continental shelf bidding data. *Technometrics*, 23(4), 351-361. <https://doi.org/10.1080/00401706.1981.10487680>
- Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. *Contributions to Probability and Statistics*, 278-292.
- Lim, T. S., & Loh, W. Y. (1996). A comparison of tests of equality of variances. *Computational Statistics and Data Analysis*, 22, 287-301. doi:10.1016/0167-9473(95)000 54-2
- Niu, X. (2004). *Statistical procedures for testing homogeneity of water quality parameters*. Department of Statistics Florida State University Tallahassee.
- Wang, Y., de Gil, P.R., Chen, Y. Kromrey, J. D., Kim, E. S., Pham, T., Nguyen, D., & Romano, J. L. (2017). Comparing the performance of approaches for testing the homogeneity of variance assumption in one-factor ANOVA models. *Educational and Psychological Measurement*, 77(2), 305-329. <https://doi.org/10.1177/0013164416645162>

การพยากรณ์จำนวนแรงงานต่างด้าวในประเทศไทย โดยใช้วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง

Forecasting the number of foreign workers in Thailand by exponential smoothing method

ธนายุทธ ช่างเรือนงาม¹, สุรัสวดี นางแล^{1*}, ธัญวรัญญ์ บุตรสาร¹ และ ศิวรี สุดสนธิ¹

Thanayut Changruengnam¹, Suruswadee Nanglae^{1*}, Thanwarat Butsan¹ and Sivaree Sudsanit¹

Received: 6 April 2023; Revised: 30 May 2023; Accepted: 19 June 2023

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคนิคและเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์โดยใช้วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง (exponential smoothing method) โดยประกอบไปด้วย 3 เทคนิค ได้แก่ เทคนิค Simple Exponential Smoothing, เทคนิค Trend Method และเทคนิค Holt-Winters' Seasonal Method โดยใช้ข้อมูลจากข้อมูลจำนวนคนต่างด้าวที่ได้รับอนุญาตทำงานทั่วราชอาณาจักรจากฐานข้อมูลสถิติของสำนักบริหารแรงงานต่างด้าว กรมการจัดหางาน ซึ่งแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2007 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2020 สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ (training data) ส่วนชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคม ปี 2021 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2021 ใช้สำหรับการตรวจสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ (testing data) จากผลการศึกษาพบว่า วิธี Damped Holt-Winters' Multiplicative Method เป็นวิธีที่มีความแม่นยำในการพยากรณ์มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าเกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) น้อยที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 196.760 และ MAPE เท่ากับ 7.769% รองลงมาได้แก่วิธี Damped Holt-Winter's Additive Method โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 213.832 และ MAPE เท่ากับ 8.596% ซึ่งทั้งสองวิธีให้ผลการพยากรณ์ที่ค่อนข้างแม่นยำ (MAPE < 10%)

คำสำคัญ: การพยากรณ์, แรงงานต่างด้าว, วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง, อนุกรมเวลา

Abstract

The objective of this research was to study the technique and compare forecasting methods using the three techniques of the exponential smoothing method. - simple exponential smoothing, the trend method, and Holt-Winter's seasonal method. This study collected data on the number of foreigners permitted to work throughout the Kingdom of Thailand from the statistical database of the Bureau of Foreign Workers Administration, Department of Employment. The data were divided into two sets; the first set, from January 2007 to December 2020, was used for the predictive model (Training Data). The second set of data from January 2021 to December 2021 was used for checking the accuracy of the forecast (Testing Data). The results showed that the Damped Holt-Winters' Multiplicative Method was the most accurate method for forecasting because it gives the smallest RMSE and MAPE values, with RMSE of 196.760 and MAPE of 7.769%, followed by the Damped Holt-Winter's Additive Method, with RMSE of 213.832 and MAPE of 8.596%. Both methods yielded quite accurate forecasting results.

Keywords: Forecasting, foreign workers, exponential smoothing method, time series

¹ โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 57100

* ผู้ประสานงาน อีเมล: SNanglae@gmail.com

¹ Mathematics and Computing Science Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Thailand 57100

* Corresponding author: E-mail: SNanglae@gmail.com

Introduction

Nowadays, foreign workers and laborers play an important role in the Thai economy. This is due to the past economic conditions in Thailand that have grown quite high. According to the data on the number of foreigners allowed to work in Thailand (August 2022), there are a total of 2,408,716 people divided into general types of workers, 2,167,937 people, representing 90 percent, skilled workers, and others of 240,779 people, representing 10 percent. (Office of Foreign Workers Administration, 2022)

Based on the past and present data, it is found that the number of aliens tends to increase in the future. Especially general types of workers that consist of 1) workers permitted to work under the MOU, who are migrants of Myanmar, Laos, and Cambodian nationality under the agreement between the Thai government and their origin governments, 2) foreign workers according to cabinet resolutions, and 3) foreign workers who do not stay in the country and work occasionally. Employing these foreign workers to replace positions that Thai workers do not usually do or must pay high wages with more working conditions, specifically, the 3D tasks are those that are difficult, dangerous, and dirty. Although the entry of foreign workers will be useful in replacing the shortage of domestic workers. But it cannot be denied that this migration of foreign workers also has a negative impact on the economy and society such as crime, public health, the environment, illegal immigration, etc. (Thailand Development Research Institute, 2011) These problems affect the management of foreign workers by the relevant authorities. In this study, the researcher wants to study the number of foreign workers in the past to create a suitable predictive model for forecasting the number of foreign workers in Thailand. Although there is a tendency to increase, there are still seasonal variations together with the factors of the spread of COVID-19 and disease control policies since 2020 that affect the number of foreign workers (Tarat, 2021). Being aware of the number of foreign workers in Thailand will have a positive effect on the foreign worker management plan of relevant sectors.

Therefore, the researcher is interested in studying techniques for forecasting the number of foreign workers in Thailand. The purpose of this study was to study the technique and to compare forecasting methods using the

exponential smoothing method which is an easy, convenient, and fast way to see patterns of seasonal trends. The three techniques used were Simple Exponential Smoothing (SES), Trend Method, which consisted of two subtypes, Holt's Linear Trend Method and Damped Trend Methods, and the last technique was Holt-Winters' Seasonal Method, which consists of four sub-modules: Holt-Winters' Additive Method, Holt-Winters' Multiplicative Method, Damped Holt-Winters' Additive Method, and Damped Holt-Winters' Multiplicative Method.

Research Methodology

This study collected data on the number of foreigners permitted to work throughout the Kingdom from January 2007 to December 2021 from the statistical database of the Bureau of Foreign Workers Administration, Department of Employment, Ministry of Labor, or website www.doe.go.th and created a forecast model by using the R program which has the operation process as follows.

1. Data management

The researcher divided the data into two sets, the first set from January 2007 to December 2020 was 168 values for predictive model construction using the exponential smoothing method (Training Data). As for the second set of data from January 2021 to December 2021, 12 values are used for checking the accuracy of the forecast (testing data).

2. Statistical tests to check stationarity

The researcher used Augmented Dickey-Fuller (ADF) test to test whether a given time series data is stationary or not. If p-value less than significant level, the time series data will be stationary.

3. Creating a forecast model

The researcher constructed a predictive model using the exponential smoothing method which consists of 3 techniques, namely Simple Exponential Smoothing (SES), Trend Method, and Holt-Winter's Seasonal Method (Hyndman & Athanasopoulos, 2018). The variables are defined as follows:

$\hat{Y}_{t+1}$ = Predicted value to forecast at the time $t + 1$

Y_t = Time series data values at the time t

α = A coefficient of exponential smoothing,
 $0 < \alpha < 1$

β = A coefficient of smoothing parameter for the
trend, $0 < \beta < 1$

γ = A coefficient of smoothing parameter for the
seasonality, $0 < \gamma < 1$

The forecasting model for each technique is
detailed below.

3.1 Simple Exponential Smoothing (SES)

Simple Exponential Smoothing (SES) is one
of the simplest and most popular smoothing methods
suitable for forecasting data without obvious trends or
seasonal patterns with the following equation:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = \ell_t$$

Smoothing Equation:

$$\ell_t = \alpha \hat{Y}_t + (1 - \alpha) \ell_{t-1}$$

where ℓ_t = Estimated smoothing of data at the
time t

3.2 Trend Method

1) Holt's Linear Trend Method

Holt's Linear Trend Method is a smoothing
method that considers linear trends without seasonal
components, using Exponential Smoothing techniques,
computed with mean and trend values with the following
equations:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = \ell_t + h b_t$$

Level Equation:

$$\ell_t = \alpha \hat{Y}_t + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1})(1 - \beta) b_{t-1}$$

where h = Period of forecasting

2) Damped Trend Methods

Damped Trend Methods are smoothing methods
that consider a linear trend and do not have seasonal
components, but have a slower rate of change, either
rising or falling, with an equation component as follows:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = \ell_t + (\phi + \phi^2 + \dots + \phi^h) b_t$$

Level Equation:

$$\ell_t = \alpha \hat{Y}_t + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1})(1 - \beta) \phi b_{t-1}$$

where ϕ = Coefficient of damped smoothing
($0 < \phi < 1$)

b_t = Estimated slope of data at the time t

h = Period of forecasting

3.3 Holt-Winters' Seasonal Method

1) Holt-Winters' Additive Method

The Holt-Winters' Additive Method is used when
seasonal variation is relatively constant throughout the
time series with the following components:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = \ell_t + h b_t + S_{t+h-m(k+1)}$$

Level Equation:

$$\ell_t = \alpha(Y_t - S_{t-m}) + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1})(1 - \beta) b_{t-1}$$

Seasonal Equation:

$$s_t = \gamma(Y_t - \ell_{t-1} - b_{t-1}) + (1 - \gamma)S_{t-m}$$

2) Holt-Winters' Multiplicative Method

The Holt-Winters' Multiplicative Method is used
when seasonal variations change proportionally at the time
series level with the following components:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = (\ell_t + h b_t) S_{t+h-m(k+1)}$$

Level Equation:

$$\ell_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-m}} + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1})(1 - \beta) b_{t-1}$$

Seasonal Equation:

$$s_t = \gamma \frac{Y_t}{(\ell_{t-1} + b_{t-1})} + (1 - \gamma) s_{t-m}$$

3) Damped Holt-Winter's Additive Method

Damped Holt-Winters' Method is a Holt-Winter technique in which damping is added as an additive or multiplicative with the components according to the equation of the Additive form as follows:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = \ell_t + (\phi + \phi^2 + \dots + \phi^h)b_t + S_{t+h-m(k+1)}$$

Level Equation:

$$\ell_t = \alpha(Y_t + S_{t-m}) + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + \phi b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1}) + (1 - \beta)\phi b_{t-1}$$

Seasonal Equation:

$$s_t = \gamma(Y_t - \ell_{t-1} - \phi b_{t-1}) + (1 - \gamma)S_{t-m}$$

4) Damped Holt-Winter's Multiplicative Method

Damped Holt-Winters' Method has components according to the equation of the model Multiplicative as follows:

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = (\ell_t + (\phi + \phi^2 + \dots + \phi^h)b_t)S_{t+h-m(k+1)}$$

Level Equation:

$$\ell_t = \alpha \frac{Y_t}{s_{t-m}} + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + \phi b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = \beta(\ell_t - \ell_{t-1}) + (1 - \beta)\phi b_{t-1}$$

Seasonal Equation:

$$s_t = \gamma \frac{Y_t}{(\ell_{t-1} + \phi b_{t-1})} + (1 - \gamma)s_{t-m}$$

Where s_t = Seasonal estimates of data at the time t

$m = 12$ for monthly data

$k = \text{Integer of } \frac{h-1}{m}$

4. Model selection

The researcher used Akaike's Information Criterion (AIC), The corrected Akaike criterion ($AICC$) and Bayesian Information Criterion (BIC) for selection of time series models (Emiliano *et al.*, 2014). The model with the least AIC , $AICC$, and BIC values will be selected.

5. Forecasting assessment

The researcher has examined the accuracy of forecasting by 2 criteria as follows.

1) Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$$

2) Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right|}{n} \times 100$$

where Y_i = Observed value or real value by $i = 1, 2, \dots, n$

$\hat{Y}_i$ = Predicted value by $i = 1, 2, \dots, n$

n = Total data

If the MAPE value is less than 10%, the forecast is quite accurate. If the MAPE value is between 10% and 20% then the forecast is good. If the MAPE value is between 20% and 50%, it is considered that the forecast is fair and if the MAPE value is more than 50%, it is considered that the forecast is inaccurate (Ungpansattawong, 2012).

Results

From the data on the number of foreigners permitted to work throughout Thailand from January 2007 to December 2021, it can be shown in the form of time series data, as shown in Figure 1. Considering the graph, it was found that the number of foreigners allowed to work in Thailand tended to increase, and there may be seasonal variation in the time series because the graph looks up and down repeatedly. The Augmented Dickey-Fuller (ADF) test was used to determine stationarity, it was found that the Dickey-Fuller statistic value is -3.328 (p-value = 0.0686). Therefore, at a 0.10 significant level, the time series data is stationary. The result of each modeling method as shown in Table 1.

Table 1 shows the results of the predictive modeling of each technique. The Simple Exponential Smoothing technique has only one initial value of the smoothing estimate, which is ℓ_0 , and there is only one

coefficient from the smoothing equation is α , ignoring the influence of trends and seasons, where α values that make AIC , $AICc$, BIC the lowest are $\alpha = 0.9999$.

The results of predictive modeling by Trend Method that is interested in the influence of trends, there will be 2 starting values, namely the initial value of the smoothed estimate (ℓ_0) and the initial value of the slope estimate (b_0), and there are 2 main coefficients: α and β ,

where α is the coefficient from the level equation and β are the coefficients from the trend equation which Holt's Linear Trend Method gives the α and β values that make the lowest AIC , $AICc$, BIC values are $\alpha = 0.9928$ and $\alpha = 0.0001$, while the Damped Trend Method will have the damped smoothing coefficient (ϕ) increased by α , β and ϕ , making the lowest AIC , $AICc$, BIC values $\alpha = 0.9919$, $\beta = 0.0001$ and $\phi = 0.9460$.

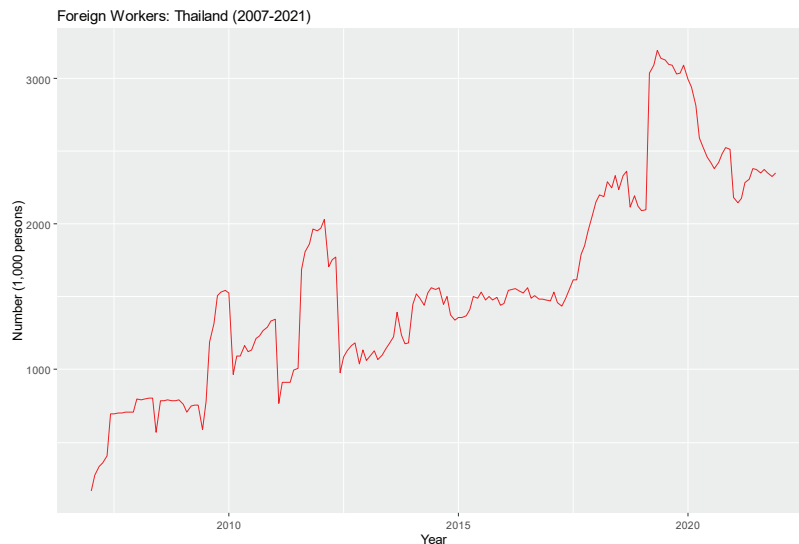


Figure 1 Data on the number of foreigners permitted to work throughout Thailand (unit: 1,000 people) from January 2007 to December 2021.

Table 1 Modeling results by exponential smoothing method.

Value	Simple Exponential Smoothing	Trend Method		Holt-Winters' Seasonal Method			
		Holt's Linear	Damped	Additive Method	Multiplicative Method	Damped Method	
						Additive	Multiplicative
Initial Value							
ℓ_0	168.277	154.761	154.571	443.525	442.405	438.805	423.420
b_0	-	14.036	65.986	18.748	20.652	28.289	29.994
$S_{0,1}$	-	-	-	23.875	1.004	24.041	1.020
$S_{0,2}$	-	-	-	25.143	1.038	25.801	1.015
$S_{0,3}$	-	-	-	39.347	1.010	37.767	1.017
$S_{0,4}$	-	-	-	59.781	1.027	60.237	1.024
$S_{0,5}$	-	-	-	28.014	1.039	30.079	0.995
$S_{0,6}$	-	-	-	-39.503	1.009	-46.203	0.974
$S_{0,7}$	-	-	-	-97.684	0.978	-97.271	0.966
$S_{0,8}$	-	-	-	-5.546	0.992	-4.193	1.005

Table 1 Modeling results by exponential smoothing method (cont.).

Value	Simple Exponential Smoothing	Trend Method		Holt-Winters' Seasonal Method			
		Holt's Linear	Damped	Additive Method	Multiplicative Method	Damped Method	
						Additive	Multiplicative
$S_{0,9}$	-	-	-	-18.304	0.973	-17.447	0.994
$S_{0,10}$	-	-	-	0.981	0.979	1.348	1.007
$S_{0,11}$	-	-	-	-42.198	0.948	-45.827	0.974
$S_{0,12}$	-	-	-	26.094	1.002	31.637	1.011
Coefficient Value							
α	0.9999	0.9928	0.9919	0.9891	0.7525	0.9878	0.9866
β	-	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0221
γ	-	-	-	0.0001	0.0001	0.0003	0.0002
ϕ	-	-	0.9460	-	-	0.9800	0.9800
Model selection							
AIC	2556.861	2559.456	2561.346	2577.528	2641.696	2579.408	2652.437
$AICc$	2557.008	2559.826	2561.868	2581.608	2645.776	2583.998	2657.028
BIC	2566.233	2575.075	2580.090	2630.636	2694.804	2635.639	2708.668

The result of predictive modeling by technique Holt-Winters' Seasonal Method is a technique that focuses on both trends and seasons. Therefore, in addition to the initial value of the smoothed estimate (ℓ_0) and the initial value of the slope estimate (b_0), there are also 12 default values of the season or seasonal indices ($S_{0,1}$, $S_{0,2}$, ..., $S_{0,12}$). According to the nature of the monthly time series data, there are 3 main coefficients: α is the coefficient from the smoothed level equation, β is the coefficient from the smoothed equation of the trend (Trend Equation) and γ is the coefficient from the smoothed equation of the season (Seasonal Equations).

Holt-Winters' Additive Method provides the value for α , β and γ that make AIC , $AICc$, BIC the lowest as follow; $\alpha = 0.9891$, $\beta = 0.0002$ and $\gamma = 0.0001$.

Holt-Winters' Multiplicative Method provides the value for α , β and γ that make AIC , $AICc$, BIC the lowest as follow; $\alpha = 0.7525$, $\beta = 0.0001$ and $\gamma = 0.0001$.

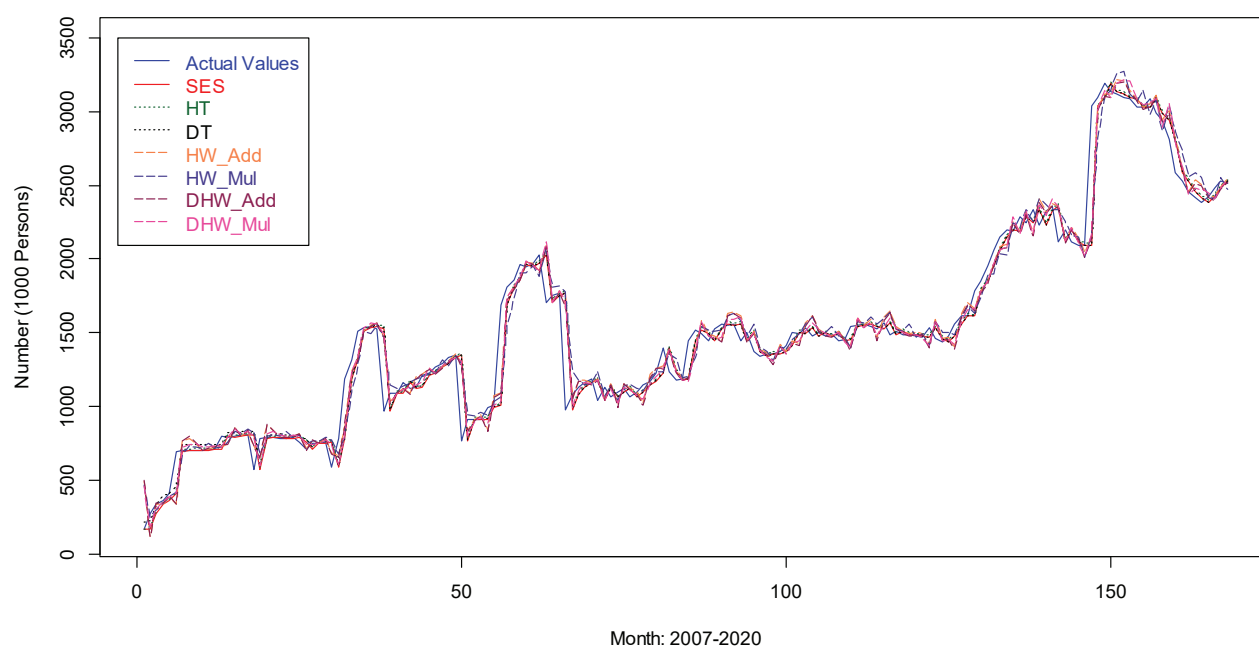
For the last method, the Damped Holt-Winters' Method, which is both an Additive Method and a Multiplicative Method, the Damped Smoothing Coefficient (ϕ) is added. Damped Holt-Winters' Additive Method has The values of α , β , γ and ϕ that result in the minimum values of AIC , $AICc$, BIC are $\alpha = 0.9978$, $\beta = 0.0001$, $\gamma = 0.0003$ and $\phi = 0.9800$. The Damped Holt-Winters' Multiplicative Method has the values of α , β , γ and ϕ that result in the lowest values of AIC , $AICc$, BIC have minimum values of $\alpha = 0.9866$, $\beta = 0.0221$, $\gamma = 0.0002$ and $\phi = 0.9800$.

Table 2 The result of forecasting assessment.

Exponential Smoothing Techniques	Training Data		Testing Data	
	RMSE	MAPE (%)	RMSE	MAPE (%)
Simple Exponential Smoothing	152.913	6.410	227.715	9.391
Holt's Linear Trend Method	152.274	6.322	308.644	13.311
Damped Trend Method	152.225	6.528	227.850	9.397
Holt-Winter's Additive Method	149.612	7.918	319.368	13.533
Holt-Winter's Multiplicative Method	159.429	7.988	337.302	14.185
Damped Holt-Winter's Additive Method	149.558	7.947	213.832	8.596
Damped Holt-Winter's Multiplicative Method	151.192	7.616	196.760	7.769

From Table 2, the researcher intends to evaluate the forecasting accuracy of the model for the period between 2007 and 2020 (training data). From the results, it was found that each method was quite accurate since all methods gave MAPE values less than 10% with Damped Holt-Winter's Additive Method giving the least value of RMSE. The method is close to all true values as shown in Figure 2.

Considering the forecasting assessment of each method to forecast in 2021 (Testing Data), Simple Exponential Smoothing, Damped Trend Method, Damped Holt-Winters' Additive Method, and Damped Holt-Winters' Multiplicative Method were found to produce quite accurate forecasting results, with MAPE values of less than 10%.

Actual Values VS. Forecasting Values in 2007 - 2020**Figure 2** Forecasting by Exponential Smoothing with Various Techniques in 2007-2020.

Actual Values VS. Forecasting Values in 2021

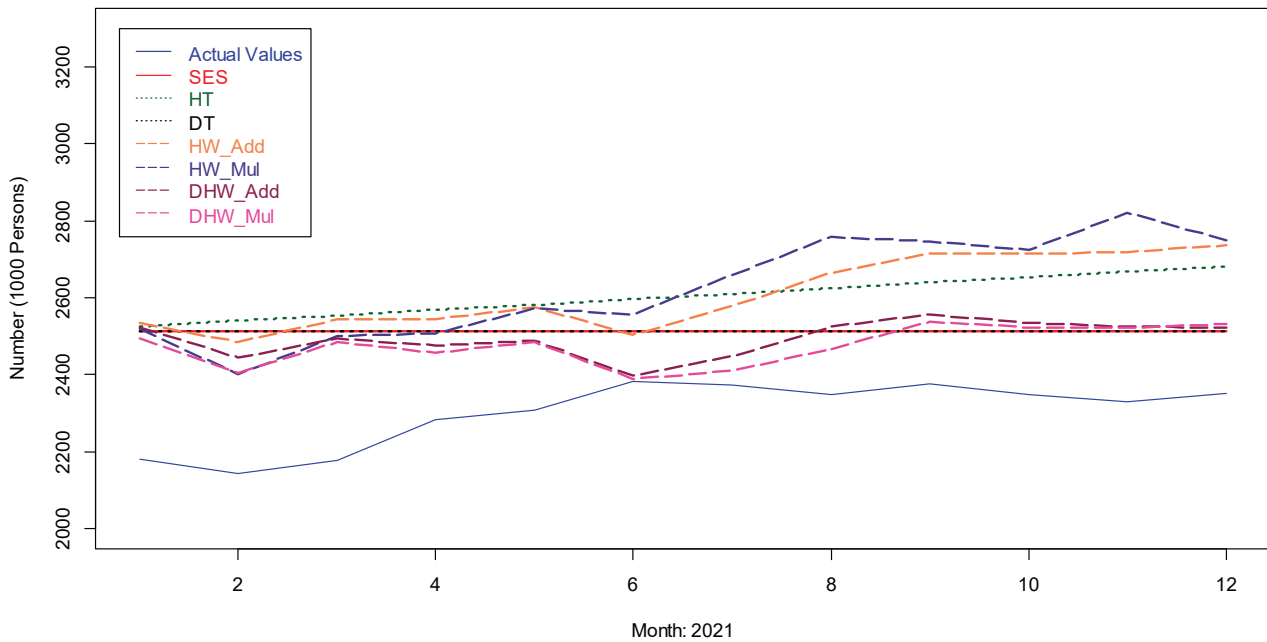


Figure 3 Forecasting by Exponential Smoothing with Various Techniques in 2021.

Holt's Linear Trend Method, Holt-Winters' Additive Method, and Holt-Winters' Multiplicative Method produced good predicting results because the MAPE value is between 10% and 20%. In addition, the Damped Holt-Multiplicative Winter's Method had a lower RMSE value than other approaches, indicating that it had a higher level of predicting accuracy.

From Figure 3, when the models of each method were compared with the actual data, it was found that the simple exponential smoothing method and the damped trend method overlapped and were found to be relatively stable. Holt's Linear Trend Method provides a forecast line that shows an increasing linear trend. Holt-Winters' Additive Method and Holt-Winters' Multiplicative Method have higher trend forecasts, but there are fluctuations from the influence of the seasons. Damped Holt-Winters' Additive Method and Damped Holt-Winters' Multiplicative Method are methods that add damping to slow down the rate of change in the number of foreign workers and are relatively stable but still influenced by the season. In comparison to other approaches, Damped Holt-Multiplicative Winter's method offers the prediction line that is most closely related to the true value and has the minimum RMSE value.

Conclusion and Discussion

This research presents a method for constructing a forecast model using exponential smoothing to time series data of the number of migrant workers throughout Thailand. This study collected data on the number of foreigners permitted to work throughout the Kingdom from January 2007 to December 2021 from the statistical database of the Bureau of Foreign Workers Administration, Department of Employment. The total of 180 values from the data collection were divided into 2 sets: 1) 168 values for predictive modeling using 3 techniques: Simple Exponential Smoothing (SES), Trend Method, and Holt-Winters' Seasonal Method. Trend Methods can be divided into 2 types: Holt's Linear Trend Method and the Damped Trend Method. The Holt-Winters' Seasonal Method can be further subdivided into four methods: Holt-Winters' Additive Method, Holt-Winters' Multiplicative Method, Damped Holt-Winters' Additive Method, and Damped Holt-Winters' Multiplicative Method, for a total of seven methods. 2) 12 values were used to check the accuracy of forecasting using the lowest MAPE and RMSE criteria. The results showed that the Damped Holt-Winters' Multiplicative Method was the most accurate method for forecasting, indicating that the data tend to increase and the influence of the season is unstable, with the following forecasting model.

Forecasting Equation:

$$\hat{Y}_{t+1} = (\ell_t + b_t \sum_{i=1}^h 0.98^i) s_{t+h-m(k+1)}$$

Level Equation:

$$\ell_t = 0.9866 \frac{Y_t}{s_{t-m}} + 0.0134(\ell_{t-1} + 0.98b_{t-1})$$

Trend Equation:

$$b_t = 0.0221(\ell_t - \ell_{t-1}) + 0.9779(0.98)b_{t-1}$$

Seasonal Equation:

$$s_t = 0.0002 \frac{Y_t}{(\ell_{t-1} + 0.98b_{t-1})} + 0.9998s_{t-m}$$

The initial value of the smoothed estimate (ℓ_0) was 423.420, the initial value of the slope estimate (b_0) was 29.994, and the initial value of the other 12 seasonality estimates or indices were 1.020, 1.015, 1.017, 1.024, 0.995, 0.974, 0.966, 1.005, 0.994, 1.007, 0.974, and 1.011 respectively from January to December. When using the forecasting model to plot a comparison graph between the actual data and the forecast for 2021, it was found that the Damped Holt-Winters' Multiplicative Method still had a clear distance between the actual data line and the forecast line despite the MAPE value and the lowest RMSE. But from the forecasting equations obtained, it is still enough to explain that adding damping has caused the rate of change in the number of foreign workers to slow down and be relatively stable, consistent with the situation of foreign workers in Thailand in 2021, which is still during the outbreak of COVID-19. Especially the third wave of the outbreak where the factory cluster was one of the sources causing the virus to spread across the country. As a result, migrant workers from neighboring countries who come to work in Thailand are seen as a risk group for both infection and transmission. Thailand has taken various measures to help control the outbreak of the disease among foreign workers, such as suspending the movement of workers along the border, delaying the approval of importing foreign workers, and providing flexibility for foreign workers whose permits will expire to be able to live in Thailand (Puey Ungphakorn Institute of Economic Research, 2020). This is the reason why the rate of change in the number of foreign workers slows down.

The forecasting model has shown that the number of foreign workers in Thailand fluctuates according to the trend caused by the increasing demand for labor in the industrial sector which corresponds to the research project on the needs of labor in the eastern region in the next 5 years (2018-2022). It was described that in the next 5 years there will be more demand for labor. This is because factories are constantly in demand for labor, especially in manufacturing industries with the highest demand for labor causing foreign workers to increase as well. Furthermore, there are also seasonal fluctuations caused by groups of migrant workers who use border passes under the border crossing agreement. which came to work in a round-trip season (Labor Economics Division, 2021) and irregular fluctuations caused by unusual events during the COVID-19 epidemic (Puey Ungphakorn Institute of Economic Research, 2020).

The forecasting using the exponential smoothing method prioritizes the most recent data and exponentially prioritizes the next data (Labor Market Research Division, 2007). This method does not take other factors into account at all, which are expected to affect the number of foreign workers in Thailand. In addition to the spread of COVID-19, there are other factors such as economic expansion (Labor Economics Division, 2021) or the expansion of industrial investment (Labor Market Information Administration Division, 2021). Therefore, in improving the model to forecast the number of migrant workers, a relationship model may be built by using other variables that correlate with the number of migrant workers, such as GDP, population, etc., to forecast as well to get more accurate forecasting results.

References

- Emiliano, P. C., Vivanco, M. J.F. & de Menezes, F. S. (2014). Information criteria: How do they behave in different models?. *Computational Statistics & Data Analysis*, 69, 141-153.
- Hyndman, R. J. & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principle and practice* (2nd ed). OTexts.
- Labor Economics Division. (2021). *Report on the economic situation, international labor and international labor migration, quarter 1/2021*. <http://warning.mol.go.th/>

- Labor Market Information Administration Division, (2021). *Labor market situation in the central region 2nd Quarter 2021 (April-June)*. https://www.doe.go.th/prd/assets/upload/files/lmia_th/ad05adc-f09882a92c09eba133d6ed961.pdf.
- Labor Market Research Division. (2007). *Knowledge management labor market situation analysis and labor demand forecasting*. https://www.doe.go.th/prd/assets/upload/files/lmia_th/ca63341b1b3cfe-4fa4fe92c863bfd641.pdf.
- Office of Foreign Workers Administration. (2022). *Statistics on the number of foreigners permitted to work. Balance throughout the Kingdom for the month of August 2022*. Ministry of Labor.
- Puey Ungphakorn Institute of Economic Research. (2020). *Exploring the facts of foreign workers in Thailand: Part 1 low-skilled labor*. <https://www.pier.or.th/abridged/2020/14/>
- Tarat, S., (2021). The effects of the first wave of COVID-19 pandemic on businesses with migrant worker in Thailand. *Thammasat Journal*, 40(3), 74-92.
- Thailand Development Research Institute. (2011), *Impact of hiring migrant workers in Thailand under the Nationality verification era, TDRI Report No. 86*. Thailand Development Research Institute.
- Ungpansattawong, S., (2012). *Statistical forecasting techniques*. Khon Kaen University Press.

แบบจำลองการพยากรณ์สำหรับปริมาณการส่งออกเครื่องเทศของประเทศไทย

Forecasting model for spice export volume in Thailand

สุภาวิณี ชันคำ¹ และ สิโรรัตน์ จันงาม^{2*}
Supawinee Khankham¹ and Sirorath Channgam^{2*}

Received: 20 April 2023; Revised: 9 June 2023; Accepted: 30 June 2023

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้ คือ การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ที่เหมาะสมของปริมาณการส่งออกเครื่องเทศของประเทศไทย โดยใช้วิธีการทางสถิติทั้งหมด 4 วิธี คือ วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์รวม โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดสามัญในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ข้อมูลอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกเครื่องเทศได้มาจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่ เดือนมกราคม 2560 ถึง เดือนธันวาคม 2565 แบบรายเดือน จำนวน 72 ค่า และได้แบ่งข้อมูลออกเป็นสองชุด ชุดแรก จำนวน 66 ค่า คือ ข้อมูลเดือนมกราคม 2560 ถึง เดือนมิถุนายน 2565 และชุดที่สอง จำนวน 6 ค่า คือ ข้อมูลเดือนกรกฎาคม 2565 ถึง เดือนธันวาคม 2565 โดยที่ข้อมูลชุดแรกใช้สำหรับสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ และข้อมูลชุดสองใช้สำหรับการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (mean absolute percentage error: MAPE) และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error: RMSE) ที่มีค่าต่ำที่สุด ผลการวิจัย พบว่าแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด (MAPE = 28.93, RMSE = 222,979.17)

คำสำคัญ: แบบจำลองการพยากรณ์, การปรับให้เรียบ, บอกซ์-เจนกินส์, การพยากรณ์รวม

Abstract

The purpose of this study is to create a suitable forecasting model of the spice export volume for Thailand by 4 statistical methods: Holt's exponential smoothing method, Brown's exponential smoothing method, Box-Jenkins method, and combined forecast method approach using the ordinary least squares method to estimate the regression coefficient. Time series of monthly spice export volume (which were gathered from the website of the office of agricultural economics from January 2017 to December 2022 comprising 72 observations) were divided into two datasets. The first dataset had 66 observations from January 2017 to June 2022. The second dataset had 6 observations from July 2022 to December 2022. The first dataset was used for creating the forecasting model. The second dataset was used for checking the accuracy of the forecasting models *via* the criterion of the lowest of mean absolute percentage error and the lowest root mean square error. The results showed that Brown's exponential Method is most suitable for this time series (MAPE = 28.93, RMSE = 222,979.17).

Keywords: forecasting model, exponential smoothing, Box-Jenkins, combined forecast

^{1,2} อาจารย์ประจำหลักสูตรคณิตศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180

^{1,2} Lecturer, Department of Applied Mathematics, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the royal patronage, Pathumthani, Thailand 13180

* Correspondent author: sirorath@vru.ac.th

บทนำ

เครื่องเทศเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย และสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้เป็นอย่างดี เครื่องเทศเป็นพืชที่มีการใช้ประโยชน์กับคนไทย และคนทั้งโลก ทั้งรูปอาหารและยารักษาโรค เครื่องเทศบางชนิดช่วยลดอาการจุกเสียด แน่นท้อง ควบคุมระดับไขมันในเส้นเลือด ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการดูแลสุขภาพ ดังนั้นจึงมีการใช้สมุนไพรหลายชนิดสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่วัยรุ่นเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยรักษาแผลสด แผลเรื้อรังได้ ช่วยป้องกันโรคหัวใจ และช่วยยับยั้งการเกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังมีการนำเอาเครื่องเทศมาใช้เสริมความงาม บำรุงสุขภาพ แสดงให้เห็นว่าเครื่องเทศมีประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ อีกทั้งยังมีการนำสมุนไพรมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโต ช่วยเสริมภูมิคุ้มกัน และป้องกันโรคได้ เช่น ในการเพาะเลี้ยงปลาเพื่อทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ และสารเคมี (โณมนันต์โพธิวิรัช และคณะ, 2020)

ในไตรมาสแรกของปี 2564 ประเทศไทยส่งออกสินค้าเกษตรมูลค่า 5,748 ล้านดอลลาร์สหรัฐ มีการขยายตัวถึงร้อยละ 13 โดยเทียบกับปี 2563 สินค้าเกษตรส่งออกสำคัญของไทย ไตรมาสแรก คือ เครื่องเทศและสมุนไพร ผักสด แซ่เหียน แซ่แข็ง แบบแห้ง และอื่นๆ โดยที่เครื่องเทศและสมุนไพรมีการขยายตัวสูงเป็นอันดับแรก เท่ากับร้อยละ 93.35 อันดับที่สอง คือ ผักสด แซ่เหียน แซ่แข็ง และแบบแห้ง เท่ากับร้อยละ 29.23 (ศูนย์สารสนเทศการเจรจาการค้าระหว่างประเทศ กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2564) เครื่องเทศและสมุนไพร กลายเป็นสินค้าที่ส่งออกที่สำคัญอันดับแรกที่สร้างรายได้ให้กับประเทศไทย จึงควรได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งทางด้านการเพาะปลูก และการตลาด จากการศึกษาปริมาณการส่งออกเครื่องเทศของประเทศไทย จากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2566) ย้อนหลังตั้งแต่ปี 2560 ถึงปัจจุบัน พบว่าปริมาณเครื่องเทศมีแนวโน้มการส่งออกเพิ่มขึ้นจากอดีตอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามปริมาณเครื่องเทศมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นช่วงเวลา เช่น ในปี 2563 ช่วงเดือนเมษายน ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศขยับขึ้นสูงถึง 648,874 กิโลกรัม ต่อมาเดือนพฤษภาคมในปีเดียวกัน ปริมาณกลับลดลงเป็น 592,427 กิโลกรัม และกลับเพิ่มขึ้นมาเป็น 728,594 กิโลกรัม และในปี 2564 ช่วงเดือนเมษายน ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศ ขยับขึ้นสูงถึง 1,396,112 กิโลกรัม ต่อมาเดือนพฤษภาคมในปีเดียวกัน ปริมาณกลับลดลงเป็น 683,212 กิโลกรัม และกลับเพิ่มขึ้นมาเป็น 849,464 กิโลกรัม จะเห็นว่าปริมาณการส่งออกมีความผันผวนตลอดเวลา และยังคงผันผวนเช่นนี้ตลอดไปหรือไม่ ปัจจัยอะไรบ้างที่ส่งผลให้ปริมาณการส่งออกมีจำนวนสูงขึ้นหรือลดลง การพยากรณ์

ทางสถิตินับเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยตอบคำถามเหล่านี้ได้

ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงเริ่มศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการพยากรณ์โดยใช้วิธีการทางสถิติ พบว่าในปี 2560 วรางคณา เรียนสุทธิ และน้ำอ้อย นิสนัน (2560) ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกไก่แปรรูป วัดดูประสงค์ คือ การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกไก่แปรรูป โดยใช้วิธีการพยากรณ์คือวิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ และวิธีการพยากรณ์รวม ผลการศึกษาพบว่า วิธีบอกซ์-เจนกินส์ มีความถูกต้องแม่นยำในการพยากรณ์มากที่สุด ด้วยเกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (mean absolute percentage error: MAPE) เท่ากับ 4.9640 ในปี 2563 โยนาร์ (Yonar, 2020) ศึกษาการสร้างแบบจำลองและการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วยจากการระบาดใหญ่ของ COVID-19 ด้วยแบบจำลองการพยากรณ์บอกซ์-เจนกินส์ และการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง มีวัดดูประสงค์คือ กำหนดแบบจำลองพยากรณ์เพื่อนำเสนอข้อมูลทางสถิติโดยสรุปโครงสร้างทั่วไปเกี่ยวกับผลกระทบ และกระบวนการของการติดเชื้อในทุกประเทศทั่วโลกจากข้อมูลที่ได้รับ โดยใช้วิธีการพยากรณ์บอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ ผลการวิจัยพบว่าวิธีการพยากรณ์บอกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมกับข้อมูลผู้ป่วย COVID-19 ของประเทศตุรกี เยอรมนี ฝรั่งเศส วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์มีความเหมาะสมกับข้อมูลผู้ป่วย COVID-19 ของประเทศรัสเซีย และวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์มีความเหมาะสมกับข้อมูลผู้ป่วย COVID-19 ของประเทศอิตาลี ญี่ปุ่น แคนาดา และในปี 2564 ลิป (Lip, 2021) เปรียบเทียบแบบจำลองการพยากรณ์วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังและวิธีบอกซ์-เจนกินส์ในการพยากรณ์อัตราการว่างงานในมาเลเซีย มีวัดดูประสงค์คือ เพื่อตรวจสอบประโยชน์ของวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง และวิธีบอกซ์-เจนกินส์ และประมาณการอัตราการว่างงานในประเทศมาเลเซีย ผลการวิจัยพบว่าวิธีบอกซ์-เจนกินส์มีความถูกต้องและแม่นยำในการพยากรณ์มากที่สุด ด้วยเกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 2.9976

นอกจากวิธีดังกล่าวแล้ว ผู้วิจัยยังได้ศึกษาวิธีการพยากรณ์รวมเพื่อทำการเปรียบเทียบเพิ่มเติม เช่น เมธาสีทธิธัญรัตนศรีสกุล (2562) ศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ราคาทุเรียนขาวแว่นนาไมรายเดือน ณิชาวีร์ ภาโสภะ (2564) ศึกษาการพยากรณ์การจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง โดยผลการวิจัยพบว่าวิธีการพยากรณ์

รวมมีเกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุด กัลยา บุญหล้า และ เมทินี ชมภูสว่ง (2564) ได้ศึกษาเรื่อง ความแกร่งในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณสำหรับ ค่าผิดปกติ โดยทำการเปรียบเทียบวิธีประมาณค่า 3 วิธี คือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุดสามัญ (ordinary least squares : OLS) วิธี M เมื่อใช้ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักของ Andrews และ วิธี ตัวประมาณ GM - Huber เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ผลการศึกษา พบว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุดสามัญ ให้ค่าความคลาดเคลื่อน กำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยมีหลายงานวิจัยนำเสนอวิธีการ พยากรณ์ที่เหมาะสมในหลากหลายวิธี

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ายังไม่เคยมีการ ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศของ ประเทศไทย ยิ่งไปกว่านั้นเครื่องเทศยังเป็นสินค้าเกษตรที่ส่ง ออก และสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยในอันดับแรก ดังนั้น การคาดคะเนปริมาณการส่งออกเครื่องเทศล่วงหน้าทีใกล้เคียง ค่าจริงจึงเป็นสิ่งสำคัญ ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความ สนใจที่จะศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศ ของประเทศไทยในอนาคต

ด้วยวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการทางสถิติ เพื่อนำค่าพยากรณ์ที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มศักยภาพ และขีดความสามารถของหน่วยงานที่ดูแลการส่งออกเครื่อง เทศของประเทศไทย เช่น การสนับสนุนส่งเสริมให้เกษตรกร ปลูกพืชเครื่องเทศให้เพิ่มมากขึ้น หรือ ชะลอการปลูกพืช เครื่องเทศให้น้อยลงสอดคล้องกับการส่งออกที่ลดน้อยลง รวมถึงใช้เป็นแนวทางให้รัฐบาลสามารถออกนโยบายในการ สนับสนุนให้มีการปลูกพืชที่นำมาทำเครื่องเทศในปริมาณ ที่เหมาะสม ส่งผลให้เศรษฐกิจของประเทศมีความก้าวหน้า ยิ่งขึ้นต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณการส่งออกเครื่องเทศตั้งแต่ เดือนมกราคม 2560 ถึงเดือนมิถุนายน 2565 พบว่า ปริมาณ การส่งออกมีอิทธิพลของแนวโน้มเป็นแบบเชิงเส้น (linear trend) แต่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาลและยังคงมีความผันผวน ในแต่ละเดือนอีกด้วย แสดงดัง Figure 1 การศึกษาครั้งนี้ ดำเนินการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ ด้วยโปรแกรม SPSS และ Excel โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออก เครื่องเทศ (กิโลกรัม) อนุกรมเวลาที่นำมาศึกษาได้มาจาก เว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือน มกราคม 2560 ถึงเดือนธันวาคม 2565 จำนวน 72 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือข้อมูลตั้งแต่ เดือนมกราคม 2560 ถึงเดือนมิถุนายน 2565 จำนวน 66 ค่า สำหรับการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธี การทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีอิทธิพล ของแนวโน้มเป็นแบบเชิงเส้น แต่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ผู้วิจัยเลือกใช้ 4 วิธี ได้แก่ วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้น โค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ (Holt's Exponential Smoothing Method) วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง ของบราวน์ (Brown's exponential smoothing method) วิธีบอกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins method) และวิธีการ พยากรณ์รวม (combined forecast method) สำหรับข้อมูล ชุดที่ 2 ผู้วิจัยพิจารณาจากการเคลื่อนไหวของข้อมูลที่มีการ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเป็นข้อมูลในช่วงเวลาปัจจุบันจึงมี ความเหมาะสมสำหรับการเลือกแบบจำลองการพยากรณ์ใน ช่วงเวลานี้ คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2565 ถึงเดือน ธันวาคม 2565 จำนวน 6 ค่าสำหรับการเลือกแบบจำลอง การพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยใช้เกณฑ์ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย และเกณฑ์รากที่สองของ ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่มีค่าต่ำที่สุด แบบจำลอง การพยากรณ์โดยใช้วิธีการทางสถิติทั้งหมด 4 วิธี แสดง รายละเอียดดังต่อไปนี้

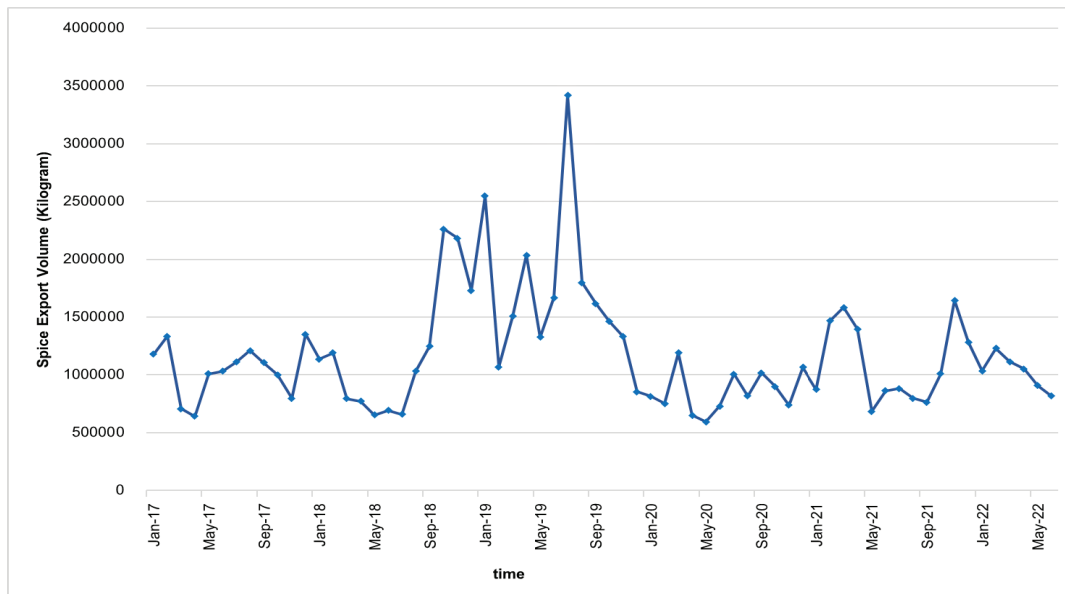


Figure 1 Movement of spice export volume time series from January 2017 to June 2022.

1. การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ (ทิพธดา วาลมุลตรี, 2563; อิศริยพร หลวงหาญ, 2562) เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นแนวโน้มเชิงเส้นตรง และไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล มีค่าคงที่ 2 ตัว คือ ค่าคงตัวสำหรับปรับให้เรียบของค่าระดับ (α) และค่าคงตัวสำหรับการปรับให้เรียบของค่าความชัน (γ) แบบจำลองการพยากรณ์ แสดงดังสมการ (1)

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t m \quad (1)$$

เมื่อ

$$a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$$

$$b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)(b_{t-1})$$

$$\hat{Y}_{t+m} \text{ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา } t+m$$

$$Y_t \text{ แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา } t$$

$$m \text{ แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า}$$

$$a_t \text{ แทนค่าประมาณ ณ เวลา } t \text{ แสดงระยะตัดแกน}$$

Y

$$b_t \text{ แทนค่าประมาณ ณ เวลา } t \text{ แสดงความชันของ}$$

แนวโน้ม

$$\alpha \text{ และ } \gamma \text{ แทนค่าคงตัวของการปรับให้เรียบ โดยที่}$$

$$0 < \alpha < 1 \text{ และ } 0 < \gamma < 1$$

$$t \text{ แทนช่วงเวลาของอนุกรมเวลา มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง } n$$

$$\text{โดยที่ } n \text{ แทนจำนวนข้อมูลอนุกรมเวลา}$$

การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการส่งออกเครื่องเทศของประเทศไทย พิจารณาจากเกณฑ์สารสนเทศของเบย์เซียน (Bayesian information criterion: BIC) ที่มีค่าต่ำที่สุด แสดงถึงความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีค่าต่ำด้วย สำหรับการตรวจสอบแบบจำลองการพยากรณ์นี้จะกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และได้พิจารณาพร้อมกับค่าสถิติของบ็อกซ์และจุง (Ljung-Box Q) ที่ไม่มีนัยสำคัญ แบบจำลองการพยากรณ์ที่ได้ต้องมีความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ผ่านตามข้อสมมติ คือ ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ ตรวจสอบโดยการทดสอบโคลโมโกรอฟ-สเมียร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov's test) ความคลาดเคลื่อนต้องมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ตรวจสอบโดยการทดสอบที (t-test) ความคลาดเคลื่อนมีความเป็นอิสระต่อกันตรวจสอบโดยการทดสอบรัน (Runs test) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลาตรวจสอบโดยการทดสอบของเลวีเนภายใต้การใช้นัยฐาน (Levene's test based on median)

2. การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบรวาน์

วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบรวาน์ (วรารคณา เรียนสุทธิ์, 2556) เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นแนวโน้มเชิงเส้นตรง และไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล มีค่าคงที่ของการปรับเรียบของค่าระดับ และค่าคงที่การปรับเรียบของค่าความชันเท่ากัน แบบจำลองการพยากรณ์แสดงดังสมการ (2)

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \left[(m-1) + \frac{1}{\alpha} \right] \quad (2)$$

เมื่อ

$$a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)a_{t-1}$$

$$b_t = \alpha(a_t + a_{t-1}) + (1-\alpha)b_{t-1}$$

$\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t+m$

Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

α แทนค่าคงตัวในการปรับให้เรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$

t แทนช่วงเวลาของอนุกรมเวลา n_t มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_t โดยที่ n_t แทนจำนวนข้อมูลอนุกรมเวลาชุดที่ 1 สำหรับการตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการพยากรณ์จะพิจารณาเหมือนกับวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

3. การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการบอกซ์-เจนกินส์

วิธีการบอกซ์-เจนกินส์ (มุกดา แหม่มมินทร์, 2549) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามีสหสัมพันธ์อย่างไร เนื่องจากในการกำหนดแบบจำลองการพยากรณ์มีการตรวจสอบฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) ของอนุกรมเวลาที่มีการเคลื่อนไหวแบบคงที่ (stationary time series) หรืออนุกรมเวลาที่มีค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนคงที่ตลอดเวลา หากพบว่าอนุกรมเวลาที่มีความเคลื่อนไหวแบบไม่คงที่ (non-stationary time series) จะต้องแปลงอนุกรมเวลานั้นให้เป็นอนุกรมเวลาที่คงที่ก่อนการกำหนดแบบจำลอง หากอนุกรมเวลามีค่าเฉลี่ยไม่คงที่ควรแปลงอนุกรมเวลาโดยการหาผลต่างหรือผลต่างฤดูกาล (difference or seasonal difference) หากอนุกรมเวลาที่มีความแปรปรวนไม่คงที่ควรแปลงอนุกรมเวลาโดยใช้ลอการิทึมธรรมชาติ (natural logarithm) หรือรากที่สอง (square root) เป็นต้น การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ มีขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดแบบจำลองการพยากรณ์ โดยพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่มีการปรับให้เป็นอนุกรมเวลาที่คงที่ จากแบบจำลองทั่วไปของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ คือ Seasonal Autoregressive Integrated

Moving Average: SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s แสดงได้ดังสมการ

(3) แต่ในกรณีที่อนุกรมเวลาได้รับอิทธิพลของแนวโน้มเพียงอย่างเดียว แบบจำลองจะลดรูปเหลือเพียง Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA(p, d, q)

$$\phi_p(B)\Phi_p(B^s)(1-B^s)^d Y_t = \delta + \theta_q(B)\Theta_q(B^s)\varepsilon_t \quad (3)$$

เมื่อ

$\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_p(B^s)$ ค่าคงตัว μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่ $\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองอันดับที่ p แบบไม่มีฤดูกาล $\Phi_p(B^s) = 1 - \Phi_1(B^{s^1}) - \dots - \Phi_p(B^{s^p})$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองอันดับที่ P แบบมีฤดูกาล $\theta_p(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_p B^p$ แทนตัวดำเนินการเคลื่อนที่ อันดับที่ q แบบไม่มีฤดูกาล $\Theta_q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_q B^{qs}$ แทนตัวดำเนินการเคลื่อนที่ อันดับที่ Q แบบมีฤดูกาล

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

S แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง โดยที่ $B^s T_t = Y_{t-s}$

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อน โดยที่มีคุณสมบัติตามข้อสมมติ คือ ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าพารามิเตอร์จากการพิจารณากราฟของ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่คงที่และประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการพยากรณ์ที่กำหนด โดยพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนหรือจากการทดสอบสหสัมพันธ์ในตัวเองของสถิติบอกซ์และจังก์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือใช้การทดสอบบีรัน เพื่อตรวจสอบความเป็นอิสระต่อกันสำหรับการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ด้วยการทดสอบที และความแปรปรวนคงที่ด้วยการทดสอบของเลวิน ภายใต้การใช้มัธยฐาน ถ้าไม่ผ่านการตรวจสอบต้องกลับไปดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1 ใหม่อีกครั้ง เพื่อให้ได้แบบจำลองการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสม ในกรณีที่แบบจำลองที่มีความเหมาะสมมากกว่าหนึ่งแบบ สามารถพิจารณาจากเกณฑ์สารสนเทศของเบย์เซียนที่มีค่าต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 พยากรณ์อนุกรมเวลาล่วงหน้า ด้วยแบบจำลองการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

4. วิธีการพยากรณ์รวม

การพยากรณ์รวมเป็นวิธีการรวมค่าพยากรณ์โดยการประยุกต์จากการรวมวิธีการพยากรณ์เดี่ยวตั้งแต่ 2 วิธีขึ้นไปเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ใหม่ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดสามารถใช้ได้ดีในกรณีที่มีการพยากรณ์เดี่ยว มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลามากกว่า 1 วิธี (มุกดา แม้นมิตร, 2549) ซึ่งรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองการพยากรณ์รวมแสดงได้ดังสมการ (4)

$$\hat{Y}_t = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{jt} \quad (4)$$

เมื่อ

$\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์รวม ณ เวลา t

X_{jt} แทนค่าพยากรณ์จากวิธีเดี่ยว ณ เวลา t

β_k แทนค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

t แทนช่วงเวลาของอนุกรมเวลา มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

โดยที่ n แทนจำนวนข้อมูลอนุกรมเวลา

โดยในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ จะใช้วิธีการประมาณแบบกำลังสองน้อยที่สุดสามัญ ซึ่งการหาค่าประมาณสามารถทำได้โดยการหาอนุพันธ์ของ $\sum e_t^2$, $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ เทียบกับ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ แล้วกำหนดให้เท่ากับศูนย์ (กัลยา วาณิชยปัญญา, 2545) จะได้สมการปกติเขียนในรูปเมทริกซ์ดังสมการ (5)

$$(X^T X)\beta = X^T Y \quad (5)$$

ถ้า $X^T X$ เป็นเมทริกซ์ซึ่งมีใช้เอกฐาน (nonsingular matrix) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ หาได้จาก $\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y$ แบบจำลองการถดถอยเขียนในรูปเมทริกซ์ดังสมการ (6)

$$Y = X\beta \quad (6)$$

เมื่อ

Y แทน เมทริกซ์ของตัวแปรตาม ขนาด $n \times 1$

X แทน เมทริกซ์ของตัวแปรอิสระ ขนาด $n \times (k+1)$

β แทน เมทริกซ์ของพารามิเตอร์ ขนาด $(k+1) \times 1$

โดยที่

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & \cdots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & \cdots & X_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & \cdots & X_{nk} \end{bmatrix}$$

การเปรียบเทียบความเหมาะสมของแบบจำลองการพยากรณ์

การศึกษครั้งนี้ได้เลือกแบบจำลองการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกเครื่องเทศ โดยการเปรียบเทียบปริมาณการส่งออกเครื่องเทศของข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2565 ถึงเดือนธันวาคม 2565 กับค่าพยากรณ์จากวิธีการทางสถิติทั้ง 4 วิธี เพื่อคำนวณค่า MAPE และ RMSE โดยตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE และ RMSE น้อยที่สุด จะเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด เกณฑ์ MAPE และ RMSE แสดงได้ดังสมการ (7) และสมการ (8) ตามลำดับ

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad (7)$$

และ

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (8)$$

เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทนความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t

ผลการวิจัย

จากการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลชุดแรก คือ ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศ ตั้งแต่เดือนมกราคม 2560 ถึงเดือนมิถุนายน 2565 จำนวน 66 ค่า มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

จากการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์พบว่า BIC = 26.130 และค่าสถิติของบ็อกซ์และจุง ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag18 = 19.555, p-value

= 0.241) แสดงว่าแบบจำลองที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้ จากการประมาณค่าพารามิเตอร์จะได้ $\alpha = 0.5$, $\gamma = 0.0000033$, $a_t = 1057245$ และ $b_t = 3.49$ ณ เวลา $t = 66$ (มิถุนายน 2565) แทนค่าในสมการ (1) จะได้แบบจำลองการพยากรณ์ แสดงดังสมการ (9)

$$\hat{Y}_{t+m} = 1057245 + 3.49(m) \quad (9)$$

หลังจากนั้นตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.113$, p-value = 0.138) มีการเลื่อนไหวแบบอิสระ (Z-test = -1.489, p-value = 0.137) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t-test = -0.4, p-value = 0.968) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene statistic = 0.405, p-value = 0.948) แสดงว่าแบบจำลองการพยากรณ์นี้มีความเหมาะสม

2. ผลการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์

จากการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ พบว่า BIC = 26.168 และค่าสถิติของบ็อกซ์และจุง ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 23.307, p-value = 0.140) แสดงว่าแบบจำลองที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้ จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ จะได้ $\alpha = 0.232$, $a_t = 1009866$ และ $b_t = -18750.4$ ณ เวลา $t = 66$ (มิถุนายน 2565) แทนค่าในสมการ (2) จะได้แบบจำลองการพยากรณ์ แสดงดังสมการ (10)

$$\hat{Y}_{t+m} = 1009866 - 18750.4 \left[(m-1) + \frac{1}{0.232} \right] \quad (10)$$

หลังจากนั้นตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.083$, p-value = 0.2) มีการเลื่อนไหวแบบอิสระ (Z-test = -2.481, p-value = 0.13) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t-test = -0.061, p-value = 0.952) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene statistic = 0.982, p-value = 0.474) แสดงว่าแบบจำลองการพยากรณ์นี้มีความเหมาะสม

3. ผลการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการบ็อกซ์-เจนกินส์

เมื่อพิจารณากราฟของ ACF และ PACF พบว่าอนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกเครื่องเทศไม่คงที่ยังมีส่วนประกอบของแนวโน้ม แต่ไม่มีส่วนประกอบของฤดูกาล ทำให้ค่าเฉลี่ยไม่คงที่ แสดงดัง Figure 2 ดังนั้นจึงต้องแปลงข้อมูลด้วยการลอการิทึมธรรมชาติ และหาผลต่าง ($d = 1$) เมื่ออนุกรมเวลาปริมาณการส่งออกเครื่องเทศ มีลักษณะที่คงที่แล้ว แสดงดัง Figure 3 ดังนั้นสามารถกำหนดแบบจำลองการพยากรณ์ที่เป็นไปได้ จากการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการบ็อกซ์-เจนกินส์ พบว่า BIC = 26.264 และค่าสถิติของบ็อกซ์และจุง ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q lag 18 = 14.509, p-value = 0.631) แสดงว่าแบบจำลองที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้ จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ พบว่า $\theta_t = 0.343$ เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ในสมการ (3) จะได้แบบจำลองการพยากรณ์ ARIMA (0,1,1) ไม่มีพจน์ของค่าคงตัว แสดงดังสมการ (11)

$$\hat{Z}_t = Z_{t-1} + 0.343e_{t-1} \quad (11)$$

$$\text{เมื่อ } Z_t = \ln(Y_t)$$

หลังจากนั้นตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.094$, p-value = 0.2) มีการเลื่อนไหวแบบอิสระ (Z-test = -0.129, p-value = 0.118) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t-test = -0.437, p-value = 0.664) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene statistic = 0.442, p-value = 0.928) แสดงว่าแบบจำลองการพยากรณ์นี้มีความเหมาะสม

4. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการพยากรณ์รวม

วิธีการพยากรณ์รวมนี้ใช้วิธีการพยากรณ์เดี่ยว 3 วิธี ได้แก่ วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ จากการประมาณค่าโดยกำหนดให้ค่าพยากรณ์ของวิธีการทั้ง 3 วิธีข้างต้น เป็นตัวแปรอิสระตัว และใช้ข้อมูลค่าพยากรณ์ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศ ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2560 ถึงเดือนมิถุนายน 2565 จำนวน 65 ค่า (เนื่องจากการผลต่างของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ทำให้ค่าพยากรณ์เดือนมกราคม 2560 หายไป 1 ค่า ส่งผลให้ค่าพยากรณ์ของวิธีพยากรณ์รวมหายไป 1 ค่าด้วย) จากการจับคู่แบบจำลองการพยากรณ์ที่ละคู่ จะได้ทั้งหมด 3 คู่ คู่ที่ 1 คือ วิธีการปรับให้

เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์และวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ คู่ที่ 2 คือ วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์และวิธีบอกซ์-เจนกินส์ และคู่ที่ 3 คือ วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์และวิธีบอกซ์-เจนกินส์ เมื่อได้แบบจำลองการพยากรณ์ของทั้งสามคู่ จึงทำการตรวจสอบคุณสมบัติของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ พบว่าแบบจำลองการพยากรณ์รวมที่เหมาะสม คือ แบบจำลองการพยากรณ์รวมระหว่างวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์และวิธีบอกซ์-เจนกินส์มีความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ผ่านคุณสมบัติ ดังนั้นผู้วิจัยจะแสดงผลการวิจัยเฉพาะแบบจำลองการพยากรณ์รวมระหว่างวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์และวิธีบอกซ์-เจนกินส์ และกำหนดให้ตัวแปรอิสระ คือ ค่าพยากรณ์ของวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ (X_{1t}) และค่าพยากรณ์ของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ (X_{2t}) จำนวน 65 ค่า จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ $\beta_1 = -0.115$ และ $\beta_2 = 1.026$ ดังนั้นจากสมการ (4) จะได้แบบจำลองการพยากรณ์รวม แสดงได้ดังสมการ (12)

$$\hat{Y}_t = -0.115X_{1t} + 1.026X_{2t} \quad (12)$$

เมื่อ

$\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์รวม ณ เวลา t

X_{1t}, X_{2t} แทนค่าพยากรณ์จากวิธีเดี่ยว ณ เวลา t

จากวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของ บราวน์ และวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ตามลำดับ

หลังจากนั้นตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.105$, $p\text{-value} = 0.071$) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ($Z\text{-test} = -0.873$, $p\text{-value} = 0.382$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = 0.77$, $p\text{-value} = 0.444$) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene statistic = 0.335, $p\text{-value} = 0.974$) ดังนั้นแบบจำลองการพยากรณ์ที่ได้มีความเหมาะสม

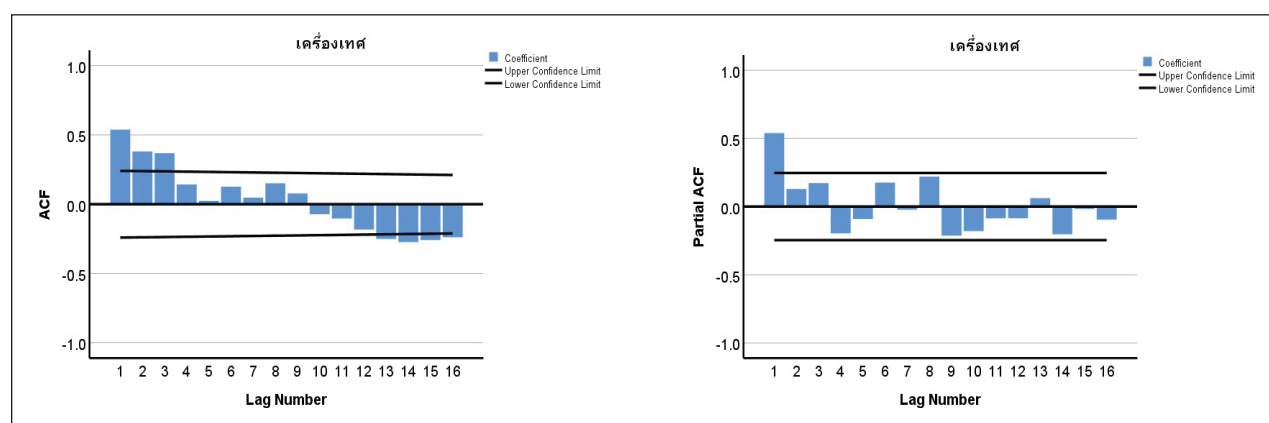


Figure 2 ACF and PACF graph of instability volume of exported spice.

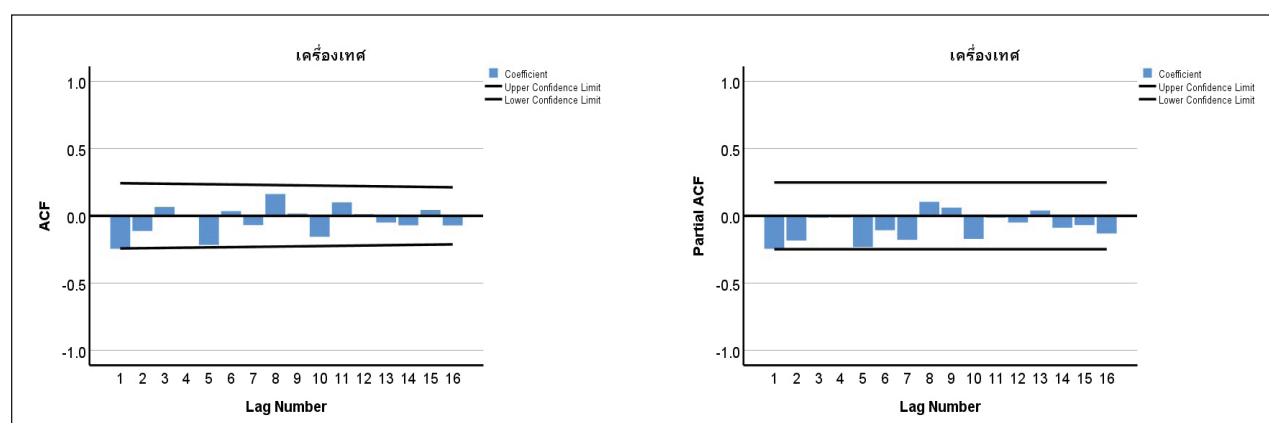


Figure 3 ACF and PACF graph of stability volume of exported spice.

ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลอง

จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ จากทั้ง 4 วิธี พบว่า แบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของ บราวน์ ให้ค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด แสดงได้ดัง Table 2 และเมื่อพิจารณาค่า MAPE และ RMSE พบว่า แบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ ให้ค่าต่ำที่สุด (MAPE = 28.93, RMSE = 222,979.17) แสดงว่าวิธีการพยากรณ์ให้ความแม่นยำมากที่สุดในการพยากรณ์ข้อมูลชุดนี้ แสดงได้ดัง Table 2 เนื่องจาก MAPE และ RMSE มีค่าสูง เมื่อพิจารณาข้อมูลชุดที่ 2 เดือนกรกฎาคม และเดือนตุลาคม 2565 พบว่าค่าพยากรณ์ที่ได้มีความแตกต่างจากค่าจริงมากจนทำให้ MAPE และ RMSE มีค่าสูง

สรุปผลและอภิปรายผล

จากการใช้แบบจำลองการพยากรณ์ของวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ ในสมการ (9) วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ในสมการ (10) วิธีบอซ-เจนกินส์ในสมการ (11) และวิธีการพยากรณ์รวมในสมการ (12) ได้ค่าพยากรณ์เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างค่าจริง และค่าพยากรณ์ พบว่า วิธีการพยากรณ์รวมเป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด มีค่า MAPE = 24.22 และ RMSE = 436,107.35 ผลการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศ ตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึง เดือนมิถุนายน 2565 แสดงดัง Table 1 และได้ค่าพยากรณ์เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอนุกรมเวลาชุดที่ 2 คือ ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2565 ถึงเดือนธันวาคม 2565 ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์

พบว่า วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ เป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด มีค่า MAPE = 28.93 และ RMSE = 222,979.17 ผลการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2565 ถึง เดือนธันวาคม 2565 แสดงดัง Table 2 และ Figure 4 เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองจากข้อมูลทั้งสองชุด พบว่า ผลการเปรียบเทียบไม่สอดคล้องกัน เนื่องจากจำนวนข้อมูลมีความแตกต่างกันมาก ทำให้ค่าพยากรณ์ต่างจากค่าจริงมีค่ามากขึ้น แสดงดัง Figure 4 ข้อมูลชุดที่ 1 จำนวน 66 ค่า สำหรับวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และจำนวน 65 ค่า สำหรับวิธีบอซ-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์รวม ข้อมูลชุดที่ 2 จำนวน 6 ค่า จากการพยากรณ์ล่วงหน้าด้วยวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ แสดงดัง Table 3 พบว่า ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากเดือนมกราคม 2566 ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศมีค่าประมาณ 1,465,735 กิโลกรัม เดือนกุมภาพันธ์ 2566 ปริมาณการส่งออกยังคงเพิ่มขึ้นประมาณ 1,497,197 กิโลกรัม และเพิ่มขึ้นทุกเวลาจนถึงเดือนมิถุนายน 2566

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์มีความแม่นยำมากที่สุดและเหมาะสมกับข้อมูลนี้ แบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์การส่งออกเครื่องเทศมีลักษณะคล้ายกับผลการวิจัยการส่งออกน้ำตาลที่ใช้ตัวแปรเดียวกัน พบว่าวิธีการทำให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ มีความเหมาะสมกับข้อมูลปริมาณการส่งออกน้ำตาล (วรารคนา เรือนสุทธิ, 2565)

Table 1 MAPE and RMSE values of the forecasting method studied for the export quantity of spices (in kilograms) from January 2560 to December 2565.

	Forecasting method			
	Holt eq.	Brown eq.	Box-Jenkins	Combined forecast
MAPE	25.93	105.56	112.47	24.22*
RMSE	436213.50	462109.82	449930.73	436107.35*

* Show the lowest value

Table 2 The actual and forecasted values of the export quantity of spices (in kilograms) from July to December 2565, along with the MAPE and RMSE values of the studied forecasting method.

Time	Actual value	The quantity of spice exports from the forecasting method			
		Holt eq.	Brown eq.	Box-Jenkins	Combined forecast
JUL 2022	514,020.00	907,159.42	929,074.43	921,826.30	839,351.60
AUG2022	833,871.00	905,033.61	910,330.71	952,390.20	872,866.40
SEP 2022	777,748.00	902,907.80	891,586.99	985,357.00	908,846.90
OCT 2022	552,219.00	900,781.99	872,843.28	1,020,905.00	947,475.70
NOV 2022	812,504.00	898,656.17	854,099.56	1,059,228.00	988,953.20
DEC 2565	887,438.00	896,530.36	835,355.85	1,100,542.00	1,033,500.00
	MAPE	29.31	28.93 [*]	43.25	32.43
	RMSE	225,199.44	222,979.17 [*]	302,601.65	235,670.81

* Show the lowest value

Table 3 The forecasted values of spice export quantities (in kilograms) from January to June 2566.

Time	Forecasting value	Time	Forecasting value
JAN 2023	1,465,735.00	APR 2566	1,560,119.00
FEB 2023	1,497,197.00	MAY 2566	1,591,580.00
MAR2566	1,528,658.00	JUN 2566	1,623,042.00

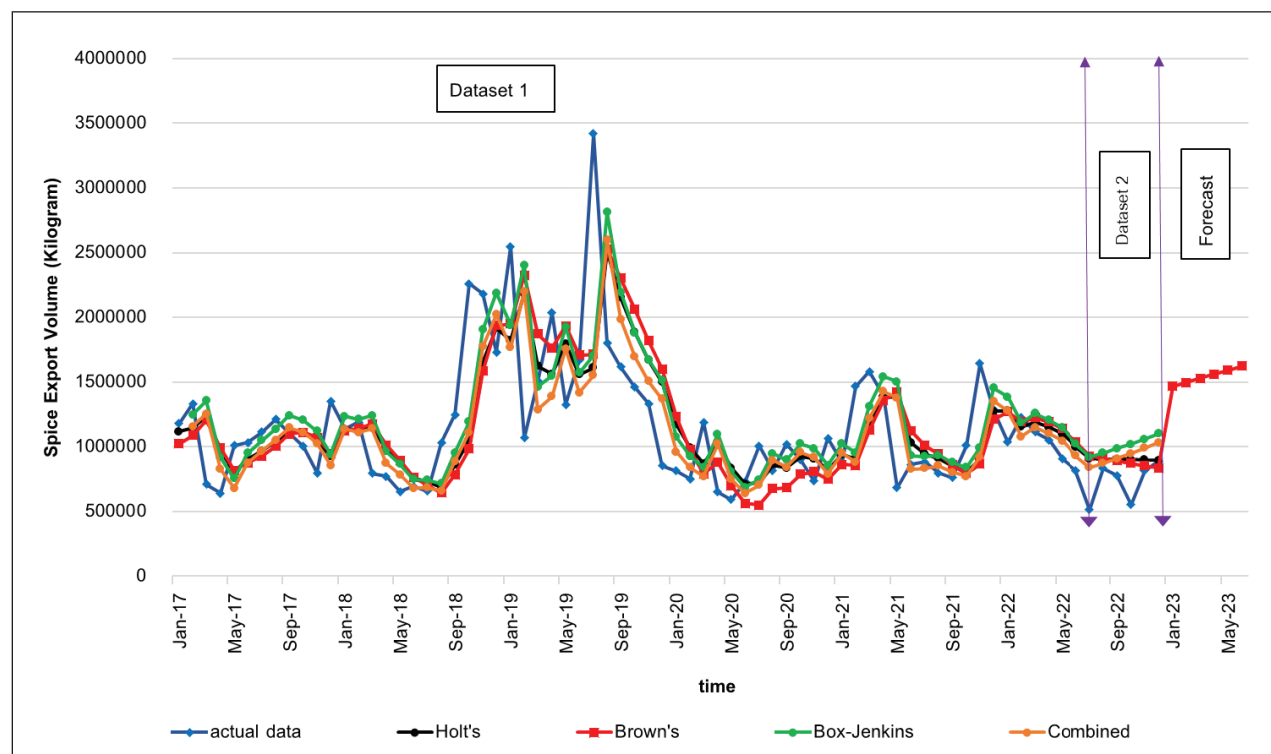


Figure 4 Comparing the actual and forecasted values of spice export quantities (in kilograms) among four forecasting methods.

อย่างไรก็ตามปริมาณการส่งออกเครื่องเทศของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ อาจเนื่องมาจากพื้นที่ในการเพาะปลูกเครื่องเทศ ปริมาณการผลิตเครื่องเทศ ปริมาณความต้องการบริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศ ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศจากหน่วยงานของภาคเอกชน ในรูปของสมาคม เช่น สมาคมผู้ส่งออก ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรนำปัจจัยดังกล่าวมาประกอบการวิเคราะห์เพื่อให้ผลการพยากรณ์ที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น และควรคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกเครื่องเทศของประเทศไทย เช่น ผลผลิตที่ได้และความต้องการนำเข้าของแต่ละประเทศ เป็นต้น โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) รวมถึงควรพิจารณาปริมาณการส่งออกเครื่องเทศที่เป็นปัจจุบัน เพื่อนำมาปรับปรุงแบบจำลองการพยากรณ์ให้มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ค่าในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา บุญหล้า และ เมทินี ชมภูสว่าง. (2564). ความแกร่งในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณสำหรับค่าผิดปกติในตัวแปรตาม. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, 30(1), 81-92.
- โหมอนันต์ โพธิ์วงศ์ ชาญวิทย์ สุวรรณ พงศกร น้อยมูล ภคธีรมา ยวิชัย สายสุรีย์ จิตมโนวรรณ และชนกันต์ จิตมโน. (2563). ผลของพืชสมุนไพรต่อภูมิคุ้มกันและการเจริญเติบโตของปลา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 25(2), 595-616.
- ณิชาวีร์ ภาโสภะ, ธัญชนิต แก้วแป้น, และวรกานต์ สินอุปการะ. (2562). การพยากรณ์การจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 4*. (น. 309-316). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
- ทิพรดา วาลมูลตรี. (2563). การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์จำนวนนักท่องเที่ยวในปราสาทเมืองต่ำ อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 8(1), 119-132.
- มุกดา แม้นมินทร์. (2549). *อนุกรมเวลาและการพยากรณ์*. โพรฟรันตัง.
- เมธาสิทธิ์ ธัญรัตนศรีสกุล. (2562). การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ระหว่างวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีพยากรณ์รวม สำหรับพยากรณ์ราคากุ้งขาวแวนนาไม่รายเดือน. *RMUTSB Academic Journal (Humanities and Social Sciences)*, 7(1), 72-86.

วรจกณา เรียนสุทธิ และน้ำอ้อย นิสัน. (2560). การพยากรณ์ปริมาณการส่งออกไก่แปรรูป. *วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร*, 25(2), 140-152.

วรจกณา เรียนสุทธิ. (2556). ตัวแบบพยากรณ์ราคาขายปลีกน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 16(3), 1-10.

วรจกณา เรียนสุทธิ. (2565). ปริมาณการส่งออกน้ำตาลด้วยวิธีการทางสถิติ. *PBRU Science Journal*, 19(1), 1-12.

ศูนย์สารสนเทศการเจรจาการค้าระหว่างประเทศ กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. (2564, พฤษภาคม). *การส่งออกสินค้าเกษตรของไทยกับประเทศคู่ FTA ในไตรมาสแรก*. <https://api.dtn.go.th/filesv3/60b707f7ef41408df1294252/download>

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). *สถิติการส่งออกเครื่องเทศปี 2559-2566*. <https://impexpth.oae.go.th/export>

อิสริยาพร หลวงหาญ. (2562). ตัวแบบสำหรับการพยากรณ์การจำหน่ายผลิตภัณฑ์นมยูเอชทีที่เหมาะสมด้วยวิธีปรับเรียบแบบเอกโพเนนเชียล. *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม* (น. 583-587). คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Lip, N. M., Rizuan, N. L. N. M., Iezudin, N. I., Mohamad, N. A., Rasyid, N. R. M. R., Hassan, F. A., Ithnin, H. (2021). Comparative study of smoothing methods and Box-Jenkins model in forecasting unemployment rate in malaysia. *GADING Journal of Science and Technology*, 4(1), 1-8.

Yonar, H., Yonar, A., Tekindal, M. A., Tekindal, M. (2020). Modeling and forecasting for the number of cases of the COVID-19 pandemic with the curve estimation models, the Box-Jenkins and exponential smoothing methods. *Eurasian Journal of Medicine and Oncology*, 4(2), 160-165. <https://DOI: 10.14744/ejmo.2020.28273>

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) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งบทความวิจัยเพื่อรับการพิจารณาตีพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิกและไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน รวมถึงไม่อยู่ระหว่างพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารใด 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 ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด **18 pt. ตัวหนา**

3.2 ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ**

3.3 หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา**

3.4 หัวข้อรองใช้อักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา**

3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวบาง**

3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 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 ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงอรรถของหน้าแรก 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 ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้

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

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 ฐานะวุฒ. (2547). *หัวใจใหม่-ชีวิตใหม่*. ปิตติศึกษา.

2. บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์

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

ตัวอย่าง:

มานะ สินธุวงษานนท์. (2549). ปัจจัยส่งเสริมการจัดการศึกษาที่ส่งผลต่อคุณภาพนักเรียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วารสาร
ครุศาสตร์, 18 (2), 115-116.

3. รายงานการประชุมเชิงวิชาการ (Proceeding)

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

ตัวอย่าง:

พัชรภา ตันติชูเวช. (2553). การศึกษาทั่วไปกับคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ในประเทศมาเลเซีย และสิงคโปร์ ศึกษา
โดยเปรียบเทียบกับประเทศไทย. ใน ศิริชัย กาญจนวาสี (บ.ก.), การขับเคลื่อนคุณภาพการศึกษาไทย. การประชุมวิชาการ
และเผยแพร่ ผลงานวิจัยระดับชาติ (น. 97-102). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

4. หนังสือพิมพ์และหนังสือพิมพ์ออนไลน์

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

ตัวอย่าง:

พงษ์พรรณ บุญเลิศ. (2561, 15 สิงหาคม). เติลนิวส์ว่าไรต์: 'สื่อพิพิธภัณฑ' เชื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย 'มิติใหม่' อินเทอร์เน็ต.
เติลนิวส์, 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.Walaiporn 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

JOURNAL OF

SCIENCE AND TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Volume 43 Number 1 January- February 2024

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

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
INDEXED IN

