



PBRU Science Journal

ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2567

Volume 21 Number 1 January - June 2024

ISSN 2773-9716 (online)



PBRU Science Journal

ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2567

Volume 21 Number 1 January - June 2024

ISSN 2773-9716 (online)

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสนาะ กลิ่นงาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ ไกรเนตร์

อธิการบดี

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บรรณาธิการ

อาจารย์ ดร. ไกรฤกษ์ ทวีเชื้อ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษกร อุยวงษ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกกรัตน์ จิรสังจานุกุล

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เมษิยา แยมเจริญกิจ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

อาจารย์ ดร. สุมิตานันท์ จันทะบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

นางสาวอรุณี แก้วบริสุทธิ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ศาสตราจารย์ ดร.ปริษา ภูวไพริศริศาล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ภก.ดร.ปิติ จันทวรโรชิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.สุนิยา สุขสำราญ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รองศาสตราจารย์ ดร.โกมล ไพศาล

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

รองศาสตราจารย์ ดร.จินตนา วิบูลย์ศิริกุล

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐนันท์ หงส์วิทธิธร

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.บัญญัติ ยิ่งงาม

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณชัย ขาแท่น

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

รองศาสตราจารย์ ดร.สิริธร สโมสร

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

รองศาสตราจารย์ ดร.อัมไพศักดิ์ ทัพญมา

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิสรา ศรีวัฒนาวรรณ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรเดช สืบเจริญ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานิศา แก้วสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินันท์ แก่นทอง

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภลักษณ์ โพธิ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อาจารย์ ดร.อภิรดา สถาปัตยานนท์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



PBRU Science Journal

ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2567

Volume 21 Number 1 January - June 2024

ISSN 2773-9716 (online)

สำนักงานกองบรรณาธิการ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

โทรศัพท์ 0 3270 8633 โทรสาร 0 3270 8661

เว็บไซต์ <http://sciencejournal.pbru.ac.th>

อีเมล sciencejournal@mail.pbru.ac.th

ข้อมูลผู้พิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

โทรศัพท์ 0 3270 8633 โทรสาร 0 3270 8661

วัตถุประสงค์ และขอบเขตของวารสาร

PBRU Science Journal เป็นวารสารที่จัดทำโดย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณค่า และเพื่อนำไปสู่การพัฒนาคำถามความรู้ใหม่และนวัตกรรมที่ทันสมัย ซึ่งผลงานที่สามารถเผยแพร่ในวารสารมีทั้งบทความวิจัย (research article) ทางด้านวิทยาศาสตร์ เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา จุลชีววิทยา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณิตศาสตร์ สถิติ คอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยบทความที่จะขอรับการตีพิมพ์ ต้องเป็นผลงานที่ไม่ได้ทำการคัดลอกจากผลงานของผู้อื่น ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น โดยทุกบทความต้องผ่านการบรรณาการตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการจากคณะผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้อง

กำหนดการตีพิมพ์

ปีละ 2 ฉบับ

ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน

ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม

บทความทุกเรื่องในวารสารฉบับนี้ ได้รับพิจารณาประเมินคุณภาพทางวิชาการก่อนการตีพิมพ์ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ตามสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจากภายใน หรือภายนอกมหาวิทยาลัยจำนวน 3 ท่านต่อ 1 บทความ

บทความและแนวคิดใด ๆ ที่พิมพ์ใน PBRU Science Journal เป็นความรับผิดชอบของผู้แต่ง

กองบรรณาธิการวารสารไม่สนใจสิทธิ์ ในการคัดลอกเพื่อการพัฒนาเชิงวิชาการ แต่ต้องได้รับการอ้างอิงอย่างถูกต้อง ไม่มีการเรียกเก็บค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์ในวารสาร PBRU Science Journal



PBRU Science Journal

ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2567

Volume 21 Number 1 January - June 2024

ISSN 2773-9716 (online)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย.....1	
สิโรรัตน์ จันทาม, กนิษฐา ยี่มนาค และ จุฑารัตน์ โพธิ์หลวง*	
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อข้อมูลมีการแจกแจง	
แบบผสม.....17	
บำรุงศักดิ์ เผื่อนอารีย์, อภัสรา เกิดพุ่ม และ ภัทราภรณ์ กิจผลเจริญ*	
ผลของตัวทำละลายต่างชนิดที่ใช้ในการสกัดลำต้นโคลงเคลงต่อฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระ	
และสารฟลาโวนอยด์.....30	
รัตนา วงศ์ชูพันธ์*, พินพิศา เทพราช, กมลชนก สุริยมาต, เพ็ญนภา ชูยงค์	
และ เน่งน้อย แสงแสนห์	
การสำรวจมันสกุล <i>Dioscorea</i> และผลของสารสกัดหยาบแบ่งต่อการเจริญของแบคทีเรีย.....45	
ณัฐภูมิ มีศิลป์* และกฤติกา บุญสุภาวงศ์	
การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตาม	
เกณฑ์ CEFR ของศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.....56	
นิสันติ ศิลประเสริฐ	
ผลเฉลี่ยที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$73	
ภกาศี สุดสงวน* และวราภรณ์ สุดสงวน	
Data Mining from Education-Related Search Suggested Text on the Web.....88	
Jincheng Zhang*, Thada Jantakoon, Rukthin Laoha and Potsirin Limpinan	
การเจริญเติบโตและผลตอบแทนการเลี้ยงปลาในแปลงเพศความหนาแน่นสูงในกระชังบ่อดิน	
ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง.....114	
ชลิตา ช่างแก้ว*, บัญญัติ ศิริธนาวงศ์, อัจฉรีย์ ภูมวรรณ, รุ่งกานต์ กล้าหาญ, ทิพย์สุดา ชังดเวช และ	
จุฑามาศ ทะแก้วพันธ์	

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย

Mathematical Model for Forecasting the Quantity Production of Biodiesel in Thailand

สิโรรัตน์ จันทงาม¹, กนิษฐา ยิมนาค² และ จูฑารัตน์ โพธิ์หลวง^{1*}

Sirorath Channgam¹, Kanittha Yimnak², and Jutarat Pholuang^{1*}

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

²ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

¹Applied Mathematics Program, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathum Thani Province

²Department of Mathematics and Computer Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

*Corresponding author; E-mail: jutarat@vru.ac.th

Received: 09 November 2023 /Revised: 07 January 2024 /Accepted: 27 February 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันรายเดือนในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566 จำนวน 79 ค่า โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 72 ค่า สำหรับการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลท์ วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์รวม และข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566 จำนวน 7 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อคัดเลือกแบบจำลองที่พยากรณ์ได้แม่นยำและเหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ผลการวิจัยพบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุด คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (MAPE = 41.833 และ RMSE = 0.324) และมีตัวแบบการพยากรณ์คือ ARIMA (0, 2, 1) ที่มีพจน์ค่าคงที่

คำสำคัญ: แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การพยากรณ์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ไบโอดีเซล

Abstract

This research aimed to compare a mathematical model for forecasting the monthly quantity production of biodiesel as fatty acid methyl ester in Thailand. The data was collected from the Department of Energy Business, Ministry of Energy from January 2017 to July 2023, with 79 values, divided into two sets. In the first set from January 2017 to December 2022, 72 values were used for the modeling by Holt's exponential smoothing method, Brown's exponential smoothing method, Box-Jenkins method, and combined forecasting. In the second set from January to July 2023, 7 values were used for checking the accuracy of the forecasting models via the determination of the lowest mean absolute percentage error (MAPE) and root mean square error (RMSE). The results found that the Box-Jenkins method was the most appropriate method (MAPE = 41.833, RMSE = 0.324). The model for forecasting was ARIMA (0, 2, 1) with constant.

Keywords: Mathematical model, Forecasting, Box-Jenkins method, Biodiesel

บทนำ

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่มีคุณสมบัติการเผาไหม้เหมือนกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม (Petroleum) เกิดจากการผสมระหว่างวัตถุดิบธรรมชาติที่ให้พลังงาน เช่น ปาล์ม น้ำมัน สบู่ดำ ไขมันสัตว์ น้ำมันพืชใช้แล้ว (Waste vegetable oil) กับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล โดยมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้กรดไขมัน ได้แก่ เมทิลเอสเตอร์ (Methyl ester) หรือเอทิลเอสเตอร์ (Ethyl ester) และกลีเซอริน (Glycerin) ออกมา โดยเรียกเอสเตอร์ดังกล่าวนี้ว่าไบโอดีเซล (B100) ซึ่งสามารถใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำหรือเครื่องจักรกลทางการเกษตรได้¹

นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังสามารถนำมาผสมในน้ำมันดีเซลตามสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ สำหรับประเทศไทยเริ่มต้นขึ้นใน

ปี พ.ศ. 2550 โดยในระยะแรกภาครัฐกำหนดให้มีการผสมในสัดส่วน 2-3% (ดีเซล B2) จากนั้นในปี พ.ศ. 2555 มีการผสมไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นเป็น 5% (ดีเซล B5) และเพิ่มขึ้นเป็น 7% (ดีเซล B7) ในปี พ.ศ. 2557 ตามลำดับ ส่งผลให้มีการใช้ไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามรัฐบาลได้มีการปรับเพิ่มหรือลดสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลในน้ำมันดีเซล ตามผลผลิตของปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลด้วย โดยล่าสุดได้ประกาศให้น้ำมันดีเซล B10 เป็นดีเซลพื้นฐานของประเทศไทยแทนน้ำมันดีเซล B7 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2563 เป็นต้นไป โดยที่น้ำมันดีเซล B7 เป็นทางเลือกสำหรับรถเก่าและรถยุโรปที่ยังไม่รองรับน้ำมันดีเซล B10 และน้ำมันดีเซล B20 เป็นทางเลือกสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่²

จากสถานการณ์ที่ผ่านมาอุตสาหกรรมไบโอดีเซลในประเทศไทย มีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่องตามปริมาณการใช้ที่เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ จำนวนรถเครื่องยนต์ดีเซลสะสมที่เพิ่มขึ้น และแผนพัฒนาพลังงานทดแทนที่เพิ่มขึ้นในภาคขนส่ง ทำให้ปริมาณการใช้ไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 1.72 ล้านลิตร/วัน ในปี พ.ศ. 2554 เป็น 4.25 ล้านลิตร/วัน ในปี พ.ศ. 2561 เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 13.8% ต่อปี และในช่วงเวลาเดียวกันปริมาณการผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจาก 1.73 ล้านลิตร/วัน เป็น 4.34 ล้านลิตร/วัน เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 14.1%³ ซึ่งถ้าทราบแนวโน้มปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย จะเป็นผลดีอย่างมากต่อการวางแผนการผลิตและการใช้ประโยชน์ของไบโอดีเซล เนื่องจากการใช้ไบโอดีเซลที่ผลิตในประเทศจะช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ ส่งผลให้ประเทศมีความมั่นคงด้านพลังงานมากขึ้น การใช้ไบโอดีเซลแทนน้ำมันดีเซลจะช่วยลดมลพิษทางอากาศได้ และการผลิตไบโอดีเซลที่ผลิตจากพืชผลทางการเกษตร เช่น น้ำมันปาล์ม สบู่ดำ จะเป็นการส่งเสริมให้เกษตรกรที่ปลูกพืชมีรายได้เพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของพิรवारณ หนูเสน และคณะ ที่ทำการเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการผลิตน้ำมันดิบในประเทศไทย ทำให้ทราบแนวโน้มและสามารถพยากรณ์ปริมาณการผลิตน้ำมันดิบในประเทศไทยล่วงหน้าในระยะ 6 เดือน ได้อย่างเหมาะสม⁴

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester: FAME) รายเดือนในประเทศไทย โดยแบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ที่นำมาเปรียบเทียบมี 4 วิธี คือ วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลท์ (Holt's Exponential Smoothing method) วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ (Brown's Exponential Smoothing Method) วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method) และวิธีการพยากรณ์ร่วม (Combined Forecasting Method) โดยประสิทธิภาพของแบบจำลองพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percent Error: MAPE) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE)

วิธีการวิจัย

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพยากรณ์ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย จะใช้ข้อมูลปริมาณการผลิตไบโอดีเซลรายเดือนจากกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน^{5,6} ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566 จำนวน 79 ค่า โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 72 ค่า สำหรับการสร้างแบบจำลอง และข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566 จำนวน 7 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อคัดเลือกแบบจำลองที่พยากรณ์ได้แม่นยำและเหมาะสมที่สุด

จากข้อมูลชุดที่ 1 พบว่า ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 เป็นข้อมูลที่มีอิทธิพลของแนวโน้มเชิงเส้นตรง (Linear trend) ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดัง Figure 1

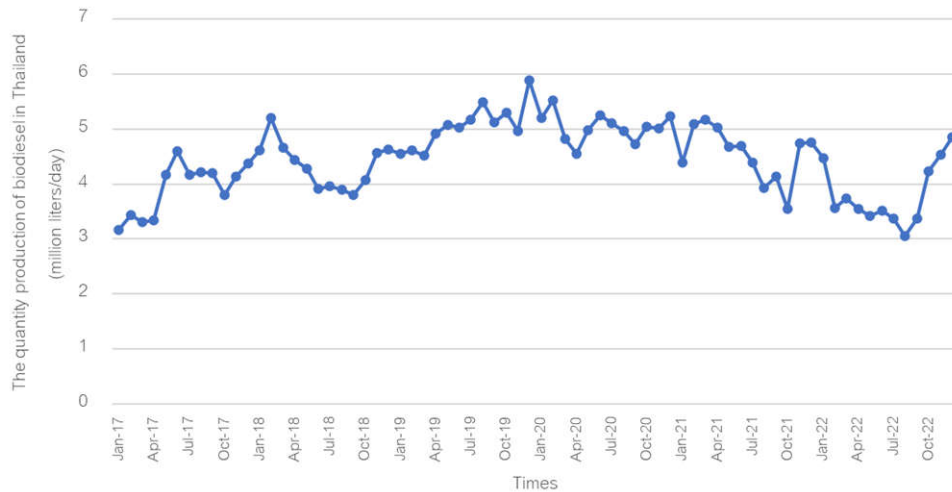


Figure 1. The movement of the quantity production of biodiesel in Thailand from January 2017 to December 2022

2. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากข้อมูลปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566 คณะผู้วิจัยจะใช้วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมทั้งหมด 4 วิธี ในการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลท์ วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ วิธีบอซซ์-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์รวม ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลท์⁷ เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มเชิงเส้นตรงและไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล มีค่าคงที่สำหรับการปรับให้เรียบ 2 ตัว คือ ค่าคงที่สำหรับการปรับให้เรียบของค่าระดับ (Level: α) และค่าคงที่สำหรับการปรับให้เรียบของค่าความชัน (Trend: γ) โดยมีตัวแบบการพยากรณ์ ดังสมการที่ (1)

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

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

m แทนช่วงจำนวนเวลาที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

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

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

α, γ แทนค่าคงที่สำหรับการปรับให้เรียบ ซึ่ง $0 < \alpha < 1$ และ $0 < \gamma < 1$

สำหรับการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบการพยากรณ์ จะพิจารณาจากเกณฑ์สารสนเทศของเบส์ (Bayesian Information Criterion: BIC) ที่มีค่าต่ำที่สุด แสดงถึงความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่มีค่าต่ำ สำหรับการตรวจสอบตัวแบบการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้พิจารณาจากค่าสถิติของบอซซ์และจุง (Ljung-Box Q) ที่ไม่มีนัยสำคัญ และความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์

ต้องมีลักษณะตามข้อสมมติ คือ ความคลาดเคลื่อน มีการแจกแจงปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา

2.2 วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์^๖ เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มเชิงเส้นตรงและไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล มีค่าคงที่สำหรับการปรับให้เรียบของค่าระดับและค่าความชันเท่ากัน โดยมีตัวแบบการพยากรณ์ ดังสมการที่ (2)

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

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

m แทนช่วงจำนวนเวลาที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

a_t แทนค่าประมาณระยะตัดแกน ณ เวลา t ซึ่ง $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)a_{t-1}$

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

α แทนค่าคงที่สำหรับการปรับให้เรียบ ซึ่ง $0 < \alpha < 1$

สำหรับการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบการพยากรณ์ จะพิจารณาเหมือนกับวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลท์

2.3 วิธีบอซ-เจนกินส์^๗ เป็นวิธีที่ได้รับการนิยมนำมาใช้ผลการพยากรณ์ในระยะสั้นที่มีความแม่นยำ โดยกำหนดตัวแบบการพยากรณ์จากการตรวจสอบฟังก์ชันสหสัมพันธ์ตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) ของอนุกรมเวลาแบบคงที่ (Stationary time series) หรืออนุกรมเวลาที่มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่ตลอดเวลา หากพบว่าอนุกรมเวลา มีความเคลื่อนไหวแบบไม่คงที่ (Non-stationary

time series) จะต้องแปลงอนุกรมเวลานั้นให้เป็นอนุกรมเวลาที่คงที่ก่อนการกำหนดตัวแบบ หากอนุกรมเวลาไม่คงที่ ควรแปลงอนุกรมเวลาโดยการหาผลต่างหรือผลต่างฤดูกาล (Difference or seasonal difference) หากอนุกรมเวลาไม่คงที่ ควรแปลงอนุกรมเวลาโดยใช้ลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithm) หรือรากที่สอง (Square root) เป็นต้น การสร้างตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีบอซ-เจนกินส์ มีขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดตัวแบบการพยากรณ์ โดยพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่มีการปรับให้เป็นอนุกรมเวลาที่คงที่ โดยมีตัวแบบทั่วไปของวิธีบอซ-เจนกินส์ คือ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s ดังสมการที่ (3) แต่ในกรณีที่อนุกรมเวลาได้รับอิทธิพลของแนวโน้มเพียงอย่างเดียว ตัวแบบจะลดรูปเป็น Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA(p,d,q)

$$\phi_p(B)\Phi_P(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D Y_t = \delta + \theta_q(B)\Theta_Q(B^S)\varepsilon_t \quad (3)$$

เมื่อ Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระต่อกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนคงที่ทุกช่วงเวลา

δ แทนค่าคงที่ ซึ่ง $\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_P(B^S)$ โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาแบบคงที่

$\phi_p(B)$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองแบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่ p (Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p : AR(p)) ซึ่ง $\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$

$\Phi_p(B^S)$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเอง
แบบมีฤดูกาลอันดับที่ P (Seasonal Autoregressive
Operator of Order P : SAR(P)) ซึ่ง

$$\Phi_p(B^S) = 1 - \Phi_1 B^S - \Phi_2 B^{2S} - \dots - \Phi_p B^{pS}$$

$\theta_q(B)$ แทนตัวแบบดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่
แบบไม่มีฤดูกาลอันดับที่ q (Non-Seasonal Moving
Average Operator of Order q : MA(q)) ซึ่ง

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$$

$\Theta_Q(B^S)$ แทนตัวแบบดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่
แบบมีฤดูกาลอันดับที่ Q (Seasonal Moving
Average Operator of Order Q : SMA(Q)) ซึ่ง

$$\Theta_Q(B^S) = 1 - \Theta_1 B^S - \Theta_2 B^{2S} - \dots - \Theta_Q B^{QS}$$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n
โดยที่ n แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

S แทนจำนวนฤดูกาล

d, D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและ
ผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง
(Backward operator) โดยที่ $B^S Y_t = Y_{t-S}$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าพารามิเตอร์จากการ
พิจารณารูป ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่
คงที่ และประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบความเหมาะสมของ
ตัวแบบการพยากรณ์ที่กำหนด โดยพิจารณา
จากรูป ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน
จากการพยากรณ์หรือจากการทดสอบสหสัมพันธ์
ในตัวเองของสถิติบ็อกซ์-จังก์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
เพื่อตรวจสอบความเป็นอิสระต่อกัน สำหรับการ
ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์
ด้วยการทดสอบที (t-test) และความแปรปรวน

คงที่ด้วยการทดสอบของเลวีเนภายใต้การใช้อนุภาค
(Levene's test based on median) ถ้าไม่ผ่านการ
ตรวจสอบ จะต้องกลับไปดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1
ใหม่อีกครั้ง เพื่อให้ได้ตัวแบบการพยากรณ์ที่มี
ความเหมาะสม ในกรณีที่ตัวแบบการพยากรณ์
ที่มีความเหมาะสมมากกว่าหนึ่งตัวแบบการ
พยากรณ์ สามารถพิจารณาจากเกณฑ์สารสนเทศ
ของเบย์ที่มีค่าต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 พยากรณ์อนุกรมเวลาล่วงหน้า
ด้วยตัวแบบการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมที่สุด

2.4 วิธีการพยากรณ์รวม¹⁰ เป็นการหาค่า
พยากรณ์ใหม่โดยการหาตัวถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสม
กับวิธีการพยากรณ์เดี่ยวแต่ละวิธี แล้วนำค่า
พยากรณ์เดี่ยวแต่ละวิธีที่ใช้ในการศึกษามารวมกัน
ซึ่งมีตัวแบบการพยากรณ์ ดังสมการที่ (4)

$$\hat{Y}_t = \sum_{j=1}^m W_j \hat{Y}_{jt} \quad (4)$$

เมื่อ $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์รวม ณ เวลา t

W_j แทนตัวถ่วงน้ำหนักของวิธีการพยากรณ์
ที่ j ซึ่ง $W_j = \frac{1}{m}$

$\hat{Y}_{jt}$ แทนค่าพยากรณ์ของวิธีการพยากรณ์
ที่ j ณ เวลา t

j แทนวิธีการพยากรณ์ ซึ่ง $j = 1, 2, \dots, m$

3. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ
แบบจำลองจะพิจารณาว่า แบบจำลองใดมีความ
แม่นยำในการพยากรณ์ปริมาณการผลิตไบโอดีเซล
ในประเทศไทยมากที่สุด ด้วยการเปรียบเทียบค่า
พยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 4 วิธีที่นำมาศึกษากับ
ค่าข้อมูลจริงของข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งก็คือ ปริมาณ
การผลิตไบโอดีเซลรายเดือนในประเทศไทย ตั้งแต่

เดือนมกราคมถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566 จำนวน 7 ค่า โดยพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ดังสมการที่ (5) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ดังสมการที่ (6) ที่มีค่าต่ำที่สุด

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \times 100 \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (e_t)^2}{n}} \quad (6)$$

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

Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

$\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

ผลการวิจัย

1. ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.1 วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลท์

จากการสร้างตัวแบบการพยากรณ์โดยใช้วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลท์ พบว่า BIC = -1.717 และค่าสถิติของบ็อกซ์และจุงไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag18 = 8.784, p-value = 0.922) แสดงว่าตัวแบบที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้

จากนั้นจึงตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.067, p-value = 0.200) ค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t-test = 0.563, p-value = 0.547)

มีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene statistic = 0.876, p-value = 0.568) และจาก Figure 2 พบว่า มีค่า ACF และ PACF อยู่ในขอบเขต

ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการเคลื่อนไหวแบบอิสระ ดังนั้นตัวแบบการพยากรณ์นี้มีความเหมาะสม จากสมการที่ (1) เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์จะได้ตัวแบบการพยากรณ์ ดังสมการที่ (7)

$$\hat{Y}_{84+m} = 4.843 + 0.249(m) \quad (7)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{84+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา $84 + m$ โดยที่ $m = 1, 2, \dots, 7$ (เดือนมกราคมถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566) และ $\alpha = 0.868$, $\gamma = 0.000397$

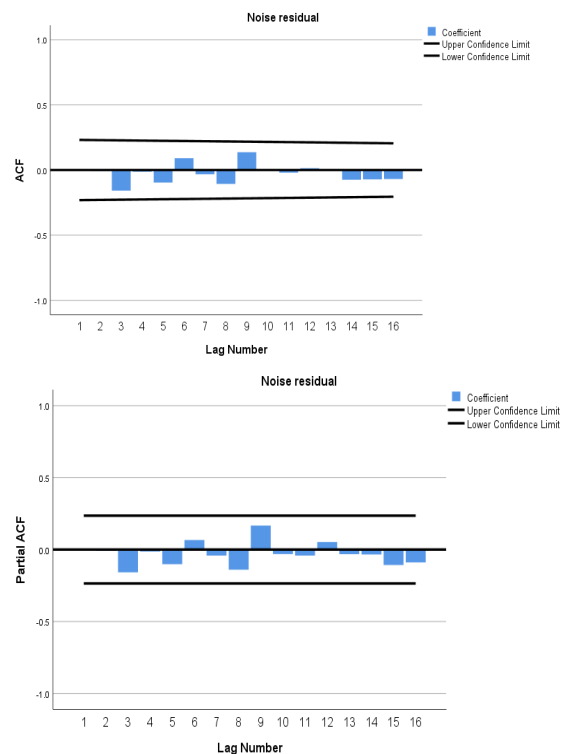


Figure 2. ACF and PACF graphs of the forecast error from Holt's exponential smoothing method

1.2 วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบรวาน์

จากการสร้างตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีของบรวาน์ พบว่า BIC = 12.474 และค่าสถิติของ

บอกรีและจุง ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag14 = 16.789, p-value = 0.469) แสดงว่าตัวแบบที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้

จากนั้นจึงตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าความ คลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.050, p-value = 0.200) ค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t-test = 0.163, p-value = 0.871) มีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene statistic = 1.108, p-value = 0.371) และจาก Figure 3 พบว่า มีค่า ACF และ PACF อยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการเคลื่อนไหวแบบอิสระ ดังนั้นตัวแบบการพยากรณ์นี้มีความเหมาะสม จากสมการที่ (2) เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์จะได้ตัวแบบการพยากรณ์ ดังสมการที่ (8)

$$\hat{Y}_{84+m} = 4.437 + 4.084[(m-1) + \frac{1}{0.449}] \quad (8)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{84+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา $84+m$ โดยที่ $m = 1, 2, \dots, 7$ (เดือนมกราคมถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566) และ $\alpha = 0.449$

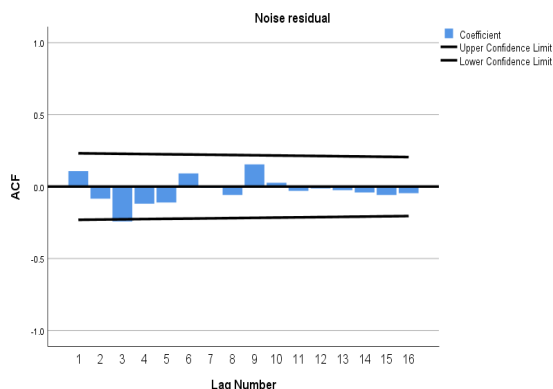


Figure 3. ACF and PACF graphs of the forecast error from Brown's exponential smoothing method

1.3 วิธีบอกรี-เจนกินส์

จากการสร้างตัวแบบการพยากรณ์โดยใช้วิธีบอกรี-เจนกินส์ เมื่อพิจารณากราฟ ACF และ PACF พบว่า อนุกรมเวลาของปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยไม่คงที่ ยังมีส่วนประกอบของแนวโน้ม แต่ไม่มีส่วนประกอบของฤดูกาล ทำให้ค่าเฉลี่ยไม่คงที่ดัง Figure 4 ดังนั้น จึงต้องแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมธรรมชาติและหาผลต่างครั้งที่ 2 ($d = 2$) เมื่ออนุกรมเวลาของปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยมีลักษณะคงที่แล้ว ดัง Figure 5 จึงสามารถกำหนดตัวแบบการพยากรณ์ที่เป็นไปได้และประมาณค่าพารามิเตอร์ พร้อมทั้งตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบการพยากรณ์ ดัง Table 1

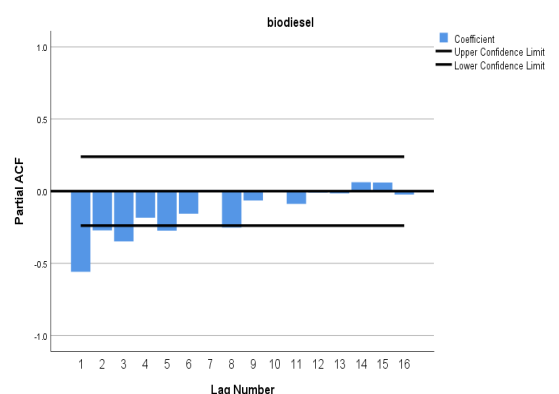
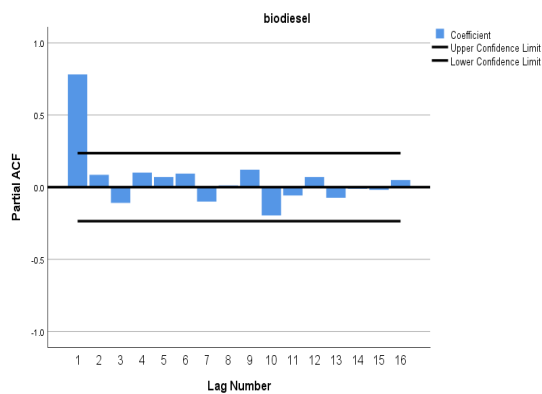
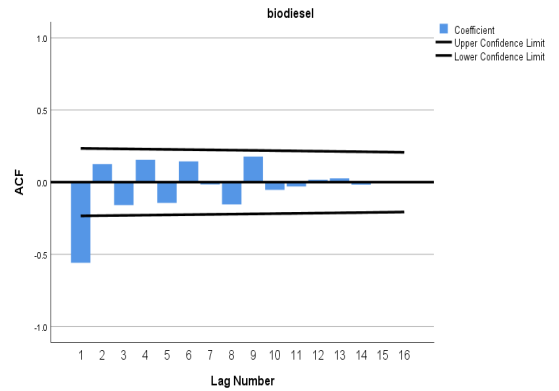
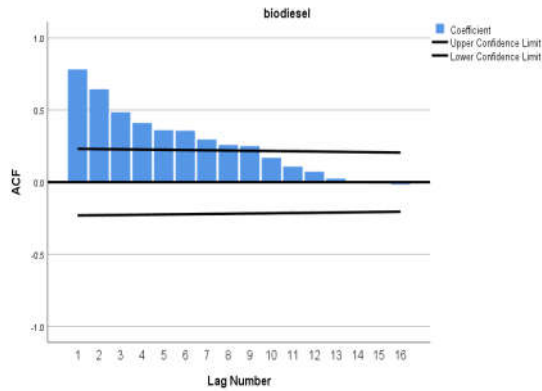


Figure 4. ACF and PACF graphs of the forecast error from Box-Jenkins method

Figure 5. ACF and PACF graphs of the forecast error from Box-Jenkins method by transformed data

Table 1. Parameters of the autoregressive operator of order 1 (ϕ_1), the moving average operator of order 1 (θ_1) and the checking the accuracy of the forecasting models from Box-Jenkins method

Model	Parameters				
		Ljung-Box Q (at lag	constant	ϕ_1	θ_1
ARIMA(p,d,q)	BIC	18)	(p-value)	(p-value)	(p-value)
		(p-value)			
ARIMA (1, 2, 1)	-1.476	7.198 (0.969)	-0.029 (0.030)	-0.117 (0.389)	0.999 (0.779)
ARIMA (1, 2, 0)	-1.121	22.333 (0.172)	-0.024 (0.272)	-0.562 (0.000)	-
ARIMA (1, 2, 0) without constant	-1.160	21.674 (0.198)	-	-0.558 (0.000)	-
ARIMA (0, 2, 1)*	-1.529	9.038 (0.939)	-0.029 (0.048)	-	0.982 (0.000)
ARIMA (0, 2, 1) without constant	-1.503	9.739 (0.914)	-	-	1.000 (0.970)

*Show the appropriate forecasting model

จากการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ARIMA (0, 2, 1) ที่มีพจน์ค่าคงที่ พบว่า BIC = -1.529 และค่าสถิติของบ็อกซ์และจุง ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (Ljung-Box Q ณ lag18 = 9.038, p-value = 0.939) แสดงว่าตัวแบบที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้

จากนั้นจึงตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.075, p-value = 0.200) ค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t-test = -0.377, p-value = 0.708)

มีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene statistic = 0.825, p-value = 0.615) และจาก Figure 6 พบว่า มีค่า ACF และ PACF อยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการเคลื่อนไหวแบบอิสระ ดังนั้นตัวแบบการพยากรณ์นี้มีความเหมาะสม จากสมการที่ (3) เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์จะได้ตัวแบบการพยากรณ์ ARIMA (0, 2, 1) ที่มีพจน์ค่าคงที่ ดังสมการที่ (9)

$$\hat{Z}_t = -0.029 + 2Z_{t-1} - Z_{t-2} + e_t - 0.982e_{t-1} \quad (9)$$

เมื่อ $Z_t = \ln(Y_t)$

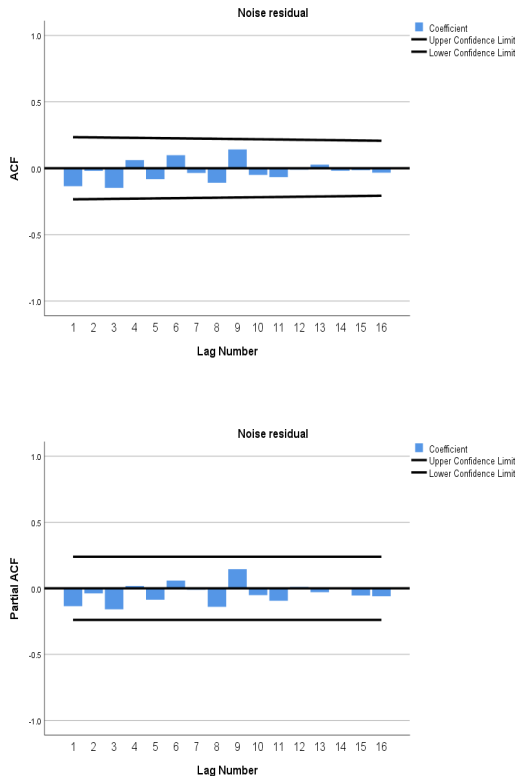


Figure 6. ACF and PACF graphs of the forecast error from Box-Jenkins method

1.4 วิธีการพยากรณ์ร่วม

จากการเปรียบเทียบค่า MAPE และ RMSE ระหว่างวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งมี 2 วิธี คือ วิธีของไฮลท์และวิธีของบราวน์ พบว่าวิธีของบราวน์มีความแม่นยำมากกว่าวิธีของไฮลท์ (วิธีของไฮลท์ให้ค่า MAPE = 369.898, RMSE = 2.561 และวิธีของบราวน์ให้ค่า MAPE = 338.999, RMSE = 2.471) ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงกำหนดให้วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์เป็นวิธีการพยากรณ์เดี่ยวที่ 1 และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีการพยากรณ์เดี่ยวที่ 2 เพื่อนำมาสร้างตัวแบบการพยากรณ์ในครั้งนี้ โดยใช้ข้อมูลค่าพยากรณ์

ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 70 ค่า (เนื่องจากการผลต่างของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ทำให้ค่าพยากรณ์เดือนมกราคมและเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 หายไป 2 ค่า ส่งผลให้ค่าพยากรณ์ของวิธีพยากรณ์ร่วมหายไป 2 ค่าด้วย) จากการสร้างตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วม ระหว่างวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของ บราวน์และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ทำให้ได้ค่าพยากรณ์จำนวน 7 ค่า

จากนั้นจึงตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่าความ คลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 0.060, p-value = 0.200) ค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (t-test = -0.633, p-value = 0.529) มีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene statistic = 0.970, p-value = 0.483) และจาก Figure 7 พบว่ามีค่า ACF และ PACF อยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการเคลื่อนไหวแบบอิสระ ดังนั้น ตัวแบบการพยากรณ์นี้มีความเหมาะสมจากสมการที่ (4) เมื่อกำหนดค่าตัวถ่วงน้ำหนักด้วยวิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเท่ากัน (Equal Weighted Average Method: EWAM) จะได้ตัวแบบการพยากรณ์ร่วม ดังสมการที่ (10)

$$\hat{Y}_t = 0.5\hat{Y}_{1t} + 0.5\hat{Y}_{2t} \quad (10)$$

เมื่อ $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ร่วม ณ เวลา t และ $\hat{Y}_{1t}$, $\hat{Y}_{2t}$ แทนค่าพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์เดี่ยว ณ เวลา t จากวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ตามลำดับ

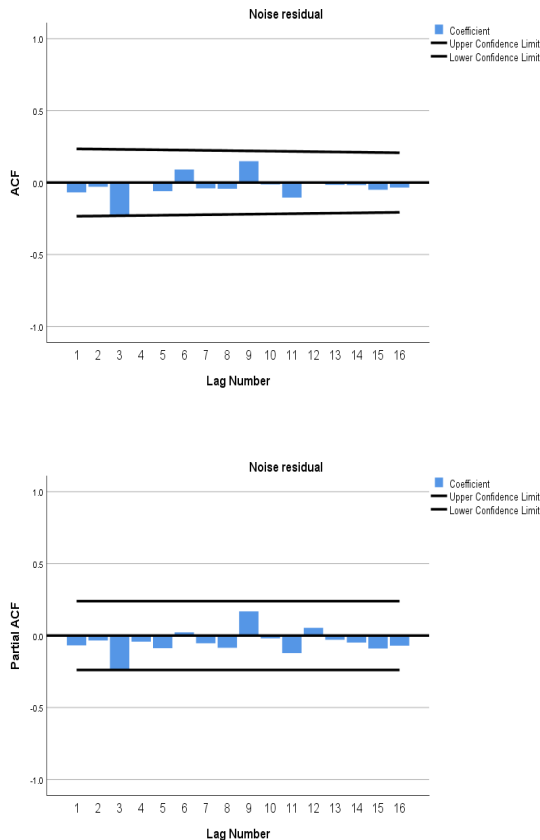


Figure 7. ACF and PACF graphs of the forecast error from combined forecasting method

2. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

จากการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ระหว่างวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล คือ วิธีของไฮลท์และวิธีของบราวน์ พบว่า วิธีของบราวน์มีความแม่นยำมากกว่าวิธีของไฮลท์ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงไม่นำวิธีการพยากรณ์ของไฮลท์มาพิจารณาอีก ทำให้วิธีการพยากรณ์ลดลงจาก 4 วิธี เหลือเพียง 3 วิธี ได้แก่ วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ วิธีบอซ-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์ร่วม

จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี พบว่า ตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีบอซ-เจนกินส์ คือ ARIMA (0, 2, 1) ที่มีพจน์ค่าคงที่ ให้ค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด และเมื่อพิจารณาค่า MAPE และ RMSE พบว่า ตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีบอซ-เจนกินส์ คือ ARIMA (0, 2, 1) ที่มีพจน์ค่าคงที่ (MAPE = 41.833, RMSE = 0.324) ให้ค่าน้อยที่สุด ดัง Table 2 และ Figure 8 แสดงว่าวิธีการพยากรณ์ด้วยวิธีบอซ-เจนกินส์ คือ ARIMA (0, 2, 1) ที่มีพจน์ค่าคงที่ ให้ความแม่นยำมากที่สุดในการพยากรณ์ข้อมูลชุดนี้

Table 2. Comparison between actual values and forecast values of the quantity production of biodiesel in Thailand

Month	Actual values	Forecast values from methods		
		Brown	Box-Jenkins	Combined forecasting
January 2023	4.562	5.180	4.970	5.075
February 2023	5.058	5.580	4.990	5.285
March 2023	4.676	6.020	4.930	5.475
April 2023	4.247	6.520	4.810	5.665
May 2023	4.259	7.070	4.670	5.870
June 2023	4.538	7.700	4.520	6.110
July 2023	4.270	8.420	4.390	6.405
	MAPE	338.999	41.833 [*]	188.675
	RMSE	2.471	0.324 [*]	1.341

^{*}Show minimum value

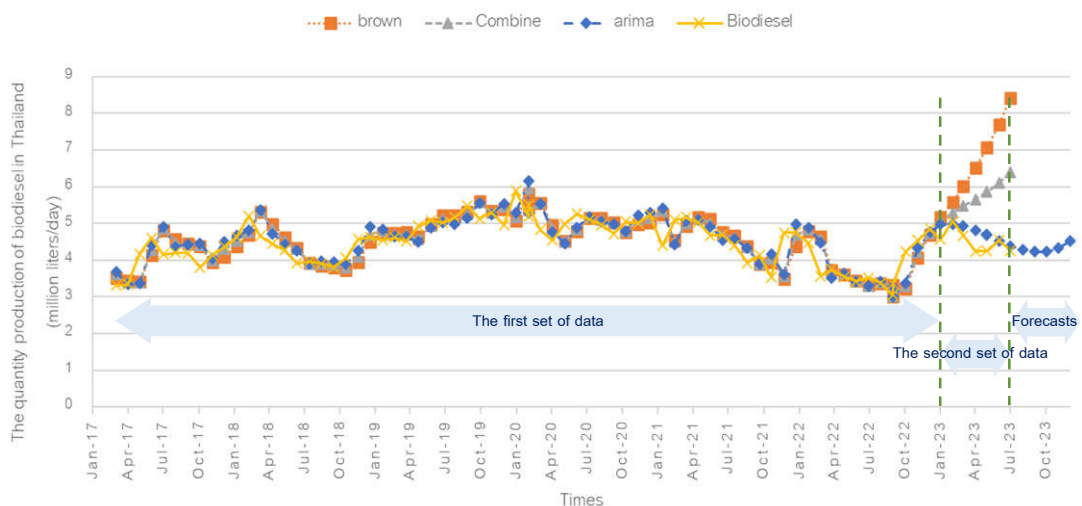


Figure 8. Comparison between actual values and forecast values of the quantity production of biodiesel in Thailand

อภิปรายผล

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย ผลการวิจัยพบว่า ตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม คือ ตัวแบบ ARIMA (0, 2, 1) ที่มีพจน์ค่าคงที่ ซึ่งเป็นตัวแบบการพยากรณ์ที่ได้จากวิธีของบอซ-เจนกินส์ โดยที่ลักษณะของข้อมูลที่น่าสนใจในครั้งนี้มีเปลี่ยนแปลงตามอิทธิพลของแนวโน้ม เช่นเดียวกับข้อมูลปริมาณการผลิตน้ำมันดิบในประเทศไทยจากงานวิจัยของพิราวรรณ หนูเสน และคณะ ที่ทำการเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการผลิตน้ำมันดิบในประเทศไทย⁴ และสอดคล้องกับการใช้แบบจำลอง ARIMA กับอุบัติเหตุการจราจรบนท้องถนนในประเทศไทย¹¹ แต่ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบการพยากรณ์มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าข้อมูลที่น่าสนใจสร้างตัวแบบเป็นข้อมูลคนละช่วงเวลา แต่ให้ผลงานวิจัยแตกต่างจากงานวิจัยของวรางคณา เรียนสุทธิ ที่ทำการเปรียบเทียบการพยากรณ์ทิศทางลมที่รับความสูง 120 เมตร จังหวัดนครศรีธรรมราชที่พบว่าวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลด์เป็นวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด¹² ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าข้อมูลที่น่าสนใจใช้ในการสร้างตัวแบบเป็นข้อมูลคนละช่วงเวลา เมื่อพิจารณาปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566 พบว่า แนวโน้มปริมาณการผลิตไบโอดีเซลมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยมีค่ามากที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ คือ 5.058 ล้านลิตรต่อวัน จากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่อง

ในเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเดือนมิถุนายน จากนั้นลดลงอีกครั้งในเดือนกรกฎาคม ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา รวมถึงผลกระทบจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น ปริมาณวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันปาล์ม ไขมันสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว¹³ ค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซล ความต้องการใช้ไบโอดีเซล การเจริญเติบโตของภาคอุตสาหกรรมที่มีการใช้ไบโอดีเซล² เป็นต้น ดังนั้น สำหรับการวิจัยครั้งต่อไปจึงควรนำปัจจัยดังกล่าวมาศึกษาพร้อมด้วยโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis)¹⁴ เพื่อหาตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมและใช้พยากรณ์ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลในอนาคตได้แม่นยำยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับพยากรณ์ปริมาณการผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันรายเดือนในประเทศไทย โดยแบบจำลองที่น่าสนใจเปรียบเทียบมี 4 วิธี คือ วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของโฮลด์ วิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ วิธีบอซ-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์ร่วม ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองวิธีบอซ-เจนกินส์ คือตัวแบบ ARIMA (0, 2, 1) มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากที่สุด โดยให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด (MAPE = 41.833, RMSE = 0.324) รองลงมาคือ แบบจำลองวิธีการพยากรณ์ร่วม (MAPE = 188.675, RMSE = 1.341) และวิธีการ

ทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยวิธีของบราวน์ (MAPE = 338.999, RMSE = 2.471) ตามลำดับตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบอซ-เจนกินส์จึงเป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปใช้พยากรณ์ปริมาณการการผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

1. อ้อยใจ ทองเฉอ, วิฑูรย์ กุศลวิน, อุกฤษฏ์ สหพัฒนสมบัติ. รู้จักไบโอดีเซลใน 4 ชั่วโมง. ปทุมธานี: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ; 2550.
2. นรินทร์ ต้นไพบูลย์. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2563-2565: อุตสาหกรรมไบโอดีเซล [อินเทอร์เน็ต]. 2563 [เข้าถึงเมื่อ 10 ก.ย. 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/energy-utilities/biodiesel/io/io-biodiesel-20>
3. อภิญา ขนุนทอง. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566: อุตสาหกรรมไบโอดีเซล [อินเทอร์เน็ต]. 2564 [เข้าถึงเมื่อ 10 ก.ย. 2566]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/energy-utilities/biodiesel/io/io-biodiesel-21>
4. พิรารวรรณ หนูเสน, ประสิทธิ์ พยัคฆพงษ์, ธิดาพร ศุภภากร. การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการผลิตน้ำมันดิบในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 2558;23:377-84.
5. กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน. ปริมาณการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน [อินเทอร์เน็ต]. 2562 [เข้าถึงเมื่อ 10 ก.ย. 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://www.doeb.go.th/info/data/datadistribution/biodieselB100_Manufac.pdf
6. กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน. การผลิตไบโอดีเซล เปรียบเทียบ 5 ปีย้อนหลังจนถึงปัจจุบัน [อินเทอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 10 ก.ย. 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://data.doeb.go.th/no/dataset/product_ion_b100_5years_current/resource/d0a4cad6-8ed9-4532-8352-e29551d204b2
7. ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์. เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ: การวิเคราะห์อนุกรมเวลา. นครปฐม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล; 2556.
8. มุกดา แม้นมิตร. อนุกรมเวลาและการพยากรณ์. กรุงเทพฯ: ไพร์พริ้นตัง; 2549.
9. สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. เทคนิคการพยากรณ์. สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ; 2548.
10. Huang H, Lee TH. To combine forecasts or to combine information? Econom Rev 2010;29:534-70.
11. Avuglah RK, Adu-Poku KA, Harris E. Application of ARIMA models to road traffic accident cases in Ghana. Int J Stat Appl 2014;4:233-9.
12. วรางคณา เรียงสุทธิ. การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ทิศทางลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ 2563;11:40-52.



13. ภิรมย์ สุวรรณสม, ทองสุข พละมา, ปันดดา แทนสุโพธิ์. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้ว โดยใช้เถ้าแกลบเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและหาสภาวะที่เหมาะสม โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม; 2561.

14. Johnson RA, Bhattacharyya GK. Statistics Principles and Methods. 6th ed. Chichester: John Wiley; 2011.

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบผสม

A Comparison of the Efficiency of Correlation Coefficient Tests for Mixture Distribution

บำรุงศักดิ์ เผื่อนอารีย์, อภัสรา เกิดพุ่ม และภัทราภรณ์ กิจผลเจริญ*

Bumrungsak Phuenaree, Aphassara Koedphum and Pattaraporn Kidpholjaroen*

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Department of Mathematics, Faculty of Science, Burapha University

*Corresponding author; E-mail: pattara@go.buu.ac.th

Received: 21 November 2023 /Revised: 10 February 2024 /Accepted: 27 February 2024

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พื้นฐาน 3 วิธี ได้แก่ การทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน การทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปียร์แมน และการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัล เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติแบบผสม การแจกแจงล็อกนอร์มัลแบบผสม และการแจกแจงแกมมาแบบผสม ซึ่งการแจกแจงเหล่านี้พบได้กับข้อมูลในชีวิตประจำวัน เช่น ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลการเคลมประกันรถยนต์ เป็นต้น โดยศึกษาที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10, 20, 30, 50 และ 100 กำหนดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.0, 0.4, 0.6 และ 0.8 ผลการศึกษาพบว่า การทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้ง 3 วิธี สามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ทุกกรณี และเมื่อพิจารณาจากกำลังการทดสอบ พบว่า การทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันให้ค่ากำลังการทดสอบสูงที่สุดเมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็ก สำหรับกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดใหญ่และข้อมูลมีการแจกแจงปกติแบบผสม การทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันยังคงให้ค่ากำลังการทดสอบสูงที่สุด แต่เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงล็อกนอร์มัลแบบผสม และการแจกแจงแกมมาแบบผสม พบว่ากรณีส่วนใหญ่การทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัล ให้ค่ากำลังการทดสอบสูงที่สุด

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปียร์แมน สัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์เคนดัล การแจกแจงปกติแบบผสม การแจกแจงล็อกนอร์มัลแบบผสม การแจกแจงแกมมาแบบผสม



Abstract

This study aimed to compare the effectiveness of three correlation coefficient tests: the Pearson correlation coefficient test, the Spearman correlation coefficient test, and the Kendall tau correlation coefficient test. Three types of mixture distribution were considered: mixed normal, mixed log-normal, and mixed gamma. These distributions were the distribution of daily life data, such as rainfall, car insurance claim, etc. The sample sizes in this study were 10, 20, 30, 50, and 100. The correlation coefficients were 0.0, 0.4, 0.6, and 0.8, respectively. The results indicated that all tests could control type I error in all cases. For the power of the test in case of small sample size, The Pearson correlation coefficient test showed the greatest power. In case of a large sample size, this test also performed well for mixed normal distribution but for mixed log-normal and mixed gamma distributions, Kendall tau correlation coefficient test was the best.

Keywords: Pearson correlation coefficient, Spearman correlation coefficient, Kendall tau correlation coefficient, mixed normal distribution, mixed log-normal distribution, mixed gamma distribution

บทนำ

การศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงปริมาณสองตัวแปรนั้น วิธีการทางสถิติโดยทั่วไปที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ สัมประสิทธิ์สหพันธ์เพียร์สัน ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีข้อสมมุติเบื้องต้นที่สำคัญหลายประการและหนึ่งในข้อสมมุติเบื้องต้นคือ ตัวแปรทั้งสองตัวแปรต้องมีการแจกแจงปกติและต้องมีความสัมพันธ์กัน (Bivariate normal distribution) หากตัวแปรที่ศึกษาไม่มีลักษณะที่เป็นไปตามข้อสมมุติเบื้องต้นที่กล่าวมา ต้องเปลี่ยนมาใช้สถิติทดสอบที่ไม่อิงพารามิเตอร์แทน ซึ่งวิธีที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับนำมาใช้ในกรณีนี้คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปียร์แมน และ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัล Chok¹ ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประมาณค่าและทดสอบสมมติฐานของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 3 วิธี

ได้แก่ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปียร์แมน และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัล เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงต่อเนื่องที่สัมพันธ์กัน รวมถึง ชนิดนันท พฤษะประมูลและคณะ² ได้ทำการศึกษาในลักษณะเดียวกันกับงานวิจัยข้างต้น แต่จำลองข้อมูลที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบล็อกนอรัล ผลลัพธ์จากทั้งสองงานวิจัยพบว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันมีแนวโน้มให้กำลังการทดสอบสูงที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวมานั้นแสดงให้เห็นว่า แม้ในบางกรณีข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ไม่มีการแจกแจงปกติ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน ยังคงมีแนวโน้มเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้น ประสิทธิภาพของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับลักษณะการแจกแจงของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ด้วย

สำหรับข้อมูลบางประเภทโดยเฉพาะที่มาจากแหล่งธรรมชาติ เช่น ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน อีกทั้งในด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม หรือแม้กระทั่งด้านอุตุนิยมวิทยา ที่นำมาใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจวางแผนดำเนินงาน ป้องกันและแก้ไขปัญหาที่อาจจะเกิดได้ โดยข้อมูลที่กำลังกล่าวมาส่วนมากเป็นข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงปกติ Suhali et al.³ ได้ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณน้ำฝนรายวันในคาบสมุทรมาเลเซีย โดยใช้การแจกแจงเอ็กซ์โปเนนเชียล การแจกแจงแกมมาแบบผสม การแจกแจงไวบูลล์แบบผสม การแจกแจงล็อกนอร์มัลแบบผสม พบว่าการแจกแจงล็อกนอร์มัลแบบผสมเป็นการแจกแจงที่เหมาะสมที่สุด Sattayatham and Talangtam⁴ ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองชุดข้อมูลเคลมประกันภัยรถยนต์โดยใช้การแจกแจงล็อกนอร์มัลแบบผสมในการวิเคราะห์ข้อมูล และงานวิจัยของ Williford⁵ ได้ศึกษาระยะเวลาการรอเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล โดยใช้การแจกแจงแกมมาแบบผสมในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจากงานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่สำคัญและเป็นประโยชน์มีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบผสม โดยหากต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังกล่าวควรเลือกใช้วิธีการพื้นฐานใดจึงจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการทดสอบสหสัมพันธ์สามวิธี ได้แก่ การทดสอบสหสัมพันธ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน การทดสอบสหสัมพันธ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปียร์แมน และการทดสอบสหสัมพันธ์สหสัมพันธ์เคนดัล ภายใต้ข้อมูลที่มีการ

แจกแจงปกติแบบผสม การแจกแจงล็อกนอร์มัลแบบผสม และการแจกแจงแกมมาแบบผสม โดยมีเกณฑ์พิจารณา คือ ความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 และกำลังการทดสอบ

ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1. การทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัว

ในการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรเชิงปริมาณสองตัว สามารถตั้งสมมติฐานของการทดสอบได้เป็น H_0 ตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน และ H_a ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งการเลือกใช้วิธีการทดสอบต้องพิจารณาจากข้อสมมุติเบื้องต้นเพื่อให้ได้สถิติทดสอบที่เหมาะสม โดยค่าสถิติพื้นฐานที่นำมาศึกษามีดังต่อไปนี้

2. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันเป็นการวัดความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงปริมาณสองตัวแปร โดยมีข้อสมมุติเบื้องต้นที่สำคัญคือ ตัวแปรทั้งสองต้องเป็นตัวแปรต่อเนื่องและอยู่ในมาตราอันตรภาคขั้นขึ้นไป กำหนดให้ $X_1, X_2, \dots, X_n$ และ $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ เป็นตัวแปรสุ่มขนาด n ที่มีการแจกแจงปกติและมีความสัมพันธ์กัน (Bivariate normal distribution) สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน⁶ ได้ดังสมการที่ 1

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

3. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปียร์แมน

กำหนดให้สัญลักษณ์ $X_1, X_2, \dots, X_n$ และ $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ เป็นตัวแปรสุ่มขนาด n ที่มีการแจกแจงแบบต่อเนื่องและมีความสัมพันธ์กัน ทำการเรียงลำดับข้อมูล X และ Y จากน้อยไปหามากตั้งแต่ลำดับที่ 1 ถึง n ของแต่ละตัวแปร และให้ $R(X_i)$ และ $R(Y_i)$ แทนลำดับที่ของข้อมูล X_i และ Y_i ตามลำดับ สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปียร์แมน⁷ ได้ดังสมการที่ 2

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

โดยที่ $D_i = R(X_i) - R(Y_i)$ คือผลต่างของลำดับคู่อันดับที่ i

4. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเคนดัล

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเคนดัลเป็นหนึ่งในสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบไม่อิงพารามิเตอร์ เช่นเดียวกันกำหนดให้ $X_1, X_2, \dots, X_n$ และ $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ เป็นตัวแปรสุ่มขนาด n โดยจะพิจารณาความสอดคล้องของข้อมูล กล่าวคือ หากข้อมูล x และ y เพิ่มขึ้นทั้งคู่ นั่นคือข้อมูลที่สอดคล้องกัน แต่หากข้อมูล x เพิ่มขึ้น y ลดลง นั่นคือข้อมูลไม่สอดคล้องกัน สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเคนดัล⁸ ดังสมการที่ 3

$$\tau = \frac{(N_c - N_d)}{1/n(n-1)} \quad (3)$$

โดยที่ N_c แทนจำนวนอันดับที่สอดคล้องกัน
 N_d แทนจำนวนอันดับที่ไม่สอดคล้องกัน

5. เกณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับเกณฑ์การพิจารณาประสิทธิภาพของการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 และกำลังการทดสอบของสถิติทดสอบโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1. ความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1

ความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 คือ ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธสมมติฐานหลัก เมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริงสามารถประมาณค่าได้จาก $\hat{\alpha} = \frac{1}{N}$ โดยที่ I แทนจำนวนครั้งของการปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง และ N แทนจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐาน (จำนวนรอบของการทำซ้ำด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล) ทั้งนี้ สำหรับระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ค่าประมาณความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 ควรอยู่ในช่วง $[0.025, 0.075]$ ตามเกณฑ์ของ Bradley⁹ จึงสรุปได้ว่าสถิติทดสอบสามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ จากนั้นจึงพิจารณากำลังการทดสอบของสถิติทดสอบเป็นลำดับถัดไป

5.2. กำลังการทดสอบ

กำลังการทดสอบคือความน่าจะเป็นของการปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักเป็นเท็จสามารถประมาณค่าได้จาก $\frac{M}{N}$ เมื่อ M แทนจำนวนครั้งของการปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักเป็นเท็จ และ N แทนจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐาน (จำนวนรอบของการทำซ้ำด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล)

6. การแจกแจงที่ศึกษา

การแจกแจงปกติผสม

$$f(x) = \frac{p}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_1^2}(x - \mu_1)^2\right) + \frac{(1-p)}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_2^2}(x - \mu_2)^2\right); x > 0 \quad (4)$$

การแจกแจงลอจิสติกแบบผสม

$$f(x) = \frac{p}{x\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right) + \frac{(1-p)}{x\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right); x > 0 \quad (5)$$

โดยในสมการ (4) และ (5) σ_1, σ_2 แทนพารามิเตอร์รูปร่าง μ_1, μ_2 แทนพารามิเตอร์ตำแหน่ง และ p แทนพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก

การแจกแจงแกมมาแบบผสม

$$f(x) = \frac{p}{\Gamma(\alpha_1)\beta_1^{\alpha_1}} x^{\alpha_1-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta_1}\right) + \frac{(1-p)}{\Gamma(\alpha_2)\beta_2^{\alpha_2}} x^{\alpha_2-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta_2}\right); x > 0 \quad (6)$$

โดยในสมการ (6) α_1, α_2 แทนพารามิเตอร์รูปร่าง β_1, β_2 แทนพารามิเตอร์ตำแหน่ง และ p แทนพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สามวิธีที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของสองตัวแปร ได้แก่ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปียร์แมน และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัล โดยกำหนดขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10, 20, 30, 50 และ 100 กำหนดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.0 (สำหรับศึกษาความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1), 0.4, 0.6 และ 0.8 (สำหรับศึกษาการทดสอบ) ซึ่งแทนขนาดความสัมพันธ์ของตัวแปร

3 ระดับคือ ต่ำ ปานกลาง และสูง ตามลำดับ จำลองข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบผสม 3 การแจกแจงได้แก่ การแจกแจงปกติผสม การแจกแจงลอจิสติกแบบผสมและการแจกแจงแกมมาแบบผสม ด้วยโปรแกรม R (ฟังก์ชัน “cor.test”) กำหนดพารามิเตอร์ของแต่ละการแจกแจงในสมการที่ (4) – (6) ดัง Table 1 – 3 ทำซ้ำด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล 10,000 รอบ พิจารณาประสิทธิภาพของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากความสามารถในการควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 แสดงดัง Figure 1 – 3 และกำลังการทดสอบ แสดงดัง Figure 4 – 12

Table 1. Parameters of mixed normal distribution

ชุดพารามิเตอร์	องค์ประกอบที่ 1		องค์ประกอบที่ 2		p
	μ_1	σ_1	μ_2	σ_2	
MN1	0	1	1	1	0.5
MN2	0	1	1	1	0.8
MN3	0	1	2	1	0.5
MN4	0	1	2	1	0.8

Table 2. Parameters of mixed log-normal distribution

ชุดพารามิเตอร์	องค์ประกอบที่ 1		องค์ประกอบที่ 2		p
	μ_1	σ_1	μ_2	σ_2	
ML1	$-(\log 2)/2$	$\log (2)$	$-(\log 3)/2$	$\log (3)$	0.5
ML2	$-(\log 2)/2$	$\log (2)$	$-(\log 3)/2$	$\log (3)$	0.8
ML3	$-(\log 2)/2$	$\log (2)$	$-(\log 5)/2$	$\log (5)$	0.5
ML4	$-(\log 2)/2$	$\log (2)$	$-(\log 5)/2$	$\log (5)$	0.8

Table 3. Parameters of mixed gamma distribution

ชุดพารามิเตอร์	องค์ประกอบที่ 1		องค์ประกอบที่ 2		p
	α_1	β_1	α_2	β_2	
MG1	1	1	1/2	2	0.5
MG2	1	1	1/2	2	0.8
MG3	1	1	1/4	4	0.5
MG4	1	1	1/4	4	0.8

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาแสดงเป็นแผนภาพค่าประมาณความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 และค่าประมาณกำลังการทดสอบ ดังต่อไปนี้

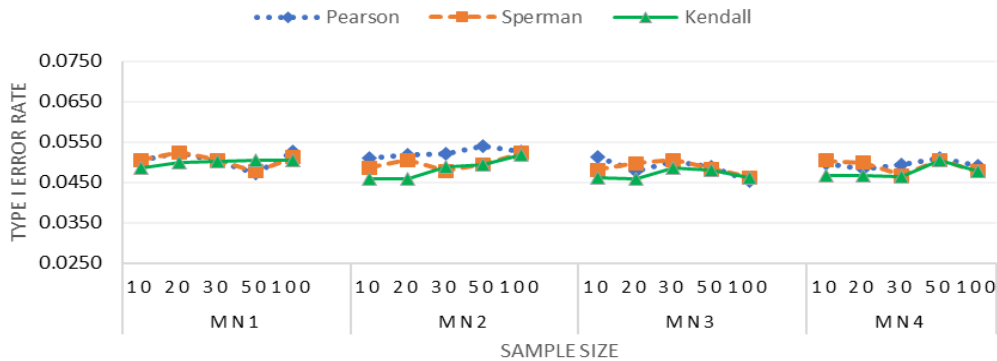


Figure 1. Type I error rates when samples are taken from mixed normal distribution.

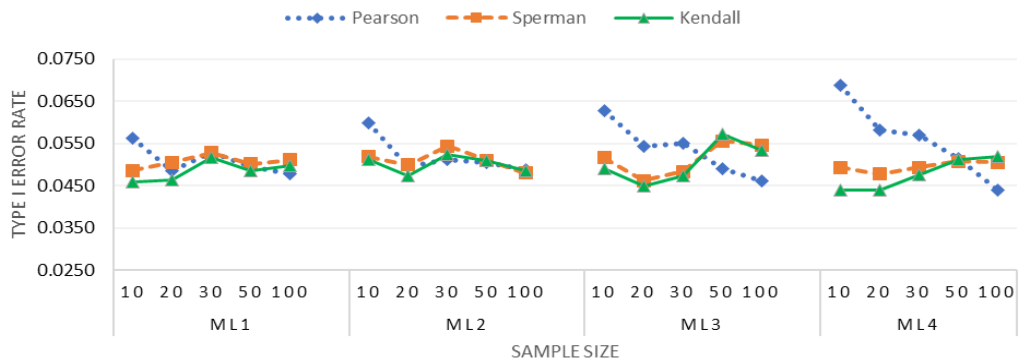


Figure 2. Type I error rates when samples are taken from mixed log-normal distribution.

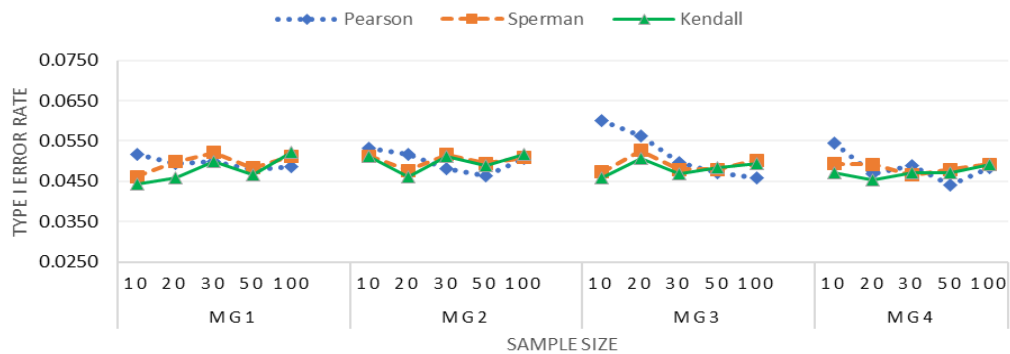


Figure 3. Type I error rates when samples are taken from mixed gamma distribution.

พิจารณาค่าประมาณความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 จาก Figure 1 - 3 พบว่า เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติแบบผสม การแจกแจงล็อกนอร์มัลแบบผสม และการแจกแจงแกมมาแบบผสม การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้ง 3 วิธี มีค่าประมาณความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 อยู่ในเกณฑ์ของ Bradley ดังนั้นการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทุกวิธีสามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ทุกกรณีที่ศึกษา

สหสัมพันธ์ทั้ง 3 วิธี มีค่าประมาณความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 อยู่ในเกณฑ์ของ Bradley ดังนั้นการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทุกวิธีสามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ทุกกรณีที่ศึกษา

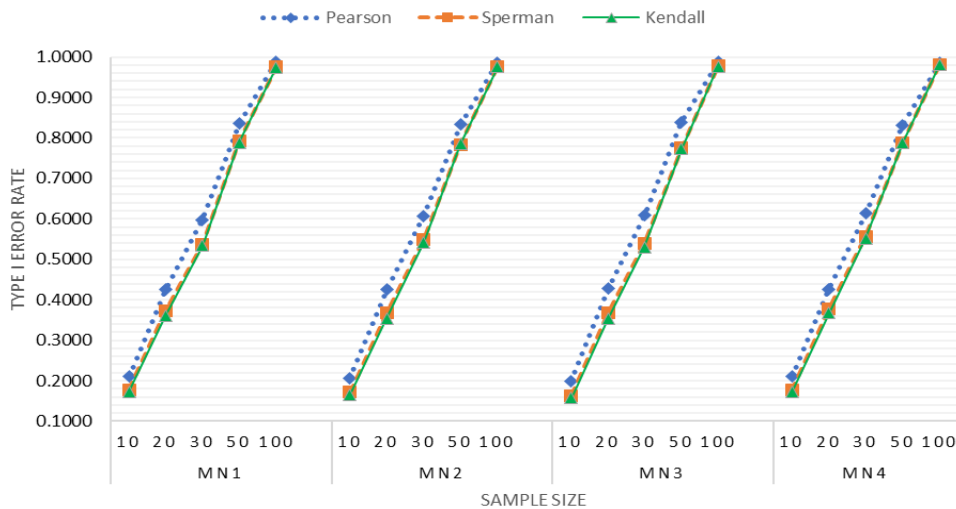


Figure 4. Power of the test when samples are taken from mixed normal distribution with $\rho = 0.4$.

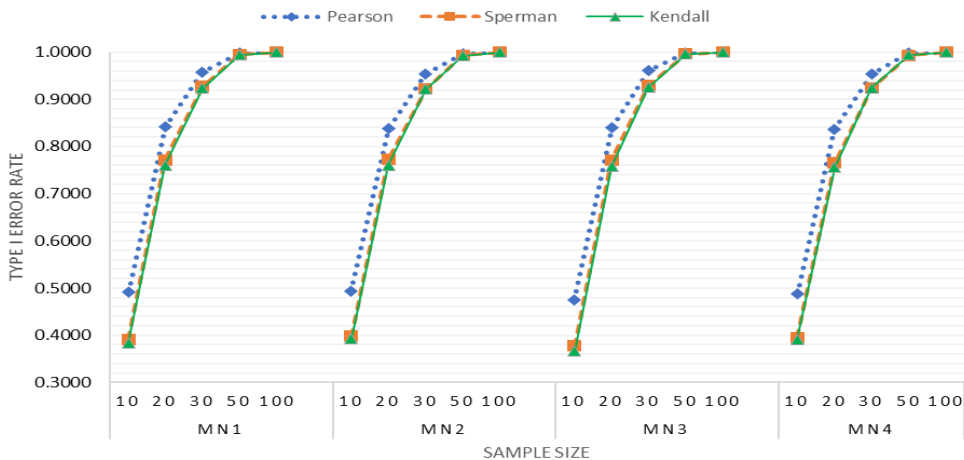


Figure 5. Power of the test when samples are taken from mixed normal distribution with $\rho = 0.6$.

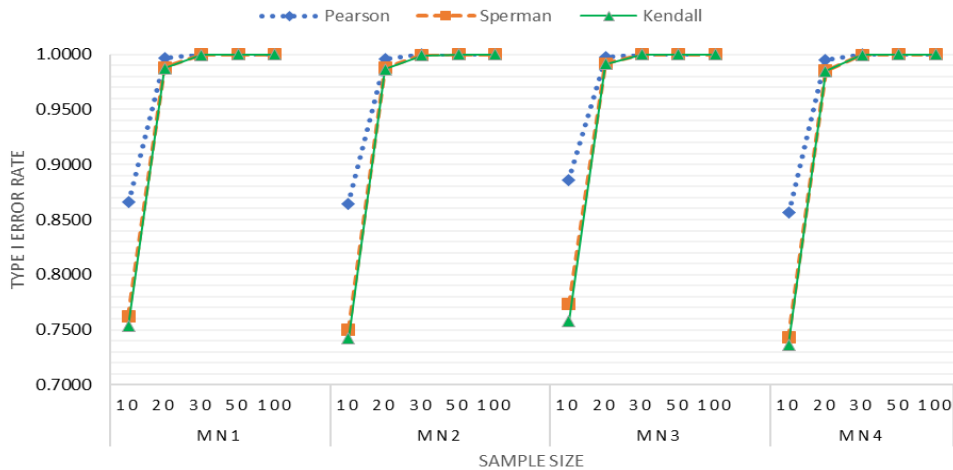


Figure 6. Power of the test when samples are taken from mixed normal distribution with $\rho = 0.8$.

พิจารณาค่ากำลังการทดสอบสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติแบบผสม จาก Figure 4 - 6 พบว่า เมื่อกำหนด $\rho = 0.4$ การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันให้ค่ากำลังการทดสอบสูงที่สุดและเมื่อกำหนด $\rho = 0.6, 0.8$

พบว่า การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันให้ค่ากำลังการทดสอบสูงที่สุดเมื่อขนาดตัวอย่างไม่เกิน 50 นอกจากนี้ยังพบว่า การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้ง 3 วิธี มีค่ากำลังการทดสอบเท่ากันเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100

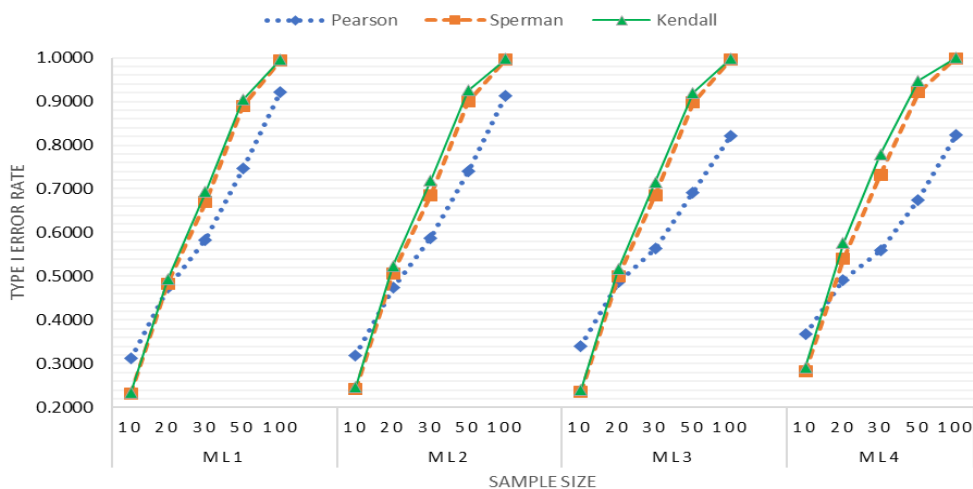


Figure 7. Power of the test when samples are taken from mixed log-normal distribution with $\rho = 0.4$.

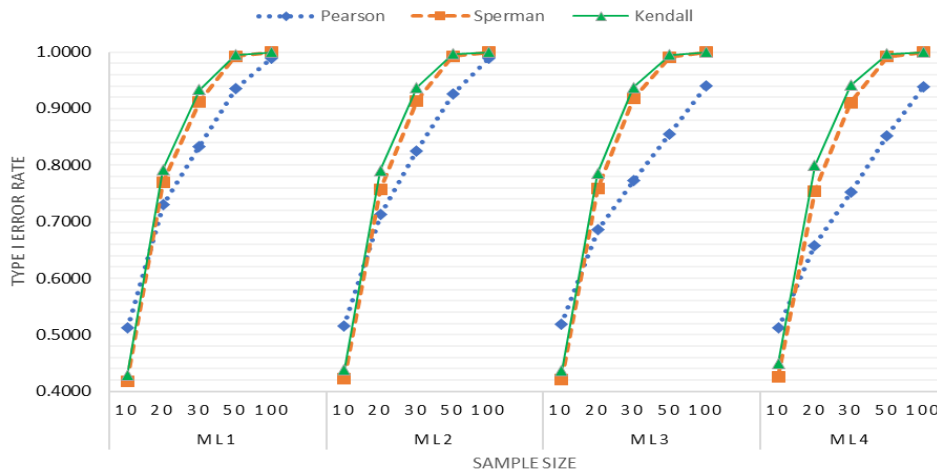


Figure 8. Power of the test when samples are taken from mixed log-normal distribution with $\rho = 0.6$.

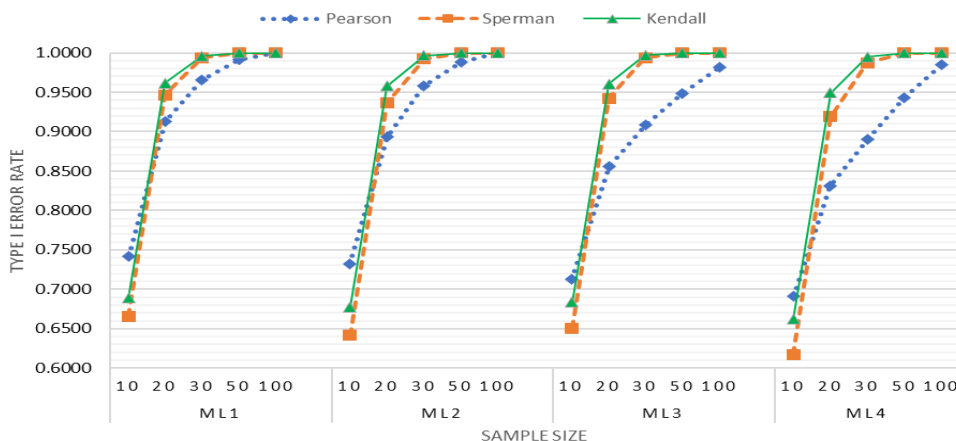


Figure 9. Power of the test when samples are taken from mixed log-normal distribution with $\rho = 0.8$.

สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงล็อกนอร์มัลแบบผสม (Figure 7 - 9) เมื่อกำหนด $\rho = 0.4$ ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันให้ค่ากำลังการทดสอบสูงที่สุด แต่เมื่อมีขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 20 ขึ้นไป การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัลให้ค่ากำลังการทดสอบสูงที่สุด และเมื่อกำหนด $\rho = 0.6, 0.8$ พบว่า การทดสอบค่า

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันให้ค่ากำลังการทดสอบสูงที่สุดเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 และเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20, 30 และ 50 พบว่าการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัลให้ค่ากำลังการทดสอบสูงที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปิร์แมนและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัล ให้ค่ากำลังการทดสอบเท่ากัน

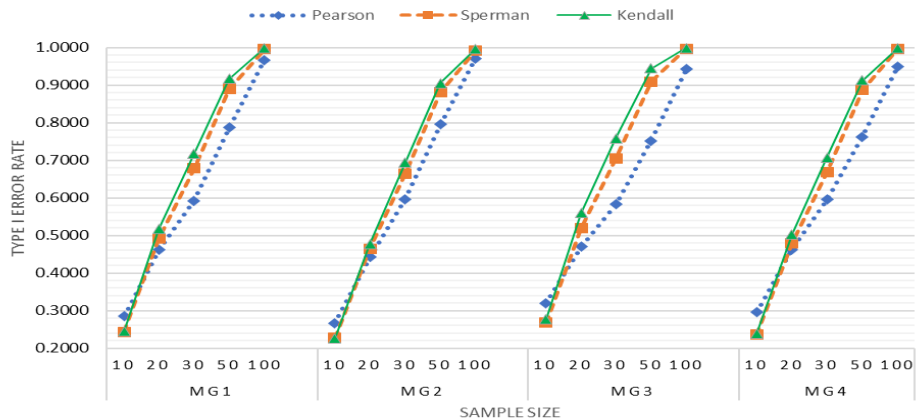


Figure 10. Power of the test when samples are taken from mixed gamma distribution with $\rho = 0.4$.

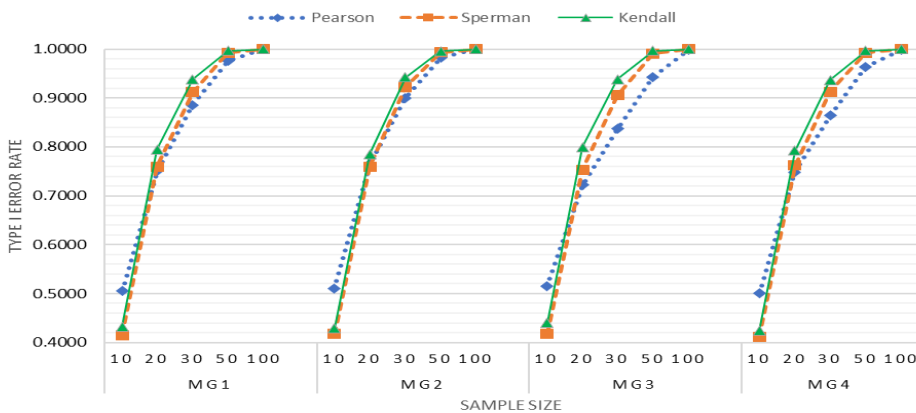


Figure 11. Power of the test when samples are taken from mixed gamma distribution with $\rho = 0.6$.

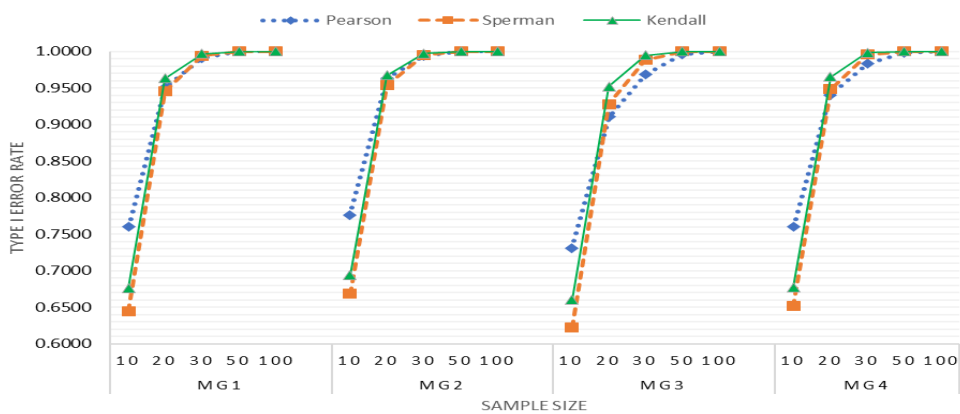


Figure 12. Power of the test when samples are taken from mixed gamma distribution with $\rho = 0.8$.

จาก Figure ที่ 10 - 12 พบว่า สำหรับข้อมูล มีการแจกแจงแกมมาแบบผสม เมื่อกำหนด $\rho = 0.4$ การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพียร์สันให้ค่ากำลังการทดสอบสูงสุด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 และเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20, 30, 50 และ 100 พบว่า การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัลให้ค่ากำลังการทดสอบสูงสุด

เมื่อกำหนด $\rho = 0.6$ พบว่า การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันให้ค่ากำลังการทดสอบสูงสุด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 ในขณะที่การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัลให้ค่ากำลังการทดสอบดีที่สุด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20, 30 และ 50 นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปียร์แมนและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัลให้ค่ากำลังการทดสอบสูงสุด

ในกรณีนี้ $\rho = 0.8$ พบว่า การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันให้ค่ากำลังการทดสอบสูงสุด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 10 ในขณะที่การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัลให้ค่ากำลังการทดสอบดีที่สุด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 20 และ 30 สำหรับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปียร์แมนและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัลให้ค่ากำลังการทดสอบเท่ากัน เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50 นอกจากนี้ยังพบว่า การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้ง 3 วิธี ให้ค่ากำลังทดสอบเท่ากัน เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้ง 3 วิธี สามารถควบคุมความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้ทุกการแจกแจงที่ศึกษา

พิจารณากำลังการทดสอบ พบว่า ทั้ง 3 วิธี มีกำลังการทดสอบเพิ่มมากขึ้น (ดูเข้าสู่ 1) เมื่อขนาดตัวอย่างใหญ่ขึ้น โดยการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันให้ค่าการทดสอบสูงสุดเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติแบบผสม สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงล็อกนอร์มัลแบบผสม และการแจกแจงแกมมาแบบผสม พบว่า กรณีส่วนใหญ่การทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัลให้ค่ากำลังการทดสอบสูงสุด ยกเว้นเมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็กการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันให้กำลังการทดสอบสูงสุด อย่างไรก็ตาม เมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่การทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปียร์แมน และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เคนดัลมีกำลังการทดสอบใกล้เคียงกัน เสมอสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tuğran et al.⁸ ที่ศึกษากำลังการทดสอบกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงล็อกนอร์มัลที่มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้เช่นเดียวกับลักษณะข้อมูลที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ นอกจากนั้น ค่ากำลังการทดสอบจะสูงขึ้นเมื่อตัวอย่างมีขนาดเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับงานที่วิจัยหลายงานที่ผ่านมา

โดยวิธีการที่นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยครั้งนี้เป็นวิธีพื้นฐานที่นิยมมาใช้ในการทดสอบสหสัมพันธ์ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้การทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีลักษณะการแจกแจงผสมที่สัมพันธ์กันซึ่งสอดคล้อง



กับข้อมูลจริงที่กล่าวไว้ในข้างต้นของงานวิจัย
อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาวิธีการอื่นเพิ่มเติม
หรือข้อมูลที่มีลักษณะการแจกแจงแบบอื่น ๆ
ของข้อมูลจริงที่มีความสำคัญต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Chok NS. Pearson's versus Spearman's and Kendall's correlation coefficients for continuous data [thesis]. Pittsburgh: University of Pittsburgh; 2010.
2. ชนินันท์ พุกขประมุข, ญัฐิกา เจริญตะคุ, สิวะโชติ ศรีสุทธียากร. ประสิทธิภาพของ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน สเปียร์แมน และเคนดอลล์ เมื่อข้อมูลแจกแจงแบบไม่ปกติ. OJED 2563;15:1-16.
3. Suhaila J, Ching-Yee K, Fadhilah Y, Hui-Mean F. Introducing the mixed distribution in fitting rainfall data. OJMH 2011;1:11-22. doi:10.4236/ojmh.2011.12002.
4. Sattayatham P, Talangtam T. Fitting of finite mixture distributions to motor insurance claims. J Math Stat 2012;8:49-56.
5. Williford E, Haley V, McNutt LA, Lazariu V. Dealing with highly skewed hospital length of stay distributions: the use of Gamma mixture models to study delivery hospitalizations. PLoS One 2020;15:e0231825. doi:10.1371/journal.pone.0231825.
6. Sprent P, Smeeton NC. Applied nonparametric statistical methods. 3rd ed. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC; 2001.
7. Kvam PH, Vidakovic B. Nonparametric statistics with applications to science and engineering. New Jersey, USA: John Wiley & Sons; 2007.
8. Tuğran E, Kocak M, Mirtağioğlu H, Yiğit S, Mendes M. A simulation based comparison of correlation coefficients with regard to type I error rate and power. JDAIP 2015;3:87-101. doi:10.4236/jdaip.2015.33010.
9. Migdadi HS. On the power performance of test statistics for the generalized Rayleigh interval grouped data. OJS 2015;5:474-82. doi:10.4236/ojs.2015.55049.

ผลของตัวทำละลายต่างชนิดที่ใช้ในการสกัดลำต้นโคลงเคลงต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารพฤกษเคมี

Effect of Various Solvents Used for Extraction on Antioxidant Activities and Phytochemical Screening of *Melastoma malabathricum* L. Stem Extract

รัตนา วงศ์ชูพันธ์^{1*}, พิณพิศา เทพราช², กมลชนก สุริยามาตร², เพ็ญนภา ชูยงค์² และ แฉ่งน้อย แสงเสนห์³

Rattana Wongchuphan^{1*}, Pinpisa Theprat², Kamonchanok Suriyamas², Pennapa Chooyong² and

Naengnoi Saengsane³

¹ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

² สาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

³ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

¹ Program of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

² Program of Chemistry, Faculty of Education, Suratthani Rajabhat University

³ Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: rattana.won@sru.ac.th

Received: 21 October 2023 /Revised: 17 April 2024 /Accepted: 17 April 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดหยาบของลำต้นโคลงเคลงที่ได้จากการใช้ตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ การหาปริมาณของปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TPC และ TFC) จะตรวจวัดโดยวิธีคัลเลอริเมตริด้วยรีเอเจนต์ Folin-Ciocalteu และอะลูมินัมคลอไรด์ ตามลำดับ ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทดสอบด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay ผลการตรวจสอบชนิดของสารพฤกษเคมีเบื้องต้นที่เป็นองค์ประกอบในลำต้นโคลงเคลง พบฟลาโวนอยด์ คูมาริน แทนนิน เทอร์ปีนอยด์ สเตียรอยด์ และไกลโคไซด์ในสารสกัดทั้งหมด การสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลมีร้อยละผลผลิตและปริมาณฟีนอลน้อยกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำกว่า แต่เอทานอลสามารถสกัดฟลาโวนอยด์ได้ปริมาณสูงสุด $1,793 \pm 16$ มิลลิกรัมสมมูลเคอชิตินต่อกรัมของสารสกัด และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 107 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่สารสกัดเอซีโตนมีร้อยละการสกัดสูงสุด 3.50 และปริมาณฟีนอลิก $2,421 \pm 14$ มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด โดยสรุป การสกัดสารพฤกษเคมีสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเป็นผลมาจากการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมโดยมีขั้วปานกลางถึงสูง

คำสำคัญ: การสกัดด้วยตัวทำละลาย ต้นโคลงเคลง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ดีพีพีเอช สารพฤกษเคมี

Abstract

This research aimed to investigate antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents of the *M. malabathricum* crude extracts obtained by using different extracting solvents. The quantification of total phenolic and flavonoid contents (TPC and TFC) employed colorimetry with Folin-Ciocalteu and aluminum chloride reagents, respectively. Additionally, the antioxidant activity was assessed using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay. Preliminary phytochemical screening of *M. malabathricum* stem confirmed the presence of flavonoids, coumarins, tannins, terpenoids, steroids and cardiac glycosides in all extracts. Solvent extraction with ethanol had a lower percent yield and phenolic content than extraction with a lower polarity solvent. Ethanol was able to extract the highest content of flavonoids of $1,793 \pm 16$ milligrams equivalent to quercetin per gram of extract. Also, antioxidant activity with an IC_{50} value of 107 milligrams per liter was observed. While the acetone extract had the highest extraction percentage of 3.50 and phenolic content of $2,421 \pm 14$ mg gallic acid equivalent per gram of extract. In conclusion, the extraction of important phytochemicals with antioxidant activity results from the use of appropriate solvents with medium to high polarity.

Keywords: Solvent extraction, *M. malabathricum*, Antioxidant activity, DPPH, Phytochemicals

บทนำ

พืชในวงศ์โคลงเคลง (Melastomataceae) เป็นกลุ่มพืชหนึ่งที่มีความอุดมสมบูรณ์และความหลากหลายมากที่สุดในเอเชียเขตร้อน เขตอบอุ่น และหมู่เกาะแปซิฟิก เช่น ประเทศไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย สิงคโปร์ ฟิลิปปินส์ จีน อินเดีย และบังคลาเทศ¹⁻³ Joffry et al. ระบุถึงชื่อเรียกทั่วไปว่า จะแตกต่างกันไปตามถิ่นที่อยู่อาจจะเป็นชุมชนหรือชนเผ่าด้วยวัตถุประสงค์ทางการแพทย์พื้นบ้านในประเทศไทย โคลงเคลงซึ่งเรียกกันทั่วไปว่า มังเคร (Mang kre) มังเร (Mang re) เบร (Bre) และคาดูดา (Kadu da) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า

Melastoma Malabathricum L. และเป็นหนึ่งใน 22 สายพันธุ์ที่พบในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และถือเป็นยาสมุนไพร ส่วนใบ ยอด เปลือก เมล็ด และรากของโคลงเคลงสามารถใช้รักษาอาการท้องเสีย บิด ริดสีดวงทวาร บาดแผล ปวดฟัน และปวดท้องได้⁴ ผลแก่แตกของโคลงเคลงดังกล่าวซึ่งมีดอกสีม่วงจากพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อสกัดด้วยน้ำ จะมีปริมาณแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และน้ำตาลมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลอ่อน และผลแก่⁵ อาอีเซาะส์ เบญจวัน, สุนีย์ แวมะ รายงานว่าแอซีโตนสามารถสกัดสารสำคัญจากผล

โคลงเคลง จังหวัดยะลา จำนวน 4 ชนิด คือ คาเทชิน (Catechin) กรดแกลลิก (Gallic acid) ลูทีโอลิน (Luteolin) และเคอควิซีติน (Quercetin) ซึ่งทุกชนิดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ส่วนอื่น ๆ ของโคลงเคลงไม่ว่าจะเป็นใบ ก้าน และราก พบสารสำคัญเพียงสองชนิดเท่านั้น⁶ นอกจากนี้ส่วนสกัดเมทานอลจากใบและกิ่งโคลงเคลงยังมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *Escherichia coli* (*E. coli*) ในระดับปานกลาง⁷

อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นอีกสถานที่ที่พบต้นโคลงเคลง โดยมีลักษณะทั่วไปสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้รวบรวมไว้ ว่าโคลงเคลงเป็นไม้พุ่มขึ้นกลางแจ้ง ใบเดี่ยวติดตรงข้ามและอาจมีหลายใบติดรอบข้อ ดอกสมบูรณ์เพศ กลีบเลี้ยงและกลีบดอกอย่างละ 3, 4 หรือ 5 กลีบ แขนอับเรณูยืดยาวหรือเป็นรยางค์ อับเรณูแตกโดยมีรูที่ปลาย รังไข่ติดใต้วงกลีบหรือกึ่งใต้วงกลีบมี 4 หรือ 5 ช่อง ไข่อ่อนจำนวนมากติดที่แกนผนังรังไข่ ผลแห้งแบบแก่แตก หรือผลมีเนื้อหลายเมล็ด⁸ เนตรชนก นุ้ยสีรุ่งและไพโร มัทธวรรตน์⁹ รายงานผลการศึกษาชีววิทยาของดอกและพัฒนาการของผลโคลงเคลงสายพันธุ์กลีบดอกสีขาวที่ปลูกในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งยังคงมีลักษณะเด่นของพืชในวงศ์นี้โดยช่อดอกเป็นแบบช่อกระจุกซ้อน (Compound cymes) เกิดที่ปลายยอดของกิ่งและใช้เวลาเจริญเติบโตตั้งแต่ตูมดอกจนถึงผลแก่สุกเปลือกผลแตกออกใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 40-45 วัน หมอยาสมุนไพรรพบ้านอำเภอไชยาให้ข้อมูลทางยาของโคลงเคลงว่า ส่วนกิ่งและก้านรวมกันมา

ต้มน้ำดื่มแก้ปวดท้อง รากนำมาต้มเป็นยาบำรุงตับ และใบนำมาต้มโปะแผลเป็นหนอง การสกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกันมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีที่สกัดได้แตกต่างกันด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดต่อชนิดของสารพฤกษเคมี ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระส่วนของลำ ต้นโคลงเคลงที่ได้ตลอดทั้งปี

วิธีการวิจัย

1. สารเคมี และเครื่องมือ

สารเคมีเกรดวิเคราะห์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เช่น ยี่ห้อ Loba Chemie จากประเทศอินเดีย ส่วนยี่ห้อ Merck และ Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี ได้แก่ Ferric chloride hexahydrate, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Folin & Ciocalteu's phenol reagent, กรดแกลลิก (Gallic acid), เคอควิซีติน (Quercetin) และ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมสารสกัดและการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ได้แก่ เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Biochrom Libra S50 UV/Vis Spectrophotometer) ตู้อบลมร้อน (Binder hot air oven) เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator, RC900, KNF) และอ่างน้ำร้อน (Water bath, LAUDA, GFL Technology)

2. แหล่งที่มาของพืช

ส่วนลำต้นโคลงเคลงเก็บในช่วงเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม พ.ศ. 2565 บริเวณพื้นที่ตำบลปากหมาก อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี

เนื่องด้วยเป็นพื้นที่ภูเขาที่มีสภาพอากาศชื้นตลอดทั้งปี เป็นแนวภูเขาอุทยานแห่งชาติและสภาพพื้นดินเป็นดินร่วนเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของโคลงเคลง แสดงลักษณะเป็นไม้พุ่มของโคลงเคลง และขึ้นตามที่โล่งแจ้งในบริเวณสวนยางกลีบดอกสีม่วงสวยงาม ใบเดี่ยวติดตรงข้ามรอบข้อ ส่วนดอกจะออกเป็นช่อ ดอกแก่จะกลายเป็นผล (Figure 1) กองกานดา ชยามฤต^๑ ระบุลักษณะเด่นของโคลงเคลงว่า เกสรเพศผู้มีก้านเรียงเป็นวง 2 วง และมีรังไข่ และเมล็ดสุกแตกกระจายขยายพันธุ์ได้ง่าย พืชที่นำมาศึกษาครั้งนี้ได้รับการยืนยันจากหมอสมนไพรพื้นบ้านที่อาศัยอยู่ในเขตอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี (หมอภิญญา เมฆลัย) ว่าคือพืชที่คนในพื้นที่เรียกว่าโคลงเคลง

3. การเตรียมสารสกัดจากลำต้นโคลงเคลง

งานวิจัยนี้ใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิดในการสกัดสารจากลำต้นโคลงเคลงด้วยวิธีการหมัก (Maceration) คือ เอทานอล แอซีโตน และเอทิลแอซีเตต ลำต้นโคลงเคลงชิ้นเล็กที่ตากจนแห้งในอากาศ จะถูกนำไปอบให้แห้งสนิทในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นปั่นลำต้นโคลงเคลงให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร แล้วแช่ตัวอย่างพืชอบแห้งที่ชั่งน้ำหนักแน่นอน (460-470 กรัม) ในตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วันและมีการคนอย่างทั่วถึงทุกวัน เมื่อกรองแยกกากตัวอย่างพืชออกทั้งหมดแล้ว นำไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุนที่ความเร็ว 25 รอบ/นาที ในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 0-50 Psi และตั้งทิ้งไว้ในขวดขนาดเล็กสีชาจนตัวทำละลายระเหยหมด บันทึกน้ำหนักของสารสกัดที่

ได้ทั้งหมดจากแต่ละส่วน และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสโดยไม่ให้โดนแสง ร้อยละการสกัดคำนวณได้จากสมการ (1)

$$\text{ร้อยละการสกัด} = \frac{\text{น้ำหนักของสารสกัดหยาบ (g)}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างพืชอบแห้ง (g)}} \times 100 \quad (1)$$



Figure 1. General characters of *M.*

malabathricum in a particular study site (A), leaves (B), flowers (C) and fruits (D).

4. การตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้น

การตรวจสอบหาชนิดของสารพิษเคมี 9 กลุ่มในสารสกัดลำต้นโคลงเคลงด้วยตัวทำละลายต่างกันจำนวน 3 ชนิด อาศัยปฏิกิริยาการเกิดสีหรือตะกอนตามวิธีมาตรฐาน¹⁰⁻¹³ ได้แก่ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ แอนทราควิโนน คูมาริน ชาโปนิน แทนนิน เทอร์ปีนอยด์ สเตียรอยด์ และคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ ดำเนินการดังนี้

4.1 การตรวจสอบสารกลุ่มแอลคาลอยด์ โดยวิธี Wagner's test มีขั้นตอนดังนี้ ละลายสารสกัด 0.02 กรัม ด้วย 10% H_2SO_4 (1.0 มิลลิลิตร) และนำหลอดทดลองไปอุ่นบนอ่างน้ำร้อน (5 นาที) กรองส่วนที่ไม่ละลายออก เมื่อของเหลวที่ได้จากการกรอง (Filtration) เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติม Wagner's reagent จำนวน 5 หยด หากผลการทดสอบเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดง แสดงว่าสารสกัดหยาบมีแอลคาลอยด์เป็นองค์ประกอบ

4.2 การตรวจสอบสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ โดยวิธี Shinoda test มีขั้นตอนดังนี้ ละลายสารสกัด 0.02 กรัม ใน 50% เอทานอล จำนวน 3 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ใส่หลอดแมกนีเซียมชิ้นเล็ก ๆ (2-3 ชิ้น) หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนบนอ่างน้ำร้อนประมาณ 5 นาที และหยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc. HCl) หากสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ส้ม หรือแดง แสดงว่าสารสกัดหยาบมีฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ ส่วนการตรวจสอบฟลาโวนอยด์โดยวิธี Ferric chloride test มีขั้นตอนดังนี้ ละลายสารสกัด 0.02 กรัม ด้วย 1% $FeCl_3$ จำนวน 5 หยด ในหลอดทดลอง หากเกิดตะกอนสีน้ำเงินหรือเขียว แสดงว่าสารสกัดหยาบมีฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ

4.3 การตรวจสอบสารกลุ่มแอนทราควิโนน โดยวิธี Modified Borntrager's test มีขั้นตอนดังนี้ นำสารสกัด 0.02 กรัม ในหลอดทดลอง มาเติม 10% H_2SO_4 จำนวน 2.0 มิลลิลิตร นำไปอุ่นบนอ่างน้ำร้อน เป็นเวลา 5 นาที และกรอง เมื่อสารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง นำส่วนที่เป็นของเหลวไปสกัดด้วยตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนจำนวน 3 มิลลิลิตร ตามด้วยการเติม 10% NH_3 จำนวน

5 หยด เขย่าอย่างแรงประมาณ 30 วินาที หากปรากฏสารละลายสีชมพู สีแดง หรือสีม่วง แสดงว่าสารสกัดหยาบมีแอนทราควิโนนเป็นองค์ประกอบ

4.4 การตรวจสอบสารกลุ่มคูมารินโดยวิธี NaOH test มีขั้นตอนดังนี้ ละลายสารสกัด 0.02 กรัม ใน 50% เอทานอล (1 มิลลิลิตร) ในหลอดทดลอง กรอง และเติม 6 M NaOH จำนวน 1.0 มิลลิลิตร หากปรากฏสารละลายสีเหลือง แสดงว่าสารสกัดหยาบมีคูมารินเป็นองค์ประกอบ

4.5 การตรวจสอบสารกลุ่มซาโปนินโดยวิธี Foam test มีขั้นตอนดังนี้ นำสารสกัด 0.02 กรัม ในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่นจำนวน 2.0 มิลลิลิตร และนำไปอุ่นในอ่างน้ำร้อน (5 นาที) ปิดจุกยาง แล้วเขย่าอย่างแรงเป็นเวลา 1 นาที หากปรากฏฟองนาน 30 นาที แสดงว่าสารสกัดหยาบมีซาโปนินเป็นองค์ประกอบ

4.6 การตรวจสอบสารกลุ่มแทนนินโดยวิธี Braymer's test มีขั้นตอนดังนี้ นำสารสกัด 0.02 กรัม และน้ำกลั่นจำนวน 3 มิลลิลิตร ในหลอดทดลอง ไปอุ่นในอ่างน้ำร้อน (5 นาที) หลังกรองขณะร้อน นำส่วนที่เป็นของเหลวมาเติม 1% $FeCl_3$ จำนวน 5 หยด หากปรากฏสารละลายสีเขียวแกมน้ำเงิน แสดงว่าสารสกัดหยาบมีแทนนินเป็นองค์ประกอบ

4.7 การตรวจสอบสารกลุ่มเทอร์ปีนอยด์มีขั้นตอนดังนี้ ละลายสารสกัด 0.02 กรัม ด้วยคลอโรฟอร์ม (1 มิลลิลิตร) ตามด้วยการเติมกรดแอซีติกกลั่น (Glacial acetic acid) และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) อย่างละ 0.5 มิลลิลิตร หากปรากฏสารละลายสีน้ำตาลแดง แสดงว่าสารสกัดหยาบมีเทอร์ปีนอยด์เป็นองค์ประกอบ

4.8 การตรวจสอบสารกลุ่มสเตียรอยด์มีขั้นตอนดังนี้ ละลายสารสกัด 0.02 g ด้วยคลอโรฟอร์ม จำนวน 2 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองตามด้วยการเติม conc. H_2SO_4 จำนวน 3 หยด ลงไปตามผนังหลอด หากปรากฏสารละลายสีน้ำเงินหรือน้ำเงินเขียว แสดงว่าสารสกัดหยาบมีสเตียรอยด์เป็นองค์ประกอบ

4.9 การตรวจสอบสารกลุ่มคาร์ดิแอกไกลโคไซด์โดยวิธี Keller-Kiliani test มีขั้นตอนดังนี้ เติมสารสกัด 0.02 กรัม ลงในหลอดทดลอง เติมคลอโรฟอร์มปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่า กรอง และนำของเหลวที่ได้จากการกรองมาเติม CH_3COOH จำนวน 5 หยด ตามด้วยการเติม 5% $FeCl_3$ จำนวน 5 หยด และ conc. H_2SO_4 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร หากปรากฏวงแหวนสีน้ำตาลตรงรอยต่อ แสดงว่าสารสกัดหยาบ มีคาร์ดิแอก ไกลโคไซด์เป็นองค์ประกอบ

5. การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content, TPC) ในลำต้นโคลงเคลงที่สกัดได้ หาโดย Folin-Ciocalteu colorimetric method ซึ่งปรับเปลี่ยนจากวิธีของ Singleton et al.¹⁴ และภาศิริ ม่วงศิริกุล¹⁵ และใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน

5.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกสารละลายกรดแกลลิกในเอทานอลเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นสารละลายตั้งต้นสำหรับเจือจางให้เป็นสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้น 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ปิเปตสารละลายความเข้มข้นละ 0.5 มิลลิลิตร ลงไปในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่น (9.5 มิลลิลิตร) จำนวน 8 หลอด ตามด้วย

การเติม 10% Folin-Ciocalteu จำนวน 0.5 มิลลิลิตร และ 10% $NaCO_3$ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ดังนั้นของผสมในแต่ละหลอดจึงมีปริมาตรรวมเป็น 12.5 มิลลิลิตร หลังจากตั้งไว้ที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที รีเอเจนต์ Folin-ciocalteu ออกซิไดซ์ฟีนอลอิสระในสารสกัดจากลำต้นโคลงเคลงและเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้มแล้วนำสารละลายทั้ง 8 หลอดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 730 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ($n = 3$) หาค่าเฉลี่ยและนำไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของกรดแกลลิก

5.2 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดลำต้นโคลงเคลง

การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ในสารสกัดหยาบจากลำต้นโคลงเคลง มีขั้นตอนเหมือนกัน แต่ใช้สารละลายตัวอย่างในเอทานอลเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แทนสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก การทดลองดำเนินการ 3 ซ้ำ และนำค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยมาเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้นที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของกรดแกลลิก ซึ่งคำนวณจากสมการ (2) และรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด (mg GAE/g extract)

$$TPC = \frac{C \times V \times D}{W} \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้ C คือ ความเข้มข้นของกรดแกลลิกที่ได้จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร), V คือ ปริมาตรของสารสกัด (มิลลิลิตร), D คือ dilution factor และ W คือ น้ำหนักของสารสกัด (กรัม)

6. การหาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total Flavonoid content, TFC) หาได้โดย Aluminum chloride colorimetric method และใช้เคอชิตินเป็นสารมาตรฐาน ซึ่งเป็นวิธีการที่ปรับเปลี่ยนบางส่วนจากรายงานวิจัยก่อนหน้านี้¹⁶

6.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายเคอชิติน

สารละลายเคอชิตินในเอทานอลเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารละลายตั้งต้นสำหรับเจือจางเป็นสารละลายมาตรฐานเคอชิตินที่มีความเข้มข้น 40, 80, 120, 160, 200, 240, 280 และ 320 มิลลิกรัมต่อลิตร การเตรียมกราฟมาตรฐานมีขั้นตอนดังนี้ หลอดทดลองบรรจุน้ำกลั่นจำนวน 8 หลอด ๆ ละ 1 มิลลิลิตร ตามด้วยการเติมสารละลายเคอชิตินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ จำนวน 0.5 มิลลิลิตร, 5% NaNO_2 จำนวน 0.15 มิลลิลิตร, 10% AlCl_3 ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร และ 1 M NaOH จำนวน 2 มิลลิลิตร ของผสมในแต่ละหลอดมีปริมาตรรวมเป็น 3.80 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน และตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 415 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง UV/Vis Spectrophotometer ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ($n = 3$) หาค่าเฉลี่ยและนำไปสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของเคอชิติน

6.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดลำต้นโคลงเคลง

การวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดหยาบจากลำต้นโคลงเคลงมีขั้นตอนเหมือนกัน แต่ใช้สารละลายตัวอย่างในเอทานอลเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

แทนสารละลายเคอชิติน การทดลองดำเนินการ 3 ซ้ำและนำค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยมาเทียบกับกราฟมาตรฐานเพื่อหาความเข้มข้นที่สมมูลกับความเข้มข้นของเคอชิติน (มิลลิกรัมสมมูลของเคอชิตินต่อกรัมของสารสกัด) คำนวณจากสมการ (3)

$$\text{TFC} = \frac{C \times V \times D}{W} \quad (3)$$

เมื่อกำหนดให้ C คือ ความเข้มข้นของเคอชิตินที่ได้จากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร), V คือ ปริมาตรของสารสกัด (มิลลิลิตร), D คือ dilution factor และ W คือ น้ำหนักของสารสกัด (กรัม)

7. การหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากลำต้นโคลงเคลงหาโดยใช้ DPPH radical scavenging assay ที่ปรับเปลี่ยนจากวิธีของ Brand-Williams et al.¹⁷ สารละลาย DPPH มีสีม่วงเข้มซึ่งดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เมื่อ DPPH รับอิเล็กตรอนจากสารต้านอนุมูลอิสระ DPPH จะเปลี่ยนจากสีม่วงเข้มเป็นสีเหลือง ดังนั้นการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH บ่งบอกความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นองค์ประกอบในสารสกัดจากลำต้นโคลงเคลง และใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารมาตรฐาน

7.1 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของกรดแอสคอร์บิก

สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ละขวดตามลำดับเตรียมได้จากการเจือจางสารละลายตั้งต้นกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 500 มิลลิกรัม/ลิตร สารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกที่มีความเข้มข้นต่างกัน

จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย 0.2 mM DPPH จำนวน 2.5 มิลลิลิตร และนำไปป้อนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาทีในที่มืด หลอดควบคุมเตรียมโดยการผสมเอทานอล 0.5 มิลลิลิตร กับสารละลาย 0.2 mM DPPH จำนวน 2.5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำทั้ง 6 หลอดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer ($n=3$) ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระแสดงเป็นค่า IC_{50} ซึ่งเรียกว่า ความเข้มข้นของการยับยั้งที่ร้อยละ 50 ในที่นี้หมายถึงความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกที่จำเป็นในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ได้ร้อยละ 50 สูตรคำนวณร้อยละของการยับยั้ง (Percentage of inhibition) ดังสมการ (4)

$$\%Inhibition = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อกำหนดให้ A_c คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ control (เอทานอล 0.5 มิลลิลิตร + สารละลาย DPPH 2.5 มิลลิลิตร), A_s คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดแอสคอร์บิก และ %Inhibition คือ ร้อยละของการยับยั้ง

7.2 การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากลำต้นโคลงเคลง

สารละลายของสารสกัดจากลำต้นโคลงเคลง เข้มข้น 40, 80, 160, 320, 840, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000 และ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ละขวดตามลำดับ เตรียมได้จากสารละลายตั้งต้นของสารสกัดในเอทานอลเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สารละลายของสารสกัดที่มีความเข้มข้นต่างกัน ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย 0.2 mM DPPH

จำนวน 2.5 มิลลิลิตร และนำไปป้อนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ในที่มีวัด วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายของสารสกัดที่ 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer ($n=3$) ค่า IC_{50} ของสารสกัดคำนวณจากกราฟของความเข้มข้นของสารละลายของสารสกัดลำต้นโคลงเคลงเทียบกับร้อยละการยับยั้ง ส่วนร้อยละการยับยั้งคำนวณโดยใช้สูตรเดียวกันกับการกรดแอสคอร์บิก แต่แทนค่า A_s ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายของสารสกัดลำต้นโคลงเคลง

8. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณได้จากการทำซ้ำ 3 ครั้ง และนำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การเปรียบเทียบทางสถิติวิเคราะห์ด้วย one-way analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น $p \leq 0.05$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับ TPC และ TFC

ผลการวิจัย

1. ผลของตัวทำละลายต่อชนิดของสารพฤษเคมี

ผลการตรวจสอบสารพฤษเคมีจำนวน 9 ชนิดในสารสกัดลำต้นโคลงเคลงด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ใช้กันทั่วไปในการหมักพืชสมุนไพรเพื่อสกัดสารองค์ประกอบ¹⁸ ได้แก่ เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีขั้ว (0.654) ส่วนแอสีโตนและเอทิล แอสีเตตเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วปานกลาง แต่ความมีขั้วของเอทิล แอสีเตต (0.228) น้อยกว่าแอสีโตน (0.355) แสดงใน Table 1

Table 1. Types of phytochemicals found in different solvent extracts

Phytochemicals	Solvents used for extraction		
	Ethanol	Acetone	Ethyl acetate
Alkaloids	+	-	-
Flavonoids	+	+	+
Anthraquinone	-	-	+
Coumarin	+	+	+
Saponin	+	-	-
Tannin	+	+	+
Terpenoids	+	+	+
Steroids	+	+	+
Cardiac glycosides	+	+	+

+ (Positive test) is "Found"

- (Negative test) is "Not found"

ถึงแม้ว่าสารสกัดหยาบจากลำต้นโคลงเคลงมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีเขียวแกมดำเหมือนกัน แต่ร้อยละการสกัดและชนิดของสารพฤษเคมีต่างกัน ร้อยละการสกัดเรียงลำดับจากมากไปน้อยตามชนิดของตัวทำละลาย ดังนี้ สารสกัดเอซีโตน สารสกัดเอทานอล และสารสกัดเอทิล แอซีเตต

(Table 2) อย่างไรก็ตามชนิดของสารพฤษเคมีที่ปรากฏในสารสกัดเอทานอลมีจำนวนมากที่สุด หากต้องการสารกลุ่มแอนทราควิโนนจากลำต้นโคลงเคลง สามารถสกัดได้โดยใช้เอทิลแอซีเตต เนื่องจากไม่พบสารกลุ่มนี้ในสารสกัดเอทานอลและเอซีโตน

Table 2. Appearance and extraction yield of *M. malabathricum* solvent extractions

Solvents	Appearance	Weight of crude extract (g)	Extraction yields
Ethanol	Black-green, viscous liquid	13.10	2.83
Acetone	Black-green, viscous liquid	16.31	3.50
Ethyl acetate	Black-green, viscous liquid	3.81	0.81

การเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม วิธีการสกัด และการตรวจสอบสารพฤกษเคมีเบื้องต้นเป็นขั้นตอนสำคัญในการเตรียมพืชสมุนไพรสำหรับหาปริมาณขององค์ประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพด้วยวัตถุประสงค์การนำไปใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน¹⁸ สารทุติยภูมิ (Secondary metabolites) ส่วนใหญ่จะมีสรรพคุณทางยา เช่น อัลคาลอยด์ (Alkaloid) แอนทราควิโนน (Anthraquinone) และน้ำมันหอมระเหย (Essential oil) เป็นต้น สารประเภทนี้เกิดจากขบวนการชีวสังเคราะห์ และเป็นสารประกอบที่พบในพืชต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ Zakaria et al.¹⁹ รายงานการใช้ตัวทำละลายที่มีขั้วสูง คือ น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดสารจากใบโคลงเคลงที่พบในประเทศมาเลเซียและพบองค์ประกอบที่เป็นฟลาโวนอยด์ ไตร-เทอร์พีน แทนนิน ซาโปนิน และสเตียรอยด์ แต่ไม่มีแอลคาลอยด์ สำหรับการทดสอบฤทธิ์แก้ปวด ฤทธิ์ต้านการอักเสบ และฤทธิ์ลดไข้ (Antinociceptive, anti-inflammatory and antipyretic properties) เมทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูงรองจากน้ำและถูกนำมาใช้ในการสกัดสารจากรากโคลงเคลงในรายงานวิจัยของ Faravani et al.²⁰ สารทุติยภูมิ

ที่สกัดออกมาได้ มีดังนี้ กรดเฮกซาโคซานอิก (Hexacosanoic acid) กรดแกดอลิก ฟลาโวนอยด์ และฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์ ฟีนอลิก ไตร-เทอร์พีน แทนนิน ซาโปนิน และสเตียรอยด์

2. ผลของตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากลำต้นโคลงเคลงด้วย Folin-Ciocalteu colorimetric method และใช้กรดแกดอลิกเป็นสารมาตรฐาน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากลำต้นโคลงเคลงคำนวณจากสมการถดถอยของกราฟมาตรฐาน ($y = 0.0038x + 0.2703$; $R^2 = 0.993$) จาก Table 2 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดเอทานอล แอซีโตน และเอทิลอะซีเตต ในพืชสมุนไพรชนิดเดียวกัน พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดจากสารสกัดแอซีโตนสูงกว่าสารสกัดเอทิลแอซีเตตและสารสกัดเอทานอล สารประกอบฟีนอลหลายชนิดแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้⁶ ดังนั้นฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดีที่สุดในการสกัดแอซีโตนจากลำต้นโคลงเคลงจึงน่าจะเป็นบทบาทของสารประกอบฟีนอล

Table 3. Percentage of extraction yield, TPC, TFC, and IC₅₀ in DPPH radical scavenging activity of *M. malabathricum* stem crude extract obtained by using three different solvents

Extracts	% extraction yield	TPC (mg GAE/g extract)	TFC (mg QE/g extract)	IC ₅₀ (mg/L)
Ethanol	2.83	331±10 ^c	1,793±16 ^a	107
Acetone	3.50	2,421±14 ^a	783±13 ^c	126
Ethyl acetate	0.80	1,805±17 ^b	1,242±11 ^b	2,619

อักษร a, b และ c ที่แตกต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกันแสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างตัวทำละลายที่แตกต่างกันโดย ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น $p \leq 0.05$

ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดส่วนลำต้นของต้นโคลงเคลงด้วย Aluminum chloride colorimetric method และใช้เคอชิตินเป็นสารมาตรฐาน ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดจากลำต้นโคลงเคลงคำนวณจากสมการถดถอยของกราฟมาตรฐาน ($y = 0.0026x + 0.0188$; $R^2 = 0.999$) แสดงใน Table 2 พบว่า ปริมาณฟลาโวนอยด์อยู่ในช่วง 783–1793 มิลลิกรัมสมมูลของเคอชิตินต่อกรัมสารสกัด โดยปริมาณฟลาโวนอยด์สูงสุดอยู่ในสารสกัดเอทานอล สารฟลาโวนอยด์เป็นสารพฤษเคมีที่มีโครงสร้างเป็นพอลิฟีนอลและอยู่ในพืชหลายชนิด รวมถึงศักยภาพทางการแพทย์โดยมีประโยชน์ทางเภสัชกรรมหลายประการ รวมถึงคุณสมบัติต้านมะเร็ง สารต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ และต้านไวรัส นอกจากนี้ยังมีผลป้องกันระบบประสาทและป้องกันหัวใจด้วย²¹ ความมีชีวิตของตัวทำละลายให้ค่า TFC และ TPC แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ดังนั้นข้อของตัวทำละลายแต่ละชนิดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์เชิงปริมาณ²²

3. ผลของตัวทำละลายต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดเอทานอล แอซีโตน และเอทิลแอซีเตต (Table 2) แสดงให้เห็นว่า สารสกัดลำต้นโคลงเคลงด้วยเอทานอลแสดงฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุด คือ 107 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือสารสกัดแอซีโตน และสารสกัดเอทิลแอซีเตต อย่างไรก็ตามสารสกัดเอทานอลจากลำต้นโคลงเคลงมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ DPPH น้อยกว่ากรดแอสคอร์บิก ($IC_{50} = 38$ มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งเป็นสารมาตรฐาน ดังนั้นฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระดี

ที่สุดในสารสกัดเอทานอลจากลำต้นโคลงเคลงสัมพันธ์กับปริมาณสารฟลาโวนอยด์ เช่นเดียวกับรายงานวิจัยของ Sasadara and Wirawan ปริมาณฟลาโวนอยด์สูงสุดปรากฏในสารสกัดจากพืชเมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย²³

อภิปรายผล

โคลงเคลงเป็นพืชสมุนไพร ส่วนต่าง ๆ ของพืชชนิดนี้ได้รับการระบุว่ามีความค่าทางยาจากการมีสารออกฤทธิ์หรือสารทุติยภูมิที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ บางครั้งอาจหมายถึงทุกส่วนของพืชทั้งต้นก็ได้²⁴ การค้นพบคุณค่าทางยาของโคลงเคลงมีหลายด้าน ได้แก่ การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลัน (Acute toxicity) ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย ฤทธิ์ต้านเชื้อไวรัส ฤทธิ์ต้านปรสิต ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และการรักษาบาดแผล (Wound healing activity) เป็นต้น และมีความสอดคล้องกับการรักษาของหมอยาสมุนไพร (หมอภูมิปัญญา เมฆลย์) ซึ่งอาศัยในเขตพื้นที่อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี ส่วนกิ่งและก้านรวมกันมาต้มเพื่อรักษาโรคผิวหนังต่าง ๆ รากนำมาต้มเป็นยาบำรุงตับ และใบนำมาต้มโปะแผลเป็นหนอง

ในงานวิจัยนี้ ร้อยละการสกัดสูงสุดได้จากสารสกัดแอซีโตน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Do et al.²⁵ ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดโดยเทคนิคทางสเปกโทรโฟโตเมตริก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH แสดงให้เห็นว่า การสกัดสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดียังคงเป็นของตัวทำละลายมีขั้วปานกลางถึงสูง นั่นคือ เอทานอลและแอซีโตน ในสารสกัดเอทานอลจากลำต้นโคลงเคลงมีปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด และแสดงออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด

ซึ่งอธิบายได้ว่าแอลกอฮอล์เป็นโมเลกุลมีขั้ว จึงสามารถสกัดสารทุติยภูมิที่มีขั้วออกมาได้²⁶ ข้อดีของการใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ได้แก่ การเป็นสารกันเสียเมื่อความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 20 และไม่เป็นพิษที่ความเข้มข้นต่ำ รวมถึงการใช้ความร้อนเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้สารสกัดเข้มข้นได้²⁷ กรณีของสารสกัดแอซีโตนจากลำต้น โคลงเคลงมีปริมาณฟีนอลิกสูงที่สุดและแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีรองลงมาจากเอทานอล ฟลาโวนอยด์ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มสารทุติยภูมิที่มีโครงสร้างเป็นพอลิฟีนอลนั้นมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระด้วยเช่นกัน และระดับการออกฤทธิ์ มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลที่เป็น องค์ประกอบในพืชแต่ละชนิด²⁸ ดังนั้นวิธีการสกัด สารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญอาจจำเป็นต้องใช้ชนิด ของตัวทำละลายและวิธีการสกัดที่เหมาะสม รวมถึงความปลอดภัยในการใช้สารสกัดหลังจาก ระเหยตัวทำละลายออกแล้ว ทุกส่วนของต้น โคลงเคลงไม่ว่าจะเป็นผล ใบ ก้าน ราก และลำต้น งานวิจัยนี้ได้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถ ยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระได้โดยสามารถสกัด ออกมาได้ดีด้วยการใช้ตัวทำละลายมีขั้วปานกลาง ถึงสูง ดังนั้นการสกัดสารพฤษเคมีต่าง ๆ ด้วยตัว ทำละลายที่มีขั้วต่างกัน และการสกัดอย่างต่อเนื่อง สามารถเป็นวิธีที่ดีในการสกัดสารพฤษเคมี ทั้งหมดและสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในตัวอย่าง พืช²⁹ และโคลงเคลงจึงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่ทุกส่วน มีสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ เหมือนพืชอีกหลายชนิด³⁰

สรุปผลการวิจัย

การสกัดลำต้นโคลงเคลงด้วยตัวทำละลาย ที่มีความเป็นขั้วแตกต่างกัน จะให้สารสกัดที่มี ความสามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้แตกต่างกันด้วย สารสกัดเอทานอลจากลำต้นโคลงเคลงแสดงฤทธิ์ ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดและสัมพันธ์กับการมี ปริมาณฟลาโวนอยด์สูงสุด ดังนั้นลำต้นโคลงเคลง จึงเป็นแหล่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพด้านการต้าน อนุมูลอิสระที่มีศักยภาพในการพัฒนาทางเภสัช กรรมและเครื่องสำอาง ฤทธิ์ทางชีวภาพของพืชที่ ตรวจพบสามารถแตกต่างกันได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ สภาพแวดล้อมและช่วงเวลาการศึกษา ส่วนวิธีการหา ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอื่น ๆ เช่น FRAP และ ABTS เป็นต้น อาจนำมาใช้เพิ่มเติม เพื่อหาความสัมพันธ์ กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์ ทั้งหมดของสารสกัดลำต้นโคลงเคลงด้วยตัวทำ ละลายต่างชนิดกัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี และคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่งบประมาณ สนับสนุน และให้โอกาสทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง ด้วยดี ขอขอบคุณการให้คำแนะนำเกี่ยวกับการ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของอาจารย์กชกร เพ็งศรี สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี ขอขอบคุณการอำนวยความสะดวกทุก ด้านของคุณรัตติญา มังกรฤทธิ์ คุณณลินี รักเพชร และคุณณัฐพันธ์ สงวนศักดิ์บริม นักวิทยาศาสตร์ สังกัดศูนย์เครื่องมือกลาง และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนการทำงาน วิจัยในห้องปฏิบัติการทางเคมี



เอกสารอ้างอิง

1. Clausen G, Renner SS. Molecular phylogenetics of Melastomataceae and Memecylaceae: Implications for character evolution. *Am J Bot* 2001;88:486-98.
2. Joffry SM, Yob NJ, Rofiee MS, Affandi MM, Suhaili Z, Othman F, et al. *Melastoma malabathricum* (L.) Smith ethnomedicinal uses, chemical constituents, and pharmacological properties: A Review. *Evid Based Complementary Altern Med* 2012;258434.
3. Wong KM. Studies in Southeast Asian *Melastoma* (Melastomataceae), Morphological variation in *Melastoma malabathricum* and notes on rheophytic taxa and interspecific hybridisation in the genus. *Gard Bull Singapore* 2015;67:387-401.
4. กล่าวขวัญ ศรีสุข, สาวินีย์ สิมานันท์, ปริญญา เกตุกุล, เอกรัฐ ศรีสุข, กาญจนา หิริมเพ็ง, เบญจวรรณ ชิวปรีชา, และคณะ. ฤทธิ์ต้านการอักเสบของพืชสมุนไพรบางชนิดในโครงการพัฒนาป่าชุมชนบ้านอ่างเอ็ด จังหวัดจันทบุรี. *ววน* 2560;304-11.
5. ศิริพรรณ สุขช่วง, ชมนาด เกิดคง, ไพโร มัทธวรรตน์, เนตรชนก น้อยสีรุ่ง. ปริมาณแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก และน้ำตาลของผลโคลงเคลง (*Melastoma malabathricum* L.) จากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทย. *เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 56 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*; 6-9 กุมภาพันธ์ 2561; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร: 2561. หน้า 274-81.
6. อาอีเซาะส์ เบ็ญหาวัน, สุณีย์ แวมะ. การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดจากต้นโคลงเคลงด้วยเทคนิค HPTLC และฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อโรคในอาหาร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจร* 2564;6:81-90.
7. Ang SS, Molyde C. การศึกษาองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านเชื้อ *Escherichia coli* จากสารสกัดหยาบใบและกิ่งจากต้นโคลงเคลง ชะมวง บุนหาสำหรับ และฟิลังกาสา. *ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา*; 2563
8. กองกานดา ชยามฤต. ลักษณะประจำวงศ์พรวนไม้. กรุงเทพมหานคร: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย; 2548.
9. เนตรชนก น้อยสีรุ่ง, ไพโร มัทธวรรตน์. ชีววิทยาของดอกและการพัฒนาการของผลโคลงเคลงสายพันธุ์กลีบดอกสีขาว. *เรื่องเต็มการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14; 7-8 ธันวาคม 2560; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. 2560. หน้า 2485-91.*
10. ศรีนรัตน์ ฉัตรธีระนันท์, วรางคณา สบายใจ, สิริมาศ นิยมไทย. การทดสอบองค์ประกอบทางพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของใบข่อยดำ. *ว วิทย มข* 2556;41:723-30.
11. Trease GE, Evans WC. *Phytochemicals*. In: Evans WC, Evans D, Trease GE,

- editors. Trease and Evans' Pharmacognosy, 15th ed. Edinburgh: WB Saunders; 2002. p. 42-393.
12. Ayoola GA, Coker HAB, Adesegun SA, Adepoju-Bello AA, Obawe K, Ezennia EC, et al. Phytochemical screening and antioxidant activities of some selected medicinal plants used for Malaria therapy in southwestern Nigeria. Trop J Pharm Res 2008;7:1019-24.
13. Joshi A, Bhoje M, Saatarkar A. Phytochemical investigation of the roots of *Grewia microcos* Linn. J Chem Pharm Res 2013;5:80-7.
14. Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós R. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Meth Enzymol 1999;299:152-78.
15. ภาศิริ ม่วงศิริกุล. การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลรวมของสารสกัดอินทผลัม [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต; 2562.
16. วัชรภรณ์ ประภาสโนบล, พิเชิด สุดตา. ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแอลคาลอยด์ของสารสกัดลำต้นนกกระลิงแดง. ว วิทย มช 2560;45:531-42.
17. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Sci Technol 1995;28:25-30.
18. Abubakar AR, Haque M. Preparation of Medicinal Plants: Basic Extraction and Fractionation Procedures for Experimental Purposes. J Pharm Bioallied Sci 2020;12:1-10.
19. Zakaria ZA, Raden Mohd Nor RNS, Hanan Kumar G, Abdul Ghani ZDF, Sulaiman MR, Rathna Devi G, et al. Antinociceptive, anti-inflammatory and antipyretic properties of *Melastoma malabathricum* leaves aqueous extract in experimental animals. Can J Physiol Pharmacol 2006;84,1291-9.
20. Faravani M. The population biology of Straits Rododendron (*Melastoma Malabathricum* L.) [dissertation]. Kuala Lumpur, Malaysia: University of Malaya; 2009.
21. Ullah A, Munir S, Badshah SL, Khan N, Ghani L, Poulson BG, et al. Important flavonoids and their role as a therapeutic agent. Molecules. 2020;25:5243. <https://doi.org/10.3390/molecules25225243>.
22. Moo-Huchin VM, Canto-Pinto JC, Cuevas-Glory LF, Sauri-Duch E, Pérez-Pacheco E, Betancur-Ancona D. Effect of extraction solvent on the phenolic compounds

- content and antioxidant activity of Ramon nut (*Brosimum alicastrum*). Chem Pap 2019;73:1647–57.
23. Sasadara MMV, Wirawan IGP. Effect of extraction solvent on total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activity of Bulung Sangu (*Gracilaria* sp.) Seaweed. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021;712:012005.
24. Rungsung W, Ratha KK, Dutta S, Dixit AK, Hazra J. Secondary metabolites of plants in drugs discovery. World J Pharm Res 2015;4:604–13.
25. Do QD, Angkawijaya AE, Tran-Nguyen PL, Huynh LH, Soetaredjo FE, Ismadji S, et al. Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. J Food Drug Anal 2014;22:296–302.
26. Das K, Tiwari RK, Shrivastava DK. Techniques for evaluation of medicinal plant products as antimicrobial agents: Current methods and future trends. J Med Plants Res 2010;4:104–11.
27. Tiwari P, Kumar B, Kaur M, Kaur G, Kaur H. Phytochemical screening and extraction: A review. Int Pharm Sci 2011;1:98–106.
28. Panche AN, Diwan AD, Chandra SR. Flavonoids: An overview. J Nutr Sci 2016;5:e47. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
29. Nawaz H, Shad AM, Rehman N, Andaleeb H, Ullah N. Effect of solvent polarity on extraction yield and antioxidant properties of phytochemicals from bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds. Braz J Pharm Sci 2020;56: e17129.
30. Indarti K, Apriani EF, Wibowo AE, Simanjuntak P. Antioxidant activity of ethanolic extract and various fractions from green tea (*Camellia sinensis* L.) Leaves. Pharmacogn J 2019;11:771–6.

การสำรวจมันสกุล *Dioscorea* และผลของสารสกัดหยาบแป้นต่อการเจริญของแบคทีเรีย Survey of *Dioscorea* spp. and Effect of Crude Starch Extract on Growth of Bacteria

ณัฐวุฒิ มีศิลป์* และกุนทิกา บุญสุภาวงศ์

Nutthawut Meesilp* and Kunthika Boonsuphawong

สาขาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

Department of Applied Biology, Faculty of Science and Liberal Art, Rajamangala University of Technology Isan,
Nakhon Ratchasima Thailand

*Corresponding author; E-mail: nutthawutm@hotmail.com

Received: 19 December 2023 /Revised: 15 April 2024 /Accepted: 23 April 2024

บทคัดย่อ

ระบบนิเวศเกษตรประกอบด้วยปฏิสัมพันธ์องค์ประกอบต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อมระหว่างพืช จุลินทรีย์ และดินทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ของดิน มันสกุล *Dioscorea* เป็นพืชมีหัวใต้ดินสะสมสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยแป้งและน้ำตาล ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจมันสกุล *Dioscorea* จากป่าแห้งแล้ง และศึกษากลุ่มประชากรแบคทีเรียจากมันสกุล *Dioscorea* ที่เจริญเติบโตในดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยบำรุง จากการสำรวจมันสกุล *Dioscorea* จากป่าเต็งรัง โดยพบมันที่สำรวจได้มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับมันเทียน (*Dioscorea myriantha* Kunth) และมันเลือด (*Dioscorea alata* L.) คัดแยกแบคทีเรียได้ทั้งหมด 56 ไอโซเลตจากตัวอย่างดินรอบรากและหัวพืช เมื่อแบ่งตามลักษณะแหล่งอาศัยของแบคทีเรีย ได้แก่ แบบอิสระ และแบบอาศัยกับพืช ได้จำนวน 28 และ 28 ไอโซเลต ตามลำดับ การจัดจำแนกแบคทีเรียเบื้องต้นตามการติดสีย้อมของเซลล์เป็นแกรมบวกจำนวน 31 และแกรมลบ 25 ไอโซเลต มีรูปร่างเซลล์แบบต่าง ๆ ได้แก่ ทรงกลม แท่ง รี และเส้นสาย ลักษณะโคโลนีที่ปรากฏ ได้แก่ สีขาวถึงเหลือง รูปร่างกลมถึงไม่แน่นอน ความสูงแบนถึงนูน และขอบเรียบถึงหยัก การวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมดจากมันเทียน (5.94 g/ μ L) สูงกว่ามันเลือด แป้งที่สกัดได้จากมันสกุล *Dioscorea* ที่ผ่านการย่อยด้วยกรดมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการย่อย การใช้สารสกัดแป้งจากมันสกุล *Dioscorea* เพาะเลี้ยงแบคทีเรียมีการเจริญของไอโซเลต EN1 และ FR1 มากที่สุด โดยสรุปมันสกุล *Dioscorea* spp. ที่สำรวจได้จากป่าพบว่ามีแบคทีเรียอาศัยอยู่ทั้งในพืชและดินรอบรากโดยปรากฏลักษณะทางสัณฐานวิทยาแตกต่างกัน รวมทั้งมีปริมาณแป้งทั้งหมดเฉลี่ยใกล้เคียงกัน สามารถนำแป้งมาย่อยเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับเป็นพลังงานของจุลินทรีย์ในการเจริญ

คำสำคัญ: มันเทียน มันเลือด แป้ง น้ำตาลรีดิวซ์ แบคทีเรีย

Abstract

Agroecosystems consist of several interactions of components between plants, microbes and soil in natural environments for maintaining soil fertility. *Dioscorea* spp. are important tuber plants and serve as a source of carbohydrates containing starch and sugar. Thus, the research aimed to survey tuber plants in *Dioscorea* spp. from dry forest and discover bacterial community associated with *Dioscorea* spp. growing in areas without the application of fertilizer. *Dioscorea* spp. surveyed from dry dipterocarp forest showed highly expressed similarity of physical characteristics to *Dioscorea myriantha* Kunth and *Dioscorea alata* L. A total of 56 bacterial isolates obtained from rhizosphere soil and plant tuber were divided into the groups of free-living and endophytic bacteria as 28 and 28 isolates, respectively. All bacteria were preliminarily classified into 31 gram-positive and 25 gram-negative bacterial isolates with the shape of cells as coccus, bacillus, coccobacilli, and filamentous. The most colony characteristics growing on culture medium demonstrated small to large size, white to yellow, circular to irregular shape, flat to convex elevation, and entire to irregular margin. Analysis of total starch content from *Dioscorea myriantha* Kunth sample exhibited higher content (5.94 g/μL) than *Dioscorea alata* L. Hydrolyzed starch extract from *Dioscorea* spp. with acid displayed a higher amount of reducing sugar than non-hydrolyze. The application of crude starch extract supplementing in a culture medium showed highly enhanced growth of the EN1 and FR1 isolates. In conclusion, discovered *Dioscorea* spp. from the forest presented bacterial populations living in the plant and rhizosphere soil by exhibiting different morphologies. In addition, the plants comprised the average total starch without different values. This starch could be digested into the monosaccharide and applied as the carbon source of culture media to support the energy for microbial growth.

Keywords: *Dioscorea myriantha* Kunth, *Dioscorea alata* L., Starch, Reducing sugar, Bacteria

บทนำ

ระบบนิเวศเกษตร (Agroecosystems) เป็นระบบที่มีความซับซ้อน ประกอบด้วย ความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ได้แก่ พืช สัตว์ จุลินทรีย์ และดิน ทำให้เกิดการหมุนเวียนของสาร ในระบบนิเวศ ความสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์และดินช่วยส่งเสริมความอุดมสมบูรณ์และช่วยรักษาคุณภาพของระบบนิเวศเกษตร พืชไร่ที่จัดเป็นพืช

อาหารหลักประกอบด้วย 9 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย ข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง ถั่วเหลือง ปาล์มน้ำมัน ชู การบีท และมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังมีมันเลื้อย (*Dioscorea* spp.) เป็นพืชที่มีหัวใต้ดินพบจำนวนมากในแถบแอฟริกาตะวันตกสามารถนำมาใช้เป็นอาหารที่สำคัญ โดยมีการผลิตประมาณ 67 ล้านตัน และร้อยละ 94 ของมันเลื้อยที่ผลิตได้จากทั่วโลก¹

มันสกุล *Dioscorea* หรือแย้ม (Yam) เป็นมันพื้นบ้านจัดอยู่ในวงศ์ *Dioscoreaceae* มีชื่อเรียกต่างกันแต่ละท้องถิ่นตามลักษณะรูปร่างของหัวใต้ดิน เช่น มันหวาย มันแข้งช้าง มันเลือด มันดำ มันเหลียม มันเสา มันทุ เป็นต้น ลักษณะของหัวมันเลือดจะเป็นสีแดงเรื่อ หรือสีแดงม่วง ลำต้นมีปีก (Wing stems)² ส่วนหัวมันเลือดมีประโยชน์ในการใช้เป็นอาหารที่สำคัญทดแทนข้าวได้ที่มีแหล่งของสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ซึ่งการนำหัวมันเลือดมาบริโภคโดยไม่มีการปลูกทดแทนในธรรมชาติส่งผลให้มีปริมาณลดน้อยลง นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ ได้แก่ การล้างพิษในร่างกาย เป็นต้น สารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่าง ๆ เช่น แป้ง น้ำตาล โปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย และแร่ธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่าง ๆ เช่น แคลเซียม (Ca) โพแทสเซียม (K) โซเดียม (Na) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) โคบอลต์ (Co) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) และกรดโฟลิก (Folic acid) กลุ่มของสารสีที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) เช่น สารแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) และแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) โดยแอนโทไซยานินเป็นสารให้สีตามธรรมชาติ สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ที่ละลายน้ำได้ประกอบด้วย 6 ชนิด ได้แก่ พีลาร์โกนิน (Pelargonidin) ไซยานิดิน (Cyanidin) เดลฟินิดิน (Delphinidin) พีโอนิดิน (Peonidin) เพทูนิดิน (Petunidin) และมอลวิดิดิน (Malvidin)³ สารแอนโทไซยานินมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีฤทธิ์สูงกว่าวิตามินซี และวิตามินอี กลุ่มของ

วิตามิน เช่น ไทแอมีน (Thiamine, B1) ไรโบฟลาวิน (Riboflavin, B2) ไนอะซิน (Niacin, B3) เรตินอล (Retinol, A) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid, C) และสเตียรอยด์ซาโปนิน (Steroid saponin) ความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารต่าง ๆ ในหัวมันเลือดโดยเฉพาะกลุ่มของสารคาร์โบไฮเดรตที่สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon source) แหล่งของพลังงานจึงเหมาะสำหรับการเจริญของกลุ่มจุลินทรีย์ต่าง ๆ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านเทคโนโลยีชีวภาพ^{4,5}

จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่พบได้ในมันสกุล *Dioscorea* มีการดำรงชีวิตในส่วนลำต้นและหัวพืช รวมทั้งดินรอบ ๆ ราก ซึ่งความหลากหลายของจุลินทรีย์ขึ้นกับชนิดของมันและลักษณะของบริเวณที่พืชเจริญเติบโต ได้แก่ แร่ธาตุอาหาร ความชื้น สารอินทรีย์ เป็นต้น การเจริญของมันในดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ส่วนใหญ่จะพบกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของมันสกุล *Dioscorea* โดยแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์มีรายงานพบความสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth promoting bacteria) ด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การตรึงก๊าซไนโตรเจน (N_2 -fixing) การละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilization) การละลายโพแทสเซียม (Potassium solubilization) และการสร้างฮอร์โมนพืช Indole-3 acetic acid (IAA)⁶ เช่น *Allorhizobium* sp., *Neorhizobium* sp., *Pararhizobium* sp., *Rhizobium* sp., *Burkholderia* sp., *Caballeronia* sp., และ *Paraburkholderia* sp. เป็นต้น โดยแบคทีเรียเหล่านี้สามารถพบได้ในมันเลือด (*Dioscorea alata*) ซึ่งมีเจริญเติบโตได้ดีในดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยบำรุงดิน

แหล่งคาร์บอนต่าง ๆ มีความจำเป็นสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจะใช้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของเซลล์ สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ แป้ง และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่พบในมันสกุล *Dioscorea* สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อราและแบคทีเรีย ดังนั้นจากกลุ่มสารคาร์โบไฮเดรตจึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและการเจริญของประชากรของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่อย่างอิสระในดินรอบรากพืช (Free-living microorganisms) และ อาศัยอยู่ในส่วนลำต้นของพืชแบบพึ่งพาอาศัย (Symbiosis หรือ Endophytic microorganisms)⁷ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้สำรวจมันสกุล *Dioscorea* จากพื้นที่ป่าเต็งรัง และคัดแยกแบคทีเรียจากดินรอบรากหัวพืช

วิธีการดำเนินการวิจัย

1 การสำรวจและเก็บตัวอย่างมัน

สำรวจชนิดและเก็บตัวอย่างมันสกุล *Dioscorea* และดินบริเวณที่เจริญเติบโตในเขตพื้นที่ป่าอนุรักษ์หนองระเวียง จังหวัดนครราชสีมา โดยบ่งชี้ชนิดสายพันธุ์ของมันสกุล *Dioscorea* และนำมาคัดแยกแบคทีเรียที่อาศัยแบบพึ่งพากับมันเลื้อย และแบบอิสระในดินรอบ หัวพืชในห้องปฏิบัติการ

2 การคัดแยกแบคทีเรีย

นำตัวอย่างหัวมันเลื้อยมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา จากนั้นชั่งน้ำหนัก 25 กรัม แล้วทำให้ปลอดเชื้อด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) เข้มข้นร้อยละ 7 และเอทานอล (C₂H₅OH) เข้มข้นร้อยละ 70 เป็นเวลาอย่างละ 10 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ นำมาบดให้ละเอียดและเพิ่มปริมาณสารละลายด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 225 มิลลิลิตร

สำหรับดินรอบหัวพืช (Rhizosphere soil) ซึ่งตัวอย่าง 25 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 225 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายมานับตและสารละลายดินอย่างละ 1 มิลลิลิตรมาเจือจางในสารละลายเกลือเข้มข้นร้อยละ 0.85 แล้วคัดแยกแบคทีเรียด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเลือกโคโลนีเดี่ยว ๆ ที่มีความแตกต่างกันมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อจานใหม่ เก็บรักษาแบคทีเรียที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3 การศึกษาลักษณะพื้นฐานของแบคทีเรีย

ศึกษาลักษณะของแบคทีเรียที่เจริญเป็นโคโลนีเดี่ยว ๆ บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar ได้แก่ ขนาด สี ผิวหน้า ขอบ และ ความหนืด เป็นต้น จากนั้นศึกษาพื้นฐานวิทยาของเซลล์แบคทีเรีย ได้แก่ การติดสี และรูปร่างเซลล์ ด้วยการย้อมแกรมตามวิธีมาตรฐานแล้วศึกษากายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100x

4 การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด

4.1 การเตรียมตัวอย่าง

ทำความสะอาดตัวอย่างมันสกุล *Dioscorea* ที่สำรวจได้ ล้างด้วยน้ำประปา จากนั้นหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ นำมาอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วบดให้ละเอียด จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงความละเอียดขนาด 100 Mesh ซึ่งน้ำหนักผงมันเลื้อย 0.3-0.5 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปริมาตรสารละลายเป็น 10 มิลลิลิตร นำมาปั่นเหวี่ยงที่ 5,500 rpm เป็นเวลา 10 นาที เพื่อเก็บตะกอนแป้ง ล้างตะกอนที่ได้อีกครั้งด้วยน้ำกลั่น นำตะกอนที่ล้างแล้วทำเป็นสารละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 30 มิลลิลิตร ใส่เม็ดบีดและกวนพร้อมให้ความร้อนจนถึง 100 องศาเซลเซียส แล้วรอกาก

มัน ล้างตะกอนอีกครั้งด้วยน้ำร้อนจนได้ปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตร ทำให้เย็นและเจือจางในอัตราส่วน 1:10 ก่อนทำการวิเคราะห์

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณแป้ง

เติมสารละลายไอโอดีนปริมาตร 30 ไมโครลิตรลงในสารละลายแป้งสกัดได้จากมันเลือดที่เจือจางแล้วปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร คำนวณปริมาณแป้งจากกราฟสารละลายแป้งมาตรฐาน (mg/ml)⁹

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

นำตัวอย่างสารละลายน้ำแป้งที่เตรียมไว้ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เติมด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCL) และกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ที่มีความเข้มข้น 0.5 N และ 1 N ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 90-98 องศาเซลเซียส ทั้งไว้เป็นเวลา 5-20 นาที แล้วทำให้เย็นทันที ปรับค่ากรดต่าง ให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 1 N หลังจากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที นำส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาเติมสารละลาย 3,5-Dinitro salicylic acid (DNS) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ต้มในน้ำร้อนเป็นเวลา 10 นาที แล้วทำให้เย็นทันทีในอ่างน้ำแข็ง ปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 250 นาโนเมตร แล้วเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นในตัวอย่างกับกราฟสารละลายกลูโคสมาตรฐาน⁹

4.4 การทดสอบการเจริญของแบคทีเรีย

นำแบคทีเรียที่มีกิจกรรมการย่อยสลายแป้งมาเพาะเลี้ยงด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อพื้นฐานเหลว (Basic medium) ที่มีการเติมสารสกัดแป้งจากมันเลือดร้อยละ 10 (v/v) เป็นแหล่งคาร์บอนอย่าง

เดียว จากนั้นนำบ่มแบบเขย่าที่ 120 rpm อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจนับปริมาณแบคทีเรียทุก 2 ชั่วโมง ด้วยเทคนิค Dilution plate count บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar หลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1 การศึกษาประเภทมันเลือด

ตัวอย่างมันสกุล *Dioscorea* ที่สำรวจได้จากป่าเต็งรังในพื้นที่อนุรักษ์หนองระเวียง จังหวัดนครราชสีมา จำแนกได้ 2 ชนิด ตามลักษณะรูปร่างของหัวใต้ดินเป็นสำคัญจึงเรียกชื่อตามลักษณะดังกล่าว ได้แก่ มันเทียน (*Dioscorea myriantha* Kunth) (Figure 1) ซึ่งลักษณะหัวใต้ดินเป็นแท่งยาวสีขาว น้ำตาลอ่อน คล้ายลำเทียน มีเครือ ใบเป็นสีเขียว และลำต้นเป็นเหลี่ยม และมันเลือด (*Dioscorea alata* L.) (Figure 2) มีลักษณะหัวใต้ดินเป็นก้อนรูปร่างไม่แน่นอน ได้แก่ กลม รี หรือหยัก หัวพืชมีผิวสีน้ำตาล เนื้อในหัวมีสีขาว และขาวปนม่วงถึงสีม่วงเข้ม มีใบเป็นสีเขียวและสีเขียว ลำต้นเป็นเครือลักษณะเหลี่ยมมีสีม่วงและเขียว¹⁰



Figure 1 . Characteristic of *Dioscorea myriantha* Kunth in the part of tuber (A) and leaves (B)

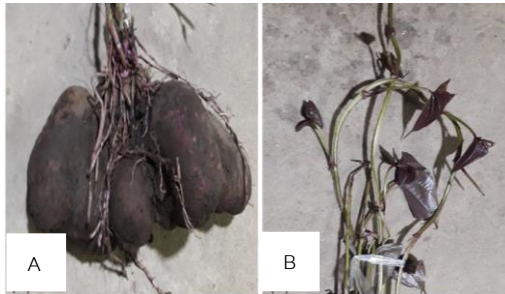


Figure 2. Characteristic of *Dioscorea alata* L., in the part of tuber (A) and leaves (B)

2 การคัดแยกแบคทีเรีย

ตัวอย่างมันสำปะหลัง *Dioscorea* สํารวจได้จากพื้นที่ป่าเต็งรังที่มีสภาพดินแบบร่วนปนทรายไม่มีการใส่ปุ๋ยบำรุงดินแต่มีการเจริญเติบโตที่ดีสามารถพบแบคทีเรียทั้งหมด 56 ไอโซเลต

โดยการคัดแยกจากตัวอย่างดินรอบรากพืชพบแบคทีเรียในกลุ่มอาศัยอยู่อย่างอิสระจำนวนทั้งหมด 28 ไอโซเลต สำหรับตัวอย่างพืชประกอบด้วย หัวมัน ใบ และลำต้นพบแบคทีเรียกลุ่มที่อาศัยอยู่ร่วมกับพืชจำนวนทั้งหมด 28 ไอโซเลต ทั้งตัวอย่างมันเทศและมันเผือกมีปริมาณแบคทีเรียรวมทั้งหมดใกล้เคียงกันดังแสดงใน Table 1 การเจริญของแบคทีเรียบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar หลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีลักษณะโคโลนีปรากฏดังนี้ สีขาวและเหลือง รูปร่างกลม (Circular) และ ไม่แน่นอน (Irregular) ความสูงแบน (Flat) ถึงนูน (Raised) ขอบเรียบ (Entire) และหยัก (Lobate)

Table 1. Amount of bacterial isolates from *Dioscorea* spp. tuber and rhizosphere soil samples

<i>Dioscorea</i> spp. Samples	Amount of bacteria (isolates)		
	Rhizosphere soil	Tuber	Leaves and stem
<i>Dioscorea myriantha</i> Kunth (purple vine with angle)	12	ND	7
<i>Dioscorea myriantha</i> Kunth (green vine with angle)	7	ND	5
<i>Dioscorea alata</i> L. (purple leaves)	6	10	1
<i>Dioscorea alata</i> L. (green leaves)	3	2	3
Total	28	12	16

ND: not detect

3 ความหลากหลายของแบคทีเรีย

จากการศึกษาพื้นฐานวิทยาเบื้องต้นของแบคทีเรียที่คัดแยกได้ทั้งหมดแบ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบที่ติดสีแดงของสารซาฟรานินโอ (Safranin O) จำนวน 25 ไอโซเลต และแกรมบวกที่ติดสีม่วงของสารคริสตัลไวโอเลต (Crystal violet) จำนวน

31 ไอโซเลต ดังแสดงใน Figure 3 แบคทีเรียส่วนใหญ่ที่พบเป็นแกรมบวกมีลักษณะรูปร่างของเซลล์เป็นแบบแท่ง (Bacilli) ร้อยละ 28 และแกรมลบทรงรี (Coccobacilli) ร้อยละ 28 และไม่พบแบคทีเรียที่มีลักษณะเซลล์เป็นเส้นสายแกรมลบ แบคทีเรียที่คัดแยกได้ถูกทดสอบความสามารถในการส่งเสริมการ

เจริญเติบโตของพืช พบความสามารถต่าง ๆ ได้แก่ การตรึงก๊าซไนโตรเจนจากบรรยากาศ (N_2) การละลายฟอสเฟต และการสร้างฮอร์โมนพืช IAA จำนวนร้อยละ 83.33, 66.67 และ 80.86 ของแบคทีเรียทั้งหมดที่คัดแยกได้ ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มันเล็ดสามารถเจริญได้ดีในพื้นที่ป่าที่ขาดความอุดมสมบูรณ์และการบำรุงดิน ดังนั้นความหลากหลายของแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าวมีความสำคัญที่ช่วยเพิ่มโอกาสให้พืชเจริญเติบโตรอดชีวิตได้

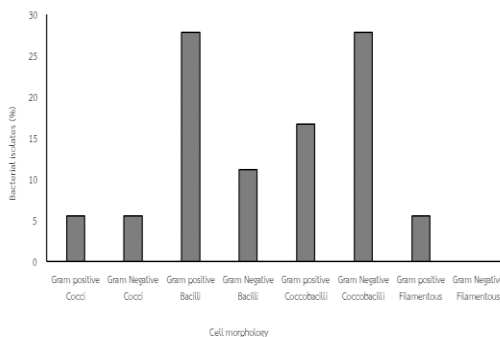


Figure 3. Amount of bacterial isolates divided base on gram staining and cell morphology

4 ปริมาณแป้งทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซ์

จากการวิเคราะห์สารกักตุนแป้งจากหัวพืชทั้ง 2 ชนิด พบว่ามันเทียนมีปริมาณแป้งทั้งหมด (Total starch) สูงกว่ามันเล็ด ดังแสดงใน Figure 4 และเมื่อนำสารกักตุนแป้งหลังที่ผ่านการย่อยด้วยกรด (Hydrolyzed) มาตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่าตัวอย่างแป้งจากตัวอย่างมันทั้ง 2 ชนิดมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามการย่อยสลายแป้งด้วยวิธีการทางเคมีสามารถเกิดเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้มากกว่าแป้งที่ไม่มีการย่อยสลายด้วยกรด (Non-hydrolyzed) ดังแสดงใน Figure 5

นอกจากนี้การย่อยสลายแป้งทางเคมีด้วยกรดเป็นวิธีการเพื่อให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ยังมีวิธีการทางชีวภาพที่เกิดจากกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีกิจกรรมของเอนไซม์มาย่อยสลายโครงสร้างของแป้งเกิดเป็นสารโมเลกุลเล็กลง จากรายงานการวิจัยของ Shajeela และคณะ¹¹การวิเคราะห์ปริมาณแป้งในมันเล็ด (*D. alata* L.) พบปริมาณแป้งสะสมปริมาณร้อยละ 49.13 w/w น้อยกว่ามันเทียนที่มีปริมาณแป้งร้อยละ 81.70 w/w เนื่องจากมันเล็ดมีองค์ประกอบเป็นน้ำร้อยละ 65-76 w/w ซึ่งปริมาณน้ำสูงกว่ามันเทียน สามารถสังเกตได้จากลักษณะของหัวใต้ดินของพืชทั้ง 2 ชนิดที่มีความแตกต่างกัน พืรดา สูดประเสริฐ และคณะ¹²วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของแป้งด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ลักษณะโครงสร้างผลึกแป้งมีลักษณะเซลล์เป็นแบบเฮกซะโกนัล (Hexagonal unit cell) ที่ประกอบด้วยโมเลกุลน้ำ 36 โมเลกุล แตกต่างจากโครงสร้างที่เป็นแบบโมโนคลินิก (Monoclinic unit cell) ที่ประกอบด้วยน้ำ 8 โมเลกุล

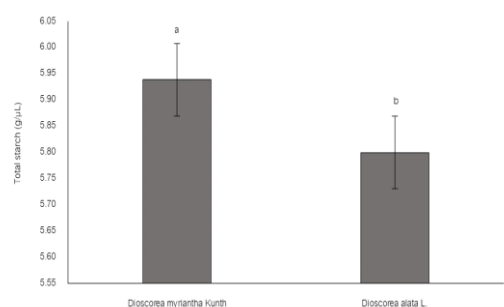


Figure 4 . Analysis of total starch from *Dioscorea myriantha* Kunth and *Dioscorea alata* L. Values with different letters are significantly different ($p < 0.05$, Duncan's test).

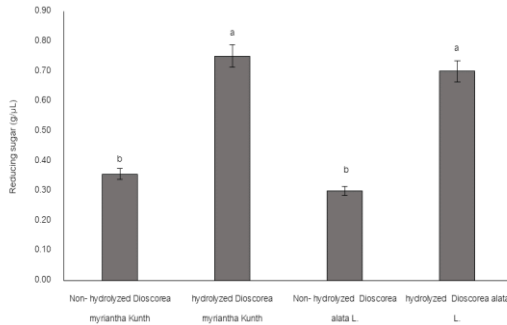


Figure 5 . Analysis of reducing sugar from *Dioscorea myriantha* Kunth and *Dioscorea alata* L. Values with different letters are significantly different ($p < 0.05$, Duncan's test).

5 ผลของสารสกัดหยาบแป้งต่อการเจริญของแบคทีเรีย

แบคทีเรียทุกไอโซเลตที่คัดแยกได้แสดงกิจกรรมการย่อยสลายแป้ง (Soluble starch) บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Starch medium โดยแบคทีเรียไอโซเลต EN1 และ FR1 ที่คัดแยกได้จากพืชและดินรอบรากตามลำดับ พบกิจกรรมเชิงคุณภาพของเอนไซม์อะไมเลส (Amylase) สูงสุดซึ่งสังเกตจากบริเวณใสที่เกิดขึ้น (Clear zone) หลังจากการทดสอบละลายไอโอดีนบนอาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นจึงนำมาศึกษาการเจริญด้วยสารสกัดหยาบแป้งจากหัวมันเลือดที่มีปริมาณแป้งทั้งหมดสูงสุดโดยนำแป้งมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนของอาหารเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ไอโซเลต EN1 และ FR1 แสดงช่วงการเจริญแบบทวีคูณ (Exponential phase) เมื่อเพาะเลี้ยงแบคทีเรียเป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง หลังจากนั้นยังมีการเจริญของแบคทีเรียอย่างช้า ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับเวลา 6-8 ชั่วโมงของการบ่มเชื้อ ซึ่งแบคทีเรียไอโซเลต FR1 มีการเจริญโดยเฉลี่ยมากกว่าไอโซเลต EN1 ดังแสดงใน Figure 6

จุลินทรีย์ต่าง ๆ เมื่อมีการเจริญจะต้องการแหล่งคาร์บอนใช้เป็นพลังงานและกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่าง ๆ กลีเซอรอลและแป้ง เป็นต้น แบคทีเรียสามารถเจริญและแบ่งเซลล์ได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีการเพาะเลี้ยงด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Mono-saccharide) ได้แก่ กลูโคส และฟรุกโตส ในขณะที่สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลใหญ่ (Macromolecule) เช่น แป้ง ต้องมีการย่อยด้วยเอนไซม์เพื่อให้เกิดเป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลเล็กลง ส่วนใหญ่การย่อยสลายแป้งจะใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) เกิดเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์เบต้ากลูโคซิเดส (β -glucosidase) ที่เปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคสเช่นเดียวกัน¹³ โครงสร้างของแป้งที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรดสามารถปลดปล่อยน้ำตาลรีดิซได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ซึ่งจุลินทรีย์เกือบทุกชนิดสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้อย่างรวดเร็วโดยเกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์ผ่านวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ที่ให้สารพลังงานสูง (Adenosine triphosphate, ATP)¹⁴

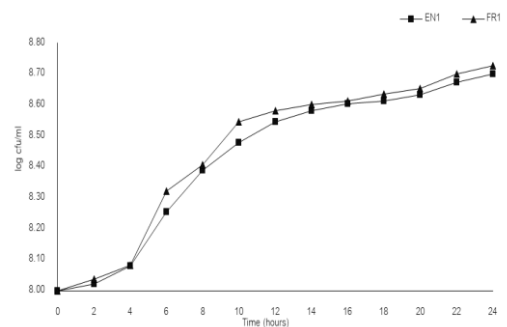


Figure 6 . Growth of bacteria in culture medium by using crude starch extract from *Dioscorea myriantha* Kunth as carbon source

ดังนั้นแบคทีเรียที่สามารถเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสารสกัดหยาบแบ่งจากมันเลือดได้ต้องมีการผลิตเอนไซม์สำคัญดังกล่าวเพื่อย่อยสลายโมเลกุลของแป้งให้เกิดเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่สามารถนำไปใช้สำหรับการเจริญของเซลล์ได้ แบคทีเรียที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายโมเลกุลของแป้งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเกิดไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ที่ตำแหน่งพันธะไกลโคซิดิกพบได้ทั้งเอนไซม์ผลิตภายในเซลล์ (Intracellular enzyme) และผลิตแล้วส่งออกมานอกเซลล์ (Extracellular enzyme) ได้แก่ แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) และเบต้ากลูโคซิเดส (β -glucosidase) สามารถนำเอนไซม์นี้ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ที่สำคัญ เช่น อุตสาหกรรมทอผ้า การทำน้ำผลไม้ให้ใส การผลิตแอลกอฮอล์ การผลิตกลูโคส และการผลิตน้ำเชื่อม เป็นต้น แบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสได้ เช่น *Bacillus* sp., *Bacillus subtilis*, *B. coagulans*, *B. stearothermophilus* และ *Clostridium* sp. กลุ่มเชื้อรา เช่น *Rhizopus* sp., *Aspergillus niger*, *A. oryzae*, และ *A. candidus* กลุ่มยีสต์ เช่น *Candida* sp., *Pichia* sp., *P. acacia*, *Sporolomyces* sp. และ *Torulopsis* sp. แบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์เบต้ากลูโคซิเดสได้ เช่น *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Oenococcus oeni*, *Oenococcus kitaharae*, *Pediococcus*, และ *Leuconostoc mesenteroides*¹⁵⁻¹⁶

สรุปผลการวิจัย

มันเลือดที่สำรวจพบทั้ง 2 ชนิด จากป่าเต็งรัง ได้แก่ มันเทียน (*Dioscorea myriantha* Kunth) และมันเลือด (*Dioscorea alata* L.) ซึ่งมี

ปริมาณแป้งทั้งหมดโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกัน สามารถย่อยสลายแป้งที่สกัดได้จากหัวพืชด้วยวิธีทางเคมีได้ผลผลิตเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว นอกจากนี้ยังสามารถใช้สารสกัดหยาบแบ่งจากมันเลือดเป็นแหล่งคาร์บอนของอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับเป็นแหล่งพลังงานในการเจริญของแบคทีเรียรวมทั้งการผลิตเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและเบต้ากลูโคซิเดส เป็นต้น ดังนั้นหัวพืชจึงเป็นแหล่งสะสมของสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตทำให้มีความหลากหลายของสายพันธุ์แบคทีเรียที่อาศัยรวมอยู่ด้วย

กิตติกรรมประกาศ

โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ศูนย์อนุรักษ์และพัฒนาทรัพยากรภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง ประจำปีงบประมาณ 2564

เอกสารอ้างอิง

1. อาทิตยา พงษ์พรหม. ความรู้เบื้องต้นด้านนิเวศเกษตรเพื่อการประยุกต์ใช้ในระบบเกษตรกรรมยั่งยืน. สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีสำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม 2561;588:1-62.
2. Wilkin P, Thapayai C. *Dioscoreaceae*: Flora of Thailand. Forest Herbarium, Royal Forest Department 2009;10:1-40.
3. Wickramasinghe HAM, Takigawa S, Matsuura-Endo C, Yamauchi H, Noda T. Comparative analysis of starch properties

- of different root and tuber crops of Sri Lanka. Food Chem 2009;112:98-103. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.046>.
4. Wanasundera JPD, Ravindran G. Nutritional assessment of yam (*Dioscorea alata*) tubers. Plant Foods Hum Nutr 1994;46:33-39. <https://doi.org/10.1007/BF01088459>.
5. Srivichai S, Hongsprabhas P. Profiling anthocyanins in Thai purple Yams (*Dioscorea alata* L.). Int J Food Sci 2020;2020:1-10. <https://doi.org/10.1155/2020/1594291>.
6. Kihara S, Yamamoto K, Hisatomi A, Shiwa Y, Chu CC, Takada K, et al. Bacterial community of water Yam (*Dioscorea alata* L.) cv. A-19. Microbes Environ 2022;37:1-8. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME21062>.
7. Subroto E, Jeanette G, Meiyanasari Y, Luwinsky I, Baraddiaz S. Review on the analysis methods of starch, amylose, amylopectinin food and agricultural products. Int J Emerg Trends Eng Dev 2020;8:3519-24. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/103872020>.
8. Bahdanovich P, Axelrod K, Khlystov AY, Samburova V. Optimized spectrophotometry method for starch quantification. Analytica 2022;3:394-405. <https://doi.org/10.3390/analytica304002>.
9. Negrulescu A, Patrulea V, Mincea MM, Ionascu C, Vlad-Oros BM, Ostafe V. Adapting the reducing sugars method with dinitrosalicylic acid to microtiter plates and microwave heating. J Braz Chem Soc 2012;23:2176-82. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532013005000003>.
10. น้อยนุช สารภี, ปิยรัตน์ มีแก้ว, ยุพเยาว์ โตศิริ, ชัยพันธุ์ สารภี. ความหลากหลายชนิดของพืชหัวกินได้ในท้องถิ่นจังหวัดสุรินทร์. PSRU J Sci Tech 2019;4:43-53. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/atj/article/view/251441>.
11. Shajeela PS, Mohan VR, Louis Jesudas L, Tresina Soris P. Nutrition and annutrition evaluation of wild yam (*Dioscorea* spp.). Tropical and Subtropical Agroecosystems, 2011;14:723-30.
12. พิศดา สดุดประเสริฐ, กรณัญญ์ นาคภิบาล, วิจิตร วิไลรัมย์. ลักษณะเนื้อแป้งและโครงสร้างทางเคมีของแป้งจากมันท้องถิ่นกลุ่ม *Dioscorea* spp. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2;31:18-32.
13. Lee BH, Eskandari R, Jones K, Reddy KR, Quezada-Calvillo R, Nichols BL, et al. Modulation of starch digestion for slow glucose release through “Toggling” of activities of mucosal β -glucosidases. THE

- J Biol Chem 2012;287:31929-38.
<https://doi.org/10.1074/jbc.M112.351858>
14. Petushkova E, Mayorova E, Tsygankov A. TCA cycle replenishing pathways in photosynthetic purple non-sulfur bacteria growing with acetate. Life 2021;11:1-37.
<https://doi.org/10.3390/life11070711>.
15. Far BE, Ahmadi Y, Khosroushahi AY, Dilmaghani A. Microbial alpha-amylase production: progress, challenges and perspectives. Adv Pharm Bull 2020;10:350-8. <https://doi.org/10.34172/apb.2020.043>.
16. Michlmayr H, Schümann C, Wurbs P, Nuno M, Silva BB, Rogl V, et al. A β -glucosidase from *Oenococcus oeni* ATCC BAA-1163 with potential for aroma release in wine: cloning and expression in *E. coli*. World J Microbiol Biotechnol 2010;26:1281-9. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0299-5>.

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์
CEFR ของศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
The Development of Information Management for Web Application on the English
Proficiency Levels Based on CEFR Standard of the Language Development and
International Relations Center, Phetchaburi Rajabhat University

นันทิ ศิลประเสริฐ*

Nisanti Sinprasert *

ศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

Language Competency Center and International Affairs, Phetchaburi Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: nisanti.sin@mail.pbru.ac.th

Received: 09 December 2023 /Revised: 08 February 2024 /Accepted: 27 February 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ของศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ตามรูปแบบวงจรชีวิตของการพัฒนาระบบ (SDLC) และประเมินผลความพึงพอใจเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ที่ได้พัฒนาขึ้น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี บุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี และบุคคลภายนอก จำนวน 150 คน ด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง ระยะเวลาในการทดลองระบบ 2 เดือน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่าเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ของศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ระบบสามารถเก็บข้อมูลประวัติการเข้ารับการอบรมตามหลักสูตร ประวัติผู้เข้ารับการทดสอบด้านภาษา คะแนนการทดสอบก่อนเรียน คะแนนการทดสอบหลังเรียน คะแนนการทดสอบจริง ระบบสามารถแปรผลตามเกณฑ์ที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลความพึงพอใจจากการใช้งานระบบภาพรวมอยู่ในระดับดีมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.79 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47

คำสำคัญ: ระดับความสามารถภาษาอังกฤษ เกณฑ์มาตรฐานซีอีเอฟอาร์ ซีอีอาร์-ซีอีเอฟอาร์

Abstract

The purposes of this study were to develop information management for web application of the English proficiency levels based on CEFR standard using Systems Development Life Cycle (SDLC) model of the Language Development and International Relations Center, Phetchaburi Rajabhat University (PBRU), and to evaluate the satisfaction of the development information management for web application on the level of English proficiency based on CEFR standard. The sample group used in the research consisted of 150 Phetchaburi Rajabhat University students, Phetchaburi Rajabhat University personnel, and outsiders selected by the purposive sampling method. The system trial period was 2 months. Statistics used in data analysis were mean and standard deviation. According to the research results, it was found that the development of information management for web application could collect information on the history of training sessions classified by curriculum, history of the language test applicants, pre-test scores, post-test scores, and actual test scores. The system can efficiently interpret results according to the specified criteria. The overall satisfaction results from using the system were at the highest level with a mean of 4.79 and a standard deviation of 0.47.

Keywords: English Proficiency Level, CEFR Standard, PBRU-CEFR

บทนำ

ศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีเป็นหน่วยงานที่มีพันธกิจเกี่ยวกับบริการด้านวิชาการ การจัดการเรียนการสอน เพื่อพัฒนาภาษาต่าง ๆ ให้แก่นักศึกษา บุคลากรในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี บริการชุมชน บุคลากรในองค์กรต่าง ๆ เกี่ยวกับการให้ความรู้และการพัฒนาภาษา รวมทั้งการจัดอบรมหลักสูตรทางภาษาระยะสั้น เพื่อเสริมสร้างและพัฒนาความรู้ทางด้านภาษา และเป็นศูนย์ทดสอบความรู้ด้านภาษาให้กับนักศึกษา และบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี รวมทั้งผู้ที่สนใจ เพื่อวัดระดับความรู้ความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษให้เป็นไปตามเกณฑ์ CEFR เป็นตัวย่อของ Common European Framework of Reference for Languages

EF SET ที่ใช้สำหรับการเรียนการสอนและการประเมินในการเรียนภาษาอังกฤษ แบ่งออกเป็น 6 ระดับ¹ ได้แก่ A1 สำหรับผู้เริ่มต้น ไปจนถึง C2 สำหรับระดับชำนาญในแต่ละระดับของ CEFR จะบอกถึงความสามารถในการใช้ภาษาอังกฤษทั้ง 4 ทักษะได้แก่ ทักษะการพูด การฟัง การอ่าน และการเขียน ซึ่งในแต่ละระดับได้กำหนดจำนวนชั่วโมงในการเรียนเพื่อที่จะพัฒนาทักษะสำหรับในแต่ละระดับ การบริการวิชาการ การจัดอบรมหลักสูตรทางภาษาการทดสอบด้านภาษา

ทั้งนี้เกณฑ์มาตรฐาน CEFR ยังเป็นเกณฑ์ที่ใช้เป็นแนวปฏิบัติการเทียบมาตรฐานภาษาอังกฤษสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาคปกติ² เกณฑ์มาตรฐานความสามารถภาษาอังกฤษของอาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี³ และ

คุณสมบัติในการออกฝึกปฏิบัติการสอนในสถานศึกษาของนักศึกษาวิชาชีพรุ่น⁴

ในอดีตที่ผ่านมาศูนย์พัฒนาภาษาฯ ได้จัดกิจกรรมฝึกอบรมด้านภาษาฯ แบบทดสอบก่อนอบรมแบบทดสอบหลังอบรม ผลคะแนนเทียบเกณฑ์มาตรฐาน CEFR เสร็จสิ้น พบว่าข้อมูลของผู้เข้ารับการอบรม หรือผู้เข้ารับการทดสอบด้านภาษาในส่วนของประวัติการเข้ารับการอบรม ชื่อ - นามสกุล คะแนนการทดสอบก่อนอบรม คะแนนการทดสอบหลังอบรม คะแนนการทดสอบจริง และผลคะแนนการเทียบการเกณฑ์มาตรฐาน CEFR ข้อมูลถูกจัดเก็บอยู่ในรูปแบบเอกสารตามแฟ้มเอกสารต่าง ๆ ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบฐานข้อมูล ทำให้เกิดการสูญหายของข้อมูล และขาดประสิทธิภาพในการประมวลผลทำให้เกิดความล่าช้าในการค้นหาข้อมูล

ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญจึงเสนอการพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR การรวบรวมข้อมูลดังกล่าวใช้โปรแกรมระบบการเพื่อจัดการฐานข้อมูล⁵ มาใช้ประมวลผลข้อมูลร่วมกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสำหรับการพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ที่เก็บข้อมูลอยู่ในรูปแบบฐานข้อมูลสามารถนำคะแนนมาประมวลผลเทียบเกณฑ์คะแนนทดสอบไปตามเกณฑ์มาตรฐาน CEFR อย่างอัตโนมัติได้อย่างถูกต้องตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด นอกจากนี้ฐานข้อมูลใช้ประกอบการตัดสินใจในการพัฒนาภาษาอังกฤษให้กับนักศึกษา บุคลากรของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ให้สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานทางด้านภาษาอังกฤษของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี และใช้ข้อมูลในการตอบตัวชี้วัดด้านงานประกันคุณภาพการศึกษาได้ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ของศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ของศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ของศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อกำหนดขอบเขตความต้องการของระบบ CEFR ศึกษาทฤษฎี เอกสาร ตำรา เทคโนโลยี เครื่องมือในการวิจัย งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลเกี่ยวกับเกณฑ์มาตรฐาน CEFR นำมาวิเคราะห์ ออกแบบฐานข้อมูล DB1 คือฐานข้อมูลเทียบเกณฑ์ CEFR สำหรับนักศึกษา DB2 คือฐานข้อมูลเทียบเกณฑ์ CEFR สำหรับบุคลากร และ DB3 คือฐานข้อมูลที่เทียบเกณฑ์ CEFR สำหรับนักบุคคลทั่วไป

แล้วนำมาพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ติดตั้งทดสอบระบบ ประเมินระบบ CEFR โดยผู้เชี่ยวชาญ ปรับปรุงแก้ไขระบบ ทดลองการใช้งานของระบบ อบรมการใช้งานของระบบ และประเมินผลความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพการใช้เว็บแอปพลิเคชัน เพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ของศูนย์พัฒนา

ภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการเทียบเกณฑ์ด้านภาษาอังกฤษของนักศึกษาภาคปกติ และบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี และทั้งบุคคลภายนอก โดยมีกรอบแนวคิดการวิจัย ดังแสดงใน Figure 1.

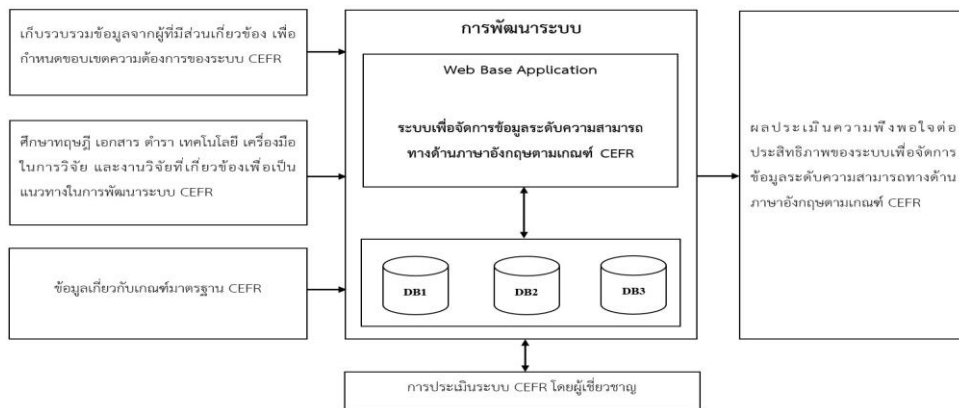


Figure 1. Research methodology

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ ได้แก่ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ประจำปีการศึกษา พ.ศ. 2565 ระดับปริญญาตรี จำนวน 7,366 คน บุคลากรที่ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ปฏิบัติงานในปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 จำนวน 681 คน และบุคคลภายนอก ที่สมัครสอบ TOEIC ประจำปี พ.ศ. 2565 จำนวน 250 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษา บุคลากร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ปีการศึกษา 2565 และบุคคลภายนอก โดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวนทั้งหมด 150 คน จำแนกเป็น 1) นักศึกษาที่สมัครโครงการพัฒนาทักษะภาษาอังกฤษสำหรับนักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต จำนวน 100 คน 2) บุคลากรที่สมัครกิจกรรมเตรียมความพร้อมก่อน

สอบ TOEIC จำนวน 30 คน และ 3) บุคคลภายนอกที่สมัครสอบ TOEIC จำนวน 20 คน

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้น ได้แก่ เว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ของศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ตัวแปรตาม ได้แก่ ประสิทธิภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้เว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ของศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลความสามารถ

ทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะอยู่ในระดับดีมาก โดยใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 11 64 บิต (Windows 11 64 Bit) และส่วนของซอฟต์แวร์ประกอบด้วย โปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์อาปาเช่ เวอร์ชัน 2.4.41 (Apache Webserver v.2.4.41) โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจำลองให้ทำงานลักษณะเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ โปรแกรมอะโดบี ดรีมเว็ฟเวอร์ ซีเอส6 (Adobe Dreamweaver CS6) ใช้สำหรับเขียนโค้ด โปรแกรมระบบฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล (MySQL) และใช้ภาษาพีเอชพี 7 (PHP7) เอสทีเอ็มแอล 5 (HTML5) จาวาสคริปต์ (JavaScript) ซีเอสเอส 3 (CSS3) และเอสคิวแอล (SQL)

2. เครื่องมือที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของระบบในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบประเมินประสิทธิภาพเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR เพื่อตรวจสอบความคิดเห็นของผู้ใช้ประเมินระบบที่ได้พัฒนาขึ้นในด้านต่าง ๆ จำนวน 5 ด้าน คือ 1) ด้านความสามารถ (Function Requirement Test) ว่าตรงกับความต้องการของผู้ใช้มากน้อยเพียงใด 2) ด้านความถูกต้องในการทำงาน (Functional Test) 3) ด้านลักษณะการใช้งาน (Usability Test) ว่ามีความง่ายต่อการใช้งานมากน้อยเพียงใด 4) ด้านประสิทธิภาพ (Performance Test) ว่าตรงตามที่ผู้ใช้งานต้องการมากน้อยเพียงใด และ 5) ด้านการรักษาความปลอดภัย (Security Test) ว่ามีความปลอดภัยของข้อมูลหรือไม่เพียงใด ซึ่งคำถามแต่ละด้านจะเป็นการแสดงความคิดเห็นโดยใช้มาตราส่วนแบบประมาณค่า (Rating

Scale) 5 ระดับ คือ 5 หมายถึง โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับดีมาก 4 หมายถึง โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับดี 3 หมายถึง โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับปานกลาง 2 หมายถึง โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับค่อนข้างต่ำ และ 1 หมายถึง โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับต่ำมาก

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีวิธีการดำเนินการเพื่อให้ได้ข้อมูลมาอย่างครบถ้วน และเกิดการมีส่วนร่วมของผู้เกี่ยวข้อง เพื่อให้มีประสิทธิภาพและความถูกต้องของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เกณฑ์มาตรฐาน CEFR ระบบกิจกรรมทางด้านภาษาอังกฤษ ระบบเดิมที่ใช้จัดเก็บข้อมูล ประกาศเกณฑ์มาตรฐานด้านภาษาอังกฤษสำหรับ นักศึกษา และบุคลากรของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

2. สัมภาษณ์เชิงลึกผู้ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูล เพื่อให้ทราบแนวทางการจัดการข้อมูลของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR และความต้องการระบบ สำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบ

3. แบบประเมินที่ผ่านกระบวนการร่วมกับผู้เชี่ยวชาญ 3 คน คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านเกณฑ์มาตรฐานด้านภาษาอังกฤษ ผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษ และผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศ โดยผู้วิจัย

ได้ปรับเปลี่ยน ปรับปรุง แบบประเมินตาม
ผู้เชี่ยวชาญแนะนำ

การประเมินผลการใช้ระบบ

การประเมินผลการใช้ระบบคือ ผู้วิจัยได้นำเว็บแอปพลิเคชันเพื่อข้อมูลความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษ ตามเกณฑ์ CEFR ที่พัฒนาเสร็จสมบูรณ์ไปทำการติดตั้งบนคลาวด์ คือ <http://cefr.pbru.ac.th/> และให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ด้านประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเกณฑ์มาตรฐานด้านภาษาอังกฤษ ผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษ และผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศ ให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงระบบให้สมบูรณ์และตรงตามความต้องการของผู้ใช้อย่างแท้จริง หลังจากปรับปรุงระบบตามคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว ผู้วิจัยได้จัดอบรมในรูปแบบออนไลน์การใช้ระบบรวมถึงอธิบายข้อคำถามและตอบข้อสงสัยผู้เข้าอบรมเกี่ยวกับคำถามในการประเมินระบบที่จะใช้สำหรับประเมินต่อประชากรกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานระบบ จำนวน 3 กลุ่มประกอบด้วย 1) นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 2) บุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 3) และบุคคลภายนอก จำนวนทั้งหมด 150 คน เพื่อความเข้าใจตรงกันของผู้ประเมิน ก่อนใช้เครื่องมือวิจัยซึ่งเป็นแบบประเมินประสิทธิภาพเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR หลังประชากรกลุ่มตัวอย่างใช้งานเสร็จสิ้นตามระบบกิจกรรมที่กำหนด ระยะเวลา 2 เดือน ประเมินผลระบบนำข้อมูลการประเมินที่เก็บรวบรวมได้มาวิเคราะห์ เพื่อสรุปผลการประเมิน

ประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ที่ได้พัฒนาขึ้นโดยการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) และการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาความต้องการของระบบ

การกำหนดความต้องการของระบบนอกจากผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสาร ตำรา บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์มาตรฐานด้านภาษาอังกฤษ CEFR ผู้วิจัยได้สอบถามข้อมูลจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเกณฑ์มาตรฐานด้านภาษาอังกฤษ ทำให้ผู้วิจัยสามารถระบุความสามารถของระบบตามที่ต้องการตามคุณลักษณะของการพัฒนาระบบ ดังนี้

1.1 ผลการออกแบบแผนภาพบริบท (Context Diagram) แสดงถึงกระบวนการ (Process) ประกอบด้วย 1) สมัครสมาชิก 2) เข้าสู่ระบบ 3) ปรับปรุงเพิ่มข้อมูล 4) การลงทะเบียนอบรม/สอบ 5) ยกเลิกการลงทะเบียนอบรม/สอบ 6) การชำระเงิน 7) ประมวลผลสอบ 8) การแจ้งชำระเงิน 9) ออกใบรับรอง Certificate 10) ออกรายงาน และส่วนรายการข้อมูล (Data) ประกอบด้วย 1) ข้อมูลหลักสูตรอบรม 2) ข้อมูลผู้เข้าร่วมอบรม 3) ข้อมูลเจ้าหน้าที่ 4) ข้อมูลการสมัครอบรม/สอบ 5) ข้อมูลการชำระเงิน 6) ข้อมูลผลสอบ 7) ข้อมูลเกณฑ์การประมวลผล 8) ข้อมูลรายงานผลที่เข้าและออกของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR จากกลุ่มผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับระบบ 3 กลุ่มคือ 1) ผู้เข้าร่วม

อบรม/กิจกรรม 2) เจ้าหน้าที่ (เจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาภาษา) 3) และเจ้าหน้าที่ธนาคาร (ชำระเงิน กรณีกิจกรรมมีค่าใช้จ่าย) โดยแต่ละกลุ่มผู้ใช้งานจะมี

การรับ ส่งข้อมูลระหว่างกระบวนการ (Process) ต่าง ๆ ดังแสดงใน Figure 2

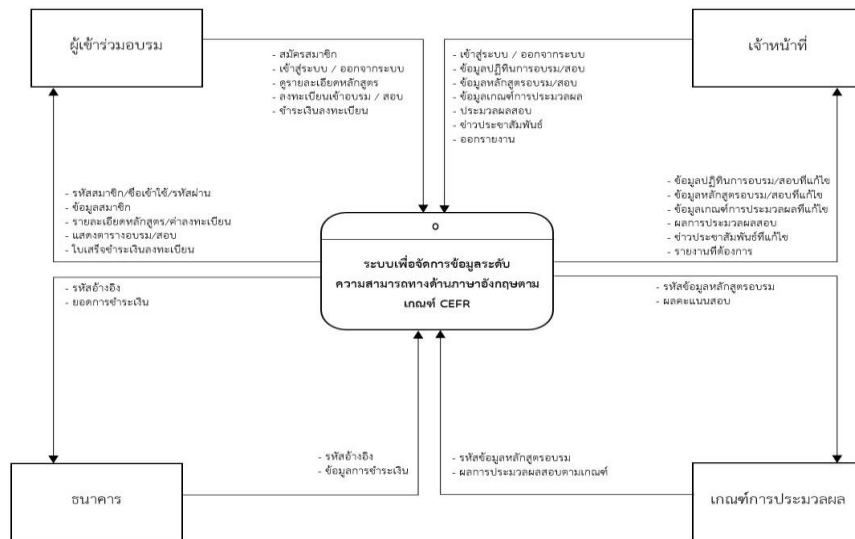


Figure 2. Context Diagram of Information Management for Web Application on the English Proficiency Levels Based on CEFR Standard

1.2 ผลการออกแบบแผนภาพกระแสข้อมูลระดับที่ 0 (Data Flow Diagram Level - 0) แสดงให้เห็นถึงการไหลของข้อมูลทั้งหมดที่แบ่งออกเป็นส่วนย่อยของการทำงานในระบบซึ่งประกอบด้วย 10 กระบวนการ คือ 1) กระบวนการสมัครสมาชิก 2) กระบวนการเข้าสู่ระบบ 3) กระบวนการการปรับปรุงแฟ้มข้อมูล

4) กระบวนการการลงทะเบียนอบรมและสมัครสอบ 5) กระบวนการการยกเลิกการลงทะเบียนอบรมและสมัครสอบ 6) กระบวนการข้อมูลการชำระเงิน 7) กระบวนการการประมวลผลสอบ 8) การบวนการการแจ้งชำระเงิน 9) กระบวนการการออกใบรับรอง Certificate 10) กระบวนการการออกรายงาน ดังแสดงใน Figure 3

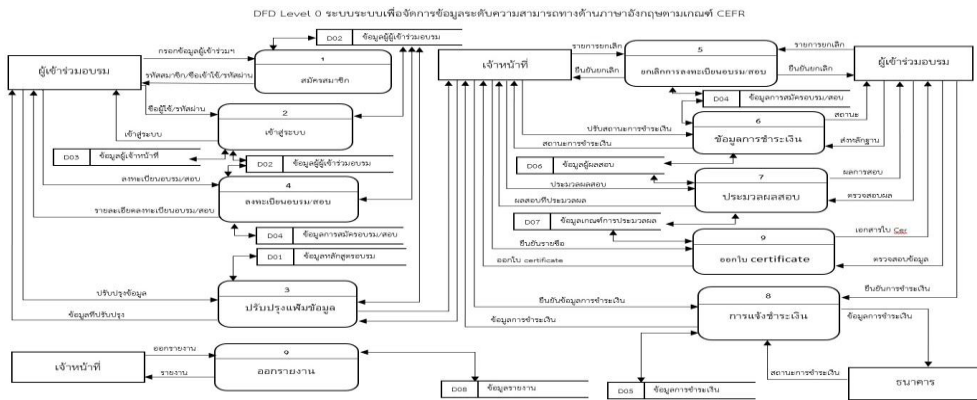


Figure 3. Data Flow diagram level - 0 of Information Management for Web Application on the English Proficiency Levels Based on CEFR Standard

1.3 ผลการออกแบบฐานข้อมูลแผนผัง (ER-Diagram) แสดงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูล ประกอบด้วยตาราง 7 ตาราง ได้แก่ 1) ตาราง Member

2) ตาราง Register 3) ตาราง Exams_type 4) ตาราง Conferences 5) Certificate 6) ตาราง Criterion_score 7) ตาราง Criterion ดังแสดงใน Figure 4

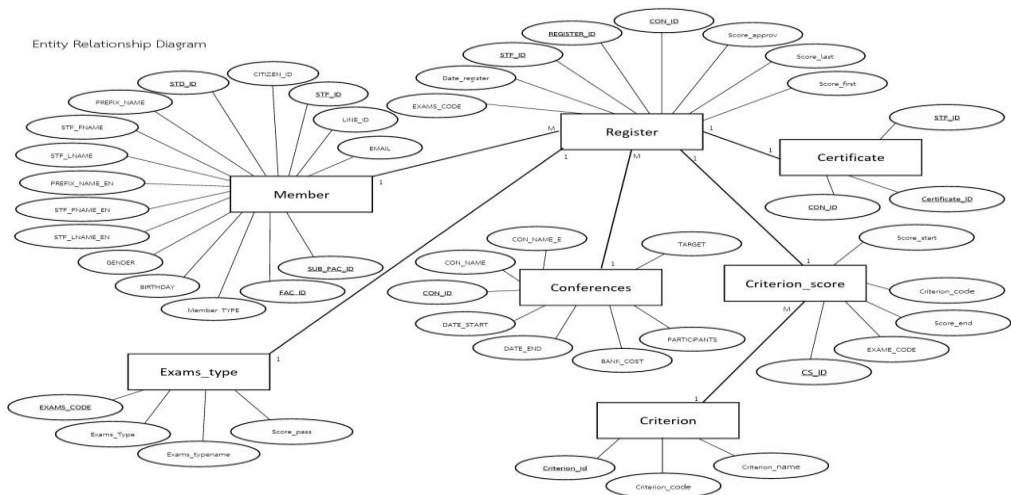


Figure 4 . ER-Diagram of Information Management for Web Application on the English Proficiency Levels Based on CEFR Standard

2. ผลการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบใช้งานผ่านโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ โดยสามารถแสดงผลได้ทั้งสองแบบ คือ แสดงการผลแบบปกติ และการแสดงผลแบบเทคนิคเรสพอนตซีฟ ดังนี้

2.1 หน้าหลัก เป็นหน้าแรกของระบบ ประกอบด้วยเมนูต่าง ๆ มีการแสดงผลแบบปกติ ดังแสดงใน Figure 5



Figure 5. Main page showing normal results

2.2 หน้าหลัก เป็นหน้าแรกของระบบ ประกอบด้วยเมนูต่าง ๆ มีการแสดงผลแบบเรสพอนซีฟ ดังนี้แสดงใน Figure 6

2.3 หน้าหลักของระบบเพื่อจัดการข้อมูลความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ส่วนผู้ใช้งาน หลังจากผู้ใช้งานทำการสมัคร

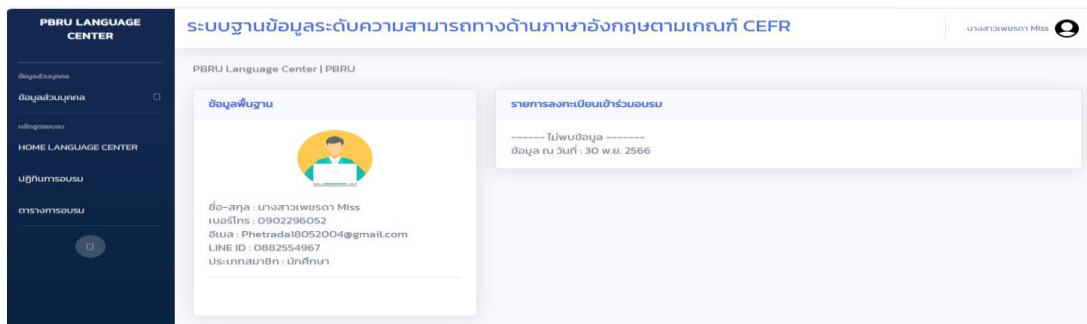


Figure 7. Main page for users of information management for web application on the English proficiency levels based on CEFR standard

2.4 เมื่อผู้ใช้งานสมัครเข้าร่วมกิจกรรมฝึกอบรมเสร็จสิ้น แต่ละกิจกรรมนั้น ๆ ระบบก็จะทำ



Figure 6. Main page showing responsive technique

สมาชิกและทำการล็อกอินเข้าระบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในหน้านี้จะแสดงเมนูสำหรับใช้งานและจัดการข้อมูลส่วนต่าง ๆ ของระบบ ดังนี้ 1) การจัดการข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้งาน 2) ประวัติรายการลงทะเบียนเข้าร่วมอบรม 3) ปฏิทินการฝึกอบรม 4) ตารางการฝึกอบรม ดังแสดงใน Figure 7

การประเมินผลตามเกณฑ์ CEFR อยู่ในระดับใดในกิจกรรมนั้น ๆ ดังแสดงใน Figure 8

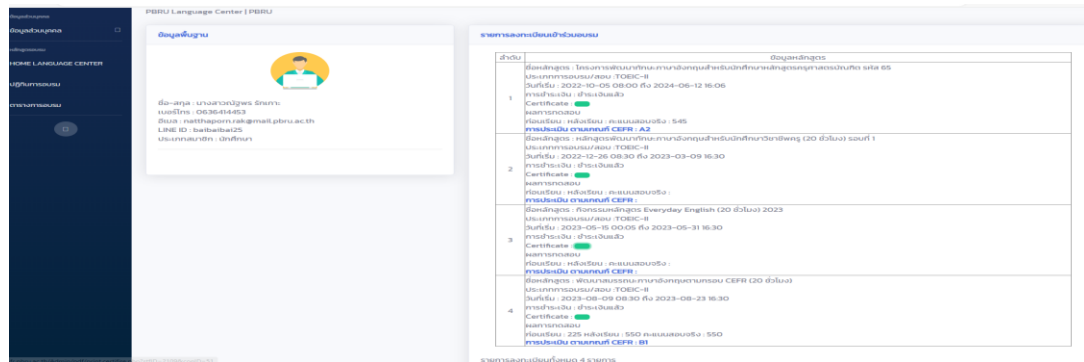


Figure 8. The page shows the evaluation status according to information management for web application on the English proficiency levels based on CEFR standard.

2.5 หน้าหลักของระบบเพื่อจัดการข้อมูล
ความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์
CEFR ส่วนเจ้าหน้าที่ หลังจากเจ้าหน้าที่ทำการ
ล็อกอินเข้าระบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในหน้านี้จะ
แสดงเมนูสำหรับใช้งานและจัดการข้อมูล
ส่วนต่าง ๆ ของระบบ ได้แก่ 1) หน้าหลัก 2) ปฏิทิน

การอบรม 3) ตารางการสอบ 4) ข่าวประชาสัมพันธ์
5) จัดการหลักสูตร 6) ตรวจสอบการชำระเงิน
7) บันทึกผลการสอบ 8) ประมวลผลสอบ
9) จัดการเกณฑ์การประเมิน 10) สมาชิก
11) รายงานผล ดังแสดงใน Figure 9

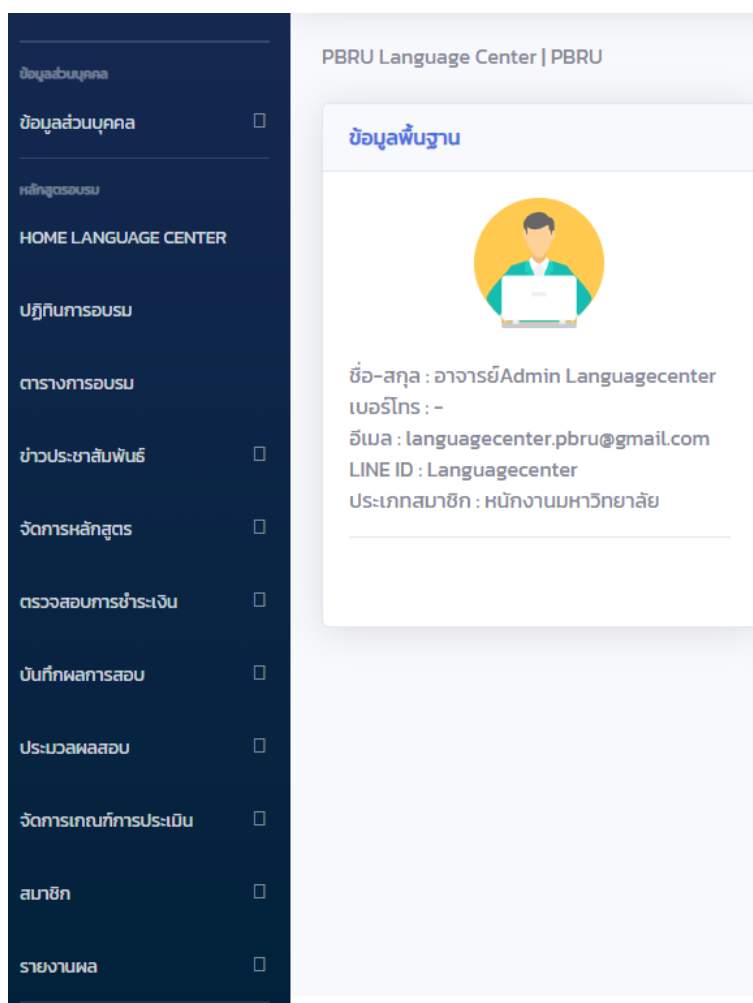


Figure 9. Main page of information management for web application on the English proficiency levels
Based on CEFR standard

3. ผลประเมินประสิทธิภาพค่าความสอดคล้องของเครื่องมือจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน

Table 2. พบว่าข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นต่อการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น จากการลง

ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 คน มีความสอดคล้องจากการประเมินประสิทธิภาพ $\bar{X} = 4.66$ S.D. = 0.57 อยู่ในระดับความสอดคล้อง มากที่สุด ซึ่งเป็นค่าที่ตรงกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดัง Table 2

Table 2. The results of the performance evaluation for tool compliance by 3 experts

Evaluation List	Expert			$\bar{X}$	S.D.	Level of compliance
	1	2	3			
Program's capabilities meet users' requirements.	5	5	4	4.66	0.57	Maximum
The program can operate according to the steps.	5	5	4	4.66	0.57	Maximum
The program features user-friendly characteristics.	5	4	5	4.66	0.57	Maximum
The program is efficient according to user needs.	5	4	5	4.66	0.57	Maximum
The program ensures data security.	5	4	5	4.66	0.57	Maximum
				4.66	0.57	Maximum

4. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR จากผู้ประเมิน 150 คน

Table 3. แสดงผลความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี หลังจากที่ถูกวิจัยได้ทดสอบความสมบูรณ์และความถูกต้องของระบบแล้ว ผู้วิจัยได้นำระบบให้ผู้ใช้งานเข้าใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของระบบด้วยการศึกษาความพึงพอใจกับผู้ใช้งานระบบจำนวน 150 คน โดยแยกเป็น นักศึกษา 100 คน บุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 30 คน และบุคคลภายนอก 20 คน

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.79$ S.D. = 0.47) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่าการเข้าใช้งานระบบเป็นอันดับแรกอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.85$ S.D. = 0.39) รองลงมาเมนูออกจากระบบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.83$ S.D. = 0.40) เมนูตารางการฝึกอบรมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.78$ S.D. = 0.49) เมนูบันทึกประวัติสอบอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.76$ S.D. = 0.52) และเมนูข้อมูลส่วนบุคคลอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.76$ S.D. = 0.54) เป็นอันดับสุดท้าย ดัง Table 3

Table 3. The results of satisfaction assessment in using the information management for web application on the English proficiency levels based on CEFR standard of the language development and international relations center, Phetchaburi Rajabhat University

Item	Evaluation List	Level of satisfaction with system performance		
		$\bar{x}$	(S.D)	Level of compliance
1. System access				
1.1	The program's capabilities meet user requirements.	4.88	0.33	Maximum
1.2	The program can operate in sequential steps.	4.86	0.38	Maximum
1.3	The program features user-friendly characteristics.	4.87	0.33	Maximum
1.4	The program is efficient as per user requirements.	4.85	0.36	Maximum
1.5	The program maintains data security.	4.77	0.52	Maximum
	Overall satisfaction with performance	4.85	0.39	Maximum
2. Personal information menu				
2.1	The program's capabilities meet user requirements.	4.70	0.60	Maximum
2.2	The program can operate in sequential steps.	4.76	0.55	Maximum
2.3	The program features user-friendly characteristics.	4.78	0.53	Maximum
2.4	The program is efficient as per user requirements.	4.73	0.59	Maximum
2.5	The program maintains data security.	4.84	0.45	Maximum
	Overall satisfaction with performance	4.76	0.54	Maximum
3. Examination History Record Menu				
3.1	The program's capabilities meet user requirements.	4.70	0.59	Maximum
3.2	The program can operate in sequential steps.	4.80	0.49	Maximum
3.3	The program features user-friendly characteristics.	4.65	0.67	Maximum
3.4	The program is efficient as per user requirements.	4.78	0.52	Maximum
3.5	The program maintains data security.	4.86	0.35	Maximum
	Overall satisfaction with performance	4.76	0.52	Maximum
4. Training Schedule Menu				
4.1	The program's capabilities meet user requirements.	4.84	0.40	Maximum
4.2	The program can operate in sequential steps.	4.73	0.59	Maximum
4.3	The program features user-friendly characteristics.	4.79	0.41	Maximum
4.4	The program is efficient as per user requirements.	4.74	0.56	Maximum
4.5	The program maintains data security.	4.78	0.49	Maximum

Table 3. The results of satisfaction assessment in using the information management for web application on the English proficiency levels based on CEFR standard of the language development and international relations center, Phetchaburi Rajabhat University (Cont.)

Item	Evaluation List	Level of satisfaction with system performance		
		($\bar{x}$)	(S.D)	Level of compliance
	Overall satisfaction with performance	4.78	0.49	Maximum
5. Log out Menu				
5.1	The program's capabilities meet user requirements.	4.72	0.56	Maximum
5.2	The program can operate in sequential steps.	4.76	0.50	Maximum
5.3	The program features user-friendly characteristics.	4.82	0.39	Maximum
5.4	The program is efficient as per user requirements.	4.91	0.28	Maximum
5.5	The program maintains data security.	4.93	0.26	Maximum
	Overall satisfaction with performance	4.83	0.40	Maximum
Overall satisfaction with performance All		4.79	0.47	Maximum

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ของศูนย์ภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ผู้วิจัยขอนำไปสู่การอภิปรายผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. เว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR สามารถนำคะแนนหลังทดสอบแต่ละกิจกรรมของ TOEIC มาเทียบเกณฑ์ตามมาตรฐาน CEFR ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นนวัตกรรมในรูปแบบโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ ที่ทันสมัยตอบสนองรูปแบบในการใช้งานในยุคปัจจุบันอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งาน การพัฒนาระบบผ่านโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ จุดเด่นของระบบ

คือการทำงานบนเครือข่ายผู้ใช้งานสามารถใช้งานระบบได้ทันที การใช้งานสามารถใช้งานข้อมูลผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้อย่างสะดวก และมีฟังก์ชันการทำงานของระบบที่หลากหลายส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานให้น่าสนใจและให้มีความง่ายต่อการใช้งานของระบบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของรุ่งเรือง มุศิริ เรื่องระบบฐานข้อมูลเว็บของสมเด็จพระสังฆราชไทย⁶ ผลการวิจัยพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นใช้เทคโนโลยีของระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสามารถใช้งานข้อมูลได้อย่างสะดวก ผู้ใช้สามารถขอรับข้อมูลผ่านเว็บเพจ ไม่มีข้อจำกัดระยะทาง เวลา สถานที่ และเกิดความสะดวกต่อการใช้งาน และมีฟังก์ชันการทำงานของระบบที่หลากหลาย นอกจากนี้ระบบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้มีระบบการเทียบเกณฑ์วัดระดับความรู้ภาษาอังกฤษตามเกณฑ์มาตรฐาน CEFR ซึ่งสอดคล้องกับ

งานวิจัยของธวัช ทะเพชรและนเรศ สุรสิทธิ์ เรื่อง ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสอบความรู้ภาษาอังกฤษตามเกณฑ์มาตรฐาน CEFR ของบุคลากรและนักศึกษามหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น⁷ ผลการวิจัยพบว่าผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์วัดระดับความรู้ภาษาอังกฤษตามเกณฑ์มาตรฐาน CEFR มาวัดระดับความรู้กลุ่มตัวอย่าง บุคลากรและนักศึกษา จำนวน 95 คน อยู่ในระดับปานกลาง

2. ผลการประเมินความพึงพอใจของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี พบว่า นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี และบุคคลภายนอก มีความพึงพอใจในการใช้งานระบบภาพรวมในระดับมากที่สุด โดยมีระดับความพึงพอใจมากที่สุดทั้ง 5 ด้าน สามารถเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ด้านการเข้าใช้งานระบบ ด้านเมนูออกจากระบบ ด้านเมนูตารางการฝึกอบรม ด้านเมนูบันทึกประวัติสอบ และด้านเมนูข้อมูลส่วนบุคคล แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ ประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ของศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศักดา ปินตาวงศ์ การพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลงานวิจัยผ่านเว็บแอปพลิเคชันของมหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ⁸ ผลการประเมินความพึงพอใจตามกลุ่มของผู้ใช้งานระบบ 3 กลุ่มคือ 1)

ผู้ดูแลระบบ ได้แก่เจ้าหน้าที่สังกัดการบริการวิชาการและวิจัย จำนวน 5 คน มีระดับความพึงพอใจในระบบเฉลี่ย มากที่สุด 2) อาจารย์ และนักวิจัย ได้แก่ อาจารย์ นักวิจัย โดยการสุ่ม 50 คน มีระดับความพึงพอใจในระบบเฉลี่ย มาก และกลุ่มที่ 3 บุคคลทั่วไป ได้แก่ นักศึกษา บุคคลภายนอก โดยการสุ่ม 50 คน มีระดับ ความพึงพอใจในระบบเฉลี่ย มากที่สุด สรุปเบื้องต้นได้ว่าการนำระบบฐานข้อมูลงานวิจัยมาใช้งานสามารถใช้งานได้จริง และสามารถแสดงรายงานตามความต้องการ ของงานบริการวิชาการและวิจัยโดยใช้งานได้ทั้งคอมพิวเตอร์และทางโทรศัพท์สมาร์ตโฟน และสอดคล้องกับงานวิจัยของธีรวัฒน์ เสนะโห เรื่อง การพัฒนาระบบกระแสนาฬิกาเพื่อติดตามความก้าวหน้าการขออนุมัติโครงการตามแผนปฏิบัติราชการ กรณีศึกษา: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ผลการประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลของระบบจากผู้ใช้งานระบบอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบติดตามความก้าวหน้าการขออนุมัติโครงการตามแผนปฏิบัติราชการของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีได้⁹

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยผู้วิจัยได้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR ของศูนย์พัฒนาภาษาและวิเทศสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี โดยใช้โปรแกรมภาษา PHP ระบบฐานข้อมูล MySQL พัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชัน โดยดำเนินการวิเคราะห์และออกแบบตามหลักการและทฤษฎีวงจรการพัฒนาระบบ (SDLC: System

Development Life Cycle) ซึ่งมีกิจกรรมดำเนินเป็นลำดับ ได้แก่ การกำหนดปัญหา การวิเคราะห์ การออกแบบ การพัฒนา การทดสอบ การติดตั้ง และการใช้งาน การบำรุงรักษา ระบบนี้พัฒนาขึ้นโดยเน้นการเปลี่ยนแนวทาง วิธีการดำเนินการที่ช่วยลดขั้นตอนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่และผู้ให้บริการโดยแนวทางการดำเนินการที่โดดเด่นคือ ระบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการข้อมูลระดับความสามารถทางด้านภาษาอังกฤษตามเกณฑ์ CEFR สามารถประมวลผลเทียบเกณฑ์ตามมาตรฐาน CEFR ได้อย่างถูกต้อง สามารถบริหารจัดการเพื่อรองรับผลคะแนนสอบตามเกณฑ์ที่กำหนด รองรับการจัดสอบภาษาอังกฤษแบบครบวงจร ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ และส่งผลต่อการปฏิบัติงาน ดังนี้ 1) ได้มีระบบมาตรฐานเทียบเกณฑ์จากระบบ CEFR ที่มีประสิทธิภาพ 2) ได้มีระบบสารสนเทศที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานและติดตามผล 3) ได้มีมาตรฐานการทำงานที่สามารถแยกประเภทชนิดของกิจกรรม 4) ผู้รับบริการได้รับความพึงพอใจมากยิ่งขึ้นซึ่งเป็นผลจากการพัฒนาระบบ จากการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อประสิทธิภาพของระบบที่ได้พัฒนาขึ้นโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

การทำวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยควรมีการพัฒนาในระบบในรูปแบบของโมบายแอปพลิเคชันเพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น และมีฟังก์ชันทำงานที่หลากหลายในการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

1. EF SET. THE CEFR and EF SET [Internet]. 2022 [cited 2022 July 19]. Available from: <https://www.efset.org/cefr>
2. สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. แนวปฏิบัติการเทียบมาตรฐานภาษาอังกฤษสำหรับนักศึกษา ระดับปริญญาตรี ภาคปกติ. [อินเทอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 20 มี.ค. 2566] เข้าถึงได้จาก: https://acad.pbru.ac.th/pdf/acad/Basic_Information_for_Registration/651116Guidelines_for_Equivalence_English_Standards_for_Undergraduate_Students_Regular_Semester.pdf
3. กองนโยบายและแผน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. เกณฑ์มาตรฐานความสามารถ ภาษาอังกฤษของอาจารย์ประจำ พ.ศ. 2559. [อินเทอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 22 มี.ค. 2566] เข้าได้ถึงจาก: https://plan.pbru.ac.th/document/R_file20160408172401.pdf
4. คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. คุณสมบัติในการออกฝึกปฏิบัติการสอนในสถานศึกษาของนักศึกษาวิชาวิชาชีพครู. [อินเทอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 25 มี.ค. 2566] เข้าได้ถึงจาก: <https://edu.pbru.ac.th/en/professional-teacher-experience/>
5. โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. ระบบฐานข้อมูล. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น; 2551.



6. รุ่งเรือง มุศิริ. ระบบฐานข้อมูลเว็บของสมณศักดิ์พระสงฆ์ไทย. วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2562;11:93-108.
7. ธวัช ทะเพชร, นเรศ สุรสิทธิ์. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสอบวัดความรู้ภาษาอังกฤษตามเกณฑ์มาตรฐาน CEFR ของบุคลากรและนักศึกษา มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น. วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2566;13:143-53.
8. ศักดา ปิ่นดวงศ์. การพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลงานวิจัยผ่านเว็บแอปพลิเคชันของมหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ. วารสารแม่โจ้เทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม 2563;6:55-70.
9. ธีรวัฒน์ เสนะโท. การพัฒนาระบบกระแสนดิจิทัลเพื่อติดตามความก้าวหน้าการขออนุมัติโครงการตามแผนปฏิบัติการ กรณีสึกษา: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 2565;18:44-61.

ผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$

The Positive Integer Solutions of the Diophantine Equation $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$

ภควดี สุดสงวน* และวารกรณ์ สุดสงวน

Pakawadee Sudsanguan* and Warakorn Sudsanguan

สาขาคณิตศาสตร์และสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

Department of Mathematics and Applied Statistics, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Rajanagarindra University, Thailand

*Corresponding author; E-mail: pakawadee.sri@rru.ac.th

Received: 30 January 2024 /Revised: 23 April 2024 /Accepted: 23 April 2024

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงการหาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$ โดยใช้วิธีการคือ พิจารณาช่วงของ x, y และ z ที่มีค่าสอดคล้องกับสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$ ซึ่งพิจารณาเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 ให้ $x \leq y \leq z$ หรือ $x \leq z \leq y$ กรณีที่ 2 ให้ $y < x \leq z$ หรือ $y \leq z < x$ และกรณีที่ 3 ให้ $z < x \leq y$ หรือ $z < y < x$ จากนั้นจึงทำการแก้สมการเพื่อหาผลเฉลย สรุปว่า ได้ผลเฉลยทั้งหมด 380 ผลเฉลย

คำสำคัญ: สมการไดโอแฟนไทน์ ผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวก ข้อคาดการณ์แอร์ดิช-สตรอส

Abstract

This research aimed to show the positive integer solutions of the Diophantine equation $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$ using the method of considering the range of x, y and z which has a value consistent with the Diophantine equation $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$. We considered 3 cases. Let case 1, 2 and 3 were $x \leq y \leq z$ or $x \leq z \leq y$, let $y < x \leq z$ or $y \leq z < x$ and let $z < x \leq y$ or $z < y < x$, respectively. Then, the equation was solved to find the solutions. In conclusion, a total of 380 solutions were obtained.

Keywords: Diophantine equation, Positive integer solutions, Erdos-strauss conjecture

บทนำ

ในปี ค.ศ. 1948 มีการค้นพบสมการไดโอแฟนไทน์ที่สามารถเขียนในรูป

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{4}{n} \quad (1)$$

เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มบวกที่มากกว่าหรือเท่ากับสอง ซึ่งเป็นที่รู้จักในชื่อข้อคาดการณ์แอร์ดิช-แชนส โดยข้อคาดการณ์นี้เป็นปัญหายิปปโตโบราณที่กล่าวว่า (1) มี x, y และ z เป็นผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกโดยที่ $x \neq y, y \neq z$ และ $z \neq x$ ในปี ค.ศ. 2013 Rabago and Tagle ได้ศึกษาปัญหาเกี่ยวกับพื้นที่ผิวและปริมาตรของของแข็งซึ่งปัญหานี้นำไปสู่การหาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{1}{2}$

ต่อมาในปี ค.ศ. 2019 อภิสิทธิ์ ภาค

พงศ์พันธุ์ ได้หาผลเฉลยสมการไดโอแฟนไทน์

$$\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{3}{z} = \frac{1}{2}$$

ถัดมาในปี ค.ศ. 2020 Atri ได้หาผลเฉลย

สมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{1}{4}$ ในกรณี

$x \leq y \leq z$ และ $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} + \frac{1}{t} = \frac{1}{4}$ ในกรณี

$x \leq y \leq z \leq t$

นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2022 Chinram et al. ได้หาผลเฉลยสมการไดโอแฟนไทน์

$\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{3}{z} = \frac{1}{3}$ และ Srimud et al. ได้หาผลเฉลย

สมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{2}{x} + \frac{3}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{2}$

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้แสดงการหาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟน

ไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$

การหาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการหาผลเฉลย

ของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$

โดยเริ่มต้นจากการหาค่าเริ่มต้นของ x ที่เหมาะสม ซึ่งได้จากการพิจารณาสมการไดโอแฟนไทน์

$\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$ พบว่า $\frac{1}{x} < \frac{1}{4}$ นั่นคือ $x \geq 5$

จากนั้นดำเนินการหาค่าเริ่มต้นของ y และ z

โดยทำนองเดียวกันกับการหาค่าเริ่มต้นของ x ซึ่ง

จะได้ว่า $y \geq 9$ และ $z \geq 17$ โดยเราสนใจผลเฉลยที่

เป็นจำนวนเต็มบวกเท่านั้น การหาผลเฉลยนั้นจะ

พิจารณาเป็น 3 กรณี ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ให้ $x \leq y \leq z$ หรือ $x \leq z \leq y$ จะได้ว่า

$\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{7}{x}$ ส่งผลให้ $5 \leq x \leq 28$

ถ้า $x = 5$ แล้ว $\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{20}$ (2)

ถ้า $x = 6$ แล้ว $\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{12}$ (3)

ถ้า $x = 7$ แล้ว $\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{3}{28}$ (4)

ถ้า $x = 8$ แล้ว $\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{8}$ (5)

ถ้า $x = 9$ แล้ว $\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{5}{36}$ (6)

ถ้า $x = 10$ แล้ว $\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{3}{20}$ (7)

ถ้า $x = 11$ แล้ว $\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{7}{44}$ (8)

ถ้า $x = 12$ แล้ว $\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{6}$ (9)

ถ้า $x = 13$ แล้ว $\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{9}{52}$ (10)

ถ้า $x = 14$ แล้ว $\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{5}{28}$ (11)



$$\text{ถ้า } x=15 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{11}{60} \quad (12)$$

$$\text{ถ้า } x=16 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{3}{16} \quad (13)$$

$$\text{ถ้า } x=17 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{13}{68} \quad (14)$$

$$\text{ถ้า } x=18 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{7}{36} \quad (15)$$

$$\text{ถ้า } x=19 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{15}{76} \quad (16)$$

$$\text{ถ้า } x=20 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{5} \quad (17)$$

$$\text{ถ้า } x=21 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{17}{84} \quad (18)$$

$$\text{ถ้า } x=22 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{9}{44} \quad (19)$$

$$\text{ถ้า } x=23 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{19}{92} \quad (20)$$

$$\text{ถ้า } x=24 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{5}{24} \quad (21)$$

$$\text{ถ้า } x=25 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{21}{100} \quad (22)$$

$$\text{ถ้า } x=26 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{11}{52} \quad (23)$$

$$\text{ถ้า } x=27 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{23}{108} \quad (24)$$

$$\text{ถ้า } x=28 \text{ แล้ว } \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{3}{14} \quad (25)$$

จากนั้นทำการจัดรูป (2) ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำ ค.ร.น. ของตัวส่วนทั้งหมดใน (2) คูณตลอดสมการ (2)
2. ทำการแยกตัวประกอบของ (2) ได้เป็น $(y-40)(z-80)=3200$
3. ดำเนินการหาผลเฉลยโดยสามารถแบ่งกรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมด 24 กรณี ดังนี้

$$\begin{aligned} y-40=1, z-80=3200; & \quad y-40=3200, z-80=1 \\ y-40=2, z-80=1600; & \quad y-40=1600, z-80=2 \\ y-40=4, z-80=800; & \quad y-40=800, z-80=4 \\ y-40=5, z-80=640; & \quad y-40=640, z-80=5 \\ y-40=8, z-80=400; & \quad y-40=400, z-80=8 \\ y-40=10, z-80=320; & \quad y-40=320, z-80=10 \\ y-40=16, z-80=200; & \quad y-40=200, z-80=16 \\ y-40=20, z-80=160; & \quad y-40=160, z-80=20 \\ y-40=25, z-80=128; & \quad y-40=128, z-80=25 \\ y-40=32, z-80=100; & \quad y-40=100, z-80=32 \\ y-40=40, z-80=80; & \quad y-40=80, z-80=40 \\ y-40=50, z-80=64; & \quad y-40=64, z-80=50 \end{aligned}$$

จะได้ผลเฉลยของ $(y-40)(z-80)=3200$ คือ

$$\begin{aligned} (x, y, z) = & (5, 41, 3280), (5, 42, 1680), (5, 140, 112), \\ & (5, 44, 880), (5, 45, 720), (5, 3240, 81), (5, 104, 130) \\ & (5, 1640, 82), (5, 840, 84), (5, 680, 85), (5, 120, 120) \\ & (5, 65, 208), (5, 72, 180), (5, 80, 160), (5, 90, 144), \\ & (5, 48, 480), (5, 50, 400), (5, 56, 280), (5, 60, 240), \\ & (5, 1640, 82), (5, 840, 84), (5, 680, 85), (5, 440, 88), \\ & (5, 360, 90), (5, 240, 96), (5, 200, 100), (5, 168, 105), \end{aligned}$$

ทำการจัดรูป (3), (5), (9) และ (17) ในทำนองเดียวกันกับ (2) ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น จะได้ว่า

$$\text{จาก (3) จัดรูปใหม่ได้เป็น } (y-24)(z-48)=1152$$

$$\text{จาก (5) จัดรูปใหม่ได้เป็น } (y-16)(z-32)=512$$

$$\text{จาก (9) จัดรูปใหม่ได้เป็น } (y-12)(z-24)=288$$

$$\text{จาก (17) จัดรูปใหม่ได้เป็น } (y-10)(z-20)=200$$

จากนั้นทำการหาผลเฉลยของ (3), (5), (9) และ

(17) ในทำนองเดียวกันกับ (2)

$$\begin{aligned} \text{จะพบว่าผลเฉลยของ (3) คือ } (x, y, z) = & (6, 25, 1200), \\ & (6, 26, 624), (6, 27, 432), (6, 28, 336), (6, 30, 240), \\ & (6, 32, 192), (6, 33, 176), (6, 36, 144), (6, 40, 120), \\ & (6, 42, 112), (6, 48, 96), (6, 56, 48), (6, 1176, 49), \\ & (6, 408, 51), (6, 312, 52), (6, 216, 54), (6, 168, 56), \\ & (6, 152, 57), (6, 120, 60), (6, 96, 64), (6, 88, 66), \\ & (6, 600, 50), (6, 72, 72) \text{ และ } (6, 60, 80) \end{aligned}$$

จะพบว่าผลเฉลยของ (5) คือ $(x, y, z) = (8, 17, 544), (8, 18, 288), (8, 20, 160), (8, 24, 96), (8, 32, 64), (8, 272, 34), (8, 144, 36), (8, 80, 40), (8, 528, 33),$ และ $(8, 48, 48)$

จะพบว่าผลเฉลยของ (9) คือ $(x, y, z) = (12, 13, 312), (12, 14, 168), (12, 15, 120), (12, 16, 96), (12, 18, 72), (12, 20, 60), (12, 21, 56), (12, 24, 48), (12, 28, 42), (12, 300, 25), (12, 156, 26), (12, 108, 27), (12, 84, 28), (12, 60, 30), (12, 48, 32), (12, 44, 33), (12, 36, 36)$ และ $(12, 30, 40)$

จะพบว่าผลเฉลยของ (17) คือ $(x, y, z) = (20, 20, 40), (20, 210, 21), (20, 110, 22), (20, 60, 24), (20, 50, 25), (20, 35, 28)$ และ $(20, 30, 30)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (4) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ $z \leq y$ จะได้ $\frac{3}{28} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้ $z \leq 56$ แต่ $z \geq 17$ จึงได้ว่า $17 \leq z \leq 56$

กรณีที่ $y \leq z$ จะได้ $\frac{3}{28} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้ $y \leq 56$ แต่ $y \geq 9$ จึงได้ว่า $9 \leq y \leq 56$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (4) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (7, 1064, 38), (7, 84, 48), (7, 56, 56), (7, 19, 2128), (7, 20, 560), (7, 21, 336), (7, 24, 168), (7, 28, 112), (7, 33, 112), (7, 280, 40), (7, 168, 42), (7, 35, 80), (7, 40, 70)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (6) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ $z \leq y$ จะได้ $\frac{5}{36} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้ $z \leq 43$ แต่ $z \geq 17$ จึงได้ว่า $17 \leq z \leq 43$

กรณีที่ $y \leq z$ จะได้ $\frac{5}{36} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้

$y \leq 43$ แต่ $y \geq 9$ จึงได้ว่า $9 \leq y \leq 43$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (6) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (9, 2088, 29), (9, 360, 30), (9, 144, 32), (9, 72, 36), (9, 15, 720), (9, 16, 288), (9, 18, 144), (9, 24, 72), (9, 36, 48)$ และ $(9, 40, 45)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (7) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ $z \leq y$ จะได้ $\frac{3}{20} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้

$z \leq 40$ แต่ $z \geq 17$ จึงได้ว่า $17 \leq z \leq 40$

กรณีที่ $y \leq z$ จะได้ $\frac{3}{20} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$

ทำให้ $y \leq 40$ เนื่องจาก $x = 10$ และ $x \leq y$ จึงทำให้ $y \geq 10$ จึงได้ว่า $10 \leq y \leq 40$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (7) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (10, 1080, 27), (10, 280, 28), (10, 120, 30), (10, 80, 32), (10, 56, 35), (10, 40, 40), (10, 14, 560), (10, 15, 240), (10, 16, 160), (10, 20, 80), (10, 24, 60)$ และ $(10, 30, 48)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (8) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ $z \leq y$ จะได้ $\frac{7}{44} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้

$z \leq 37$ แต่ $z \geq 17$ จึงได้ว่า $17 \leq z \leq 37$

กรณีที่ $y \leq z$ จะได้ $\frac{7}{44} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้

$y \leq 37$ เนื่องจาก $x = 11$ และ $x \leq y$ จึงทำให้ $y \geq 11$ จึงได้ว่า $11 \leq y \leq 37$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น พบว่าผลเฉลยไม่เป็นจำนวนเต็มบวก จึงสรุปได้ว่า (8) ไม่มีผลเฉลย

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (10) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{9}{52} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 34$ แต่ $z \geq 17$ จึงได้ว่า $17 \leq z \leq 34$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{9}{52} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้
 $y \leq 34$ เนื่องจาก $x = 13$ และ $x \leq y$ จึงทำ
ให้ $y \geq 13$ จึงได้ว่า $13 \leq y \leq 34$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (10) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (13, 312, 24),$
 $(13, 104, 26)$ และ $(13, 13, 208)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (11) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{5}{28} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 33$ แต่ $z \geq 17$ จึงได้ว่า $17 \leq z \leq 33$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{5}{28} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้
 $y \leq 33$ เนื่องจาก $x = 14$ และ $x \leq y$ จึงทำ
ให้ $y \geq 14$ จึงได้ว่า $14 \leq y \leq 33$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (11) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (14, 168, 24),$
 $(14, 56, 28), (14, 14, 112), (14, 21, 48) (14, 24, 42)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (12) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{11}{60} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 32$ แต่ $z \geq 17$ จึงได้ว่า $17 \leq z \leq 32$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{11}{60} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้
 $y \leq 32$ เนื่องจาก $x = 15$ และ $x \leq y$ จึงทำ
ให้ $y \geq 15$ จึงได้ว่า $15 \leq y \leq 32$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (12) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (15, 1320, 22),$
 $(15, 120, 24), (15, 40, 30), (15, 15, 80), (15, 20, 48)$
และ $(15, 24, 40)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (13) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{3}{16} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 32$ แต่ $z \geq 17$ จึงได้ว่า $17 \leq z \leq 32$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{3}{16} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้
 $y \leq 32$ เนื่องจาก $x = 16$ และ $x \leq y$ จึงทำ
ให้ $y \geq 16$ จึงได้ว่า $16 \leq y \leq 32$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (13) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (16, 352, 22),$
 $(16, 96, 24), (16, 32, 32)$ และ $(16, 16, 64)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (14) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{13}{68} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 31$ แต่ $z \geq 17$ จึงได้ว่า $17 \leq z \leq 31$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{13}{68} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้
 $y \leq 31$ เนื่องจาก $x = 17$ และ $x \leq y$ จึงทำ
ให้ $y \geq 17$ จึงได้ว่า $17 \leq y \leq 31$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (14) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (17, 2856, 21)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (15) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{7}{36} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 30$ เนื่องจาก $x = 18$ และ $x \leq z$ จึงได้ว่า

$18 \leq z \leq 30$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{7}{36} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้
 $y \leq 30$ เนื่องจาก $x = 18$ และ $x \leq y$ จึงได้ว่า
 $18 \leq y \leq 30$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (15) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (18, 504, 21)$,
 $(18, 72, 24)$, $(18, 18, 48)$ และ $(18, 24, 36)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (16) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{15}{76} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 30$ เนื่องจาก $x = 19$ และ $x \leq z$ จึงได้ว่า
 $19 \leq z \leq 30$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{15}{76} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้
 $y \leq 30$ เนื่องจาก $x = 19$ และ $x \leq y$ จึงได้ว่า
 $19 \leq y \leq 30$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น
พบว่าผลเฉลยไม่เป็นจำนวนเต็มบวก จึงสรุปได้ว่า
(16) ไม่มีผลเฉลย

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (18) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{17}{84} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 29$ เนื่องจาก $x = 21$ และ $x \leq z$ จึงได้ว่า
 $21 \leq z \leq 29$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{17}{84} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้
 $y \leq 29$ เนื่องจาก $x = 21$ และ $x \leq y$ จึงได้ว่า
 $21 \leq y \leq 29$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (18) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (21, 168, 21)$
และ $(21, 56, 24)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (19) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{9}{44} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 29$ เนื่องจาก $x = 22$ และ $x \leq z$ จึงได้ว่า
 $22 \leq z \leq 29$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{9}{44} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้
 $y \leq 29$ เนื่องจาก $x = 22$ และ $x \leq y$ จึงได้ว่า
 $22 \leq y \leq 29$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (19) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (22, 88, 22)$
และ $(22, 24, 33)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (20) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{19}{92} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 29$ เนื่องจาก $x = 23$ และ $x \leq z$ จึงได้ว่า
 $23 \leq z \leq 29$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{19}{92} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้
 $y \leq 29$ เนื่องจาก $x = 23$ และ $x \leq y$ จึงได้ว่า
 $23 \leq y \leq 29$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น
พบว่าผลเฉลยไม่เป็นจำนวนเต็มบวก จึงสรุปได้ว่า
(20) ไม่มีผลเฉลย

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (21) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{5}{24} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 28$ เนื่องจาก $x = 24$ และ $x \leq z$ จึงได้ว่า
 $24 \leq z \leq 28$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{5}{24} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้
 $y \leq 28$ เนื่องจาก $x = 24$ และ $x \leq y$ จึงได้ว่า
 $24 \leq y \leq 28$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (21) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (24, 48, 24)$
และ $(24, 24, 32)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (22) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{21}{100} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 28$ เนื่องจาก $x = 25$ และ $x \leq z$ จึงได้ว่า
 $25 \leq z \leq 28$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{21}{100} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำให้
 $y \leq 28$ เนื่องจาก $x = 25$ และ $x \leq y$ จึงได้ว่า
 $25 \leq y \leq 28$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (22) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (25, 40, 25)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (23) สามารถแบ่งได้เป็น
2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{11}{52} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำ
ให้ $z \leq 28$ เนื่องจาก $x = 26$ และ $x \leq z$ จึงได้ว่า
 $26 \leq z \leq 28$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{11}{52} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำ
ให้ $y \leq 28$ เนื่องจาก $x = 26$ และ $x \leq y$ จึงได้ว่า
 $26 \leq y \leq 28$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น พบว่า
ผลเฉลยไม่เป็นจำนวนเต็มบวก จึงสรุปได้ว่า (23)
ไม่มีผลเฉลย

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (24) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{23}{108} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 28$ เนื่องจาก $x = 27$ และ $x \leq z$ จึงได้ว่า
 $27 \leq z \leq 28$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{23}{108} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำ
ให้ $y \leq 28$ เนื่องจาก $x = 27$ และ $x \leq y$ จึงได้ว่า
 $27 \leq y \leq 28$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น พบว่า
ผลเฉลยไม่เป็นจำนวนเต็มบวก จึงสรุปได้ว่า (24)
ไม่มีผลเฉลย

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (25) สามารถแบ่งได้
เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $z \leq y$ จะได้ $\frac{3}{14} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{z}$ ทำให้
 $z \leq 28$ เนื่องจาก $x = 28$ และ $x \leq z$ จึงได้ว่า
 $z = 28$

กรณี $y \leq z$ จะได้ $\frac{3}{14} = \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{6}{y}$ ทำ
ให้ $y \leq 28$ เนื่องจาก $x = 28$ และ $x \leq y$ จึงได้ว่า
 $y = 28$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (25) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (28, 28, 28)$

กรณีที่ 2 ให้ $y < x \leq z$ หรือ $y \leq z < x$ จะได้ว่า
 $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} \leq \frac{7}{y}$ ส่งผลให้ $9 \leq y \leq 28$

$$\text{ถ้า } y=9 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{1}{36} \quad (26)$$

$$\text{ถ้า } y=10 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{1}{20} \quad (27)$$

$$\text{ถ้า } y=11 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{3}{44} \quad (28)$$

$$\text{ถ้า } y=12 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{1}{12} \quad (29)$$

$$\text{ถ้า } y=13 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{5}{52} \quad (30)$$

$$\text{ถ้า } y=14 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{3}{28} \quad (31)$$

$$\text{ถ้า } y=15 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{7}{60} \quad (32)$$

$$\text{ถ้า } y=16 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{1}{8} \quad (33)$$

$$\text{ถ้า } y=17 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{9}{68} \quad (34)$$

$$\text{ถ้า } y=18 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{5}{36} \quad (35)$$

$$\text{ถ้า } y=19 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{11}{76} \quad (36)$$

$$\text{ถ้า } y=20 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{3}{20} \quad (37)$$

$$\text{ถ้า } y=21 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{13}{84} \quad (38)$$

$$\text{ถ้า } y=22 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{7}{44} \quad (39)$$

$$\text{ถ้า } y=23 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{15}{92} \quad (40)$$

$$\text{ถ้า } y=24 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{1}{6} \quad (41)$$

$$\text{ถ้า } y=25 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{17}{100} \quad (42)$$

$$\text{ถ้า } y=26 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{9}{52} \quad (43)$$

$$\text{ถ้า } y=27 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{19}{108} \quad (44)$$

$$\text{ถ้า } y=28 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{5}{28} \quad (45)$$

จากนั้นทำการจัดรูป (26) ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำ ค.ร.น. ของตัวส่วนทั้งหมดใน (26)

คูณตลอดสมการ (26)

2. ทำการแยกตัวประกอบของ (26) ได้เป็น

$$(x-36)(z-144)=5184$$

3. ดำเนินการหาผลเฉลยโดยสามารถแบ่ง

กรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมด 35 กรณี ดังนี้

$x-36=1, z-144=5184;$	$x-36=5184, z-144=1$
$x-36=2, z-144=2592;$	$x-36=2592, z-144=2$
$x-36=3, z-144=1728;$	$x-36=1728, z-144=3$
$x-36=4, z-144=1296;$	$x-36=1296, z-144=4$
$x-36=6, z-144=864;$	$x-36=864, z-144=6$
$x-36=8, z-144=648;$	$x-36=648, z-144=8$
$x-36=9, z-144=576;$	$x-36=576, z-144=9$
$x-36=12, z-144=432;$	$x-36=432, z-144=12$
$x-36=16, z-144=324;$	$x-36=324, z-144=16$
$x-36=18, z-144=288;$	$x-36=288, z-144=18$
$x-36=24, z-144=216;$	$x-36=216, z-144=24$
$x-36=27, z-144=192;$	$x-36=192, z-144=27$
$x-36=32, z-144=162;$	$x-36=162, z-144=32$
$x-36=36, z-144=144;$	$x-36=144, z-144=36$
$x-36=48, z-144=108;$	$x-36=108, z-144=48$
$x-36=54, z-144=96;$	$x-36=96, z-144=54$
$x-36=64, z-144=81;$	$x-36=81, z-144=64$
$x-36=72, z-144=72;$	

จะได้ผลเฉลยของ $(x-36)(z-144)=5184$ คือ

$(x, y, z) = (37, 9, 5328), (38, 9, 2736), (39, 9, 1872),$
 $(40, 9, 1440), (42, 9, 1008), (44, 9, 792), (45, 9, 720),$
 $(48, 9, 576), (52, 9, 468), (54, 9, 432), (60, 9, 360),$
 $(63, 9, 336), (68, 9, 306), (72, 9, 288), (84, 9, 252),$
 $(90, 9, 240), (100, 9, 225), (108, 9, 216), (5220, 9, 145),$
 $(684, 9, 152), (612, 9, 153), (468, 9, 156), (360, 9, 160),$
 $(2628, 9, 146), (1764, 9, 147), (1332, 9, 148), (900, 9, 150),$
 $(684, 9, 152), (612, 9, 153), (468, 9, 156), (360, 9, 160),$
 $(324, 9, 162), (252, 9, 168), (228, 9, 171), (198, 9, 176),$
 $(180, 9, 180), (144, 9, 192), (132, 9, 198), (117, 9, 208)$

ทำการจัดรูป (27), (29), (33) และ (41) ในทำนองเดียวกันกับ (26) ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น จะได้ว่า

จาก (27) จัดรูปใหม่ได้เป็น $(x-20)(z-80)=1600$

จาก (29) จัดรูปใหม่ได้เป็น $(x-12)(z-48)=576$

จาก (33) จัดรูปใหม่ได้เป็น $(x-8)(z-32)=256$

จาก (41) จัดรูปใหม่ได้เป็น $(x-6)(z-24)=144$

จากนั้นทำการหาผลเฉลยของ (27), (29), (33) และ (41) ในทำนองเดียวกันกับ (26)

จะพบว่า ผลเฉลยของ (27) คือ
 $(x, y, z) = (21, 10, 1680), (22, 10, 880), (24, 10, 480),$
 $(25, 10, 400), (28, 10, 280), (30, 10, 240), (36, 10, 180),$
 $(40, 10, 160), (45, 10, 144), (52, 10, 130), (60, 10, 120),$
 $(1620, 10, 81), (820, 10, 82), (420, 10, 84), (340, 10, 85),$
 $(220, 10, 88), (180, 10, 90), (120, 10, 96), (100, 10, 100),$
 $(84, 10, 105) \text{ และ } (70, 10, 112)$

ผลเฉลยของ (29) คือ $(x, y, z) = (13, 12, 624),$
 $(14, 12, 336), (15, 12, 240), (16, 12, 192), (18, 12, 144),$
 $(20, 12, 120), (21, 12, 112), (24, 12, 96), (28, 12, 84),$
 $(30, 12, 80), (36, 12, 72), (588, 12, 49), (300, 12, 50),$
 $(204, 12, 51), (156, 12, 52), (108, 12, 54), (81, 12, 56),$
 $(76, 12, 57), (60, 12, 60), (48, 12, 64), (44, 12, 66)$

ผลเฉลยของ (33) คือ $(x, y, z) = (24, 16, 48),$
 $(264, 16, 33), (136, 16, 34), (72, 16, 36) \text{ และ } (40, 16, 40)$

ผลเฉลยของ (41) คือ $(x, y, z) = (150, 24, 25),$
 $(78, 24, 26), (54, 24, 27), (42, 24, 28) \text{ และ } (30, 24, 30)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (28) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ $x \leq z$ จะได้ $\frac{3}{44} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้
 $x \leq 73$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y=11$ และ $y < x$ จึง
ทำให้ $x \geq 12$ นั่นคือ $12 \leq x \leq 73$

กรณีที่ $z < x$ จะได้ $\frac{3}{44} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้
 $z \leq 73$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y=11$ และ $y \leq z$
จึงทำให้ $z \geq 17$ นั่นคือ $17 \leq z \leq 73$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (28) มีผลเฉลย คือ
 $(x, y, z) = (15, 11, 2640), (16, 11, 704),$
 $(20, 11, 220), (22, 11, 176), (36, 11, 99), (44, 11, 88),$
 $(55, 11, 80), (2596, 11, 59), (660, 11, 60), (176, 11, 64)$
และ $(132, 11, 66)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (30) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ $x \leq z$ จะได้ $\frac{5}{52} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้
 $x \leq 52$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y=13$ และ $y < x$ จึง
ทำให้ $x \geq 14$ นั่นคือ $14 \leq x \leq 52$

กรณีที่ $z < x$ จะได้ $\frac{5}{52} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้
 $z \leq 51$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y=13$ และ $y \leq z$
จึงทำให้ $z \geq 17$ นั่นคือ $17 \leq z \leq 51$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุป
ได้ว่า (30) มีผลเฉลย คือ
 $(x, y, z) = (52, 13, 52), (1092, 13, 42) \text{ และ } (78, 13, 48)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (31) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ $x \leq z$ จะได้ $\frac{3}{28} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้
 $x \leq 46$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y=14$ และ $y < x$ จึง
ทำให้ $x \geq 15$ นั่นคือ $15 \leq x \leq 46$

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{3}{28} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้ $z \leq 46$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y=14$ และ $y \leq z$ จึงทำให้ $z \geq 17$ นั่นคือ $17 \leq z \leq 46$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (31) มีผลเฉลยคือ $(x,y,z) = (20,14,70), (28,14,56), (42,14,48), (532,14,38), (140,14,40)$ และ $(84,14,42)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (32) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq z$ จะได้ $\frac{7}{60} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้ $x \leq 42$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y=15$ และ $y < x$ จึงทำให้ $x \geq 16$ นั่นคือ $16 \leq x \leq 42$

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{7}{60} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้ $z \leq 42$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y=15$ และ $y \leq z$ จึงทำให้ $z \geq 17$ นั่นคือ $17 \leq z \leq 42$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (32) มีผลเฉลยคือ $(x,y,z) = (20,15,60), (30,15,48), (36,15,45), (420,15,35), (180,15,36)$ และ $(60,15,40)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (34) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq z$ จะได้ $\frac{9}{68} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้ $x \leq 37$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y=17$ และ $y < x$ จึงทำให้ $x \geq 18$ นั่นคือ $18 \leq x \leq 37$

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{9}{68} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้ $z \leq 37$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y=17$ และ $y \leq z$ จึงทำให้ $z \geq 17$ นั่นคือ $17 \leq z \leq 37$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (34) มีผลเฉลยคือ $(x,y,z) = (136,17,32)$ และ $(68,17,34)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (35) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq z$ จะได้ $\frac{5}{36} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้ $x \leq 36$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y=18$ และ $y < x$ จึงทำให้ $x \geq 19$ นั่นคือ $19 \leq x \leq 36$

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{5}{36} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้ $z \leq 35$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y=18$ และ $y \leq z$ จึงทำให้ $z \geq 18$ นั่นคือ $18 \leq z \leq 35$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (35) มีผลเฉลยคือ $(x,y,z) = (20,18,45), (36,18,36), (1044,18,29), (180,18,30)$ และ $(72,18,32)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (36) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq z$ จะได้ $\frac{11}{76} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้ $x \leq 34$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y=19$ และ $y < x$ จึงทำให้ $x \geq 20$ นั่นคือ $20 \leq x \leq 34$

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{11}{76} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้ $z \leq 34$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y=19$ และ $y \leq z$ จึงทำให้ $z \geq 19$ นั่นคือ $19 \leq z \leq 34$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (36) มีผลเฉลยคือ $(x,y,z) = (532,19,28)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (37) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq z$ จะได้ $\frac{3}{20} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้ $x \leq 33$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y = 20$ และ $y < x$ จึงทำให้ $x \geq 21$ นั่นคือ $21 \leq x \leq 33$

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{3}{20} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้ $z \leq 33$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y = 20$ และ $y \leq z$ จึงทำให้ $z \geq 20$ นั่นคือ $20 \leq z \leq 33$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (37) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (28, 20, 35), (540, 20, 27), (140, 20, 28), (60, 20, 30)$ และ $(40, 20, 32)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (38) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq z$ จะได้ $\frac{13}{84} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้ $x \leq 32$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y = 21$ และ $y < x$ จึงทำให้ $x \geq 21$ นั่นคือ $22 \leq x \leq 32$

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{13}{84} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้ $z \leq 32$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y = 21$ และ $y \leq z$ จึงทำให้ $z \geq 21$ นั่นคือ $21 \leq z \leq 32$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (38) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (1092, 21, 26)$ และ $(84, 21, 28)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (39) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq z$ จะได้ $\frac{7}{44} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้ $x \leq 31$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y = 22$ และ $y < x$ จึงทำให้ $x \geq 23$ นั่นคือ $23 \leq x \leq 31$

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{7}{44} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้

$z \leq 31$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y = 22$ และ $y \leq z$ จึงทำให้ $z \geq 22$ นั่นคือ $22 \leq z \leq 31$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น พบว่าผลเฉลยไม่เป็นจำนวนเต็มบวก จึงสรุปได้ว่า (39) ไม่มีผลเฉลย

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (40) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq z$ จะได้ $\frac{15}{92} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้ $x \leq 30$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y = 23$ และ $y < x$ จึงทำให้ $x \geq 24$ นั่นคือ $24 \leq x \leq 30$

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{15}{92} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้ $z \leq 30$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y = 23$ และ $y \leq z$ จึงทำให้ $z \geq 23$ นั่นคือ $23 \leq z \leq 30$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น พบว่าผลเฉลยไม่เป็นจำนวนเต็มบวก จึงสรุปได้ว่า (40) ไม่มีผลเฉลย

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (42) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq z$ จะได้ $\frac{17}{100} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้ $x \leq 29$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y = 25$ และ $y < x$ จึงทำให้ $x \geq 26$ นั่นคือ $26 \leq x \leq 29$

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{17}{100} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้ $z \leq 29$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y = 25$ และ $y \leq z$ จึงทำให้ $z \geq 25$ นั่นคือ $25 \leq z \leq 29$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (42) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (100, 25, 25)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (43) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq z$ จะได้ $\frac{9}{52} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้ $x \leq 28$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y = 26$ และ $y < x$ จึงทำให้ $x \geq 27$ นั่นคือ $27 \leq x \leq 28$

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{9}{52} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้ $z \leq 28$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y = 26$ และ $y \leq z$ จึงทำให้ $z \geq 26$ นั่นคือ $26 \leq z \leq 28$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (43) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (52, 26, 26)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (44) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq z$ จะได้ $\frac{19}{108} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้ $x \leq 28$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y = 27$ และ $y < x$ จึงทำให้ $x \geq 28$ นั่นคือ $x = 28$

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{19}{108} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้ $z \leq 28$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y = 27$ และ $y \leq z$ จึงทำให้ $z \geq 27$ นั่นคือ $27 \leq z \leq 28$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (44) มีผลเฉลย คือ $(x, y, z) = (36, 27, 27)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (45) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq z$ จะได้ $\frac{5}{28} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} \leq \frac{5}{x}$ ทำให้ $x \leq 28$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $y = 28$ และ $y < x$ จึงทำให้ $x \geq 29$ จะเห็นได้ว่าไม่มีค่า x ที่ตรงตามเงื่อนไขในกรณีนี้ จึงทำให้ไม่มีผลเฉลย

กรณี $z < x$ จะได้ $\frac{5}{28} = \frac{1}{x} + \frac{4}{z} < \frac{5}{z}$ ทำให้ $z \leq 27$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $y = 28$ และ $y \leq z$

จึงทำให้ $z \geq 28$ จะเห็นได้ว่าไม่มีค่า z ที่ตรงตามเงื่อนไขในกรณีนี้ จึงทำให้ไม่มีผลเฉลย

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้น สรุปได้ว่า (45) ไม่มีผลเฉลย

กรณีที่ 3 ให้ $z < x \leq y$ หรือ $z < y < x$ จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} < \frac{7}{z} \text{ ส่งผลให้ } 17 \leq z \leq 27$$

$$\text{ถ้า } z = 17 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{1}{68} \quad (46)$$

$$\text{ถ้า } z = 18 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{1}{36} \quad (47)$$

$$\text{ถ้า } z = 19 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{3}{76} \quad (48)$$

$$\text{ถ้า } z = 20 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{1}{20} \quad (49)$$

$$\text{ถ้า } z = 21 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{5}{84} \quad (50)$$

$$\text{ถ้า } z = 22 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{3}{44} \quad (51)$$

$$\text{ถ้า } z = 23 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{7}{92} \quad (52)$$

$$\text{ถ้า } z = 24 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{1}{12} \quad (53)$$

$$\text{ถ้า } z = 25 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{9}{100} \quad (54)$$

$$\text{ถ้า } z = 26 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{5}{52} \quad (55)$$

$$\text{ถ้า } z = 27 \text{ แล้ว } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{11}{108} \quad (56)$$

จากนั้นทำการจัดรูป (46) ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำ ค.ร.น. ของตัวส่วนทั้งหมดใน (46)

คูณตลอดสมการ (46)

2. ทำการแยกตัวประกอบของ (46) ได้เป็น

$$(x-68)(y-136) = 9248$$

3. ดำเนินการหาผลเฉลยโดยสามารถแบ่ง

กรณีที่ เป็นไปได้ทั้งหมด 18 กรณี ดังนี้

$$\begin{array}{ll} x-68=1, y-136=9248; & x-68=9248, y-136=1 \\ x-68=2, y-136=4624; & x-68=4624, y-136=2 \\ x-68=4, y-136=2312; & x-68=2312, y-136=4 \\ x-68=8, y-136=1156; & x-68=1156, y-136=8 \\ x-68=16, y-136=578; & x-68=578, y-136=16 \\ x-68=17, y-136=544; & x-68=544, y-136=17 \\ x-68=32, y-136=289; & x-68=289, y-136=32 \\ x-68=34, y-136=272; & x-68=272, y-136=34 \\ x-68=68, y-136=136; & x-68=136, y-136=68 \end{array}$$

จะได้ผลเฉลยของ $(x-68)(y-136)=9248$ คือ
 $(x, y, z) = (69, 9384, 17), (70, 4760, 17), (72, 2448, 17),$
 $(76, 1292, 17), (84, 714, 17), (85, 680, 17), (100, 425, 17),$
 $(102, 408, 17), (136, 272, 17), (9316, 137, 17), (4692, 138, 17),$
 $(2380, 140, 17), (1224, 144, 17), (646, 152, 17), (612, 153, 17),$
 $(357, 168, 17), (340, 170, 17)$ และ $(204, 204, 17)$

ทำการจัดรูป (47), (49) และ (53) ใน
 ทำนองเดียวกันกับ (46) ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น
 จะได้ว่า
 จาก (47) จัดรูปใหม่ได้เป็น $(x-36)(y-72)=2592$
 จาก (49) จัดรูปใหม่ได้เป็น $(x-20)(y-40)=800$
 จาก (53) จัดรูปใหม่ได้เป็น $(x-12)(y-24)=288$
 จากนั้นทำการหาผลเฉลยของ (47), (49)
 และ (53) ในทำนองเดียวกันกับ (46)

จะพบว่าผลเฉลยของ (47) คือ
 $(x, y, z) = (37, 2664, 18), (38, 1368, 18),$
 $(39, 936, 18), (40, 720, 18), (42, 504, 18),$
 $(44, 396, 18), (45, 360, 18), (48, 288, 18), (52, 234, 18),$
 $(54, 216, 18), (60, 180, 18), (63, 168, 18), (68, 153, 18),$
 $(72, 144, 18), (84, 126, 18), (2628, 73, 18), (1332, 74, 18),$
 $(900, 75, 18), (684, 76, 18), (468, 78, 18), (360, 80, 18),$
 $(324, 81, 18), (252, 84, 18), (198, 88, 18), (180, 90, 18),$
 $(144, 96, 18), (132, 99, 18), (117, 104, 18), (108, 108, 18)$
 และ $(90, 120, 18)$

ผลเฉลยของ (49) คือ $(x, y, z) = (21, 840, 20),$
 $(22, 440, 20), (24, 240, 20), (25, 200, 20), (28, 140, 20),$
 $(30, 120, 20), (36, 90, 20), (40, 80, 20), (45, 72, 20),$
 $(820, 41, 20), (420, 42, 20), (220, 44, 20), (180, 45, 20),$
 $(120, 48, 20), (100, 50, 20), (70, 56, 20), (60, 60, 20)$
 และ $(52, 65, 20)$

ผลเฉลยของ (53) คือ $(x, y, z) = (28, 42, 24),$
 $(300, 25, 24), (156, 26, 24), (108, 27, 24), (84, 28, 24),$
 $(60, 30, 24), (48, 32, 24), (44, 33, 24), (36, 36, 24)$
 และ $(30, 40, 24)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (48) สามารถแบ่งได้
 เป็น 2 กรณี คือ

$$\text{กรณี } x \leq y \text{ จะได้ } \frac{3}{76} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} \leq \frac{3}{x} \text{ ทำให้}$$

$x \leq 76$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $z = 19$ และ $z < x$ จึง
 ทำให้ $x \geq 20$ นั่นคือ $20 \leq x \leq 76$

$$\text{กรณี } y < x \text{ จะได้ } \frac{3}{76} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} < \frac{3}{y} \text{ ทำให้}$$

$y \leq 75$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $z = 19$ และ $z < y$ จึง
 ทำให้ $y \geq 20$ นั่นคือ $20 \leq y \leq 75$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณี ข้างต้น
 สรุปได้ว่า (48) มีผลเฉลย คือ
 $(x, y, z) = (26, 1976, 19), (28, 532, 19),$
 $(36, 171, 19), (38, 152, 19), (76, 76, 19), (3876, 51, 19),$
 $(988, 52, 19), (266, 56, 19)$ และ $(228, 57, 19)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (50) สามารถแบ่งได้
 เป็น 2 กรณี คือ

$$\text{กรณี } x \leq y \text{ จะได้ } \frac{5}{84} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} \leq \frac{3}{x} \text{ ทำให้}$$

$x \leq 50$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $z = 21$ และ $z < x$
 จึงทำให้ $x \geq 22$ นั่นคือ $22 \leq x \leq 50$

กรณี $y < x$ จะได้ $\frac{5}{84} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} < \frac{3}{y}$ ทำให้ $y \leq 50$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $z = 21$ และ $z < y$ จึงทำให้ $y \geq 22$ นั่นคือ $22 \leq y \leq 50$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้นสรุปได้ว่า (50) มีผลเฉลยคือ $(x, y, z) = (24, 112, 21), (28, 84, 21), (36, 63, 21), (42, 56, 21), (1428, 34, 21), (420, 35, 21), (252, 36, 21), (105, 40, 21), (84, 42, 21)$ และ $(56, 48, 21)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (51) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq y$ จะได้ $\frac{3}{44} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} \leq \frac{3}{x}$ ทำให้ $x \leq 44$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $z = 22$ และ $z < x$ จึงทำให้ $x \geq 23$ นั่นคือ $23 \leq x \leq 44$

กรณี $y < x$ จะได้ $\frac{3}{44} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} < \frac{3}{y}$ ทำให้ $y \leq 43$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $z = 22$ และ $z < y$ จึงทำให้ $y \geq 23$ นั่นคือ $23 \leq y \leq 43$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้นสรุปได้ว่า (51) มีผลเฉลยคือ $(x, y, z) = (44, 44, 22), (660, 30, 22), (176, 32, 22), (132, 33, 22)$ และ $(55, 40, 22)$

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (52) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq y$ จะได้ $\frac{7}{92} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} \leq \frac{3}{x}$ ทำให้ $x \leq 39$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $z = 23$ และ $z < x$ จึงทำให้ $x \geq 24$ นั่นคือ $24 \leq x \leq 39$

กรณี $y < x$ จะได้ $\frac{7}{92} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} < \frac{3}{y}$ ทำให้ $y \leq 39$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $z = 23$ และ $z < y$ จึงทำให้ $y \geq 24$ นั่นคือ $24 \leq y \leq 39$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้นพบว่าผลเฉลยไม่เป็นจำนวนเต็มบวก จึงสรุปได้ว่า (52) ไม่มีผลเฉลย

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (54) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq y$ จะได้ $\frac{9}{100} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} \leq \frac{3}{x}$ ทำให้ $x \leq 33$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $z = 25$ และ $z < x$ จึงทำให้ $x \geq 26$ นั่นคือ $26 \leq x \leq 33$

กรณี $y < x$ จะได้ $\frac{9}{100} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} < \frac{3}{y}$ ทำให้ $y \leq 33$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $z = 25$ และ $z < y$ จึงทำให้ $y \geq 26$ นั่นคือ $26 \leq y \leq 33$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้นพบว่าผลเฉลยไม่เป็นจำนวนเต็มบวก จึงสรุปได้ว่า (54) ไม่มีผลเฉลย

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (55) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq y$ จะได้ $\frac{5}{52} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} \leq \frac{3}{x}$ ทำให้ $x \leq 31$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $z = 26$ และ $z < x$ จึงทำให้ $x \geq 27$ นั่นคือ $27 \leq x \leq 31$

กรณี $y < x$ จะได้ $\frac{5}{52} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} < \frac{3}{y}$ ทำให้ $y \leq 31$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $z = 26$ และ $z < y$ จึงทำให้ $y \geq 27$ นั่นคือ $27 \leq y \leq 31$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้นพบว่าผลเฉลยไม่เป็นจำนวนเต็มบวก จึงสรุปได้ว่า (55) ไม่มีผลเฉลย

ต่อมาพิจารณาหาผลเฉลย (56) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณี $x \leq y$ จะได้ $\frac{11}{108} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} \leq \frac{3}{x}$ ทำให้ $x \leq 29$ แต่ $x \geq 5$ เนื่องจาก $z = 27$ และ $z < x$ จึงทำให้ $x \geq 28$ นั่นคือ $28 \leq x \leq 29$

กรณี $y < x$ จะได้ $\frac{11}{108} = \frac{1}{x} + \frac{2}{y} < \frac{3}{y}$ ทำให้ $y \leq 29$ แต่ $z \geq 17$ เนื่องจาก $z = 27$ และ $z < y$ จึงทำให้ $y \geq 28$ นั่นคือ $28 \leq y \leq 29$

จากการหาผลเฉลยทั้ง 2 กรณีข้างต้นพบว่าผลเฉลยไม่เป็นจำนวนเต็มบวก จึงสรุปได้ว่า (56) ไม่มีผลเฉลย

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีพื้นฐานมาจากปัญหาอียิปต์โบราณ¹ ซึ่งได้มีการหาผลเฉลยและพัฒนารูปแบบสมการที่จากเดิมตัวเศษมีค่าเป็น 1 เปลี่ยนเป็นตัวเศษที่เป็นจำนวนเต็มบวกที่มากกว่า 1 ซึ่งจากการศึกษาในงานวิจัยของ Rabago and Tagle², อภิลิทธิ ภคพงศ์พันธุ์³, Atri⁴, Chinram et al.⁵ และ Srimud et al.⁶ พบว่า สมการของตัวแปร 3 และ 4 ตัวแปรมีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกและมีจำนวนจำกัด โดยงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้สร้างรูปแบบสมการที่แตกต่างไปจากงานวิจัยที่ได้ศึกษาดังกล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งสนใจว่าถ้าเปลี่ยนรูปแบบสมการแล้วจะมีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกและมีจำนวนจำกัดหรือไม่ โดยการหาผลเฉลยในงานวิจัยนี้ปรากฏว่ามีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกและมีจำนวนจำกัดเช่นเดียวกัน

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ เราแสดงการหาผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$ ซึ่งมีผลเฉลยทั้งหมด 380 ผลเฉลย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ ที่ให้สถานที่ และทรัพยากรในการทำวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Zelator K. An ancient Egyptian problem:
The Diophantine equation $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{4}{n}$.
United States of America: University of Pittsburgh 2009:1-9.
2. Rabago JFT, Tagle RP. On the area and volume of a certain regular solid and the diophantine equation $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{1}{2}$.
NNTDM 2013;19:28-32.
3. อภิลิทธิ ภคพงศ์พันธุ์. ผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{3}{z} = \frac{1}{2}$. วารสารคณิตศาสตร์ 2562;64:36-43.
4. Atri R. On the diophantine equation $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{1}{4}$ and $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} + \frac{1}{t} = \frac{1}{4}$.
IJSR 2020;11:573-4.
5. Chinram R, Sirikantisophon K, Kaewchay S. Positive integer solution of the diophantine equation $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{3}{z} = \frac{1}{3}$.
Int J Math Comput Sci 2022;17:1051-9.
6. Srimud K, Makate N, Ampawa T, Jantree T. On the diophantine equation $\frac{2}{x} + \frac{3}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{2}$. Prog Appl Sci Tech 2022;12:11-16.

Data Mining from Education-Related Search Suggested Text on the Web

Jincheng Zhang^{1*}, Thada Jantakoon¹, Rukthin Laoha¹ and Potsirin Limpinan²

¹*Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham, Thailand*

²*Faculty of Information Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham, Thailand*

*Corresponding author; E-mail: zjc1639834588@gmail.com

Received: 03 September 2023 /Revised: 09 May 2024 /Accepted: 15 May 2024

Abstract

An increasing number of industries are implementing digital technology to increase efficacy due to its accelerated development. Undoubtedly, the education sector is not an exception. In addition to conducting data mining and analysis of Internet search-recommended text for the first time, this research developed and proposed the world's first algorithm and technology to obtain such text automatically and rapidly. By performing data mining on education-related search suggestion texts on the Internet, this study aims to extract educationally beneficial information. This study collects education-related search recommendation texts from YouTube using the platform as an example. Literature review and theoretical analysis; algorithm design and optimization; system design and implementation; support for applications; construction and annotation of data sets; empirical research and experimental validation; interdisciplinary research and application are some research methods employed. These are the outcomes of this research: Valuable insights were extracted from an analysis of over 50,000 lines of collected data, including popular keywords and the emotional proclivities of individuals. Thus, supporting the instructional and decision-making practices of individuals.

Keywords: Crawler, Data mining, Education, Algorithm, ICT for education

Introduction

The influence of digital technology has evidently permeated every aspect of existence, including the education sector. The use of digital technology in education is growing¹. By integrating digital technology into the classroom, instructors can enhance the caliber of instruction and the learning outcomes of their pupils². Utilizing a Python crawler, we developed and proposed in this paper a novel algorithm for obtaining search suggestion text from the Internet. We then applied this newly developed algorithm to the obtained education-related data. Eight codes were employed to examine the data from various levels or perspectives.

1. Digital transformation in education

Digital technology has become an integral and crucial component of education due to its growing utilization in the field. YouTube is the largest video website globally and the second-largest search engine in the world. This project will use YouTube as a case study to collect data for research purposes.

2. Application of data mining technology in education

Data mining has been utilized extensively in the analysis of educational data³⁻⁴. Data mining in education has broad uses in enhancing students' engagement in learning, providing tailored education, forecasting student achievement, and

predicting dropout rates⁵⁻⁸. Data mining tools can help get a deeper insight into students and their learning environment. Data mining can assist educators in creating more effective teaching strategies and enhancing students' learning outcomes.

3. Research purpose and importance

This study introduces a novel method that enables individuals to rapidly access a substantial volume of search recommendation texts on the Internet, addressing the challenge of data acquisition. We utilized the new technology to gather over 50,000 education-related search recommendation texts from YouTube. We utilize 8 pieces of code to examine data from several levels or perspectives, including classification, identifying popular search terms, doing sentiment analysis, and detecting unusual content.

4. Research framework and structure

The study will be segmented into seven segments to thoroughly elucidate the study aims. The initial Part elucidates the research backdrop and its relevance, establishing the basis for comprehending the study context. The second part will examine pertinent theories and studies, and undertake a thorough investigation of the implementation of educational data analysis theory and data mining in the education sector. The third part will provide a thorough explanation of the

research methodologies employed. The fourth part will discuss the algorithms and methods employed in data gathering, the process of data analysis and mining, and the outcomes of data analysis and mining across several levels or aspects employing 8 distinct codes. The fifth part elaborates on the CRISP-DM data mining approach that was utilized. The sixth part is an overview of data analysis and data mining. Part seven will present the study's results and suggest directions for further research and practical applications in education.

5. Scope

This research has a comprehensive and detailed scope, primarily encompassing the following aspects:

5.1. Use the Python programming language to write a web crawler program to obtain education-related search suggestion text data from the YouTube platform.

5.2. Apply machine learning and data mining technology to conduct in-depth analysis of education search term data and identify current hot topics, keywords and trends in education.

5.3. Analyze research results and explore application scenarios such as the development direction of the education field, optimization of teaching content, and formulation of educational policies.

6. Expected return

Through this research, we expect to achieve the following benefits:

6.1. Provides an educational research method based on big data analysis, enriching the tools and means of educational research.

6.2. Invented and proposed a new algorithm to obtain search suggestion text on the web.

6.3. Deeply explore the potential of search recommended texts on the Internet for data analysis or data mining, providing educators and decision-makers with more accurate and comprehensive data support.

6.4. Provide data support and reference basis for the optimal allocation of educational resources, the formulation of educational policies and the promotion of educational innovation.

6.5. Promote digital transformation in the education field and promote the globalization and popularization of education.

7. Beneficiary

Identify groups who will benefit from the research, including researchers, policymakers, educators, and technicians.

Who will benefit from this research:

Beneficiaries of this study include but are not limited to:

7.1. Educational researchers and scholars can use this research method to conduct deeper and more comprehensive research in the field of education. It provides

educational researchers and scholars with an educational research method based on big data analysis. And we invented and proposed a new algorithm to obtain search suggestion text on the Internet. Educational researchers and scholars can use this new algorithm to obtain the data they want in any field.

7.2. Educational managers and policymakers can use the results of this study to optimize the allocation of educational resources and guide the formulation of educational policies. For example, from the results of sentiment analysis of data, data are collected from different time periods to analyze changes in people's emotions about education. Not only can it collect data related to education, but you can also obtain relevant data on a certain subject by changing the search terms used to obtain search suggestions (such as changing educate to math, etc.), thereby knowing what people think about a certain subject. Emotions and emotional changes.

7.3. Education practitioners and educational technicians can use the findings of this study to guide teaching practice and improve teaching effects. For example, you can find content that people want to learn and are interested in from popular search words, and use it to optimize your teaching plans.

8. Related theories and research

We delved into the theoretical framework and previous related research relevant to this study. Through a review of relevant theories and research, we can better understand the background, motivation, and theoretical basis of the current study.

8.1 Theoretical framework

There has been no technology or algorithm that can automatically and quickly collect search recommendation text on the Internet, and there has been no previous research on data analysis or data mining of search recommendation text on the Internet. This study pioneered the invention and proposed the use of Python crawlers to automatically and quickly collect search recommendation texts on the Internet, and used the collected data for data analysis and data mining.

8.2 Key concepts and definitions

Web crawler technology and data mining technology both have a long history.⁹⁻¹⁰ People use web crawler technology and data mining technology widely in all walks of life.¹¹ Web crawling technology is an automated program used to browse the Internet and collect information.¹² Data mining is the process of discovering and extracting useful information and knowledge from large amounts of data.¹³⁻¹⁴ To conduct data mining, you first need to have a large amount of

data¹⁵. How to obtain a large amount of data? In this study we use crawler technology to obtain search recommendation texts on the web through a new algorithm we invented and proposed.

9. Summarize

There is a lot of data on the Internet, but it is not easy to find the valuable data you want.¹⁶ Through the methods and algorithms we invented and proposed to obtain search recommendation text on the Internet., we can automatically and quickly collect search recommendation texts on the Internet, and this technology can be used in various fields, such as collecting data from different industries, such as collecting entertainment, education, politics, Data from various different industries such as medical care are then used for data analysis or data mining. In this study, we use "educate" as the main keyword to collect search recommendation text to collect search recommendation text on YouTube websites related to "educate". For example, if we want to collect medical-related data, we can use "medical" as the main keyword to collect search recommendation text to collect search recommendation text on the YouTube website related to "medical". Of course, we can also use this method to collect search recommendation text from other websites, such as Google, Yahoo, etc. We can also

change to different countries and regions or browser languages in the Python crawler code to collect search recommendation text in different countries and regions or regions without language, search recommendation text in different countries and regions or regions without language will vary. When we collect data in this study, the country is set to the United States and the language is set to English in the code.

Material and method

1. Literature review and theoretical analysis

In this study, we systematically reviewed the existing research results and theories and discussed their applications, advantages and disadvantages, and future development directions in specific fields. Through a literature review, this paper has an in-depth understanding of the application of crawler technology in data collection, the role of data mining technology in information discovery and knowledge extraction, and the transformation and impact of information and communication technology on education. These theoretical analyses provide important theoretical support and guidance for our research.

2. Algorithm design and optimization

In the course of the study, we designed a new algorithm for obtaining education-related data to obtain the text of search

suggestions on the web. The algorithm can efficiently obtain a large amount of education-related data from platforms such as YouTube, and extract education-related knowledge through data mining technology.

3. System design and implementation

We have designed and implemented a complete system based on crawler and data mining technology, including data collection, storage, cleaning, analysis, and display functions. The system can automatically collect education-related data from the Internet, process and analyze the data, and ultimately present valuable information and insights to users. The design and implementation of this system are an integral part of the research work, and they provide technical support for the in-depth analysis of the current educational dynamics. We invent and propose a new algorithm for obtaining text from web search suggestions.

4. Application examples

We select specific application scenarios, use crawlers and data mining techniques to solve practical education problems and analyze the effectiveness and practicability of the method. Through application cases, the feasibility and effectiveness of our research methods and technologies in practical scenarios are verified, and the practical application in the field of education is provided with reference and reference.

5. Construction and annotation of datasets

We built a text dataset of YouTube search suggestions in education and cleaned the data, tagged it, and preprocessed it. The dataset provides a reliable database for subsequent data mining tasks, and ensures the reliability and reproducibility of the research results.

6. Empirical research and experimental verification

Through experiments and empirical analysis, the effectiveness and reliability of crawler and data mining methods in this scenario are verified. The experimental results were analyzed and discussed, and case analysis and conclusions were put forward, which provided important reference and guidance for subsequent research and practice.

7. Interdisciplinary research and application

We combine crawling and data mining techniques with knowledge of educational disciplines to explore the possibilities and application prospects of interdisciplinary research. Through interdisciplinary research, we are able to gain a more comprehensive understanding of the needs and challenges in the field of education, and provide new ideas and methods for educational reform and innovation. This interdisciplinary research exploration will advance the development and progress of the field of education.

8. Algorithm flowchart

We use an algorithm flowchart to make it easier for people to understand our algorithms.

9. Collecting, Analyzing, and Mining Data

9.1 Data collection

A brief description of the techniques used in this study: The principle of obtaining data is shown in the figure below:

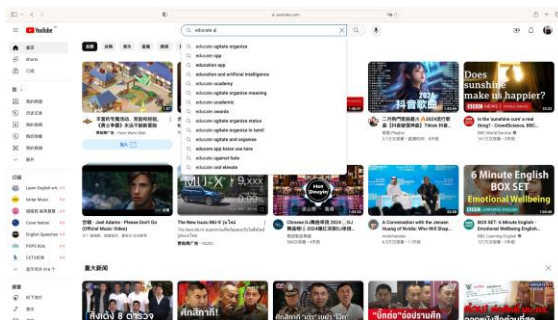


Figure 1. Search Suggested Text on YouTube.

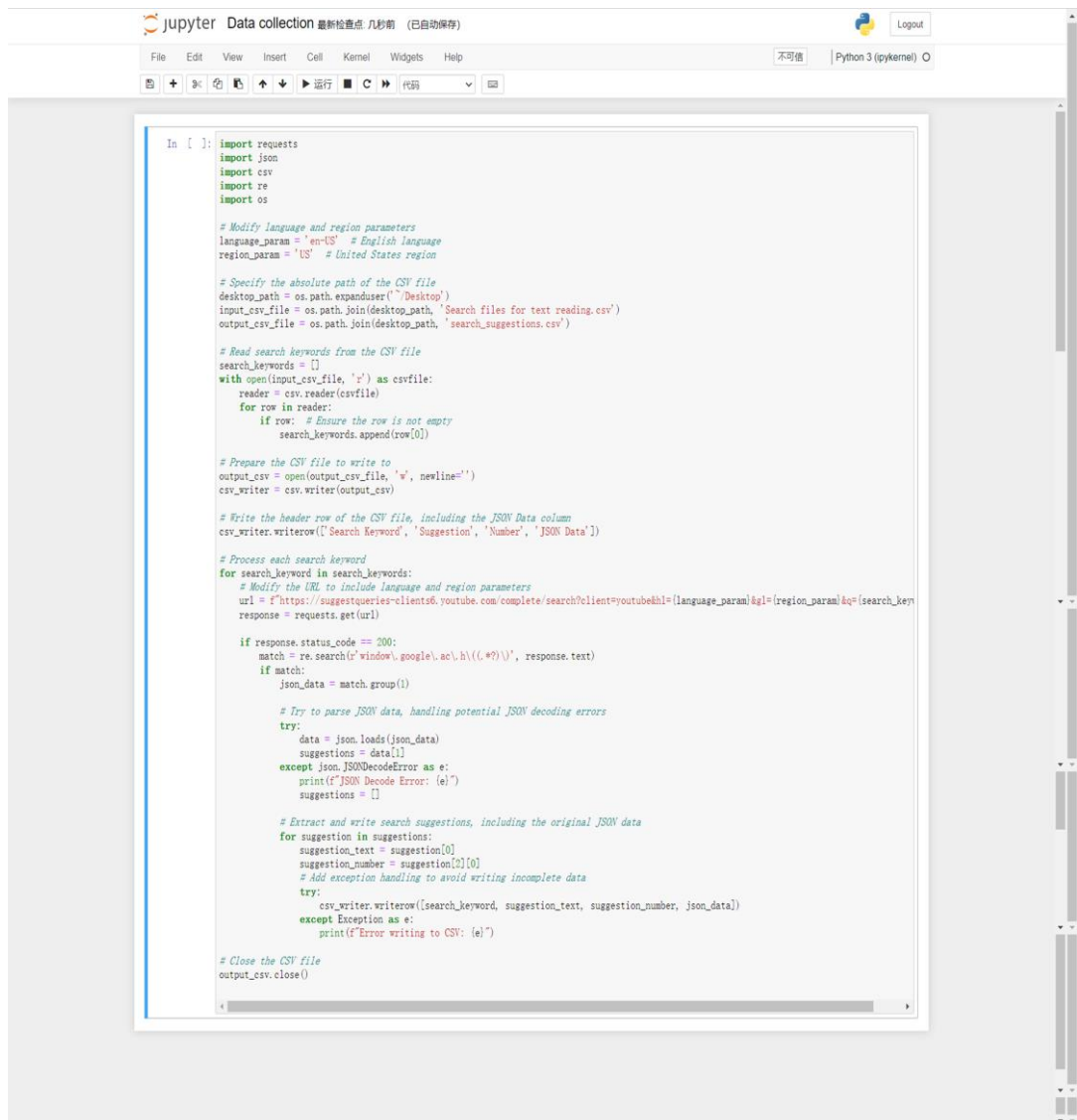
When a user enters "educate a" in the YouTube search bar, some search suggestion text will be displayed below the YouTube search bar. As shown in the picture: educate agitate organize, educate app, education app, etc. And use the 10,000 words provided by MIT.csv (<https://www.mit.edu/~ecprice/wordlist.10000>) (Of course you can also choose other word lists, such as larger word lists.) to replace the

"a" in "educate a" in the picture. " word to collect new data.

Table 1. Part of the content in the "Search files for text reading.csv" file

Search term
educate a
educate aa
educate aaa
educate aaron
educate ab
educate abandoned
educate abc
educate aberdeen
educate abilities
educate ability

There are 10,000 such phrases. Because there are 10,000 words in the file "10,000 words provided by MIT.csv". In this way, more than 50,000 search suggestion texts such as educate agitate organize, educate app, education app, etc. were collected. Use the following Python crawler code to automatically and quickly collect such search suggestion text.



```
In [ ]: import requests
import json
import csv
import re
import os

# Modify language and region parameters
language_param = 'en-US' # English language
region_param = 'US' # United States region

# Specify the absolute path of the CSV file
desktop_path = os.path.expanduser("~/Desktop")
input_csv_file = os.path.join(desktop_path, 'Search files for text reading.csv')
output_csv_file = os.path.join(desktop_path, 'search_suggestions.csv')

# Read search keywords from the CSV file
search_keywords = []
with open(input_csv_file, 'r') as csvfile:
    reader = csv.reader(csvfile)
    for row in reader:
        if row: # Ensure the row is not empty
            search_keywords.append(row[0])

# Prepare the CSV file to write to
output_csv = open(output_csv_file, 'w', newline='')
csv_writer = csv.writer(output_csv)

# Write the header row of the CSV file, including the JSON Data column
csv_writer.writerow(['Search Keyword', 'Suggestion', 'Number', 'JSON Data'])

# Process each search keyword
for search_keyword in search_keywords:
    # Modify the URL to include language and region parameters
    url = f"https://suggestqueries-clients6.youtube.com/complete/search?client=youtu&hl={language_param}&gl={region_param}&q={search_key}"
    response = requests.get(url)

    if response.status_code == 200:
        match = re.search(r'window\google\.ac\.h\((.*?)\)', response.text)
        if match:
            json_data = match.group(1)

            # Try to parse JSON data, handling potential JSON decoding errors
            try:
                data = json.loads(json_data)
                suggestions = data[1]
            except json.JSONDecodeError as e:
                print(f"JSON Decode Error: {e}")
                suggestions = []

            # Extract and write search suggestions, including the original JSON data
            for suggestion in suggestions:
                suggestion_text = suggestion[0]
                suggestion_number = suggestion[2][0]
                # Add exception handling to avoid writing incomplete data
                try:
                    csv_writer.writerow([search_keyword, suggestion_text, suggestion_number, json_data])
                except Exception as e:
                    print(f"Error writing to CSV: {e}")

# Close the CSV file
output_csv.close()
```

Figure 2. Python code used to obtain search suggested text on the YouTube website. The 1st picture

While crawling: This code reads the data in "Search files for text reading.csv". For details, please see Table 1. Part of the content

in the "Search files for text reading.csv" file. Then the generated output file: "search_suggestions.csv", the content of this file is as follows:

Table 2. YouTube search suggested text data obtained through a crawler

Search Keyword	Suggestion	Number	JSON Data
educate a	educate alabama	512	["educate a",["educate alabama",0,[512]],["educate agitate organize",0,[512]],["educate and celebrate",0,[512]],["educate app",0,[512]],["educate ai",0,[512]],["educate antonyms",0,[512]],["educate america act",0,[512]],["educate academy",0,[512]],["educate a child",0,[512]],["educate about or on",0,[512]],["educate anagram",0,[512]],["educate agitate organize wikipedia",0,[512]],["educate a woman you educate a nation",0,[512]],["educate adny",0,[512]]],{"k":1,"q":"uBLP_gtJHpxRMi9yglRwfD-dvuM"}]

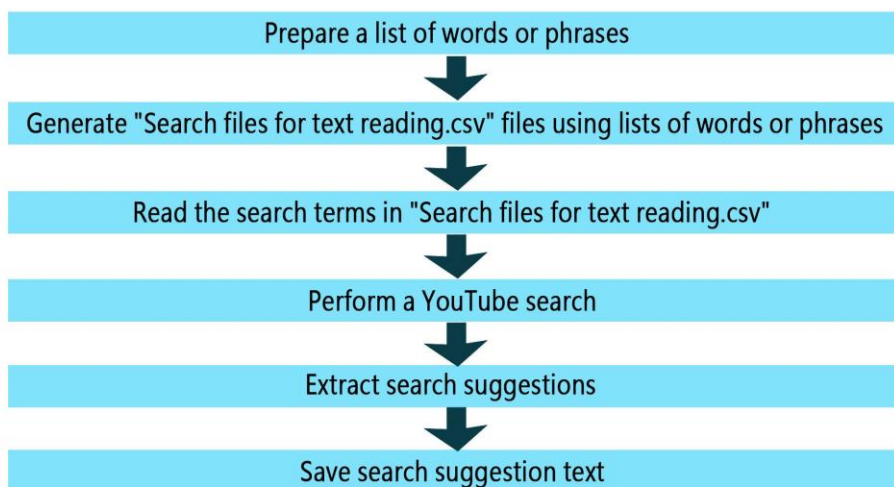


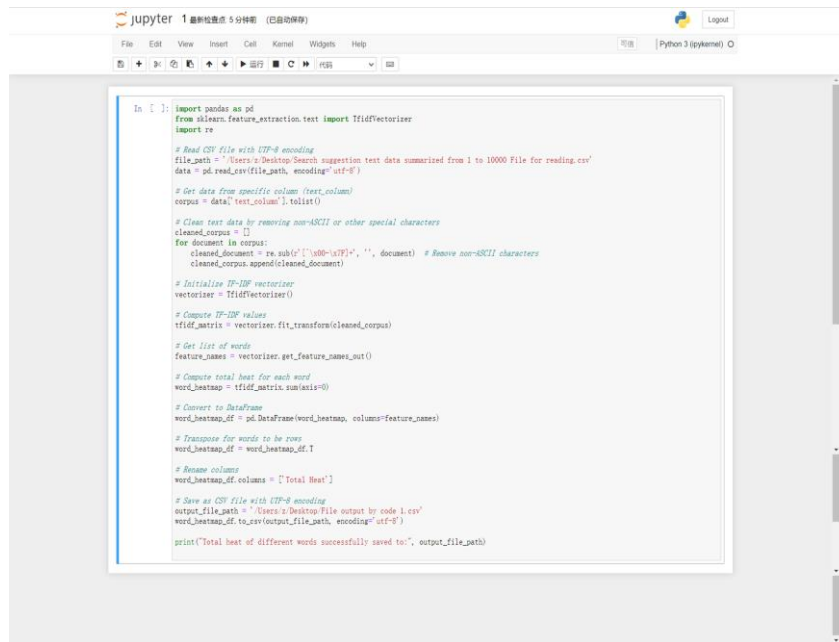
Figure 3. Algorithm flowchart for data collection

Data analysis: When we use a Python crawler to obtain search suggestion text such as educate agitate organize, educate app,

education app, etc., we use the following 8 codes to analyze the collected data from different levels or aspects.

9.2 1st code used for data analysis

Code description:



```
In [ ]: import pandas as pd
from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer
import re

# Read CSV file with UTF-8 encoding
file_path = 'C:/Users/1/Desktop/Search suggestion test data summarized from 1 to 10000 File for reading.csv'
data = pd.read_csv(file_path, encoding='utf-8')

# Get data from specific column (text_column)
corpus = data['text_column'].tolist()

# Clean text data by removing non-ASCII or other special characters
cleaned_corpus = []
for document in corpus:
    cleaned_document = re.sub(r'[^\x00-\x7F]+', '', document) # Remove non-ASCII characters
    cleaned_corpus.append(cleaned_document)

# Initialize TF-IDF vectorizer
vectorizer = TfidfVectorizer()

# Compute TF-IDF values
tfidf_matrix = vectorizer.fit_transform(cleaned_corpus)

# Get list of words
feature_names = vectorizer.get_feature_names_out()

# Compute total heat for each word
word_heatmap = tfidf_matrix.sum(axis=0)

# Convert to DataFrame
word_heatmap_df = pd.DataFrame(word_heatmap, columns=feature_names)

# Transpose for words to be rows
word_heatmap_df = word_heatmap_df.T

# Rename columns
word_heatmap_df.columns = ['Total Heat']

# Save as CSV file with UTF-8 encoding
output_file_path = 'C:/Users/1/Desktop/File output by code 1.csv'
word_heatmap_df.to_csv(output_file_path, encoding='utf-8')

print("Total heat of different words successfully saved to:", output_file_path)
```

Figure 4. 1st code

Analysis results: Use this code¹⁷. A total of 14878 words and corresponding "Total Heat" values were output. This is the first 10

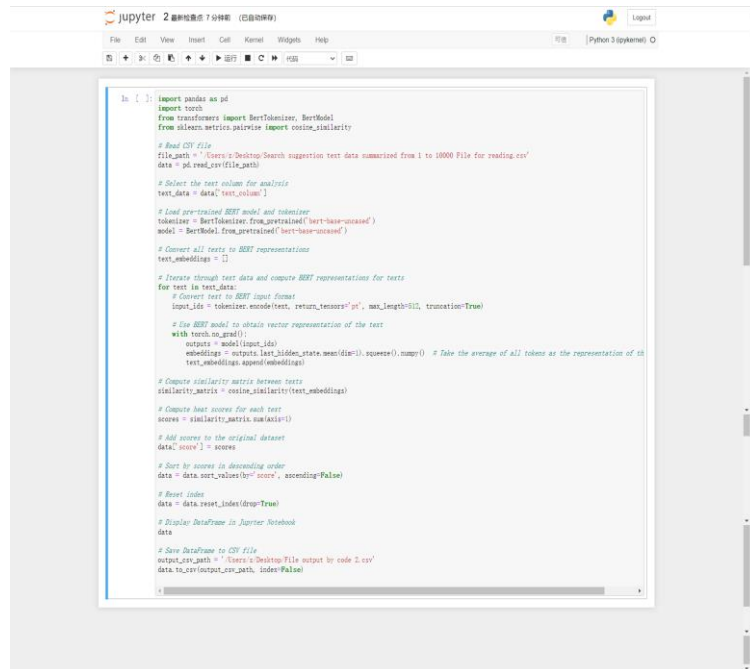
data with the largest Total Heat value output by this code.

Table 3. Part of the data output by 1st code.

Word	Total Heat
education	4263.189847
educate	2749.069812
in	1176.302716
is	1082.611081
what	984.2769601
of	665.8920437
meaning	570.5850557
fnaf	567.9055954
educating	564.8674301
for	538.6324134

Taking the seventh word "meaning" as an example, we can predict that people may want to know the meaning of education. This can help teachers and others explain the meaning of the courses they are learning to students in the course, thereby improving students' enthusiasm for learning

9.3 Second code for data analysis



```

In [ ]: import pandas as pd
import torch
from transformers import BertTokenizer, BertModel
from sklearn.metrics.pairwise import cosine_similarity

# Read CSV file
file_path = 'Users\\Desktop\\Search suggestion test data summarized from 1 to 10000 File for reading.csv'
data = pd.read_csv(file_path)

# Select the text column for analysis
text_data = data['text_column']

# Load pre-trained BERT model and tokenizer
tokenizer = BertTokenizer.from_pretrained('bert-base-uncased')
model = BertModel.from_pretrained('bert-base-uncased')

# Convert all texts to BERT representations
text_embeddings = []

# Iterate through text data and compute BERT representations for texts
for text in text_data:
    # Convert text to BERT input format
    input_ids = tokenizer.tokenize(text, return_tensors='pt', max_length=512, truncation=True)

    # Use BERT model to obtain vector representation of the text
    with torch.no_grad():
        outputs = model(input_ids)
        embeddings = outputs.last_hidden_state.mean(dim=-1).squeeze().numpy() # Take the average of all tokens as the representation of the text
        text_embeddings.append(embeddings)

# Compute similarity matrix between texts
similarity_matrix = cosine_similarity(text_embeddings)

# Compute best scores for each text
scores = similarity_matrix.sum(axis=1)

# Add scores to the original dataset
data['score'] = scores

# Sort by scores in descending order
data = data.sort_values(by='score', ascending=False)

# Reset index
data = data.reset_index(drop=True)

# Display DataFrame in Jupyter Notebook
data

# Save DataFrame to CSV file
output_csv_path = 'Users\\Desktop\\File output by code 2.csv'
data.to_csv(output_csv_path, index=False)

```

Figure 5. Second code

Analysis results: Use this code¹⁸. In total, the code outputs more than 50,000 lines

of data. This is the top 10 data output by this code, including the same rows.

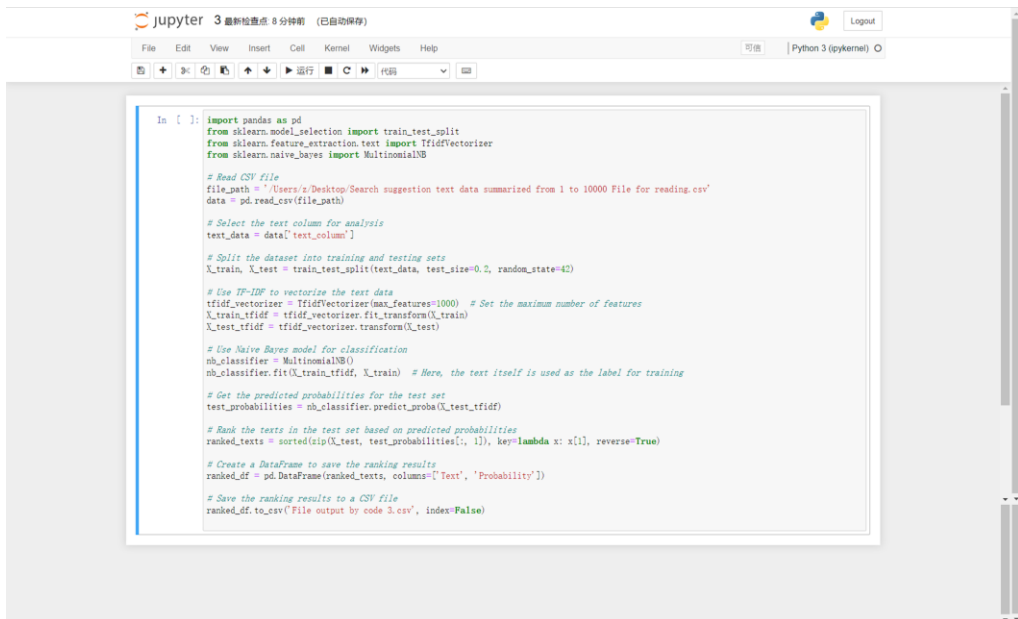
Table 4. Part of the data output by the second code

Text column	Score
education promotion apple	38917.7
education promotion apple	38917.7
education clarity	38880.16
education teaching quotes	38879.61
education teaching quotes	38879.61
education ideas	38879.44
education ideas	38879.44
education ideas	38879.44
education ideas	38879.44
education innovations	38870.42



Taking the No. 1 “education promotion apple” as an example, we can predict that Apple Inc.’s promotion activities in the field of education are very successful and have great influence.

9.4 3rd code used for data analysis



```

In [ ]: import pandas as pd
        from sklearn.model_selection import train_test_split
        from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer
        from sklearn.naive_bayes import MultinomialNB

        # Read CSV file
        file_path = 'D:/Users/z/Desktop/Search suggestion text data summarized from 1 to 10000 File for reading.csv'
        data = pd.read_csv(file_path)

        # Select the text column for analysis
        text_data = data['text_column']

        # Split the dataset into training and testing sets
        X_train, X_test = train_test_split(text_data, test_size=0.2, random_state=42)

        # Use TF-IDF to vectorize the text data
        tfidf_vectorizer = TfidfVectorizer(max_features=1000) # Set the maximum number of features
        X_train_tfidf = tfidf_vectorizer.fit_transform(X_train)
        X_test_tfidf = tfidf_vectorizer.transform(X_test)

        # Use Naive Bayes model for classification
        nb_classifier = MultinomialNB()
        nb_classifier.fit(X_train_tfidf, X_train) # Here, the text itself is used as the label for training

        # Get the predicted probabilities for the test set
        test_probabilities = nb_classifier.predict_proba(X_test_tfidf)

        # Rank the texts in the test set based on predicted probabilities
        ranked_tests = sorted(zip(X_test, test_probabilities[:, 1]), key=lambda x: x[1], reverse=True)

        # Create a DataFrame to save the ranking results
        ranked_df = pd.DataFrame(ranked_tests, columns=['Text', 'Probability'])

        # Save the ranking results to a CSV file
        ranked_df.to_csv('File output by code 3.csv', index=False)

```

Figure 6. 3rd code

Analysis results: Use this code¹⁹. The code outputs a total of more than 10,000 lines

of data. This is the top 10 data with the largest Probability value output by this code.

Table 5. Part of the data output by 3rd code

Text	Probability
cookies making course	3.79E-05
course navigation instructions	3.79E-05
fisheries course subjects	3.79E-05
cookies making course	3.79E-05
erase course	3.79E-05
education refresher course	3.55E-05
education aide course	3.55E-05
education supervision course	3.55E-05
education trading course	3.55E-05
embedded course meaning	3.39E-05



Taking the No. 1 “cookies making course” as an example, we can predict that many people want to learn how to make cookies through the “cookies making course”.

9.5 4th code used for data analysis

```

In [ ]: import pandas as pd
from gensim.corpora import Dictionary
from gensim.models import LdaModel
from gensim.utils import simple_preprocess
from nltk.corpus import stopwords

# Download stopwords
stop_words = stopwords.words('english')

# Read CSV file
file_path = '/Users/z/Desktop/Search suggestion text data summarized from 1 to 10000 File for reading.csv'
data = pd.read_csv(file_path)

# Text preprocessing
def preprocess_text(text):
    return [token for token in simple_preprocess(text) if token not in stop_words]

# Convert text data to processed word lists
processed_data = [preprocess_text(text) for text in data['text_column']]

# Create dictionary
dictionary = Dictionary(processed_data)

# Filter extreme words
dictionary.filter_extremes(no_below=5, no_above=0.5)

# Bag-of-words representation
corpus = [dictionary.doc2bow(doc) for doc in processed_data]

# Run LDA model
lda_model = LdaModel(corpus=corpus,
                    id2word=dictionary,
                    num_topics=500, # Set the number of topics to 500
                    passes=5) # Number of iterations

# Save the model
lda_model.save('lda_model')

# Save the dictionary
dictionary.save('dictionary')

# Generate a list of topics ranked by weight from high to low
topics_data = []
for idx in range(lda_model.num_topics):
    topic_words = lda_model.show_topic(idx)
    topic_words = sorted(topic_words, key=lambda x: x[1], reverse=True)
    topic_words_str = " ".join([f"{word[0]}: {word[1]}" for word in topic_words])
    topics_data.append({"Topic": idx, "Words": topic_words_str})

# Convert the topic list to a DataFrame
topics_df = pd.DataFrame(topics_data)

# Save the DataFrame to a CSV file
output_file_path = '/Users/z/Desktop/File output by code 4.csv'
topics_df.to_csv(output_file_path, index=False)

print(f'Output file saved at: {output_file_path}')

```

Figure 7. 4th code. The 1st picture

Analysis results: Use this code²⁰⁻²¹. The code outputs data for a total of 500 subjects. This is the first data output by this code.

Table 6. Part of the data output by 4th code

Topic	Words
0	durham: 0.00023397283803205937, lifelong: 0.00023397283803205937, release: 0.00023397283803205937, lottery: 0.00023397283803205937, dvd: 0.00023397283803205937, peer: 0.00023397283803205937, para: 0.00023397283803205937, dynamics: 0.00023397283803205937, magic: 0.00023397283803205937, rep: 0.00023397283803205937



Taking the first data row ranked first among them as an example, we can predict that many people may be interested in educational content related to "magic".

9.6 Code 5 used for data analysis

```
jupyter 5 最新状态: 8 分钟前 (已自动保存)
File Edit View Insert Cell Kernel Widgets Help
Python 3 (ipykernel)

In [ ]: import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer
from sklearn.cluster import KMeans
from sklearn.manifold import TSNE
import sys

# Read CSV file
file_path = 'Users\\Desktop\\Search suggestion text data summarized from 1 to 10000 File for reading.csv'
data = pd.read_csv(file_path)

# Select the text column for analysis
text_data = data['text_column']

# Text preprocessing and feature extraction
vectorizer = TfidfVectorizer(max_df=0.5, min_df=2, stop_words='english', use_idf=True)
X = vectorizer.fit_transform(text_data)

# Clustering algorithm
num_clusters = 30 # Assume clustering into 30 clusters
kmeans = KMeans(n_clusters=num_clusters, init='k-means++', max_iter=100, n_init=1)

# Train the clustering model
kmeans.fit(X)

# Add cluster labels to the original dataframe
data['cluster_label'] = kmeans.labels_

# Output dataframe with cluster labels to CSV file
output_file_path = 'Users\\Desktop\\File output by code 5.csv'
data.to_csv(output_file_path, index=False)

# t-SNE dimensionality reduction
tsne = TSNE(n_components=2, random_state=0, init='random') # Set the initialization method to random
X_tsne = tsne.fit_transform(X.toarray()) # Convert sparse matrix to dense matrix before dimensionality reduction

# Visualize clustering results
plt.figure(figsize=(10, 8))
colors = ['b', 'g', 'r', 'c', 'm', 'k', 'y', 'orange', 'purple', 'brown', 'pink', 'lime', 'olive', 'cyan', 'indigo', 'teal', 'lavender', '']

for i in range(num_clusters):
    points = X_tsne[kmeans.labels_ == i]
    plt.scatter(points[:, 0], points[:, 1], s=30, c=colors[i], label=f'Cluster {i+1}')

plt.title('t-SNE Visualization of Text Clusters')
plt.legend()
plt.show()

# Exit program execution
sys.exit()
```

Figure 8. Code 5

Analysis results:

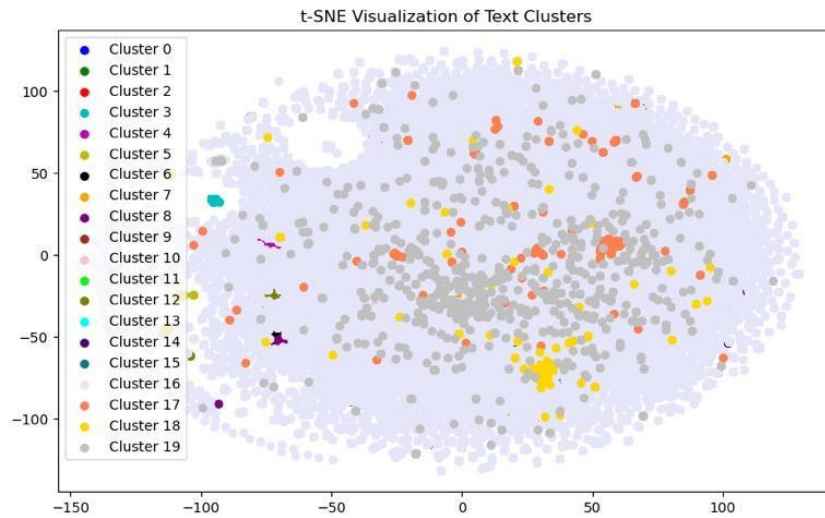
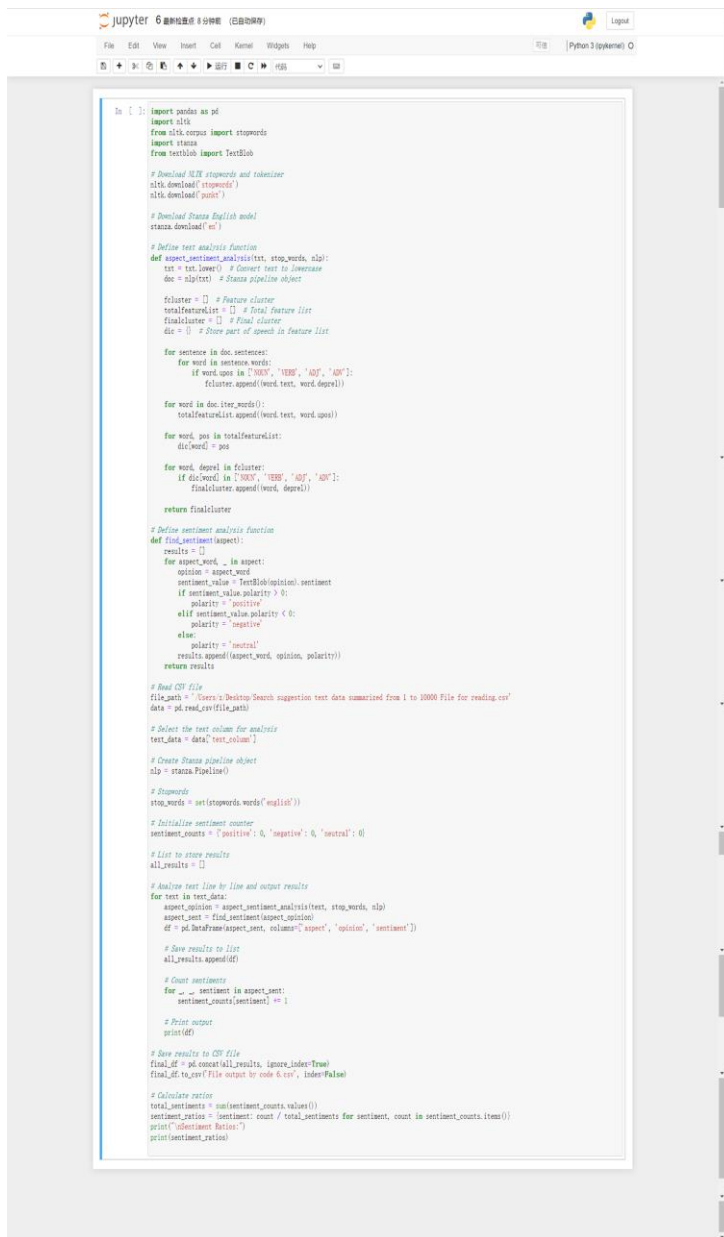


Figure 9. Picture of the output of code 5

Use this code 22-23, the data is divided into 20 categories. You can find more related data

in the same category by checking which category the relevant data you are interested.

9.7 Code 6 used for data analysis



```
In [ ]: import pandas as pd
import nltk
from nltk.corpus import stopwords
import nltk
from nltk.tokenize import word_tokenize
from nltk.tokenize import word_tokenize
from nltk.tokenize import word_tokenize

# Download NLTK stopwords and tokenizer
nltk.download('stopwords')
nltk.download('punkt')

# Download Stanford English model
nltk.download('se')

# Define sentiment analysis function
def aspect_sentiment_analysis(text, stop_words, nlp):
    text = text.lower() # Convert text to lowercase
    doc = nlp(text) # Create pipeline object

    # Create a list of words
    doc_words = [] # Create a list of words
    total_feature_list = [] # Final feature list
    final_feature_list = [] # Final feature list
    doc = [] # Store part of speech in feature list

    for sentence in doc.sentences:
        for word in sentence.words():
            if word.upos in ['NOUN', 'VERB', 'ADJ', 'ADV']:
                final_feature_list.append(word.text, word.deprel())

    for word in doc.iter_words():
        total_feature_list.append(word.text, word.upos())

    for word_pos in total_feature_list:
        doc[word_pos] = pos

    for word_deprel in final_feature_list:
        if doc[word_pos] in ['NOUN', 'VERB', 'ADJ', 'ADV']:
            final_feature_list.append(word.text, word.deprel())

    return final_feature_list

# Define sentiment analysis function
def find_sentiment(aspect):
    results = []
    for aspect_word, _ in aspect:
        opinion = aspect_word
        sentiment_value = TextBlob(opinion).sentiment
        if sentiment_value.polarity > 0:
            polarity = 'positive'
        elif sentiment_value.polarity < 0:
            polarity = 'negative'
        else:
            polarity = 'neutral'
        results.append(aspect_word, opinion, polarity)
    return results

# Read CSV file
file_path = 'C:/Users/Devi/Desktop/Seeds suggestion text data summarized from 1 to 10000 File for reading.csv'
data = pd.read_csv(file_path)

# Select the text column for analysis
test_data = data['text_column']

# Create Stanford pipeline object
nlp = StanfordPipeline()

# Stopwords
stop_words = set(stopwords.words('english'))

# Initialize sentiment counter
sentiment_counts = {'positive': 0, 'negative': 0, 'neutral': 0}

# List to store results
all_results = []

# Analyze text line by line and output results
for text in test_data:
    aspect_opinion = aspect_sentiment_analysis(text, stop_words, nlp)
    aspect_sent = find_sentiment(aspect_opinion)
    df = pd.DataFrame(aspect_sent, columns=['aspect', 'opinion', 'sentiment'])

    # Save results to list
    all_results.append(df)

# Count sentiment
for _ in sentiment in aspect_sent:
    sentiment_counts[sentiment] += 1

# Print output
print(df)

# Save results to CSV file
final_df = pd.concat(all_results, ignore_index=True)
final_df.to_csv('File output by code 6.csv', index=False)

# Calculate ratios
total_sentiments = len(sentiment_counts.values())
sentiment_ratios = {sentiment: count / total_sentiments for sentiment, count in sentiment_counts.items()}
print('Sentiment Ratios:')
print(sentiment_ratios)
```

Figure 10. Code 6. The 1st picture

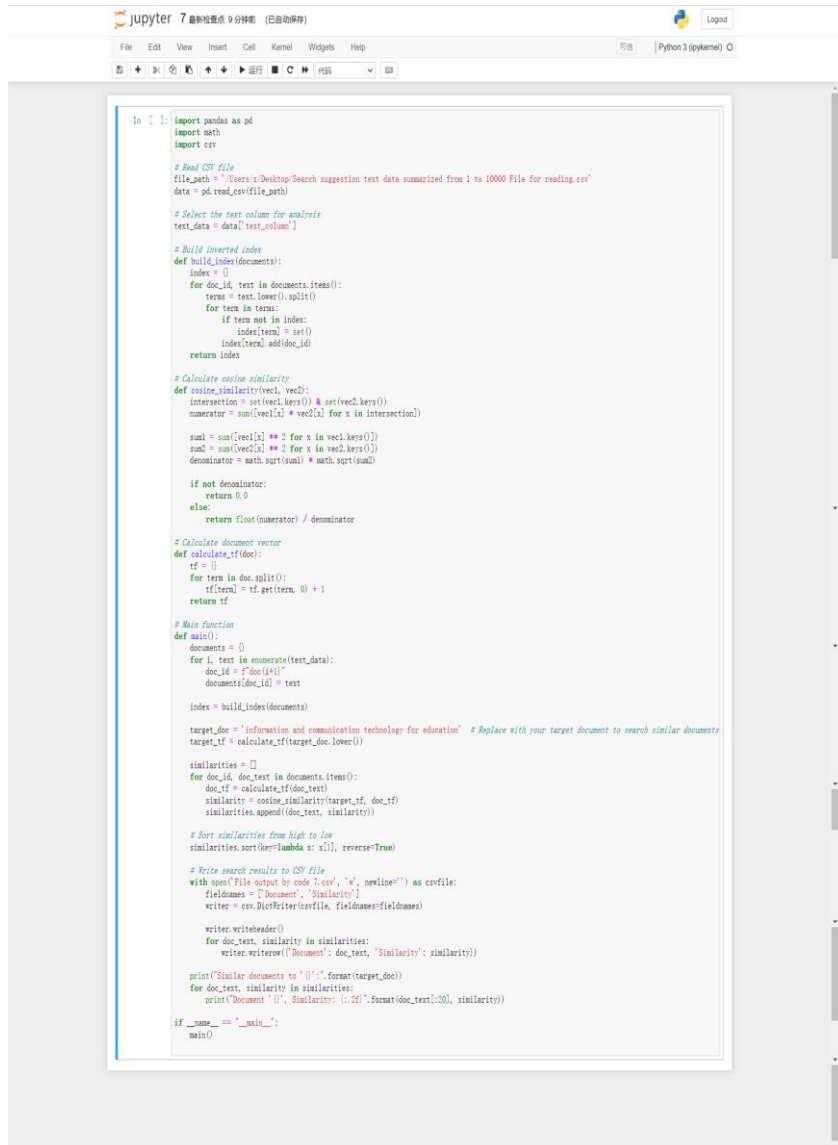
Analysis results: Use this code²⁴, the output result is {'positive': 0.02999141996374451, 'negative': 0.01191528343149841, 'neutral':

0.9580932966047571}. We can know that the results of people's sentiment analysis on education are neutral to positive. We can

learn about changes in people's sentiments
on education by collecting and analyzing data

at different time periods.

9.8 Code 7 used for data analysis



```
In [ ]: import pandas as pd
import math
import csv

# Read CSV file
file_path = "Users\z\Desktop\Search suggestion test data summarized from 1 to 10000 File for reading.csv"
data = pd.read_csv(file_path)

# Select the text column for analysis
text_data = data['text_column']

# Build inverted index
def build_inverted_index(documents):
    index = {}
    for doc_id, text in documents.items():
        terms = text.lower().split()
        for term in terms:
            if term not in index:
                index[term] = set()
            index[term].add(doc_id)
    return index

# Calculate cosine similarity
def cosine_similarity(vec1, vec2):
    intersection = set(vec1.keys()) & set(vec2.keys())
    numerator = sum([vec1[x] * vec2[x] for x in intersection])
    sum1 = sum([vec1[x]**2 for x in vec1.keys()])
    sum2 = sum([vec2[x]**2 for x in vec2.keys()])
    denominator = math.sqrt(sum1) * math.sqrt(sum2)

    if not denominator:
        return 0.0
    else:
        return float(numerator) / denominator

# Calculate document vector
def calculate_tf(doc):
    tf = {}
    for term in doc.split():
        tf[term] = tf.get(term, 0) + 1
    return tf

# Main function
def main():
    documents = {}
    for i, text in enumerate(text_data):
        doc_id = f'Doc{i+1}'
        documents[doc_id] = text

    index = build_inverted_index(documents)

    target_doc = 'information and communication technology for education' # Replace with your target document to search similar documents
    target_tf = calculate_tf(target_doc.lower())

    similarities = []
    for doc_id, doc_text in documents.items():
        doc_tf = calculate_tf(doc_text)
        similarity = cosine_similarity(target_tf, doc_tf)
        similarities.append((doc_id, similarity))

    # Sort similarities from high to low
    similarities.sort(key=lambda x: x[1], reverse=True)

    # Write search results to CSV file
    with open('File output by code 7.csv', 'w', newline='') as csvfile:
        fieldnames = ['Document', 'Similarity']
        writer = csv.DictWriter(csvfile, fieldnames=fieldnames)

        writer.writeheader()
        for doc_text, similarity in similarities:
            writer.writerow({'Document': doc_text, 'Similarity': similarity})

    print('Similar documents to "{}":'.format(target_doc))
    for doc_text, similarity in similarities:
        print('Document "{}", Similarity: {:.2f}'.format(doc_text[:20], similarity))

if __name__ == '__main__':
    main()
```

Figure 11. Code 7. The 1st picture

Analysis results: Use this code²⁵, the
code ranks more than 50,000 lines of data by
similarity to the text 'information and

communication technology for education'.
This is the top 10 data with the largest
Similarity value output by this code:

Table 7. Part of the data output by code 7

Document	Similarity
education communication and technology	0.816496581
education communication and technology notes	0.730296743
education information technology	0.707106781
education information technology	0.707106781
education information technology	0.707106781
education information technology	0.707106781
education communication & information	0.612372436
education information technology pdf	0.612372436
education information technology pdf	0.612372436
education information technology journal	0.612372436

Through this method, we can quickly find the collected search recommendation text data that is highly relevant to the topic you are interested in.



9.9 Code 8 used for data analysis

```

jupyter 8 数据科学入门 (数据科学)
File Edit View Insert Cell Kernel Widgets Help
Python 3 (ipykernel)

In [ ]:
import pandas as pd
import numpy as np
import torch
import torch.nn as nn
import torch.nn.functional as F
from torch.utils.data import DataLoader, Dataset
from sklearn.metrics import confusion_matrix

# Load CSV file
file_path = "Users\\Desktop\\dataset\\suspension test data\\suspension test data\\suspension test data\\suspension test data.csv"
data = pd.read_csv(file_path)

# Select the test column for analysis
test_data = data["test_result"]

# Convert test to bag-of-words vector representation using CountVec
vectorizer = CountVec()
X = vectorizer.fit_transform(test_data)
X_train = X.train()

# Custom dataset class
class CustomDataset(Dataset):
    def __init__(self, data):
        self.data = data

    def __len__(self):
        return len(self.data)

    def __getitem__(self, idx):
        return torch.tensor(self.data[idx], dtype=torch.float32) # Convert to tensor

# Define Generator model
class Generator(nn.Module):
    def __init__(self, input_dim, hidden_dim, output_dim):
        super(Generator, self).__init__()
        self.relu = nn.ReLU()
        self.fc1 = nn.Linear(input_dim, hidden_dim)
        self.fc2 = nn.Linear(hidden_dim, output_dim)

    def forward(self, x):
        return self.relu(self.fc1(x))

# Define Discriminator model
class Discriminator(nn.Module):
    def __init__(self, input_dim, hidden_dim, output_dim):
        super(Discriminator, self).__init__()
        self.relu = nn.ReLU()
        self.fc1 = nn.Linear(input_dim, hidden_dim)
        self.fc2 = nn.Linear(hidden_dim, output_dim)

    def forward(self, x):
        return self.relu(self.fc1(x))

# Define GAN model
class GAN(nn.Module):
    def __init__(self, input_dim, hidden_dim):
        super(GAN, self).__init__()
        self.generator = Generator(input_dim, hidden_dim, input_dim)
        self.discriminator = Discriminator(input_dim, hidden_dim, 1)

        self.optimizer_G = optim.Adam(self.generator.parameters())
        self.optimizer_D = optim.Adam(self.discriminator.parameters())
        self.reconstruction_loss = nn.MSELoss(reduction='sum')

    def forward(self, x):
        return self.generator(x)

    def train(self, data_loader, num_epochs=10, batch_size=10):
        for epoch in range(num_epochs):
            for i, data in enumerate(data_loader):
                # Generator training
                real_data = data
                batch_size = real_data.size(0) # Get current batch size
                fake_data = self.generator(torch.randn(batch_size, 1, input_dim))
                real_labels = torch.ones(batch_size, 1)
                fake_labels = torch.zeros(batch_size, 1)

                # Calculate discriminator loss
                disc_real_loss = nn.MSELoss(self.discriminator(real_data), real_labels)
                disc_fake_loss = nn.MSELoss(self.discriminator(fake_data.detach()), fake_labels)
                disc_loss = disc_real_loss + disc_fake_loss
                self.optimizer_D.zero_()

                # Calculate generator loss
                self.optimizer_G.zero_()
                fake_data = self.generator(torch.randn(batch_size, 1, input_dim)) # Re-generate fake data to match current batch size
                gen_loss = nn.MSELoss(self.discriminator(fake_data), real_labels)
                self.optimizer_G.zero_()

                # Total reconstruction error during training
                reconstruction_error = self.reconstruction_loss(real_data, self.generator(real_data))

            # Calculate reconstruction error on the test set
            test_tensor = torch.tensor(test_data, dtype=torch.float32)
            reconstructed_data = self.generator(test_tensor)
            reconstruction_errors = torch.mean(test_tensor - reconstructed_data)**2, dim=0

            # Update anomaly: the mean plus three times standard deviation is anomaly threshold based on reconstruction error
            threshold = reconstruction_errors.mean() + 3 * reconstruction_errors.std()
            anomalies = (reconstruction_errors > threshold).cpu()

            return anomalies

# Create data loader
dataset = CustomDataset(Dataset)
data_loader = DataLoader(dataset, batch_size=10, shuffle=True)

# Define and train the model
input_dim = 1, hidden_dim=10 # Determine input dimension based on bag-of-words vector dimension
hidden_dim = 10
generator_model = Generator(input_dim, hidden_dim)
discriminator_model = Discriminator(input_dim, hidden_dim, num_epochs=10)

# Test data
test_data = 1, data # Convert test data to list

# Perform anomaly detection
anomalies = generator_model.detect_anomaly(test_data)

# Create DataFrame
result_df = pd.DataFrame({'test': test_data, 'anomaly': anomalies})

# Save anomaly detection results to a CSV file
result_df.to_csv("File output to save 8.csv", index=False)

```

Figure 12. Code 8. The 1st picture

Analysis results: Use this code²⁶⁻²⁸, we screened 55,945 rows of data, and 818 rows

of data were identified as anomalies, 10 of which are as follows:

Table 8. Part of the data output by code 8

Text	Anomaly
how to teach the abc to preschoolers	TRUE
how long can you be absent from school	TRUE
what happens if your child is absent from school	TRUE
education achievement of rural population of uttar pradesh	TRUE
education achievement of rural population of uttar pradesh	TRUE
education action plan for the belt and road initiative	TRUE
education activists who is the youngest nobel prize laureate crossword	TRUE
who is the girl in the education connection commercial	TRUE
adam and eve how did adam die	TRUE
how old was adam when he left eden	TRUE

These TRUE outputs indicate that these sentences can be identified as anomalies in the text data. In this case, "abnormal" may mean that the sentences are different from other sentences, may contain some special keywords, topics, or grammatical structures, or they may not conform to the normal pattern of the dataset. In textual data, an anomaly often indicates something different or unusual from the rest of the text that may require special handling or attention.

These sentences are different from other parts of the text in that they introduce a different topic or issue, or their grammatical structure differs from other sentences.

The GANomaly²⁹ model may find that these sentences differ from other sentences in terms of vocabulary, grammar, or subject matter, and therefore mark them as exceptions. In practice, these anomalies can be further investigated to understand their causes and what they mean in the dataset.

We can also use the output results of two or more of the above eight codes at the same time to analyze and get the results. For example, use code 7 to find the search recommendation text related to 'information and communication technology for education', and then Find the popularity of search recommendation text related to 'information and communication technology for education' in the output file of code 2.

10. Data mining methods using CRISP-DM

This Part follows the CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining)³⁰ framework and outlines the data mining methods used in this study. CRISP-DM provides a structured approach to data mining projects³¹. including six phases: business understanding, data understanding, data preparation, modeling, evaluation, and deployment.

10.1 Business understanding

In this study, we invented and proposed a new algorithm to get the text of search suggestions on the web. We then use this new algorithm to analyze and mine education-related data to extract insights and inform educational research and practice.

10.2 Data understanding

The data understanding phase involves acquiring, exploring, and assessing the quality of the data set. This study uses a Python crawler to collect education-related search suggestion text from YouTube and evaluates the relevance and completeness of the dataset.

10.3 Data Preparation

Data preparation involves cleaning, transforming, and integrating datasets to make them suitable for analysis³². In this study, the search suggestion text was preprocessed to address issues such as noise, missing values, and data inconsistencies.

10.4 Modeling

In the modeling phase, the study applied various data mining techniques to extract patterns and insights from the prepared dataset³³. Algorithms such as machine learning including clustering, classification and sentiment analysis were used to analyze trends and themes related to education.

10.5 Evaluation

The objective of the evaluation stage is to verify the performance and validity of the data mining model³⁴. Using web scraping, data analysis, and mining methods, this study has made significant progress in predicting education-related trends and emotions. Through these methods, we found many valuable insights that further demonstrated the validity of the model.

10.6 Deployment

The deployment phase consists of assembling data mining results into actionable insights for stakeholders³⁵. The study presents findings and recommendations for data mining analysis, highlighting opportunities for improvement in educational research, policy development, and practice.

Results and discussion

This part presents the results and discussions of data mining analysis using the CRISP-DM method. These results provide valuable insights into education-related trends, topics, and sentiments extracted from search recommendation texts collected on YouTube.

We used in our code: TF-IDF analysis, BERT text embedding and similarity calculation, Naive Bayes text classification, LDA topic modeling, K-means text clustering and t-SNE visualization, Aspect-Based Sentiment Analysis, Technologies such as inverted index and cosine similarity calculation, GANomaly anomaly detection, etc. Regarding the 8 data analysis and mining codes, each code is generally independent of each other, but the results output by the code are used for comprehensive analysis.

1. Trends and patterns

The analysis reveals top trends and suggested text patterns for education-related searches, including top topics, keywords, and sentiment trends. The study identifies key themes and areas of concern for the education community.

2. Sentiment analysis

Sentiment analysis of search suggestion text reveals the emotional tone and attitudes expressed toward education-related topics³⁶. The study examined positive, negative and neutral sentiments to assess public perceptions and opinions. We concluded that people's emotions towards education are Neutral to positive.

3. Topic clustering

Subject clustering technology groups similar search suggestion texts based on semantic similarity³⁷. This study identifies

clusters of related topics and can use text from different clusters to find more text that you might be interested in, to find information that people might not have known before, and so on.

4. Outlier analysis

In addition, this study also performed outlier analysis to identify abnormal patterns or extreme values in the data set³⁸. Outlier analysis helps to understand abnormal or abnormal behaviors in the data set, providing a more accurate basis for subsequent analysis. These may be Data that people don't often pay attention to but have a certain degree of popularity. Analyzing it may yield unexpected results.

Conclusions

We conclude the main findings and implications of the data mining analysis of education-related search suggestion text. This part also outlines the possibilities for using the algorithms and methods of this study in future educational research and applications, as well as in other industries.

The results reveal educational trends, themes, and sentiments reflected in the suggested search texts. The analysis provides valuable insights for education researchers, policy makers and practitioners. In this paper, we invent and propose a new algorithm to obtain search recommendation text on the Internet. The technology can be

used to obtain search recommendation text in any field on the Internet. At present, it is the first method and algorithm in the world that can quickly and automatically obtain the recommended text of internet search. Moreover, this study is also the first international data analysis and mining of Internet search recommended texts.

Insights gained from data mining analytics have had a significant impact on education, including curriculum development, instructional practices, and educational policymaking. This study highlights further opportunities to improve educational outcomes using innovative data-driven approaches. Leveraging data creates more new possibilities.

Recommendations

For future research, we can gather and examine this data at various intervals to compare and observe how data analysis and mining outcomes evolve over time. This method allows us to study hotspots and shifts in people's perspectives. We can utilize the developed method and algorithm and suggest in the study to generate search suggestions on the Internet for research in various domains or subdivisions. It is utilized to gather data from various fields or segmentation directions for the purpose of data analysis and data mining. For instance, in several educational sectors like computer

education, mathematics education and English education, or in diverse businesses such as entertainment, education, medical care, politics, etc. This study achieved a world-first by developing a method for quickly and automatically collecting a new type of data - search recommendation text from the Internet. This successfully fosters the advancement of web crawlers' data analysis and mining technologies. Introducing additional options and potential to various aspects of life. Any to increase efficiency.

References

- 1 Higgins S, Xiao ZM, Katsipataki M. The impact of digital technology on learning: A summary for the education endowment foundation. Education endowment foundation; 2012.
- 2 Lin MH, Chen HC, Liu KS. A study of the effects of digital learning on learning motivation and learning outcome. Eurasia J Math Sci Tech Ed 2017;13:3553-64. doi:10.12973/eurasia.2017.00744a.
- 3 Picciano AG. The evolution of big data and learning analytics in American higher education. JALN 2012;16:9-20.
- 4 Romero C, Ventura S. Educational data mining: a review of the state of the art. IEEE 2010;40:601-18. doi:10.1109/TSMCC.2010.2053532.

- 5 Baker RS. Data mining for education. In International Encyclopedia of Education (3rd edition). Oxford, UK:2012. p.112-18.
- 6 Wang F, Hannafin MJ. Design-based research and technology-enhanced learning environments. ETR&D 2005;53:5-23.
- 7 Baker RS, Yacef K. The state of educational data mining in 2009: A review and future visions. IEDMS 2009;1:3-17.
- 8 Pardos ZA, Heffernan NT. KT-IDEM: Introducing item difficulty to the knowledge tracing model. In: Proceedings of the 19th International conference on user modeling, adaptation and personalization. Girona, Spain: 2011. P.105-19.
- 9 Brin S, Page L. The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. Computer science department. CA: Stanford University; 1998.
- 10 Heydon A, Najork M. Mercator: A Scalable, Extensible web crawler. In Proceedings of the 7th International world wide web conference (WWW7); 1998 April 14-18: Brisbane. Australia: 1999. p.287-301.
- 11 Fayyad U, Piatetsky-Shapiro G, Smyth P. From data mining to knowledge discovery in databases. AI magazine 1996;17:37. <https://doi.org/10.1609/aimag.v17i3.1230>
- 12 Chakrabarti S, Van den Berg M, Dom B. Focused crawling: A new approach to topic-specific web resource discovery. CN 2000.31:1623-40. doi:10.1016/S1389-1286(99)00052-3.
- 13 Han J, Kamber M, Fan M, Meng X. Data mining: concepts and techniques. China machine press. 2001.
- 14 Guyon I, Elisseeff A. An Introduction to variable and feature selection. JMLR 2003;3:1157-82.
- 15 Halevy A, Norvig P, Pereira F. The unreasonable effectiveness of data. IEEE. 2009;8:1541-672. doi:10.1109/MIS.2009.103
- 16 Dave K, Lawrence S, Pennock DM. Mining the peanut gallery: opinion extraction and semantic classification of product reviews. In: Proceedings of the 12th International world wide web conference (WWW 2003); 2003 May 20-24: Budapest, Hungary: 2003. p. 519-28.
- 17 Jones KS. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval. Journal of documentation 1972;28:11-21.
- 18 Vaswani A, Shazeer N, Parmar N, Uszkoreit J, Jones L, Gomez AN, et al. Attention is all you need. In: advances in neural information processing systems:



- 2001 November 21, Deli, India: pp. 5998-6008. 2001.
- 19 Bayes T. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances. *Philosophical Transactions* 1993; 30:165-178.
- 20 Blei DM, Ng AY, Jordan MI. Latent dirichlet allocation. *JMLR* 2003;3:993-1022.
- 21 Hoffman MD, Bach FR, Blei DM. Online learning for latent dirichlet allocation. In: *advances in neural Information processing systems*: 2001 November 21, Deli, India. pp. 856-64. 2010.
- 22 MacQueen JB. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*; 1965 January 7 : University of California. 1967. p. 281-297.
- 23 van der Maaten L, Hinton G. Visualizing data using t-SNE. *008;9:2579-605*.
- 24 Xue W, Li T. Aspect based sentiment analysis with gated convolutional networks. *arXiv preprint arXiv:1805.07043*.2018.
- 25 Williams HE, Zobel J, Bahle D. Fast phrase querying with combined indexes. *TOIS* 2004;22:573–94. <https://doi.org/10.1145/1028099.1028102>
- 26 Paszke A, Gross S, Massa F, Lerer A, Bradbury J, Chanan G, et al. PyTorch: An imperative style, high-performance deep learning library. *arXiv:1912.01703* 2019;10 :1-12.
- 27 Chandola V, Banerjee A, Kumar V. Anomaly detection: A survey. *ACM computing surveys (CSUR)*. 2009;4:1-58.
- 28 Goodfellow I, Pouget-Abadie J, Mirza M, Xu B, Warde-Farley D, Ozair S, et al. Generative adversarial nets. *arXiv:1912.01703* 2014;13 :1-12.
- 29 Schlegl T, Seeböck P, Waldstein SM, Schmidt-Erfurth U, Langs G. Unsupervised anomaly detection with generative adversarial networks to guide marker discovery. In: *International conference on information processing in medical imaging*; 2023 June 18-23: San Carlos De Bariloche: 2023. p. 146-157.
- 30 Hand DJ, Mannila H, Smyth P. *Principles of data mining*. MIT Press. 2001.
- 31 Witten IH, Frank E. *CRISP-DM: towards a standard process model for data mining*. In: *Proceedings of the 4th international conference on the practical applications of knowledge discovery and data mining*; 2000 April 11-13: Manchester: 2000. p. 29-40.
- 32 Batini C, Cappiello C, Francalanci C, Maurino A. Methodologies for data quality assessment and improvement. *ACM computing surveys (CSUR)* 2009;41:1-52.



- 33 Bishop CM. Pattern recognition and machine learning. Springer Link. Springer; 2006.
- 34 Fawcett T. An introduction to ROC analysis. Pattern recognition letters 2006;27:861-74.
- 35 Chen M, Mao S, Liu Y. Big data: A survey. IEEE access 2014;2:652-87.
- 36 Pang B, Lee L. Opinion mining and sentiment analysis. Foundations and trends® in information retrieval 2008;2:1-135.
- 37 Steinbach M, Karypis G, Kumar V. A comparison of document clustering techniques. In: Computer Science & Engineering (CS&E) Technical Reports: 2000 May 23: University of Minnesota: 2000. p. 1-20.
- 38 Knorr EM, Ng RT. Algorithms for mining distance-based outliers in large datasets. In: Proceedings of the 24th international conference on very large data bases; 1998 August 24: New York: 1998. p. 392-403.

การเจริญเติบโตและผลตอบแทนการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศความหนาแน่นสูงในกระชัง บ่อดินด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Growth Performance and Economic Return of High Density Floating Net Cage-Cultured of Sex-Reversed Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Earthen Pond Using Internet of Things

ชลิดา ช่างแก้ว*, บัญญัติ ศิริธนาวงศ์, อัจฉรีย์ ภูมิวรรณ, รุ่งกานต์ กล้าหาญ, ทิพย์สุตา ชงัดเวช และจุฑามาศ ทะแกลัวพันธ์

Chalida Changkaew*, Bunyat siritanavong, Archaree Pummawan, Rungkan Klahan, Thipsuda Changadvach and
Chutamas Thaklaewpun

สาขาวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

Department of Aquaculture, Faculty of Agriculture Technology, Phetchaburi Rajabhat University

*Corresponding author E-mail; Chalida.cha@mail.pbru.ac.th

Received: 24 April 2024 /Revised: 30 May 2024 /Accepted: 19 June 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและผลตอบแทนของการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศในกระชังบ่อดินด้วยความหนาแน่นสูง โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง(IoT)วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) จัดเป็น 3 ชุดการทดลอง คือ ความหนาแน่นของการเลี้ยง 30 ตัว/ม³/กระชัง (T1), 50ตัว/ม³/กระชัง (T2) และ 70 ตัว/ม³/กระชัง(T3) การดำเนินงานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1. การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ น้ำ และกล้องวงจรปิด พร้อมระบบส่งการทำงานเครื่องเติมอากาศผ่านสมาร์ตโฟน ด้วยระบบ IoT 2. เลี้ยงปลานิลแปลงเพศขนาดน้ำหนักเฉลี่ย 40.83 กรัม/ตัว ที่ความหนาแน่นต่างกัน 3 ระดับ ในกระชังบ่อดินเป็นเวลา 5 เดือน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปลาที่เลี้ยงความหนาแน่น 30, 50 และ 70 ตัว/ม³ มีน้ำหนักเฉลี่ย 442.38, 431.36 และ 438.92 กรัม/ตัว ตามลำดับ การเจริญเติบโตจำเพาะมีค่า 1.59%, 1.58% และ 1.57% ต่อวัน มีอัตราการรอดตายเฉลี่ย 88.33%, 84.67% และ 84.33% ตามลำดับ การวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 ด้าน พบว่าให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p \geq 0.05$ สำหรับอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) มีค่า 1.53, 1.63 และ 1.64 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p < 0.05$) ระหว่างการเลี้ยงสามารถรายงานผลปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ น้ำ การส่งงานเครื่องเติมอากาศ และการแสดงภาพตามเวลาจริง ผ่านสมาร์ตโฟน ด้วยระบบ IoT ตลอดระยะการทดลอง ด้านต้นทุนเฉลี่ยของการเลี้ยงคิดเป็น 60.21, 59.34 และ 57.06 บาท/กิโลกรัม และมีอัตราผลตอบแทนคิดเป็น -0.33%, 1.22% และ 5.16% ตามลำดับ การวิจัยแสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลานิลในกระชังบ่อดินร่วมกับการใช้ระบบ IoT ให้เลี้ยงปลานิลได้ในความหนาแน่นมากขึ้น มีต้นทุนเฉลี่ยต่ำลง และได้ผลตอบแทนการเลี้ยงสูง

คำสำคัญ: การเลี้ยงปลานิล ผลตอบแทน ความหนาแน่น อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

The purpose of this research was to study the growth performance and economic return of sex-reversed male Nile tilapia in earthen pond cage culture with high density through the Internet of Things Technology (IoT). The experiments were conducted with a completely randomized design, carried out under three treatments each with three replications. The stocking densities were 30 fish/m³/cage (T1), 50 fish/m³/cage (T2), and 70 fish/m³/cage (T3). The research methodology consisted of two stages. In the first stage, instruments for measuring dissolved oxygen, water temperature, and closed-circuit television cameras were installed, and the aerator was controlled through a smartphone using Internet of Things Technology (IoT). The second stage involved culturing Nile tilapia with an initial mean weight at 40.83 g/fish in each treatment for 5 months. The findings revealed that tilapia in T1, T2 and T3 exhibited mean weight growth rates of 442.38, 431.36, and 438.92 g/fish, respectively. The specific growth rate was found to be 1.59%, 1.58%, and 1.57% per day. The survival rate was 88.33%, 84.67%, and 84.33% respectively. The result showed no statistically significant difference at 0.05 level ($p \geq 0.05$). However, the feed conversion ratios were 1.53, 1.63, and 1.64, respectively with a statistically significant difference at the 0.05 level ($p < 0.05$). Throughout the fish culturing process, real-time data on dissolved oxygen levels, water temperature, aerator control, and pond images were accessible via smartphone using IoT. Finally, the cost of culturing sex-reversed male Nile tilapia was found to be 60.21, 59.34, and 57.06 baht/kg with returns rates of -0.33%, 1.22% and 5.16% respectively. In conclusion, cage culturing of tilapia using IoT in earthen pond facilitates high-density fish culture, resulting in better yields and economic returns.

Keywords: Tilapia aquaculture, Return, Density, Internet of Things

บทนำ

ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในปัจจุบัน เพราะเลี้ยงง่าย โตเร็ว และได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ เนื่องจากมีรสชาติดี เนื้อมีสีขาว สามารถปรุงอาหารได้หลากหลาย จึงเป็นที่ต้องการของตลาดเพิ่มมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทย มีผลผลิตปลานิล

ประมาณ 185,902 ตัน และมีพื้นที่เพาะเลี้ยง 422,393 ไร่ การเลี้ยงปลานิลสามารถเลี้ยงได้หลายรูปแบบ โดยการเลี้ยงปลานิลในบ่อดินมีข้อดีคือจะควบคุมสภาวะแวดล้อมได้ สร้างอาหารธรรมชาติได้ ลดปัญหาการลักขโมย แต่มีข้อเสียคือปลาเมื่อกินโคลน จับปลาได้ยาก ปล่อยปลาได้จำนวนน้อย และมีผลผลิตต่ำ ส่วนการเลี้ยงปลานิลกระชังในแหล่งน้ำไหลมีความนิยมเลี้ยงเช่นกัน

เนื่องจากใช้เงินลงทุนน้อย เลี้ยงปลาได้หนาแน่น สะดวกต่อการจัดการ และการเคลื่อนย้าย เนื้อปลาไม่เหม็นกลิ่นโคลนแต่มีข้อเสียเช่นกันได้แก่ เสียต่อการลักขโมย เสียจากภัยธรรมชาติ และการติดโรค สำหรับการเลี้ยงปลาในกระชังบ่อดินมีข้อดีในความสะดวกต่อการจับปลาและการจัดการ เนื้อปลาไม่มีกลิ่นสาบโคลน ลดปัญหาการลักขโมยและสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมได้²⁻³ ดังนั้นการเลี้ยงปลาในกระชังบ่อดินจึงเป็นการรวมข้อดีของการเลี้ยงบ่อดินและกระชังไว้ด้วยกัน

ปัจจุบันการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things, IoT) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมากขึ้น เช่น การใช้อุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพน้ำ และรายงานผลตามเวลาจริง รวมทั้งยังสั่งงานให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ทำงานได้ตามต้องการผ่านสมาร์ทโฟน⁴ ดังนั้นหากได้นำระบบดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในบ่อปลานิลเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลานิลให้มีคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาได้ตลอดเวลาจะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิลได้มากขึ้น การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการเจริญเติบโตและผลตอบแทนของการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศในกระชังบ่อดินที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันโดยการนำระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาช่วยในการควบคุมปริมาณออกซิเจนในบ่อให้เพียงพอซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการเลี้ยงปลานิลในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเรื่องการเจริญเติบโตและผลตอบแทนการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศ

ความหนาแน่นสูงในกระชังบ่อดินด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง วางแผนการวิจัยแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design) ประกอบด้วย 3 ชุดการทดลอง ตามระดับความหนาแน่นในการเลี้ยงปลานิล ที่อัตรา 30, 50, 70 ตัว/ม³ ในกระชังอวนโพลีเอทิลีนขนาด ๓ ๖ ๒.๕ เซนติเมตร ขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2.0 เมตร ลึก 2.0 เมตร ทางกระชังให้มีส่วนที่อยู่ในน้ำลึก 1 เมตร ดังนั้นจะมีปริมาตรน้ำต่อกระชัง เท่ากับ 3 ม³ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดำเนินการวิจัย 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. **ติดตั้งระบบและอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในบ่อดินทดลอง** (Figure 1, 2) ดำเนินการโดย

- 1.1 การเขียนคำสั่งการรายงานผล และควบคุมเครื่องตีน้ำไปพวยผ่านสมาร์ทโฟน โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ร่วมกับแอปพลิเคชัน Blynk ทำการอัปโหลดลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP 8266 ทำการเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำรุ่น PR-3001-DO-N01-20 เข้ากับบอร์ดเพื่อให้อบอร์ดประมวลผลและรายงานค่าออกซิเจนละลายน้ำอุณหภูมิผ่านหน้าจอแสดงผล และสมาร์ทโฟน ทำการเชื่อมต่อบอร์ด รีเลย์ และเครื่องตีน้ำแบบไปพวยเพื่อสามารถควบคุมการปิดเปิดเครื่องตีน้ำผ่านสมาร์ทโฟน

- 1.2 ติดตั้งกล่องวงจรปัดรูน CH-H8c (Figure 3) จากนั้นทำการติดตั้งแอปพลิเคชัน EZVIZ สัญญาณภาพจะส่งผ่านสมาร์ทโฟน การทดสอบการทำงานของระบบดัดแปลงจากกิตติศักดิ์ โอมาก และธนโชติ พรบุญญานนท์⁵ โดยทดสอบการรายงานค่าออกซิเจนละลายน้ำในน้ำอุณหภูมิของน้ำผ่านจอแสดงผล และสมาร์ทโฟน

การควบคุมการปิดเปิดเครื่องตีน้ำแบบอัตโนมัติผ่าน
 สมาร์ทโฟน และการรายงานภาพกระชังเลี้ยงปลา
 นิลผ่านสมาร์ทโฟน ทำการทดสอบซ้ำ 5 ครั้ง
 จากนั้นนำผลมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การทำงาน

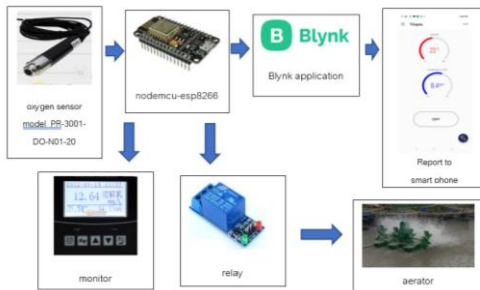


Figure1. Processing Internet of Things in the experiment



Figure 2. Box for control equipment and reporting parameters to smartphone



Figure 3. The camera sends pictures to the smartphone

2. การศึกษาการเจริญเติบโตและผลตอบแทน การเลี้ยงปลานิลแปลงเพศ



Figure 4. Experimental cages culture of sex-reversed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in earthen pond

ปลานิลที่ใช้ในการทดลองเป็นปลานิลแปลงเพศจากฟาร์มเพาะพันธุ์ปลาเอกชน โดยลำเลียงมาพักจนแข็งแรงแล้วนำปลามาเลี้ยงในกระชังทดลองบ่อดิน การเตรียมกระชังในบ่อดินใช้กระชังทำด้วยอวนโพลีเอทิลีนขนาดตา 2.5 เซนติเมตรกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2.0 เมตร ลึก 2.0 เมตร จำนวน 9 กระชัง ยึดกับเสาไม้ไผ่ที่ปักในบ่อ ปิดด้วยตาข่ายกันนก ด้านบนของพื้นที่กระชัง กางกระชังในบ่อดินพื้นที่ผิวน้ำ 1,600 ตารางเมตร ติดตั้งระบบให้อากาศควบคุมด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ทำการเลี้ยงด้วยอาหารเม็ดลอยน้ำโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยให้กินจนปลาหยุดกินอาหาร วันละ 2 ครั้ง ในเวลา 8.00 น. และ 17.00 น. ทุกวัน ทำการถ่ายน้ำในบ่อดิน 50 เปอร์เซ็นต์ทุก 2 อาทิตย์

วิธีการเก็บข้อมูล สุ่มชั่งน้ำหนักเป็นกรัมและวัดความยาวเป็นเซนติเมตร ก่อนเริ่มการทดลองจำนวน 50 ตัว หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทุกเดือนเพื่อหาค่าน้ำหนักเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย น้ำหนัก



เพิ่มต่อวัน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ⁶⁻⁷ ข้อมูลที่รวบรวมได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองโดยวิธี DMRT (Duncan's New MultipleRange Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ศึกษาข้อมูลต้นทุนการผลิตประกอบด้วย ค่าลูกพันธุ์ปลา ค่าอาหาร ค่ากระชัง ค่าไฟฟ้า และเชื้อเพลิง เมื่อสิ้นสุดการวิจัยทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนการเลี้ยงปลานิล⁷⁻⁸

ในระหว่างการเลี้ยงทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำทุก 1 เดือน โดยตรวจวัดคุณภาพน้ำในระหว่างที่ทำการสูมวัดการเจริญเติบโตของปลา ได้แก่ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และปริมาณแอมโมเนียรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)⁹⁻¹⁰ โดยใช้เครื่องมือ ดังนี้ ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และอุณหภูมิโดย Oxygen sensor model PR-3001-DO-NO1-20 วัดความเป็นกรดเป็นด่าง

(pH) โดยเครื่อง YSI Professional Plus และวัดค่าแอมโมเนียรวมโดยเครื่องวัดแอมโมเนีย HI97700C

สถานที่ทำการวิจัยใช้บ่อดินพื้นที่ 1,600 ตารางเมตร อยู่ภายในศูนย์เรียนรู้การเกษตรตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง คณะเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี โดยสภาพของบ่อสามารถถ่ายเทน้ำได้สะดวก

ผลการวิจัย

1. การทำงานของระบบอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งในบ่อทดลอง

ทดสอบการทำงานของระบบอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และการแสดงผล (Table 1) โดยการทดลองใช้งานระบบ และให้รายงานผลปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ อุณหภูมิ น้ำ การควบคุมการปิดเปิดเครื่องตีน้ำแบบใบพัดในบ่อเลี้ยงปลานิล ที่ทำการทดลอง และการแสดงภาพเคลื่อนไหวของพื้นที่บริเวณกระชังเลี้ยงปลาตามเวลาจริงผ่านสมาร์ทโฟน

Table 1. Operation testing of the system on real-time reporting of dissolved oxygen levels, water temperature, images of pond and aerator control through smartphone using Internet of Things

Time (number)	Function of system controlled through smartphone			
	Dissolved oxygen levels	Temperature	Aerator control	Real-time images
1	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓
Operation rate (%)	100	100	100	100

* Operation rate (%) = $\frac{\text{The number of times the system has functioned.} \times 100}{\text{The number of times the system has been tested.}}$

โดยการทดสอบการใช้งานระบบจำนวน 5 ครั้งพบว่า ระบบสามารถทำการรายงานผล และสั่งเปิดเครื่องตีน้ำได้ปกติครบ 5 ครั้ง คิดเป็นความสามารถทำงานได้ 100 เปอร์เซ็นต์

2. การศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิลแปลงเพศ

ปลานิลแปลงเพศน้ำหนักเริ่มต้น 40.83 กรัม เมื่อเลี้ยงได้ 1 เดือน ปลาที่มีน้ำหนักระหว่าง 122.86-126.37 กรัม (Table 2) ในเดือนที่ 2, 3

และ 4 อัตราการเติบโตยังคงไม่แตกต่างกัน ในเดือนที่ 5 ปลาที่เลี้ยงความหนาแน่น 50 และ 70 ตัว/ม³ มีอัตราการเจริญเติบโตเชิงน้ำหนัก 431.36 และ 438.92 กรัม ลดลงกว่าปลาที่เลี้ยงความหนาแน่น 30 ตัว/ม³ ที่มีอัตราการเจริญเติบโตเชิงน้ำหนัก 442.38 กรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

Table 2. Growth rate of tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in cage earthen pond 5 months

Time (Months)	Weight (Grams)		
	30 (fish/m ³)	50 (fish/m ³)	70 (fish/m ³)
0 ^{ns}	40.83 ±2.31	40.83 ±2.31	40.83 ±2.31
1 ^{ns}	122.86±2.75	123.63±7.99	126.37±26.10
2 ^{ns}	165.58±5.68	164.83±28.87	162.80±30.79
3 ^{ns}	248.92±33.42	248.02±40.07	219.25±24.82
4 ^{ns}	353.13±22.49	386.70±36.72	352.75±27.80
5 ^{ns}	442.38±21.03	431.36±41.19	438.92±32.84

*NS, no significant differences ($p \geq 0.05$) in the same row

ปลานิลที่เลี้ยงในความหนาแน่น 30, 50 และ 70 ตัว/ม³ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวันใกล้เคียงกัน คือ 2.68±0.14, 2.60±0.27 และ 2.65±0.22 กรัม/วัน ตามลำดับ (Table 3) คิดเป็นค่าการเจริญเติบโตจำเพาะของปลา เท่ากับ 1.59±0.03, 1.57±0.06 และ 1.58±0.05 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ สำหรับอัตราการรอดตาย พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยความหนาแน่น 30 ตัว/ม³ มีอัตราการรอดตายสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ คือ 88.33±2.89% , 84.67±1.75% และ 84.33±2.56% ตาม ลำดับ

จากการวิเคราะห์พบว่า การเลี้ยงปลานิลทั้ง 3 ระดับความหนาแน่น ร่วมกับการใช้ระบบ IoT เพื่อติดตามคุณภาพน้ำ และการเติมอากาศ ส่งผลให้ค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นต่อวัน ค่าการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตาย ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p \geq 0.05$ แต่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio: FCR) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าปลาที่เลี้ยงความหนาแน่น 30 ตัว/ม³ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุดคือ 1.53±0.03 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ



ทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปลานิลที่เลี้ยงความหนาแน่น 50 และ 70 ตัว/ม³ ที่ 1.63 ± 0.02 และ

1.64 ± 0.05 ตามลำดับ

Table 3. Growth performance and feed utilization of tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in cage earthen pond with different stocking density for 5 months

Growth parameters	Stocking density (fish/m ³)		
	30	50	70
Initial length (cm)	11.71 ± 0.49	11.71 ± 0.49	11.71 ± 0.49
Initial weight (g)	40.83 ± 2.31	40.83 ± 2.31	40.83 ± 2.31
Final length (cm) ^{ns}	26.47 ± 0.42	27.01 ± 1.96	26.63 ± 0.40
Final weight (g) ^{ns}	442.38 ± 21.03	431.36 ± 41.19	438.92 ± 32.84
Average daily growth (g/day) ^{ns}	2.68 ± 0.14	2.60 ± 0.27	2.65 ± 0.22
Specific growth rate (%/day) ^{ns}	1.59 ± 0.03	1.57 ± 0.06	1.58 ± 0.05
Survival rate (%) ^{ns}	88.33 ± 2.89	84.67 ± 1.75	84.33 ± 2.56
Feed conversion ratio (FCR)	1.53 ± 0.03^a	1.63 ± 0.02^b	1.64 ± 0.05^b

*Mean in the same row with different superscripts are significant differences ($p < 0.05$).

*NS, no significant differences ($p \geq 0.05$) in the same row.

3 การศึกษาผลตอบแทนการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศ

ต้นทุนของการเลี้ยงปลาประกอบด้วย (Table 4) ค่าลูกพันธุ์ปลา (ตัวละ 4 บาท) ค่ากระชัง (57.29 บาท/ชุดการทดลอง) ค่าพลังงาน (ไฟฟ้า และน้ำมันเครื่องสูบน้ำ 258.05 บาท) และค่าอาหารปลา คิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อชุดการทดลองที่ความหนาแน่น 30, 50 และ 70 ตัว/ม³ เท่ากับ $2,115.19 \pm 22.68$, $3,242.43 \pm 183.28$ และ $4,437.19 \pm 400.58$ บาท ได้ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 35.14 ± 0.90 ,

54.78 ± 5.27 และ 77.81 ± 7.66 กิโลกรัม/กระชัง คิดเป็นต้นทุนต่อกิโลกรัมเท่ากับ 60.21 ± 1.13 , 59.34 ± 2.32 และ 57.06 ± 0.47 บาท/กิโลกรัม มีผลตอบแทนการเลี้ยงเท่ากับ -6.90 ± 38.81 , 44.42 ± 132.96 และ 231.38 ± 60.46 บาท/กระชัง และหากเทียบอัตราผลตอบแทนเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้ -0.33 ± 1.85 , 1.22 ± 3.98 และ 5.16 ± 0.88 เปอร์เซ็นต์/กระชัง ตามลำดับ

**Table 4.** Economic returns of tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture in cage earthen pond for 5 months

Items/cage	Stocking density (fish/m ³)		
	30	50	70
1. Cost (Thai; Baht)			
Fish fingerlings ¹	360	600	840
Fish feed ²	1,347.35±22.68	2,234.59 ± 183.28	3,189.35 ±400.58
Depreciation cost ³	57.29	57.29	57.29
Electricity and fuel cost	258.05	258.05	258.05
Internet of things cost ⁴	92.50	92.50	92.50
Total cost	2,115.19±22.68	3,242.43±183.28	4,437.19±400.58
2. Fish production (Kg/cage)	35.14±0.90	54.78±5.27	77.81±7.66
Production cost (Baht/Kg)	60.21±1.13	59.34±2.32	57.06±0.47
3. Income (Thai ; Baht)			
Total income from selling fish ⁵	2,108.28±54.10	3,286.85±316.01	4,668.57±459.54
Profit/cage ⁶	-6.90±38.81	44.42±132.96	231.38±60.46
Profit/Kg ⁷	-0.21±1.13	2.36±2.16	4.14±0.37
4. Return on investment (%/cage)	-0.33±1.85	1.22±3.98	5.16±0.88

Note: 1. Fish's cost 4 Baht for one fish

2. Feed's cost for 27 Baht each kilogram

3. Cage's depreciation from cage cost one cage 550 baht /48 months

4. Internet of things cost on one cage 1,110 baht /60 months

5. Market's selling price 60 Baht (Phetchaburi, Thailand)

6. Total income subtract with total cost on one cage

7. Total profit divide by total fish weight

4 คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำในบ่อ ระหว่างดำเนินการทดลอง (Table 5) ในวันที่ทำการสุ่มซึ่งวัดน้ำหน้าปลา พบว่าตลอดระยะเวลาการทดลองน้ำมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 6.9-7.6 อุณหภูมิ

อยู่ระหว่าง 28.5-29.6 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอยู่ระหว่าง 5.1-5.8 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณแอมโมเนียรวมอยู่ระหว่าง 0.03-0.09 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ

Table 5. Some major water quality parameters in earthen pond

Parameter	Mean $\pm$ SD	Range
pH	7.27 $\pm$ 0.26	6.9 - 7.6
Temperature ($^{\circ}$ C)	29.17 $\pm$ 0.42	28.5 - 29.6
Dissolved oxygen (mg/L)	5.52 $\pm$ 0.30	5.1 - 5.8
Total ammonia nitrogen, NH ₃ (mg/L)	0.07 $\pm$ 0.02	0.03 - 0.09

อภิปรายผล

การทำงานของระบบอินเทอร์เน็ทของสรรพสิ่ง ในบ่อทดลอง

ในการทดลองเลี้ยงปลานิลแปลงเพศมีการใช้ระบบอินเทอร์เน็ทของสรรพสิ่ง รายงานระดับออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิในน้ำ การควบคุมเครื่องเติมอากาศแบบใบพาย และแสดงภาพบริเวณบ่อปลานิลทดลองได้ตามเวลาจริงผ่านสมาร์ทโฟน ทำให้จัดการเลี้ยงปลาได้สะดวกขึ้น สามารถติดตามการเลี้ยงปลาได้แม้ไม่ได้อยู่ในพื้นที่ทดลอง จึงนับว่ามีประโยชน์มากในการในการทดลองสอดคล้องกับ ภัครพล อาจอาษา และคณะ¹¹ ที่ได้นำระบบอินเทอร์เน็ทของสรรพสิ่งเข้ามาใช้ในการเลี้ยงปลานิล โดยการพัฒนาเทคโนโลยีอัจฉริยะสำหรับฟาร์มที่เพาะเลี้ยงปลานิลในกระชัง เชื้อนลำปะทาว จังหวัดชัยภูมิ โดยใช้เซนเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุปกรณ์เซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิของน้ำ อุปกรณ์เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) ควบคุมเครื่องเติมอากาศและเครื่องให้อาหารปลา พบว่าระบบสามารถทำงานได้ดีและเกษตรกรมีความพึงพอใจในระดับมาก นอกจากนี้ วราร์ เทพาหุดี¹² ยังรายงานการพัฒนากระบวนการเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน โดยการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ทของสรรพสิ่งมาใช้ในการ

ตรวจวัดคุณภาพน้ำ และรายงานผลผ่านสมาร์ทโฟนได้ตลอดเวลา สามารถสั่งอุปกรณ์ทำงานผ่านสมาร์ทโฟน และมีการแจ้งเตือนเมื่อมีสิ่งผิดปกติระหว่างการเลี้ยง ซึ่งสามารถช่วยให้การเลี้ยงปลานิลมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่นเดียวกันกับการวิจัยนี้ซึ่งเห็นได้ว่าปลาที่เลี้ยงความหนาแน่น 70 ตัว/ม³ มีอัตราการตอบสนองที่สูงกว่าปลาที่เลี้ยงความหนาแน่น 30 และ 50 ตัว/ม³ ซึ่งปัจจัยสำคัญประการหนึ่งคือการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ทของสรรพสิ่งมาช่วยในการเลี้ยงปลานิลในการรายงานคุณภาพน้ำและการส่งเครื่องต้นน้ำให้ทำการเติมอากาศได้ตามเวลาจริงทำให้ประที่เลี้ยงความหนาแน่น 70 ตัว/ม³ ยังคงมีการเจริญเติบโตได้เป็นปกติ

การศึกษาการเจริญเติบโตการเลี้ยงปลานิล แปลงเพศ

มีรายงานการเลี้ยงปลานิลในบ่อดินที่ไม่มีการเติมอากาศ โดยปล่อยปลาความยาว 3-5 เซนติเมตร อัตราปล่อย 3 ตัว/ตารางเมตร ให้อาหารสมทบโปรตีน 20 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยคอกใช้เวลาเลี้ยง 6 เดือน จะให้ผลผลิตประมาณ 650-1,000 กิโลกรัม/ไร่ คิดเป็น 0.40- 0.62 กิโลกรัม/ตารางเมตร¹³ ซึ่งแตกต่างจากการทดลองนี้ที่มีผลผลิตเฉลี่ย 35.14-77.81 กิโลกรัมต่อกระชังขนาด 3 ม³ หรือคิดเป็น 11.71-25.93 กิโลกรัม/ม³

ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำหนักลานิลเริ่มต้นปล่อยมีขนาดเล็กกว่า ประกอบกับไม่มีการเติมอากาศในบ่อ ทำให้ปล่อยปลาหนาแน่นมากไม่ได้ ซึ่งสอดคล้องกับการเลี้ยงปลานิลเพศผู้ในบ่อดินโดยไม่มีการให้อากาศ ในประเทศจีน³ พบว่าปลานิลที่ปล่อยในอัตรา 6 และ 12 ตัว/ตารางเมตร ให้อาหารสำเร็จรูปโปรตีน 34 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงพบว่า ชุดการทดลองที่ปล่อยปลา 6 ตัว/ตารางเมตร ให้ผลผลิต 0.84 กิโลกรัม/ตารางเมตร ส่วนชุดการทดลองที่ปล่อยปลา 12 ตัว/ตารางเมตร ให้ผลผลิต 1.1 กิโลกรัม/ตารางเมตร จะเห็นว่าปลาที่ปล่อยในอัตรา 6 ตัว/ตารางเมตร ให้ผลผลิตของน้ำหนักลาต่อตารางเมตรใกล้เคียงกับ การปล่อยเลี้ยงที่ 12 ตัว/ตารางเมตร ซึ่งเมื่อเทียบผลผลิตเป็นน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวปลาจะเป็น 14 และ 9.1 กรัม/ตัวตามลำดับ มีการศึกษาการเลี้ยงปลานิลเพศผู้ในบ่อดินที่มีการเติมอากาศ น้ำหนักปล่อยเริ่มต้น 98–112 กรัม ปล่อยในอัตรา 3 และ 11 ตัว/ตารางเมตร หลังจากเลี้ยงเป็นเวลา 74 วัน พบว่าปลาที่ปล่อย 3 ตัว/ตารางเมตร มีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 192 กรัม มีผลผลิต 0.63 กิโลกรัม/ตารางเมตร ซึ่งต่ำกว่าชุดที่ปล่อยปลา 11 ตัว/ตารางเมตรที่มีอัตราการเติบโต 214 กรัม และมีผลผลิต 2.1 กิโลกรัม/ตารางเมตร³ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการให้อากาศในบ่อจะให้ผลผลิตที่สูงขึ้นสอดคล้องกับการทดลองนี้

เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงปลานิลในบ่อที่มีระบบบำบัดน้ำเสีย จะเลี้ยงปลานิลได้ผลผลิต 30 กิโลกรัม/ม³ และมีอัตราการรอดสูงกว่า 90%⁴ ซึ่งจากการวิจัยนี้ได้ผลผลิตปลา 11.71-25.93 กิโลกรัม/ม³ และมีอัตราการรอดตาย 84.33-88.33% ซึ่งมีผลผลิต

และอัตราการรอดตายที่ต่ำกว่า ปัจจัยที่ทำให้ผลผลิตต่างกันขึ้นกับระบบของน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลา การวิจัยนี้ใช้การถ่ายน้ำในระหว่างการเลี้ยง แต่การเลี้ยงในบ่อที่มีระบบบำบัดน้ำเสีย มีการไหลเวียนน้ำตลอดเวลาทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า

เมื่อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงปลาทบิมในกระชังโดยสมศักดิ์ ระยัน และคณะ¹⁴ ได้ทดลองเลี้ยงปลาทบิมในกระชังบริเวณอ่างเก็บน้ำเขื่อนกระเสียว จังหวัดสุพรรณบุรี อัตราความหนาแน่น 27, 30 และ 35 ตัว/ม³ เริ่มต้นปล่อยน้ำหนักเฉลี่ย 120.43 กรัม เลี้ยงเป็นเวลา 98 วัน พบว่าความหนาแน่นที่เหมาะสมเท่ากับ 27 ตัว/ม³ ปลาทบิมมีน้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย 876.51 กรัม มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 7.70 กรัม/วัน และอัตราการรอดเฉลี่ย 91.36% เมื่อเทียบกับงานวิจัยนี้ อัตราการปล่อยที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 70 ตัว/ม³ ซึ่งมีอัตราการปล่อยที่หนาแน่นมากกว่า ในด้านการเจริญเติบโต น้ำหนักเริ่มต้นของปลาทบิมที่สมศักดิ์ ระยัน และคณะ¹⁴ ทดลองมีน้ำหนักเริ่มต้นใกล้เคียงกับการทดลองนี้ เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 1 เดือนที่มีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 122–126 กรัม ในขณะที่ สมศักดิ์ ระยัน และคณะ¹⁴ เลี้ยงเป็นเวลา 98 วัน มีอัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย 876.51 กรัม หากเทียบกับการเลี้ยง 4 เดือน จากน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันในเดือนที่ 1 จากการทดลองนี้จะมีน้ำหนักปลา 252–386 กรัม ซึ่งมีน้ำหนักน้อยกว่าการวิจัยของสมศักดิ์ ระยัน และคณะ¹⁴ จากการทดลองนี้น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน 2.60-2.68 กรัม/วัน ซึ่งน้อยกว่าการทดลองของสมศักดิ์ ระยัน และคณะ¹⁴ เช่นกัน ที่มีน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย 7.70 กรัม/วัน กรมประมงเผยแพร่ข้อมูลการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศในกระชังขนาด 50 ม³ ที่มีน้ำ

ถ่ายเทได้สะดวก ใช้ปลูกปลาน้ำหนัก 30-50 กรัมเลี้ยงในอัตราความหนาแน่น 30 ตัว/ม³ ระยะเวลาการเลี้ยงประมาณ 4 เดือน 15 วัน จะได้ผลผลิตขนาด 800-900 กรัม/ตัว¹⁵ เมื่อเปรียบเทียบกับการวิจัยนี้ที่เลี้ยงในระยะเวลาเท่ากัน แต่มีอัตราการเจริญเติบโตเชิงน้ำหนักเพียง 431.36- 442.38 กรัม ซึ่งจะเห็นว่าการวิจัยนี้มีการเติบโตช้ากว่า อาจเป็นเพราะว่าการวิจัยของสมศักดิ์ ระยัน และคณะ¹⁴ และ กรมประมง¹⁵ เป็นการเลี้ยงในอ่างเก็บน้ำที่มีปริมาณ และคุณภาพน้ำดีกว่าการเลี้ยงกระชังบ่อดิน

ต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยงปลานิลแปลงเพศ

จากข้อมูลของกรมประมงในการศึกษาด้านทุนและผลตอบแทนของการเลี้ยงปลานิลในบ่อดิน แบบไม่มีการเติมอากาศในจังหวัดนครศรีธรรมราช¹⁶ พบว่า ต้นทุนการเลี้ยงปลานิลในบ่อดินเท่ากับ 43.46 บาท/กิโลกรัม และได้ผลตอบแทนร้อยละ 21.21 ในขณะที่การศึกษาของคณะผู้วิจัยครั้งนี้ มีต้นทุนเท่ากับ 57.06-60.21 บาท/กิโลกรัม และอัตราผลตอบแทนร้อยละ -0.33-5.16 เห็นว่าการวิจัยนี้มีต้นทุนที่สูงกว่าและผลตอบแทนต่ำกว่า ทั้งนี้เพราะระบบการเลี้ยงที่มีค่ากระชัง และค่าไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์การเติมอากาศ ซึ่งการเลี้ยงในบ่อดินไม่มีค่าใช้จ่ายดังกล่าว สุวรรณีย์ สุขยั้ง¹⁷ ได้วิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของการเลี้ยงปลานิลในบ่อดินของกลุ่มสมาชิกสหกรณ์ บ้านต้า จังหวัดพะเยา ระหว่างกลุ่มบ่อเลี้ยงปลาที่ติดกังหันตื้นน้ำ และกลุ่มที่เลี้ยงปลาไม่ติดกังหันตื้นน้ำ พบว่า บ่อที่ติดกังหันตื้นน้ำเพื่อปั้มน้ำในบ่อมีต้นทุนเฉลี่ย 47.71 บาท/กิโลกรัม ราคาขายเฉลี่ย 46.49 บาท/กิโลกรัม ในขณะที่บ่อที่ไม่ติดกังหันตื้นน้ำที่มีต้นทุนรวมเฉลี่ย 45.92 บาท/กิโลกรัม ราคาขายเฉลี่ย 46.10 บาท/กิโลกรัม นั่นคือ ในการศึกษาของคณะผู้วิจัยที่มีการนำระบบ

IoT มาใช้ร่วมในระบบเลี้ยง มีต้นทุนที่สูงกว่าของกลุ่มสมาชิกสหกรณ์บ้านต้า จังหวัดพะเยา แต่การดำเนินงานของกลุ่มมีปัญหาขาดทุนเนื่องจากราคาปลาที่จำหน่ายได้ต่ำกว่าราคาค้นทุนที่ผลิต ในขณะที่งานศึกษาของคณะผู้วิจัยครั้งนี้มีผลผลิตออกจำหน่ายในช่วงที่ปลามีราคาสูงกว่าต้นทุนการผลิต ดังนั้นราคาปลาในตลาดซื้อ-ขาย จึงเป็นปัจจัยสำคัญมากต่อผลตอบแทนในการเลี้ยง

เมื่อเปรียบเทียบผลตอบแทนการวิจัยครั้งนี้กับการเลี้ยงปลานิลในกระชังแม่น้ำตามเอกสารเผยแพร่ของกรมประมง ซึ่งการเลี้ยงปลานิลในกระชังแม่น้ำจะมีต้นทุน 53.39 บาท/กิโลกรัม และผลตอบแทนเท่ากับ 10.53 เปอร์เซ็นต์¹⁵ ในขณะที่งานวิจัยนี้มีต้นทุน 57.06-60.21 บาท/กิโลกรัม และมีอัตราผลตอบแทนร้อยละ -0.33-5.16 ซึ่งผลตอบแทนที่ต่ำกว่าอาจเนื่องจากการทดลองนี้มีค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศในบ่อ จึงทำให้ต้นทุนสูง และได้ผลตอบแทนต่ำกว่า ลักษณะเช่นนี้สอดคล้องกับการเลี้ยงปลาทัพบิมในกระชัง โดยสมศักดิ์ ระยัน และคณะ¹⁴ ได้ทดลองปล่อยเลี้ยงปลาทัพบิมในกระชังบริเวณอ่างเก็บน้ำ เขื่อนกระเสียว จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่ามีอัตราการตอบแทนการลงทุนร้อยละ 23.52 ในขณะที่การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีอัตราผลตอบแทนเพียง -0.33-5.16 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะการเลี้ยงปลาในกระชังในอ่างเก็บน้ำไม่มีค่าใช้จ่ายในการถ่ายเทน้ำในบ่อและค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศ

ในส่วนคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงปลา พบว่าคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการศึกษาวิจัย อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตตามปกติของสัตว์น้ำ⁶⁻⁹

สรุปผลการวิจัย

การเลี้ยงปลานิลแปลงเพศในกระชังบ่อดินด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งช่วยให้สามารถติดตามคุณภาพน้ำในการเลี้ยง และสามารถส่งงานผ่านสมาร์ตโฟน เพื่อเติมอากาศในบ่อเลี้ยง ทำให้สามารถจัดการเลี้ยงปลาได้ที่ระดับความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยกรมประมง¹⁵ ได้แนะนำความหนาแน่นที่เหมาะสมของการเลี้ยงปลาในกระชัง สำหรับปลาขนาด 30-50 กรัม/ตัว ที่ 30 ตัว/ม³ ซึ่งในการวิจัยนี้เลี้ยงปลานิลแปลงเพศที่ความหนาแน่น 30, 50 และ 70 ตัว/ม³ เป็นเวลา 5 เดือน ได้ผลผลิตซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโต ค่าการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการรอดตาย ไม่แตกต่างกัน แต่อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของการเลี้ยงความหนาแน่นต่ำ จะดีกว่าการเลี้ยงความหนาแน่นสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีผลต่อต้นทุนในการเลี้ยงที่ใกล้เคียงกัน คือ เท่ากับ 60.21, 59.34 และ 57.06 บาท/กิโลกรัม และมีผลตอบแทนที่สูงขึ้นในระดับความหนาแน่นที่มากขึ้น เท่ากับ -0.33, 1.22 และ 5.16 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลานิลในกระชังบ่อดินด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถเลี้ยงได้ที่ความหนาแน่นสูงขึ้น โดยความหนาแน่นที่เหมาะสมในการเลี้ยงเท่ากับ 70 ตัว/ม³ เนื่องจากให้ผลตอบแทนสูงที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยนี้กับผลการเลี้ยงปลานิลในบ่อดินแบบไม่เติมอากาศ¹⁶ และแบบเติมอากาศ³ การเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียน⁴ หรือการเลี้ยงในกระชังในแหล่งน้ำไหล¹⁴⁻¹⁵ เห็นได้ว่าการเลี้ยงปลานิลในกระชังบ่อดิน

ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งได้ผลตอบแทนการเลี้ยงที่น้อยกว่า

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการประยุกต์นำระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาใช้ในการพัฒนาการเลี้ยงสัตว์น้ำ ร่วมกับการบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยง และสามารถหมุนเวียนน้ำน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งจะทำให้ลดปริมาณการใช้น้ำ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เรียนรู้การเกษตรตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง คณะเทคโนโลยีเกษตรมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการศึกษา รวมทั้งคณะผู้บริหาร และคณาจารย์ของคณะเทคโนโลยีเกษตรที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการทดลองเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

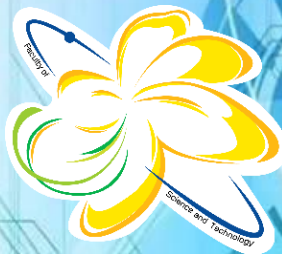
1. กรมประมง. คู่มือการเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิล. เอกสารเผยแพร่กรมประมงกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร: 2561.
2. ศิริ กอนันตกุล, จุฬ สีนชัยพานิช. การเลี้ยงปลานิลในกระชัง. เอกสารเผยแพร่กรมประมงกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร: 2549.
3. El-Sayed AFM. Tilapia culture [Internet]. London: CABI Publishing; 2006 [cited 2023 Sep 22]. Available from: <https://www.researchgate.net/profile/Ab>



- del-El-Sayed/publication/287293649_Tilapia_Culture/links/5692200208aee91f69a606af/Tilapia-Culture.pdf
4. สรวิต เผ่าทองสุข. เลี้ยงปลาหนาแน่นสูง ผลผลิตเพิ่ม 30 เท่า [อินเทอร์เน็ต]. ไทยรัฐออนไลน์; 2561 [เข้าถึงเมื่อ 28 ม.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.thairath.co.th/news/local/bangkok/1262706>
 5. กิตติศักดิ์ โอมาก, ธนโชติ พรบุญญานนท์. การตรวจสอบและการควบคุมของระบบเลี้ยงปลาอัจฉริยะ. [ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต]. หาดใหญ่: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2564.
 6. วิมล จันทโรทัย. การวางแผนการวิจัยด้านอาหารปลา. วารสารการประมง 2536;46. 323–30.
 7. ฉัตร ชำชอง. หลักการจัดการฟาร์ม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์; 2526.
 8. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือการเลี้ยงปลาในกระชังที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2553.
 9. ไมตรี ดวงสวัสดิ์, จารุวรรณ สมศิริ. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยทางการประมง. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง; 2528.
 10. Boyd CE. Water quality in pond for aquaculture. Alabama: Agriculture Experiment Station, Auburn University; 1990.
 11. ภัทรพล อาจอาษา, วิโรจน์ อภินันท์ธนากร, ประมุข ศรีชัยวงศ์ และวิระพงศ์ จันทรสนาม. การพัฒนาเทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะสำหรับฟาร์มเพาะเลี้ยงปลานิลโดยใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งเป็นฐาน. วารสาร มจร อุบลปริทรรศน์ 2564;6:531-44.
 12. วรวิทย์ เทพาหุดี. แอปพลิเคชัน นิล 4.0 เวอร์ชัน 2 [อินเทอร์เน็ต]. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์; 2567 [เข้าถึงเมื่อ 21 มี.ค. 2567]. เข้าถึงได้จาก: แอปพลิเคชัน นิล 4.0 เวอร์ชัน 2 – Kasetsart University Research and Development Institute (ku.ac.th)
 13. จามรี เครือหงส์. การเลี้ยงปลา. พิมพ์ครั้งที่ 2. นครสวรรค์: อ่างวนการพิมพ์; 2565.
 14. สมศักดิ์ ระย่น, นัยนา เสนาศรี, สมพงษ์ ศรีชันแก้ว. ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลตอบแทนการ เลี้ยงปลา ทับทิมในกระชังบริเวณอ่างเก็บน้ำเขื่อนกระเสียว จังหวัดสุพรรณบุรี [อินเทอร์เน็ต]. เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 53: สาขาพืช, สาขาสัตว์, สาขาสัตวแพทยศาสตร์, สาขาประมง, สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ. 2558 [เข้าถึงเมื่อ 20 ธ.ค. 2563]. เข้าถึงจาก: การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ku.ac.th)



15. กรมประมง. การเลี้ยงปลานิลในกระชัง.
เอกสารเผยแพร่กรมประมง กระทรวงเกษตร
และสหกรณ์: กรุงเทพฯ; 2557.
16. กรมประมง. ต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยง
ปลานิลในบ่อดิน จังหวัดนครศรีธรรมราช ปี
พ.ศ. 2561. [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: กลุ่ม
เศรษฐกิจการประมง กรมประมง; [เข้าถึง
เมื่อ 20 ม.ค. 2567]: เข้าถึงได้จาก: ต้นทุน
กลุ่มเศรษฐกิจการประมง (fisheries.go.th)
17. สุวรรณ สุขยิ่ง. การวิเคราะห์ต้นทุน
ปริมาณกำไร กรณีศึกษา ต้นทุนส่วนเพิ่มเพื่อ
การรักษาสิ่งแวดล้อมในการเลี้ยงปลานิลใน
บ่อดินของกลุ่มสมาชิกสหกรณ์เลี้ยงปลา
บ้านต้า ตำบลบ้านต้า อำเภอเมือง จังหวัด
พะเยา [การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง
ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต]. พะเยา:
มหาวิทยาลัยพะเยา; 2560.



PBRU

Faculty of Science and Technology
Phetchaburi Rajabhat University



Tel. 0 3270 8633 Fax. 0 3270 8661

Website: <http://sciencejournal.pbru.ac.th>

E-mail: sciencejournal@mail.pbru.ac.th