



JOURNAL OF APPLIED RESEARCH ON SCIENCE AND TECHNOLOGY



Approved during 2022-2024

INSTITUTE OF RESEARCH AND DEVELOPMENT
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

ISSN Online : 2773-9473
Print : 2773-9376

Volume 22 Issue 1
January–April 2023

JARST

RMUTT

Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)

ISSN: 2773-9376, E-ISSN (Online): 2773-9473

Vol. 22 No. 1 January-April 2023

The Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST) aims to disseminate and share knowledge and ideas in the form of high-quality articles with academia, professionals, and industrialists, as well as an important forum for exchanging knowledge between researchers and academics, which will benefit in building academic cooperation and networks that will lead to the long-term use of research. The articles that will be published in this publication must never be presented, published, or evaluated in any other journal. Any piracy that occurs will be solely the authors' responsibility. Such implications will not be borne by the Journal.

Aims and Scope

The scope of the journal includes the following areas of research: Engineering, Materials Science, Agricultural and Biological Sciences, Computer Science, and Mathematics, with particular emphasis on issues that deepen in the basic and applied research. The JARST includes full-length original, novel research articles and review articles. Accepted articles are immediately available online and are freely accessible without any restrictions or any other obligations to researchers and scholarly people globally.

Review Process

1. Evaluation by the Editor-in-Chief

The Editor-in-Chief will see whether the topic and theme of the article are appropriate and congruent with the stipulated objectives and format of the Journal. Plagiarism and benefits relating to theory and business contribution will also be investigated. The submitted paper may be returned to the author for preliminary revising or, if the aforesaid criteria are not met, rejected.

2. Evaluation by Review

All submitted manuscripts must be reviewed by at least two expert reviewers in the related fields. Reviewers will evaluate the quality of the submitted article for publication via the double-blinded review system.

3. Evaluates the Reviews

The Editor-in-Chief bases his judgment on an article's publishing on the opinions of outside readers. The decision is to publish the article, reject it, or send it back to the author for correction and elaboration.

Period of Issued Journal

The Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST) will be 3 issues/year, as follows:

1st issue: January - April

2nd issue: May - August

3rd issue: September - December

Advisory Board

Sommai Pivsa-Art

Krischonme Bhumkittipich

Kiattisak Sangpradit

Sorapong Pavasupree

Boonyang Plangklang

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Editor-in-Chief

Amorn Chaiyasat Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Assistant Editors

Warinthon Poonsri Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Chanai Noysang Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Editorial Board

Arunachala Mada Kannan	Arizona State University, USA
Chaudhery Mustansar Hussain	New Jersey Institute of Technology, USA
Hideto Minami	Kobe University, Japan
Kelvin Huang-Chou Chen	National Pingtung University, Taiwan
Syuji Fujii	Osaka Institute of Technology, Japan
Yukiya Kitayama	Osaka Metropolitan University, Japan
Chatchai Ponchio	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Chatthai Kaewtong	Maharakham University, Thailand
Daniel Crespy	Vidyasirimedhi Institute of Science and Technology, Thailand
Pakorn Opaprakasit	Sirindhorn International Institute of Technology, Thailand
Warayuth Sajomsang	National Nanotechnology Center, Thailand
Jakree Srinonchat	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Jaturong Lungkapin	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Thammasak Rojviroon	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Managing Department

Jittima Singto	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Monticha Ruttanapan	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Mullika Kongpetsak	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Nuthawan Thamawatchakorn	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Phakhawan Lunkham	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Saranya Suwinai	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Thitirat Vijanpon	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
Wasin Buayang	Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand

Contact

Institute of Research and Development, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT)
39 Moo 1, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand
Website: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/rmutt-journal/index>
Phone: +66 2 5494492, +66 2 5494681
Fax: +66 2 5494680
Email: jarst@rmutt.ac.th

Editorial Note

The Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST) is an academic journal of the Institute of Research and Development, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT). The JARST aims to disseminate and share knowledge and ideas through high-quality articles related to General Engineering, General Materials Science, General Agricultural and Biological Sciences, General Computer Science, and General Mathematics to researchers, academics, faculty members and students.

This journal published articles presented various interesting concepts such as the effect of riceberry rice on antioxidant activities, chemical composition and toxicity of peel of native species mango, smart farms, robot arm control, carbon storage evaluation, development of a formulation for seasoning banana puree, investigation of green park cooling intensity on urban temperature reduction, and rapid prediction of melon sweetness using image processing techniques and algorithmic models. As a result, it would serve as a route for distributing knowledge in the physical and life sciences, which associated individuals may use to their advantage.

Finally, the editorial team would like to express their heartfelt gratitude for your assistance in making this journal a reality. We look forward to your continued collaboration and support in the future.

Editorial Team

Contents

Research Articles

Effect of Riceberry Rice on Antioxidant Activities of Rice Wrapped Lotus Leaf Frozen Product and Changes in Physical Properties after Thawing <i>Sunan Parnsakhorn, Jaturong Langkapin</i>	1
Chemical Composition and Toxicity of Peel of Native Species Mango in Sa Kaeo Province Against <i>Spodoptera Litura</i> <i>Parinthorn Temyarasilp, Poonnanan Phankaen</i>	13
Estimating of Maize Yield Using UAV Images and NDVI Index <i>Phoomchai Traidalanon, Kiattisak Sangpradit</i>	27
The Relationship of Task Difficulty and Multitasking on Performance in Robot Arm Control <i>Chalalai Wongwian, Alongkorn Chatmuangpak, Natnapha Nokdee, Prachuab Klomjit</i>	40
The Development of Bodysuit for Body Balance in Children with Spastic Diplegia Cerebral Palsy <i>Pithalai Phoophat, Siriporn Sasimontonkul, Pailin Puagprakong, Wirongrong Yasasindhu, Nalin Khumlee, Phannaphat Phromphen, Duangrat Hirunyasiri, Pawarin Tuntariyanond</i>	50
Carbon Storage Evaluation of Restoring in Degraded Areas by Corn Cultivation Using 3 Forests, 4 Benefits, Nan Province <i>Gitsada Panumonwatee, Savent Pampasit</i>	65
Development of Line Chatbot for Research Services Case Study: Institute of Research and Development Rajamangala University of Technology Thanyaburi <i>Monticha Ruttanapan, Chatwadee Saiyaitong</i>	78
Development of Formulation for Seasoning Banana Puree by Mixing with Tropical Fruits Paste Mixed with Banana Peel Powder and Passion Fruit Puree <i>Intira Lichanporn, Nanchanok Nanthachai, Palida Tanganurat, Purin Akkarakultron</i>	90
Investigation of Green Park Cooling Intensity on Urban Temperature Reduction: A Case Study of Bangkok and Nonthaburi Province, Thailand <i>Aduldech Patpai, Kittiwat Kitpakornsanti, Surangkana Ainchu, Atsamon Limsakul</i>	104
Rapid Prediction of Melon Sweetness Using Image Processing Techniques and Algorithmic Models <i>Nopporn Rattanachoung</i>	117



ผลของการใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพหลังการทำละลาย

Effect of Riceberry Rice on Antioxidant Activities of Rice Wrapped Lotus Leaf Frozen Product and Changes in Physical Properties after Thawing

สุนัน ปานสาคร* และ จตุรงค์ ลังกาพินธุ์

Sunan Parnsakhorn* and Jaturong Langkapin

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

*Corresponding author e-mail: sunan.p@en.rmUTT.ac.th

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: October 7, 2022

Revised: November 22, 2022

Accepted: November 29, 2022

Available online: March 12, 2023

DOI: 10.14456/jarst.2023.1

Keywords: riceberry rice, antioxidant activities, rice wrapped lotus Leaf, freezing, thawing

The purpose of this research was to study the effect of using cooked riceberry rice at the ratio of rice to water of 1:1 and 1:2 for the production of rice wrapped in lotus leaf. Such products also contain other components, including: shiitake mushrooms, lotus seeds, dried shrimps, pork, (Chinese) sausage and salted egg, with a total weight of approximately 150 g. Then, products were freeze at -18°C and -40°C before thawing and analyze total microbial content, anthocyanin content, antioxidant activity and the change in physical properties after thawing. It was found that all of the products tested gave the overall microbial count at a level that was safe for consumption. For anthocyanin content and antioxidant activity DPPH were presented highest value at 22.60 mg/g dry weight and 68.67 mg eq Trolox/100g, respectively, with the sample of frozen lotus leaf rice products at -18°C for use rice to water ratio of 1:1. In testing the properties of L^* , a^* , moisture content and water activity were found that thawing in air,

microwave heating, and thawing in water were not affected the change in such value. While the b^* value decreased slightly after thawing in water and the hardness value was decreased after microwave heating. When considering the overall preference for the product after thawing, it was found that the consumers were most satisfied with the microwave heating technique for thawing.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการหุงสุกในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1 และ 1:2 นำมาผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัว ซึ่งมีองค์ประกอบอื่นร่วมด้วย ได้แก่ เห็ดหอม เม็ดบัว กุ้งแห้ง หมู กุนเชียง และไข่เค็ม น้ำหนักรวมกันประมาณ 150 g จากนั้นแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C และ -40°C ก่อนนำมาทำละลายและวิเคราะห์ ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพหลังการทำละลายกลับ พบว่าทุกผลิตภัณฑ์ให้ค่าปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค สำหรับปริมาณแอนโทไซยานินและการตรวจฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 22.60 mg/g dry weight และ 68.67 mg eq Trolox/100g ตามลำดับ ในผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1 ในการทดสอบสมบัติด้าน L^* , a^* ค่าความชื้น และค่าออกเตอร็อกซิไดซ์ พบว่าการทำละลายที่อุณหภูมิห้อง การทำละลายด้วยไมโครเวฟ และการทำละลายด้วยน้ำไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ในขณะที่ค่า b^* ลดลงเล็กน้อยหลังการทำละลายด้วยน้ำและค่าความแข็งลดลงหลังการทำละลายด้วยไมโครเวฟ หากพิจารณาจากความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์หลังการทำละลายพบว่าผู้บริโภคพึงพอใจเทคนิคการทำละลายด้วยไมโครเวฟสูงที่สุด

คำสำคัญ: ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ข้าวห่อใบบัว แช่เยือกแข็ง การทำละลาย

บทนำ

ปัจจุบันคนไทยหันมาใส่ใจสุขภาพในเชิงป้องกันมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการบริโภคอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระจึงได้รับความนิยมโดยเฉพาะอาหารกลุ่มข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสี ทั้งนี้คนส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวในลักษณะข้าวหุงสุกหรือการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หนึ่งในนั้นคือ “ข้าวห่อใบบัว” ซึ่งเป็นเมนูอาหารที่หารับประทานได้ไม่ยากนัก โดยส่วนประกอบหลักที่มีคุณค่าทางโภชนาการได้แก่ ข้าว ที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตให้พลังงานแก่ร่างกาย [1] มีเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อหมู กุนเชียง กุ้งแห้ง ไข่เค็ม เป็นแหล่งโปรตีนช่วยซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ มีไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย [2] มีเห็ดหอมที่มีสรรพคุณทางยาช่วยป้องกันโรคกระดูกในเด็ก ถ้ารับประทานเป็นประจำจะช่วยป้องกันการอักเสบของผิวหนัง ช่วยป้องกันการเกิดอาการคันแห้งและหลุดลอกแห้งตัว มีเส้นใยช่วยทำให้ขับถ่ายได้ง่าย นอกจากนี้ยังช่วยจับสารเคมีที่เป็นพิษและทำให้ผ่านลำไส้ได้อย่างรวดเร็ว ลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งลำไส้ได้ [3] มีเม็ดบัวที่มีวิตามินซีสูง โปรตีนสูงและยังมีฟอสฟอรัสเหล็ก [4] เมื่อนำส่วนผสมหลักมาผัดกับเครื่องเทศและนำไปห่อด้วยใบบัวแล้วนำไปนึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวที่มีกลิ่นหอม แต่ผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวมีข้อเสียคืออายุการเก็บรักษาสั้น เสี่ยงง่าย เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้นนักวิจัยจึงมีแนวคิดในการใช้

เทคนิคการแช่เยือกแข็งเข้ามาช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว โดยผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจะสามารถเก็บรักษาได้ยาวนาน เพราะอุณหภูมิที่ต่ำจะสามารถยับยั้งและหยุดการเสื่อมเสียในอาหารอันเนื่องมาจากการเจริญของจุลินทรีย์ [5] รวมถึงขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญสำหรับอาหารแช่เยือกแข็งคือ การทำละลายอาหารนั้น ๆ ก่อนนำไปบริโภค ซึ่งขั้นตอนการละลายเพื่อจะคืนสภาพของอาหารแช่แข็งให้สดใหม่มีเทคนิคและวิธีการทำละลายหลายรูปแบบ เช่น การทำละลายในตู้เย็น การทำละลายที่อุณหภูมิห้อง การทำละลายด้วยไมโครเวฟ การทำละลายด้วยน้ำเย็น เป็นต้น ทั้งนี้แต่ละเทคนิคและวิธีการส่งผลที่แตกต่างกันต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์

วัตถุดิบหลักของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวคือข้าวเดิมนิยมนำข้าวเสาไห้มาเป็นวัตถุดิบหลักเนื่องจากมีลักษณะการแยกตัวของเมล็ดข้าวค่อนข้างดีเป็นข้าวในกลุ่มอะไมโลสสูง [6] ทั้งนี้จากที่กล่าวมาคนหันมาใส่ใจสุขภาพกันมากขึ้น ดังนั้นข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสีและข้าวกลุ่มที่มีเมล็ดมีสีเขตน้ำตาลหรือม่วง เช่น ข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่จึงเป็นที่นิยม เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีลักษณะเด่นคือ มีสีม่วงดำ กลิ่นหอม และมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง [7] นอกจากนี้ข้าวไรซ์เบอร์รียังมีธาตุสังกะสี 31.9 mg/kg โอมะก้า-3 ปริมาณ 25.51 mg/kg ธาตุเหล็ก ปริมาณ 13-18 mg/kg แกมมา-โอไรซานอล ปริมาณ 462 µg/g วิตามินอี โฟเลต เบต้าแคโรทีนปริมาณ 678, 48.1 และ 63 µg/100g ตามลำดับ สารโพลีฟีนอล แทนนิน ปริมาณ 113.5 และ 89.33 mg/100g และสารต้านอนุมูลอิสระชนิดละลายในน้ำและน้ำมันเท่ากับ 47.5 mg ascorbic acid และ 33.4 mg trolox equivalent/100 g ตามลำดับ [8] ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีใยอาหารสูงเมื่อเทียบกับข้าวเจ้าขัดขาว [9] สารต้านอนุมูลอิสระ “แอนโทไซยานิน” ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลชนิดหนึ่งเป็นรงควัตถุสีแดง ดำ หรือม่วง สะสมอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ด [10, 11] แอนโทไซยานินมีสรรพคุณช่วยในการบำรุงร่างกาย ทำให้เกิดการสร้างคอลลาเจน ช่วยชะลอและลดริ้วรอย ลดการอักเสบที่ผิวหนัง และที่สำคัญ คือ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิด

โรคมะเร็งโรคเบาหวาน โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง และโรคสมองเสื่อมได้ [12]

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนักวิจัยจึงมีแนวคิดในการผลิตข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยใช้เทคนิคการแช่เยือกแข็งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยทำการศึกษาผลของการใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งและศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพรวมถึงการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสหลังการทำละลายด้วยเทคนิคการทำละลายที่อุณหภูมิห้อง (Thawing in air) การทำละลายด้วยไมโครเวฟ (Microwave heating) และการทำละลายด้วยน้ำ (Thawing in water) เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับผู้บริโภค ทั้งช่วยส่งเสริมให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เป็นการส่งเสริมและรักษาภูมิปัญญาท้องถิ่นให้คงอยู่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายมากขึ้น รวมถึงผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้จะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของผู้ประกอบการในการนำไปขยายต่อเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างข้าวห่อใบบัว

จัดเตรียมส่วนผสมในการทำข้าวห่อใบบัวประกอบด้วย น้ำซอสปรุงรส หอมแดง เม็ดบัว กุ้งแห้ง หมู กุนเชียง และไข่เค็ม ในส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่เลือกซื้อที่คุณภาพดีเมล็ดสมบูรณ์สะอาดความชื้นเริ่มต้นประมาณ 12-13 %wb จากนั้นเตรียมข้าวหุงสุกโดยการปรับอัตราส่วนข้าวต่อน้ำที่ 2 ระดับ คือ 1:1 และ 1:2 ใส่ลงในหม้อหุงข้าวไฟฟ้าและทำการเปิดสวิตซ์เพื่อทำการหุงจนได้ตัวอย่างข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุก ทำการผสมกับน้ำซอสปรุงรส คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปบดหยาบมาตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 cm หนึ่งให้ความร้อนเป็นเวลา 15 min นำส่วนผสมได้แก่ หอมแดง เม็ดบัว กุ้งแห้ง หมู กุนเชียง และไข่เค็ม น้ำหนักรวมกันประมาณ 100 g จัดเรียงตรงกลางของใบบัว แล้วนำข้าวหุงสุกที่ผ่านการคลุกเคล้ากับซอสปรุงรสแล้วน้ำหนัก 150 g วางด้านบน

ทำการห่อข้าวในใบบัวและนึ่งโดยใช้หม้อต้มน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95°C เป็นเวลา 30 min ทำขั้นตอนนี้จนครบทั้ง 2 ตัวอย่างข้าว เพื่อรอการนำไปแช่เยือกแข็งต่อไป

กระบวนการแช่เยือกแข็งและการทำละลายข้าว

การแช่เยือกแข็ง : จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่และนึ่งให้ความร้อน จากนั้นนำไปใส่ภาชนะพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดพอดีกับข้าวห่อใบบัว 10x10x5 cm (gxhxs) พร้อมฝา และวางในเครื่องแช่เยือกแข็งแบบอากาศนิ่ง (Still air freezer) ควบคุมอุณหภูมิที่ -18°C จากนั้นทำเช่นเดิมปรับเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น -40°C ทำการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 14 วัน และนำมาทำละลายโดยการทำละลายที่อุณหภูมิห้องและศึกษาการคงอยู่ของปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

การทำละลาย : เมื่อได้ผลจากการศึกษาการคงอยู่ของปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ข้างต้นแล้วจะเลือกตัวอย่างที่ให้ผลการทดสอบเหมาะสมที่สุด 1 ตัวอย่าง มาศึกษาผลของการทำละลายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัว โดยทำการละลายด้วย 3 เทคนิค ได้แก่ การทำละลายที่อุณหภูมิห้อง การทำละลายด้วยไมโครเวฟ และการทำละลายด้วยน้ำ จากนั้นทดสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

- การทำละลายที่อุณหภูมิห้อง (Thawing in air) : นำผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวออกจากตู้แช่เยือกแข็งและวางบนภาชนะรองรับน้ำที่เกิดการละลาย จากนั้นตั้งไว้ในห้องที่มีอากาศถ่ายเทอุณหภูมิประมาณ 25±2°C จนกระทั่งผลิตภัณฑ์พร้อมในการนำไปทดสอบต่อไป

- การทำละลายด้วยไมโครเวฟ (Microwave heating) : นำผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งใส่ในตู้ไมโครเวฟและใช้ปุ่มการทำลาย (Defrost) เป็นเวลา

4 min จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะนุ่มพร้อมในการนำไปทดสอบต่อไป

- การทำละลายด้วยน้ำ (Thawing in water) : นำผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งใส่ในถุงพลาสติกพร้อมทั้ง ซิลปิดปากถุงให้สนิทและนำไปแช่ในน้ำอุณหภูมิห้องใช้เวลาประมาณ 2 hr ระหว่างการแช่จะมีการเปลี่ยนน้ำทุก ๆ 30 min

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

1. การทดสอบปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanin content) : โดยเตรียมตัวอย่างจำนวน 1 g เฉพาะส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่ ใส่ลงในสารละลายเอทานอลิกไฮโดรคลอริก (เอทานอล 95% 85 ml ต่อกกรดไฮโดรคลอริก 1.5 N 15 ml) ปริมาตร 25 ml เขย่าให้เข้ากัน ปิดฝาด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4°C นาน 24 hr จากนั้นนำออกมากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 ปริมาตรด้วยสารละลายเอทานอลิกไฮโดรคลอริกให้มีปริมาตร 25 ml แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 nm โดยใช้สารละลายเอทานอลิกไฮโดรคลอริกเป็นตัวปรับศูนย์ (blank) คำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสมการที่ (1) และ (2) [13, 14] โดยทำการทดสอบซ้ำ 3 ซ้ำ

$$\text{Total absorbance} = (\text{OD}_{535} \times V \times 100) / W \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Total anthocyanin content (mg/g)} \\ = \text{Total absorbance} / 98.2 \quad (2) \end{aligned}$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรสารละลายที่นำมาหาปริมาณสารแอนโทไซยานิน (ml)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างที่นำมาหาปริมาณสารแอนโทไซยานิน (g)

OD₅₃₅ คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 535 nm

2. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) : นำผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวมาอบที่

อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 hr แล้วนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนความละเอียด 100 mesh เก็บตัวอย่างในถุงลามิเนทกันความชื้นที่ -20°C ดัดแปลงวิธีของ Shao และคณะ [15] และทดสอบด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ดัดแปลงจากวิธีของ Pellati et al. [16] โดยเตรียมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 mM ละลายด้วย ethanol 99% ปิเปตสารสกัดของตัวอย่าง 100 μ l ผสมกับสารละลาย DPPH 2.9 ml เขย่าให้เข้ากันแล้วปล่อยให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 min จากนั้นทำการวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 nm โดยเทียบกับสารมาตรฐาน Trolox และรายงานผลในรูปของมิลลิกรัมสมมูลของโทโรกซ์ต่อ 100 กรัม น้ำหนักของตัวอย่าง (mg eq Trolox/100g) โดยทำการทดสอบซ้ำ 3 ซ้ำ

3. ปริมาณความชื้น (Moisture Content) : ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 g (น้ำหนักก่อนอบ) เฉพาะส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่ อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven, Model WTB Binder, Germany) ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 16 hr จากนั้นนำตัวอย่างพร้อมภาชนะใส่ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 min และชั่งน้ำหนักหลังการอบ คำนวณหาค่าความชื้นด้วยสมการที่ (3) รายงานผลในหน่วยเปอร์เซ็นต์ฐานเปียก (%wb) [17] โดยทำการทดสอบซ้ำ 3 ซ้ำ

เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (%wb)

$$= \frac{(\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ})}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \quad (3)$$

4. ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) : ชั่งตัวอย่าง 5 g เฉพาะส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่ ใส่ในตลับจากนั้นหาค่าวอเตอร์แอกทิวิตีด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (AquaLab, Model PRE, USA) โดยทำการทดสอบซ้ำ 3 ซ้ำ

5. ค่าสี (Color value) : เตรียมตัวอย่างที่ใช้เฉพาะส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่ วัดค่าสีด้วยเครื่องวัด (FRU, Model WR 10, Japan) รายงานผลในรูปของ L^* , a^* , b^* ซึ่งค่าทั้ง 3 ค่า เป็นการแสดงการวัดค่าสีโดยที่ค่าสี L^*

คือ ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าความสว่างมากเมื่อเข้าใกล้ 100 และมีความมืดเมื่อเข้าใกล้ 0 ค่า a^* คือค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีแดง (Redness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่า b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ ซึ่งก่อนทำการวัดค่าสีเครื่องวัดสีถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย Standard Calibration Plate ค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 98.11, -0.11 และ -0.08 ตามลำดับ โดยทำการทดสอบซ้ำ 3 ซ้ำ

6. ค่าความแข็ง (Hardness) : นำตัวอย่างเฉพาะส่วนข้าวไรซ์เบอร์รี่ ไปทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Ametek LLOYD Ltd, model LRX Plus, USA) ตามวิธีการกดแบบ Back extrusion ค่าที่อ่านได้เป็นค่าที่แสดงความแข็งของตัวอย่างในหน่วยของนิวตัน [18] โดยทำการทดสอบซ้ำ 3 ซ้ำ

7. ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม (Total viable count) : อ้างอิงวิธีการทดสอบจาก Maturin และ Peeler [19] โดยทำการทดสอบซ้ำ 3 ซ้ำ

8. การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) : ทดสอบความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ผู้บริโภคจำนวน 30 คน โดยวิธี Hedonic Scaling 9 point ซึ่งมี 9 คะแนน ได้แก่ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 2 หมายถึง ไม่ชอบมาก 3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย 5 หมายถึง เฉย ๆ 6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย 7 หมายถึง ชอบปานกลาง 8 หมายถึง ชอบมาก และ 9 หมายถึง ชอบมากอย่างยิ่ง [20] โดยทำการประเมินทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (One-way analysis of variance, ANOVA) และ

ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลของปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

พิจารณาตัวอย่างการทดสอบประกอบด้วยข้าวไรซ์เบอร์รี่ผ่านการหุงสุกที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1 และ

นำไปผลิตข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C (RB (1:1)/(-18)) และอุณหภูมิ -40°C (RB(1:1)/(-40)) รวมถึง ตัวอย่างที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 และนำไปผลิตข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C (RB(1:2)/(-18)) และอุณหภูมิ -40°C (RB(1:2)/(-40)) จากนั้นทำการตรวจวิเคราะห์สมบัติด้านปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม แอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่แช่เยือกแข็ง

ตัวอย่างทดสอบ	ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม (CFU/g)	แอนโทไซยานิน (mg/g dry weight)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (mg eq Trolox/100g)
RB(1:1)/(-18)	20	22.60±0.07 ^a	68.67±0.03 ^a
RB(1:1)/(-40)	25	20.36±0.03 ^b	62.48±0.04 ^b
RB(1:2)/(-18)	<10	16.74±0.02 ^c	50.05±0.02 ^c
RB(1:2)/(-40)	<10	14.98±0.03 ^d	46.21±0.03 ^d

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD)

^{ab} อักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean ± SD)

ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือความปลอดภัยในการบริโภค ดังนั้นก่อนการพิจารณาให้มีการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ จำเป็นต้องทดสอบทางด้านปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสมและปลอดภัยหรือไม่สำหรับการบริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่หลังผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่งด้วยหม้อต้มน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95°C เป็นเวลา 30 min ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งแสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 1 ผลการประเมินพบว่าปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมในผลิตภัณฑ์ให้ค่าเท่ากับ 20 CFU/g และ 25 CFU/g สำหรับตัวอย่างข้าวห่อใบบัวที่ใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผ่านการหุงสุกที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1 แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C (RB(1:1)/(-18)) และอุณหภูมิ -40°C (RB(1:1)/(-40)) ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างข้าวห่อใบบัวที่ใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผ่านการ

หุงสุกที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C (RB(1:2)/(-18)) และอุณหภูมิ -40°C (RB(1:2)/(-40)) ให้ค่าปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม <10 CFU/g ซึ่งทั้ง 4 ตัวอย่างการทดสอบถือว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับที่ปลอดภัยเป็นไปตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์เรื่อง เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหารฉบับที่ 3 ซึ่งระบุว่าอาหารแช่เยือกแข็งควรมีปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมน้อยกว่า 10^5 CFU/g [21]

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งจากข้าวไรซ์เบอร์รี่แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งทุกตัวอย่างในการทดสอบจำนวน 4 ตัวอย่างพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยที่ ตัวอย่างที่ 1 (RB(1:1)/(-18)) ให้ค่าปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดเท่ากับ 22.60 mg/g dry weight และลดลงเท่ากับ 20.36 mg/g dry weight เมื่อ

ผลิตภัณฑ์ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40°C (RB(1:1)/(-40)) ในตัวอย่างที่ 2 สำหรับตัวอย่างที่ 3 และตัวอย่างที่ 4 ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 และนำไปผลิตข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C (RB(1:2)/(-18)) และอุณหภูมิ -40°C (RB(1:2)/(-40)) ให้ค่าปริมาณสารแอนโทไซยานินลดลงเท่ากับ 16.74 และ 14.98 mg/g dry weight ตามลำดับ การที่ตรวจพบปริมาณสารแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวเนื่องจากใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นวัตถุดิบหลัก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yawadio et al. [22] พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีแอนโทไซยานินสูงถึง 87.46 mg/100 g แต่ทั้งนี้หลังการนำมาผลิตเป็นข้าวห่อใบบัวต้องผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่ง และการใช้อัตราส่วนน้ำในการหุงที่สูงขึ้นจึงอาจส่งผลต่อการลดลงของแอนโทไซยานิน เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานของแอนโทไซยานินประกอบด้วยฟลาโวลีเลียมแคทไอออน (Flavylumcation) ละลายน้ำได้ดีมาก จะสูญเสียได้ง่ายด้วยความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีออกซิเจนอยู่ด้วยอัตราการสลายตัวของแอนโทไซยานินจะเร็วขึ้น [23] ถึงแม้จะพบแนวโน้มการลดลงของแอนโทไซยานินในตัวผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแต่ยังพบการคงอยู่ในตัวผลิตภัณฑ์ระดับหนึ่งซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีประโยชน์ต่อร่างกาย และสอดคล้องกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดังผลการทดสอบในตารางที่ 1

จากการตรวจฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่จำนวน 4 ตัวอย่างพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยแสดงค่าสูงสุดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 68.67 mg eq Trolox/100g ในตัวอย่างที่ 1 (RB(1:1)/(-18)) และลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เท่ากับ 62.48 mg eq Trolox/100g เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40°C (RB(1:1)/(-40)) ในตัวอย่างที่ 2 สำหรับตัวอย่างที่ 3 และตัวอย่างที่ 4 ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 และนำไปผลิตข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C (RB(1:2)/(-18)) และอุณหภูมิ -40°C (RB(1:2)/(-40)) แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH

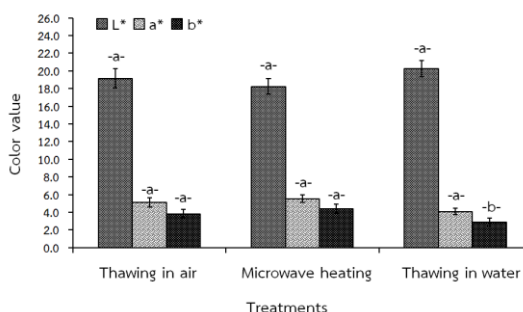
ลดลงเท่ากับ 50.05 และ 46.21 mg eq Trolox/100g ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่ามีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและแปรผันตรงกับปริมาณแอนโทไซยานิน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khumkhom [24] ที่พบว่าการใช้แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ซาลาเปาส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารแอนโทไซยานินและมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH

ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสหลังการทำละลาย

จากการทดสอบในขั้นต้นแรกเพื่อเตรียมผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่แช่เยือกแข็งสังเกตพบว่าตัวอย่างที่เตรียมโดยการใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ผ่านการหุงสุกที่อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 และนำไปผลิตข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C (RB(1:2)/(-18)) ให้ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวม <10 CFU/g ปลอดภัยสำหรับการบริโภค ปริมาณแอนโทไซยานิน 16.74 mg/g dry weight และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH 50.05 mg eq Trolox/100g มีคุณสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสนุ่มเนื่องจากใช้อัตราส่วนน้ำในการหุงที่เหมาะสมจึงถูกคัดเลือกเพื่อทดสอบขั้นตอนต่อไป โดยนำไปทดสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพรวมถึงการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสหลังการทำละลายด้วยเทคนิคการทำละลายที่อุณหภูมิห้อง (Thawing in air) การทำละลายด้วยไมโครเวฟ (Microwave heating) และการทำละลายด้วยน้ำ (Thawing in water) แสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 1-4

สีเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้บ่งบอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในการยอมรับหรือไม่ยอมรับของผู้บริโภค จึงเป็นปัจจัยแรกในการนำมาวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์จากการทดสอบวัดค่าสี L^* , a^* , b^* พบว่าในรูปที่ 1 หลังการทำละลายที่อุณหภูมิห้อง (Thawing in air) การทำละลายด้วยไมโครเวฟ (Microwave heating) และการทำละลายด้วยน้ำ (Thawing in water) ให้ค่า L^* เท่ากับ

19.17, 18.25 และ 20.26 ให้ค่า a^* เท่ากับ 5.12, 5.55 และ 4.09 ตามลำดับ ซึ่งทั้ง L^* และ a^* ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่ค่า b^* ให้ค่าหลังการทำละลายที่อุณหภูมิห้อง (Thawing in air) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับการทำละลายด้วยไมโครเวฟ (Microwave heating) แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) กับการทำละลายด้วยน้ำ (Thawing in water) ทั้งนี้ ค่าสีของตัวอย่างสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่าปริมาณแอนโทไซยานิน ที่มีลักษณะเมล็ดข้าวสีม่วงเข้ม เมื่อมีการให้ความร้อนด้วยการนึ่งเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดแอมิโนหรือสารประกอบไนโตรเจนโดยมีความร้อนจากการนึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผลที่ได้คือสารประกอบที่ให้สีน้ำตาล [25]

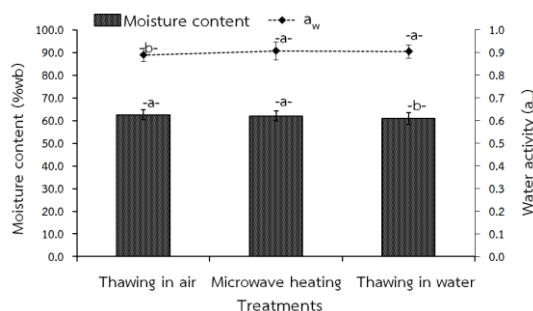


รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่แช่เยือกแข็งหลังการทำละลายด้วยเทคนิคต่าง ๆ

^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean $\pm$ SD)

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่แช่เยือกแข็งหลังการทำละลายด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังรูปที่ 2 พบว่าผลิตภัณฑ์ให้ค่าความชื้นระหว่าง 60.97-62.63%wb. และค่าวอเตอร์แอคทิวิตีระหว่าง 0.89-0.90 ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับรูปแบบที่แตกต่างของเทคนิคการทำละลายทั้ง 3 แบบ

ทั้งนี้ในทุกตัวอย่างการทดสอบมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีมากกว่า 0.6 นั้นหมายความว่าผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งจัดอยู่ในกลุ่มอาหารสด ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่สำคัญที่แสดงว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเสื่อมเสียง่ายเนื่องจากค่าวอเตอร์แอคทิวิตีเป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ และสอดคล้องกับค่าปริมาณความชื้นที่ค่อนข้างสูง [26] อย่างไรก็ตามความชื้นที่เหมาะสมจะส่งผลที่ดีในแง่ของเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สังเกตได้จากความพึงพอใจของผู้บริโภคในการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

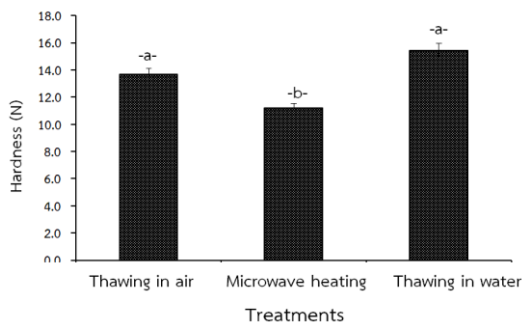


รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีของข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่แช่เยือกแข็งหลังการทำละลายด้วยเทคนิคต่าง ๆ

^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean $\pm$ SD)

การวัดค่าเนื้อสัมผัสหรือค่าความแข็งของข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่แช่เยือกแข็งหลังการทำละลายด้วยเทคนิคต่าง ๆ ตามวิธีการกดแบบ Back extrusion แสดงค่าดังรูปที่ 3 พบว่าหลังการทำละลายที่อุณหภูมิห้อง (Thawing in air) และการทำละลายด้วยน้ำ (Thawing in water) ผลิตภัณฑ์ให้ค่าความแข็งเท่ากับ 13.72 N และ 15.48 N ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และค่าความแข็งมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) ที่ 11.24 N สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำละลายด้วยไมโครเวฟ (Microwave heating) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเทคนิคการทำละลายด้วยไมโครเวฟ

เป็นการส่งผ่านพลังงานเข้าไปในอาหารและพลังงานนี้จะถูกดูดซับและเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนขึ้น คุณสมบัตินี้เป็นเอกลักษณ์ของไมโครเวฟที่สามารถทะลุผ่านและทำให้โมเลกุลของน้ำสั่นสะเทือนเป็นความร้อนภายในอาหารทำให้เกิดการทำละลายอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อการลดลงของค่าความแข็งในผลิตภัณฑ์ [27] สอดคล้องกับ Parnsakhorn et al. [28] ที่ว่าเมื่อให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟในที่นานขึ้นกับผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์พบว่าให้ค่าความแข็งมีแนวโน้มที่ลดลง

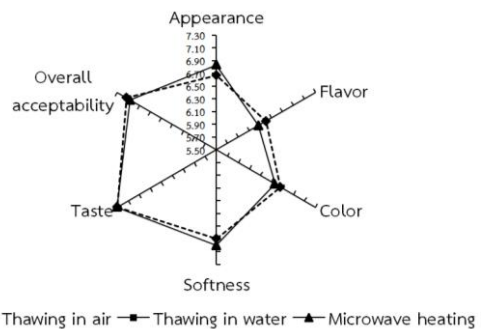


รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งของของข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่แช่เยือกแข็งหลังการทำละลายด้วยเทคนิคต่าง ๆ

^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean $\pm$ SD)

ผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่แช่เยือกแข็งหลังการทำละลายด้วยเทคนิคต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าคะแนนความพึงพอใจในทุกตัวอย่างและทุกปัจจัยในการทดสอบอยู่ที่คะแนนเฉลี่ย 6-8 โดยที่ตัวอย่างหลังการทำละลายที่อุณหภูมิห้อง (Thawing in air) ให้ค่าระดับความพึงพอใจด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น สี ความนุ่ม รสชาติ และความชอบโดยรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.67, 6.40, 6.67, 6.90, 7.30 และ 7.13 ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าสูงสุดในด้านรสชาติ ในส่วนการทดสอบหลังการทำละลายด้วยน้ำ (Thawing in water) ให้ค่าระดับความพึงพอใจด้าน

ลักษณะปรากฏ กลิ่น สี ความนุ่ม รสชาติ และความชอบโดยรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.73, 6.30, 6.50, 6.50, 6.83 และ 6.67 ตามลำดับ สังเกตโดยภาพรวมมีค่าระดับความพึงพอใจใกล้เคียงกันในทุกด้าน และผู้บริโภคให้ค่าระดับความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวหลังการทำละลายด้วยไมโครเวฟ (Microwave heating) ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น สี ความนุ่ม รสชาติ และความชอบโดยรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.83, 6.27, 6.57, 7.00, 7.30 และ 7.07 ตามลำดับ โดยให้ค่าสูงสุดในด้านรสชาติ และหากพิจารณาจากความชอบโดยรวมพบว่าผู้บริโภคพึงพอใจเทคนิคการทำละลายด้วยไมโครเวฟสูงที่สุด ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากด้วยเนื้อสัมผัสที่นุ่ม พิจารณาได้จากค่าความแข็งที่มีค่าต่ำสุดสอดคล้องกับค่าความชื้นที่สูง และการใช้เวลาในการทำละลายที่สั้นจะส่งผลต่อภาพรวมที่ดีของผลิตภัณฑ์หลังการทำละลาย



รูปที่ 4 ผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวห่อใบบัวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่แช่เยือกแข็งหลังการทำละลายด้วยเทคนิคต่าง ๆ

สรุปผล

ผลของการใช้ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการหุงสุกในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:1 และ 1:2 ในการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C และ -40°C พบว่าในทุกผลิตภัณฑ์ให้ค่าปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมหลงเหลืออยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภคตามมาตรฐาน สำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัวแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C ใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:1

ให้ค่าปริมาณแอนโทไซยานินสูงสุดเท่ากับ 22.60 mg/g dry weight และลดลงเมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40°C สำหรับการใช้อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1:2 และแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18°C และอุณหภูมิ -40°C ให้ค่าปริมาณสารแอนโทไซยานินลดลงเท่ากับ 16.74 และ 14.98 mg/g dry weight ตามลำดับ จากการตรวจฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยแสดงค่าสูงสุดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เท่ากับ 68.67 mg eq Trolox/100g ในผลิตภัณฑ์ RB (1:1)/(-18) ในการทดสอบสมบัติด้าน L^* , a^* ค่าความชื้น และค่าวอเตอร์แอคทีวิตี พบว่าการทำละลายที่อุณหภูมิห้อง การทำละลายด้วยไมโครเวฟ และการทำละลายด้วยน้ำ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ในขณะที่ค่า b^* ลดลงเล็กน้อยหลังการทำละลายด้วยน้ำและค่าความชื้นลดลงหลังการทำละลายด้วยไมโครเวฟ หากพิจารณาจากความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์หลังการทำละลายพบว่าผู้บริโภคพึงพอใจเทคนิคการทำละลายด้วยไมโครเวฟสูงที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัยและวัสดุอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

- Palanasingh C, Thaweesuk D. [Exercise and energy source]. Journal of science and technology Maharakham University. 2013;31 (3):316-22. Thai.
- Srichamroen A. Food and Nutrition: Prevention and therapy. Third printing. Chulalongkorn University Press, Bangkok. 2013. Thai.
- Thananiwetkul N. Food and Nutrition. (Mushroom nutritional value). Village doctor magazine, volume: 327. 2006. Thai.
- Kandikere RS. Nutritional quality evaluation of electron beam-irradiated lotus (Nelumbo nucifera) seeds. Food Chem. 2008;107(1): 174-84.
- Uttarapichart B. Handbook of Microbiology Laboratory. Phatthalung Department of Biology Faculty of Science Thaksin University. 2012. Thai.
- Naivikun O. Rice : Science and Technology. Third printing. Kasetsart University Press., 2013. Thai.
- Sirichokworakita S, Phetkhuta J, Khommoona A. Effect of partial substitution of wheat flour with riceberry flour on quality of noodles. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2015;197:1006–12.
- Boontan C, Lanniam T, Saimor C, Thammathanarak B. Comparison of riceberry flour and sweetener on quality of custard cream buns. Journal of Agricultural Science. 2015;46(3 Suppl):525-28. Thai.
- Sinchaipanich P, Butphong K, Disanil S, Tawichatwittayakul R. [Effect of riceberry flour as a substitute for wheat flour in brownies: Texture and quality characteristics]. Thai Science and Technology Journal. 2017;10(2):69-80. Thai.
- Khamchoom S. Development of a betel nut drink from colored rice with antioxidant activity. Master of Science Thesis (Food Science and Technology Branch).

- Phibunsongkhram Rajabhat University, Phitsanulok. 2016. Thai.
11. Lien EJ, Ren S, Bui HH, R Wang R. Quantitative structure-activity relationship analysis of phenolic antioxidants. *Free Radic Biol Med.* 1999;26(3-4):285-94.
 12. Hanying W. Free radicals and antioxidants in the mechanism of carcinogenesis. *Science journal, Khon Kaen University.* 2006;34(3):199-208. Thai.
 13. Ranganna S. Plant pigment. In Ragana S (Editor). *Manual of analysis of fruit and vegetable produce.* Tata McGraw-Hill Publishing Co., Ltd, New Delhi. 1977. p. 72-93.
 14. Suwan N. Effect of coating materials on controlling of browning and weight loss in lychee fruit. Thesis (Master of Science (Biology Department)) Chiang Mai University. 2005. Thai.
 15. Shao Y, Xu F, Sun X, Bao J, Beta T. Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). *J Cereal Sci.* 2014;59(2):211-8.
 16. Pellati F, Benvenuti S, Magro L, Melegari M, Soragni F. Analysis of phenolic compounds and radical scavenging activity of *Echinacea* spp. *J Pharmaceut Biomed.* 2004;35(2):289-301.
 17. AOAC. *Official Methods of AOAC International.* 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia; 2000.
 18. Reyes VG, Jindal VK. A small sample back extrusion test for measuring texture of cooked rice. *J Food Quality.* 1989;13(2):109-18.
 19. Maturin L, Peeler JT. Chapter 3 Aerobic Plate Count: Food and Drug Administration (FDA), *Bacteriological Analytical Manual Online.* 8th ed. Silver Spring, Berlin. 2001.
 20. Kanjana M, Kulika J, Duangta S. Quick-cooking mixed brown rice. *Food Technology Journal Siam University.* 2012;8(1):35-46. Thai.
 21. Department of Medical Sciences. *Criteria for Microbiological Quality No.3.* Bureau of food quality and safety department of medical sciences ministry of health Nonthaburi province. P2 Design and Print Company Limited. 2017. Thai.
 22. Yawadio R, Tanimori S, Morita N. Identification of phenolic compounds isolated from pigmented rices and their aldose reductase inhibitory activities. *Food Chem.* 2007;101(4):1616-25.
 23. Areekul W, Wongnarat K, Kittaworapat S. Stability of anthocyanin and ability to destroy free radicals in blueberry juice and blueberry concentrate. *Proc. of the 47th Kasetsart University Annual Conference, Kasetsart, 17-20 March, 2009.* p. 499-506. Thai.
 24. Khumkhom S. Effect of riceberry flour on physicochemical properties and antioxidant activities of steamed bun. *Thai Science and Technology Journal (TSTJ).* 2019;28(11):2025-38. Thai.
 25. Hiemori m, Koh E, Mitchell AE. Influence of cooking on anthocyanins in black rice (*Oryzasativa* L. japonica var. SBR). *J Agr Food Chem.* 2009; 57(5):1908-14.

26. Langsatthong W. Food processing technology. Department of Agro-Industry Technology Faculty of Applied Sciences King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok. 6th ed. Tex and Journal Publication Company Limited, Bangkok. 2014. Thai.
27. Tong CH, Lentz RR, Lund DB. A microwave oven with variable continuous power and a feedback temperature controller. *Biotechnology Progress*. 1993;9(5):488–96.
28. Parnsakhorn S, Langkapin J, Pansri P, Chaiyadam T. Effect of sterilization process on physicochemical properties of lotus leaf wrapped rice in retort pouch product. *J Appl Res Sci Tech*. 2020;19(1):1-15. Thai.



องค์ประกอบทางเคมีและความเป็นพิษของเปลือกมะม่วงพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้วต่อ หนอนกระทู้ผัก

Chemical Composition and Toxicity of Peel of Native Species Mango in Sa Kaeo Province Against *Spodoptera litura*

ปริญธร เต็มญารศิลป์¹ และ ปุณณนันทน์ พันธ์แก่น^{2*}

Parinthorn Temyarasilp¹ and Poonnanan Phankaen^{2*}

¹หลักสูตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จ.ปทุมธานี 13180

²งานศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จ.ปทุมธานี 13180

¹Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Phatum Thani 13180, THAILAND

²General Education, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Phatum Thani 13180, THAILAND

*Corresponding author e-mail: poonnanan@vru.ac.th

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history:	The purpose of this research was to study the phytochemical
Received: October 18, 2022	screening, antioxidation and efficiency to control <i>Spodoptera</i>
Revised: December 13, 2022	<i>litura</i> of mango peel which is a native species in Sa Kaeo province,
Accepted: December 23, 2022	Thailand. According to phytochemical preliminary study of mango
Available online: March 13, 2023	peel, 5 types were found: alkaloids, flavonoids, coumarins, tannins
DOI: 10.14456/jarst.2023.2	and terpenoids. The extract of mango peel with ethyl acetate
Keywords: <i>Spodoptera litura</i> ,	solvent showed the highest total phenolic content and total
<i>Mangifera Indica</i> Linn,	tannins content which were 403.10 ± 0.02 mg GAE/g and 330.78
phytochemical, antioxidant	± 0.02 mg TAE/g, respectively. For total flavonoids content, the
activity	highest was found in dichloromethane extract at 255.11 ± 0.02 mg
	QE/g. The antioxidant activity study obtained from DPPH free
	radical scavenging showed the highest in methanol extract (EC_{50}
	value was 4.38 ± 0.03 μ g/ml). In the addition, it was found that the
	contact toxicity test by topical application of mango peel extract

was able to control *Spodoptera litura*. In which the active substance extracted with ethyl acetate, it showed the best effect at 24 and 48 hours ($2,392.14 \pm 0.13$ and $1,580.26 \pm 0.12$ mg/l, respectively). Therefore, ethyl acetate extract was analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC), in which only gallic acid was found. It can control many bacteria and insects. Overall results suggest that mango peels from Sa Kaeo province can be further studied for using in insect control plans to reduce the use of chemical pesticides.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสารพฤษเคมีเบื้องต้นฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ในการควบคุมหนอนกระทู้ผัก (*Spodoptera litura*) ของเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้ว ประเทศไทย จากการศึกษาสารพฤษเคมีเบื้องต้นของเปลือกมะม่วง พบ 5 ชนิด ได้แก่ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน แทนนิน และเทอร์ปีนอยด์ ซึ่งสารสกัดเปลือกมะม่วงด้วยเอทิลอะซิเตทมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและแทนนินทั้งหมดสูงสุดที่ 403.10 ± 0.02 mg GAE/g และ 330.78 ± 0.02 mg TAE/g ตามลำดับ สำหรับปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดพบสูงสุดในสารสกัดด้วยไดคลอโรมีเทนที่ 255.11 ± 0.02 mg QE/g จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี DPPH free radical scavenging พบว่าสารสกัดด้วยเมทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ($EC_{50} = 4.38 \pm 0.03$ μ g/ml) นอกเหนือจากนี้จากการทดสอบความเป็นพิษทางการสัมผัสด้วยวิธีการ topical application พบว่าสารสกัดจากเปลือกมะม่วงสามารถควบคุมหนอนกระทู้ผักได้โดยสารที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทิล อะซิเตทออกฤทธิ์ได้ดีที่สุดที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ($LC_{50} = 2,392.14 \pm 0.13$ และ $1,580.26 \pm 0.12$ mg/l ตามลำดับ) ดังนั้นจึงนำสารสกัดจากเปลือกด้วยเอทิลอะซิเตท วิเคราะห์โดยใช้โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) พบสารกรดแกลลิกที่สามารถควบคุมแบคทีเรียและแมลงได้

หลายชนิด ผลการวิจัยโดยรวมชี้ให้เห็นว่าเปลือกมะม่วงจากจังหวัดสระแก้ว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชเพื่อลดการใช้สารเคมีในการควบคุมศัตรูพืช

คำสำคัญ: หนอนกระทู้ผัก มะม่วง สารพฤษเคมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

บทนำ

มะม่วง (*Mangifera Indica* Linn.) เป็นผลไม้เขตร้อนที่นิยมบริโภคกันทั่วโลก โดยจัดเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งที่มีการเพาะปลูกแทบทุกภาคของประเทศไทย และยังเป็นพืชที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรเนื่องจากเป็นผลไม้ส่งออกทั้งในประเทศและต่างประเทศ [1] มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้ว มีลักษณะ ผลรี เปลือกผิวบาง เมื่อสุกจะมีสีเหลืองถึงเหลืองทอง สีเนื้อผลเป็นสีเหลืองอมส้ม มีเส้นใยในปริมาณน้อย เมล็ดลีบ ผลดิบมีรสชาดเปรี้ยว ผลสุกจะมีรสชาดหวาน กลิ่นหอม [2] นับเป็นสินค้าทางการเกษตรที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งของจังหวัด และเป็นมะม่วงพันธุ์ที่ได้รับการรับรองการขึ้นทะเบียนเป็นมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้ว ได้รับการรับรองเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication: GI) ที่ขึ้นชื่อของจังหวัดสระแก้วและเป็นผลไม้ส่งออกของจังหวัดสระแก้ว โดยมีพื้นที่ปลูกมะม่วงทั้งหมด 14,126 ไร่ ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 1,650 กิโลกรัม [3]

ในมะม่วงประกอบไปด้วยสารฟลักซ์เคมี และ สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ซึ่งเป็นสารที่มักพบ ในพืช [1] โดยเฉพาะในผัก ผลไม้ และสมุนไพร สารประกอบ ในสารสำคัญเหล่านี้มีชื่อเฉพาะว่า “สารฟลักซ์เคมี (Phytochemical)” โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ สารปฐมภูมิ (Primary Metabolites) และสารทุติยภูมิ (Secondary Metabolites) ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษา สารประเภท สารทุติยภูมิเป็นสารประกอบที่พบแตกต่างกันในพืชแต่ละชนิด เชื่อว่าสารเหล่านี้เกิดจากกระบวนการ ชีวสังเคราะห์ในพืช และมักจะแสดงฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา อย่างชัดเจน สารทุติยภูมิที่พบในพืชแต่ละชนิด เช่น แอลคาลอยด์ (Alkaloids) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) แทนนิน (Tannins) ไกลโคไซด์ (Glycoside) เทอร์พีนอยด์ (Terpenoids) และ สเตียรอยด์ (Steroids) เป็นต้น [4]

มะม่วงมีสารที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากพบว่ามีการต้านอนุมูลอิสระในปริมาณมาก เช่น วิตามินซีและยังมีสารสำคัญหลายชนิด เช่น แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) แอนโทไซยานิน (Anthocyanins) และ สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) โดย สารประกอบฟีนอลิกสำคัญที่พบในเปลือก เนื้อ และ เมล็ดของมะม่วง ได้แก่ แมงจีเฟอริน (Mangiferin) กรด แกลลิก (Gallic Acid) กรดคาเฟอิก (Caffeic acid) และ แทนนิน (Tannin) [5, 6] ซึ่งแมงจีเฟอรินเป็นสารที่มีผล ทางเภสัชวิทยาอย่างหลากหลาย เช่น การยับยั้งเชื้อไวรัส และแบคทีเรีย ป้องกันอาการอักเสบ แก้ปวด และกระตุ้น ต่อการสร้างภูมิคุ้มกันแก่ร่างกาย [7] นอกเหนือจากนั้น ยังพบว่าสารสกัดจากมะม่วงมีฤทธิ์ในการยับยั้งการ เจริญเติบโตของแบคทีเรีย [8] และสามารถควบคุมอัตรา การตายของแมลงบางชนิด ได้แก่ ลูกน้ำยุง (*Culex pipiens larvae*) และแมลงหวี่ขาวยาสูบ (*Bemisia tabaci*) [9, 10]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาสารฟลักซ์ เคมีและความสามารถต้านอนุมูลอิสระ (โดยวิธี DPPH) และการหาปริมาณสารสำคัญ คือ แมงจีเฟอริน และกรด แกลลิกในเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้พันธุ์พื้นเมือง

จังหวัดสระแก้ว และการออกฤทธิ์ของสารสกัดจาก เปลือกมะม่วงต่ออัตราการตายของหนอนกระทู้ผักที่เป็น แมลงศัตรูพืชที่สำคัญในการทำลายผักตระกูลกะหล่ำทุก ชนิด เช่น คะน้า กะหล่ำปลี กะหล่ำดอก ผักกาดขาวปลี ผักกาดเขียวปลีและผักกาดหัว เป็นต้น นอกเหนือจาก นั้นมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้ว ยังขาดข้อมูลทางด้านคุณค่าทางฟลักซ์เคมีที่เป็น องค์ประกอบสำคัญ เพื่อเป็นแนวทางนำข้อมูลวิจัยไปต่อ ยอดเป็นผลิตภัณฑ์ด้านอาหารเพื่อสุขภาพ หรือด้านการ ใช้เป็นสารชีวภัณฑ์ในการควบคุมศัตรูพืช ที่ถือว่าเป็น การเพิ่มคุณค่า มูลค่า และช่วยกระตุ้นให้ผู้บริโภคเล็งเห็น ความสำคัญในการบริโภคมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์ พื้นเมืองจังหวัดสระแก้ว

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างมะม่วง

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองจังหวัด สระแก้ว ถูกเก็บที่วิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกมะม่วง บ้านบ่อนางชิง ตำบลห้วยโจด อำเภอวัฒนานคร จังหวัด สระแก้ว ในลักษณะเป็นผลมะม่วงสุก สีเป็นสีเหลืองอมส้ม จากนั้นนำมาล้างน้ำให้สะอาด ปอกเปลือก และนำเปลือก ของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองในพื้นที่จังหวัดสระแก้ว ไปตาก ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องและอบจนแห้งสนิท

การสกัดสาร

นำเปลือกมะม่วงที่แห้ง ที่มีระดับความชื้นอยู่ที่ 60.79% น้ำหนัก 100 g ห่อด้วยผ้าขาวบาง และนำไปสกัด โดยใช้ตัวทำละลายแบบไล่ชั้น 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน ไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตท และเมทานอล ตามลำดับ ชนิดละ 500 ml และแช่เป็นเวลา 7 วัน นำสารสกัดที่ได้ จากแต่ละตัวทำละลายไประเหยเอาตัวทำละลายออกด้วย เครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Rotary Evaporator) ซึ่งน้ำหนักสารสกัดหยาบที่ได้ พร้อมคำนวณร้อยละของ สารสกัดหยาบ และนำสารสกัดหยาบที่ได้บรรจุในขวดสีชา เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C

การตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้น

การตรวจสอบสารพิษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดยาจากเปลือกของผลมะม่วง โดยแบ่งการทดสอบสารพิษเป็น 9 กลุ่ม ได้แก่ แอลคาลอยด์ (Alkaloids) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) แอนทราควิโนน (Anthraquinones) คูมาริน (Coumarins) ซาโปนิน (Saponins) แทนนิน (Tannins) เทอร์ปีนอยด์ (Terpenoids) สเตียรอยด์ (Steroids) และ คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ (Cardiac Glycosides) โดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสีหรือตะกอน

การตรวจสอบแอลคาลอยด์

ชั่งสารสกัด 0.2 g เติมสารละลาย 10% กรดซัลฟิวริก ปริมาตร 1.0 ml เขย่า นำไปอุ่นบนเครื่องอังน้ำ 5 นาที กรองส่วนที่ไม่ละลายออก แล้วปล่อยให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง นำของเหลวที่ได้จากการกรอง ไปหยดสารละลายดราเจนดอร์ฟ (Dragendorff's Reagent) จำนวน 5 หยด เขย่า หากปรากฏตะกอนสีส้มแดงแสดงว่าพบแอลคาลอยด์

การตรวจสอบฟลาโวนอยด์

ชั่งสารสกัด 0.2 g ละลายด้วย 50% เอทานอล ปริมาตร 1.0 ml เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง ใส่หลอดแมกนีเซียมชิ้นเล็ก ๆ ลงไป 1 ชิ้น และหยดกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จำนวน 5 หยด เขย่า แล้วนำไปอุ่น 5 นาที หากสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้ม แสดงว่าพบฟลาโวนอยด์

การตรวจสอบแอนทราควิโนน

ชั่งสารสกัด 0.2 g เติมสารละลาย 10% กรดซัลฟิวริก ปริมาตร 1.0 ml เขย่า นำไปอุ่น 5 นาที กรองส่วนที่ไม่ละลายออก แล้วปล่อยให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง นำของเหลวที่ได้จากการกรอง และเติมสารละลาย 10% แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 0.5 ml เขย่า หากปรากฏสารละลายเป็นสีชมพูแดงเกิดขึ้น แสดงว่าพบแอนทราควิโนน

การตรวจสอบคูมาริน

ชั่งสารสกัด 0.2 g ละลายด้วย 50% เอทานอล ปริมาตร 1.0 ml เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง เติมสารละลาย 6M โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 1.0 ml เขย่า หากสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเข้มแสดงว่าพบคูมาริน

การตรวจสอบซาโปนิน

ใช้การทดสอบแบบการเกิดฟอง โดยชั่งสารสกัด 0.2 g เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 5.0 ml นำไปอุ่น 5 นาที เขย่าอย่างแรง หากปรากฏฟองถาวรเกิดขึ้นในหลอดทดลองแสดงว่าพบซาโปนิน

การตรวจสอบแทนนิน

ชั่งสารสกัด 0.2 g เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 1.0 ml นำไปอุ่น 5 นาที กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง เติมสารละลาย 1% เฟอร์ริกคลอไรด์ จำนวน 5 หยด เขย่า หากปรากฏสารละลายเป็นสีเขียวดำหรือน้ำเงินดำ แสดงว่าพบแทนนิน

การตรวจสอบเทอร์ปีนอยด์

ชั่งสารสกัด 0.2 g ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม ปริมาตร 1.0 ml เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 0.5 ml ลงไป หากปรากฏวงแหวนสีน้ำตาลตรงรอยต่อระหว่างชั้นของสารสกัดกับกรดซัลฟิวริก แสดงว่าพบเทอร์ปีนอยด์

การตรวจสอบสเตียรอยด์

ชั่งสารสกัด 0.2 g ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม ปริมาตร 1.0 ml เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรอง เติมกรดกลูเซิลแอซิดิก ปริมาตร 0.5 ml เขย่า แล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น จำนวน 3 หยด หากปรากฏสารละลายเป็นสีน้ำตาลหรือน้ำเงินเขียวแสดงว่าพบสเตียรอยด์

การตรวจสอบคาร์ดิแอกไกลโคไซด์

ซึ่งสารสกัด 0.2 g ละลายด้วยคลอโรฟอร์ม ปริมาตร 1.0 ml เขย่า กรองส่วนที่ไม่ละลายออก นำของเหลวที่ได้จากการกรองเติมสารละลาย 1% เพอริคลอไรด์ จำนวน 5 หยด เขย่า เติมกรดแกลเซียลแอซีติก จำนวน 5 หยด เขย่า และค่อย ๆ เติม กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 0.5 ml ลงไป หากปรากฏวงแหวนสีน้ำตาลตรงรอยต่อระหว่างชั้นของสารสกัดกับกรดซัลฟิวริก แสดงว่าพบคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ [11]

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content)

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric เป็นวิธีที่ดัดแปลงจาก Majhenic และคณะ [12] ใช้กรดแกลลิก เป็นสารมาตรฐาน คือ สารประกอบฟีนอลิกรวมจะทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent ซึ่งประกอบด้วย Phosphomolybdic-phosphotungstic acid โดยสารดังกล่าวจะถูกรีดิวซ์โดย Phenolic hydroxyl groups ของสารประกอบฟีนอลิกรวม เกิดเป็นทังสเตน (Tungsten) และ โมลิบดีนัมสีน้ำเงิน (Molybdenum Blue) ซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm

โดยผสมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (ความเข้มข้น 0.1-0.0001 mg/ml) หรือ สารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ ปริมาตร 0.2 ml กับสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent ความเข้มข้น 10% (v/v) ปริมาตร 0.8 ml ให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 2.5% (w/v) ปริมาตร 1.0 ml เขย่าให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer และหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารตัวอย่าง จากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสารสกัดแห้ง 1 g (Gallic acid equivalents, mg GAE/g dried extract) พบว่ากราฟ

มาตรฐานกรดแกลลิกเป็นเส้นตรง ($y = 0.7453x + 0.001$, $R^2 = 0.99$)

การหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม (Total Flavonoids Content)

การหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมด้วยวิธี Aluminium trichloride colorimetric เป็นวิธีที่ดัดแปลงจาก Arvouet-Grand และคณะ [13] โดยใช้เคอร์ซีติน (Quercetin) เป็นสารมาตรฐาน มีหลักการคือ สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดจะใช้ Phenolic hydroxyl groups ทำปฏิกิริยากับ $AlCl_3$ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีเหลืองและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 nm

โดยผสมสารละลายมาตรฐานเคอร์ซีติน (ความเข้มข้น 0.1-0.0001 mg/ml) หรือ สารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ ปริมาตร 0.2 ml กับสารละลายอะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ ความเข้มข้น 1.0% (w/v) ปริมาตร 1.8 ml ให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 nm ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer และ หาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมของสารตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีตินต่อน้ำหนักสารสกัดแห้ง 1 g (Quercetin equivalents, mg GAE/g dried extract) พบว่า กราฟมาตรฐานเคอร์ซีตินเป็นเส้นตรง ($y = 1.1158x - 0.0047$, $R^2 = 0.99$)

การหาปริมาณแทนนินทั้งหมด (Total Tannins Content)

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแทนนิก ดัดแปลงวิธีจาก Tsai และคณะ [14] เติมสารละลาย folin-ciocalteu ปริมาตร 0.2 ml เขย่าให้เข้ากันดีและเติมสารละลาย 7% โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) ปริมาตร 2 ml ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 90 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm วาดกราฟเพื่อหาสมการเส้นตรง ทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับสารสกัดเพื่อหาปริมาณแทนนิน ในสารสกัดจากกราฟมาตรฐานของกรดแทนนิกและนำเสนอ ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูล

ของกรดแทนนิกต่อกรัมน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg TAE/g extract) พบว่า กราฟมาตรฐานกรดแทนนิกเป็นเส้นตรง ($y = 0.9078x - 0.0013$, $R^2 = 0.99$)

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH free radical scavenging

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH free radical scavenging เป็นวิธีที่ดัดแปลงจาก Braca และคณะ [15] โดยใช้กรดแกลลิก เคอร์ซีติน และวิตามินซี เป็นสารมาตรฐาน มีหลักการคือสารละลาย 1,1-diphenyl-2-picryl hydrazyl (DPPH) จะเป็นสารละลายสีม่วงและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm เมื่ออนุมูลอิสระ DPPH ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ จะทำให้สารละลายสีม่วงของ DPPH จางลงจนเป็นสารละลายสีเหลืองอ่อนและไม่ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm

โดยผสมสารละลายมาตรฐาน (ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.02 mg/ml) หรือสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ (ความเข้มข้นเริ่มต้น 5.0 mg/ml) ปริมาตร 0.2 ml กับสารละลาย DPPH ที่ละลายในตัวทำละลายเมทานอล ความเข้มข้น 0.05 mM ปริมาตร 1.8 ml ให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer และคำนวณหาค่าร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระ (% DPPH free radical inhibition) จากสูตร

$$\% \text{ DPPH free radical inhibition} = [(A-B)/A] \times 100$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีสารทดสอบ

B คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่มีสารทดสอบ

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบเชิงเคมีของกรดแกลลิกและแมงจิเฟอริน

การตรวจสอบองค์ประกอบของในเปลือกมะม่วง ได้แก่ กรดแกลลิกและแมงจิเฟอรินด้วยเทคนิค

High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยการเตรียมสารสกัดจากเปลือกที่ความเข้มข้น 1000 mg/l เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน กรดแกลลิกและแมงจิเฟอริน ที่ความเข้มข้น 500 mg/l และนำตัวอย่างกรองผ่านเยื่อกรอง (Membrane Filter) ขนาด 0.2 ไมครอน จากนั้นวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้ C18 คอลัมน์ทำการชะแบบไอโซเครติก องค์ประกอบของเฟสเคลื่อนที่ คือ 0.2% อะซิโตไนไตรล์ (Acetonitrile) และ กรดออร์โธฟอสฟอริก (Orthophosphoric Acid) (10:90, v/v) อัตราการไหลเฟสเคลื่อนที่ คือ 10 mL/min ที่อุณหภูมิ 4°C โดยเครื่องตรวจวัดสารแบบไดโอดอะเรย์สำหรับ HPLC ที่ความยาวคลื่น 242 nm และนำตัวอย่างฉีดตัวอย่างละ 10 μ l ผลการวิเคราะห์จะสามารถหาได้จากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิกและแมงจิเฟอริน พบว่า กรดแกลลิกมีค่าสมการเส้นตรง คือ $y = 7.8384x + 194.67$ และค่าสัมประสิทธิ์ตัดเส้นใจ (R^2) เท่ากับ 0.99 และแมงจิเฟอรินมีค่าสมการเส้นตรง คือ $y = 11.159x - 48.39$ และค่าสัมประสิทธิ์ตัดเส้นใจ เท่ากับ 0.99

การเตรียมแมลงเพื่อทดสอบ

สำรวจและเก็บตัวอย่างหนอนกระทู้ผัก (*Spodoptera litura*) จากแปลงของเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดสระแก้ว นำมาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 27 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% และช่วงแสงที่ 14:10 L:N ด้วยอาหารเทียม ในกล่องพลาสติกสีเหลี่ยม โดยทั้งนี้ จะทำการเปลี่ยนอาหารเทียมในกล่องทุกสามวัน เพื่อป้องกันการติดเชื้อ เมื่อหนอนเข้าสู่ระยะดักแด้จะทำการย้ายดักแด้มาอยู่ในกรงซึ่งบุด้วยกระดาษและเลี้ยงตัวเต็มวัยด้วยน้ำตาล จากนั้นนำไข่ที่ได้มาใช้ในการพัฒนาเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป ทั้งนี้ จะทำการเมตตามาตแมลงหลังทดสอบสารโดยวิธีการแช่เย็น (Freezer)

การวิเคราะห์ความเป็นพิษด้วยการรับสัมผัสโดยการหยดสาร (Topical Application Method)

ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD ทดสอบความเข้มข้นละ 3 ซ้ำๆ ละ 30 ตัว โดยเตรียมสารละลายสารสกัดหยาบจากเปลือกมะม่วงที่ความเข้มข้น 500, 1250, 2500, 5000, 10000 mg/l เจือจางด้วยอะซิโตน นำมาทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันต่อหนอนกระทู้ ด้วยวิธีการรับสัมผัสโดยการหยดสารลงบนตัวสัตว์ทดลองจากด้านบน (Topical Application Method) ที่ตำแหน่งเซฟาโลทอแร็กซ์ (Cephalothorax) ตัวละ 2 μ l และเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ถูกทดสอบด้วยสารละลายอะซิโตน นำหนอนกระทู้ฝักไปเลี้ยงต่อภายในกล่องพลาสติกด้วยอาหารเทียม ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิของห้องเลี้ยงแมลง และทำการตรวจนับการตายของหนอนกระทู้ฝักที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง และทำการบันทึกผลลักษณะการตาย

ตารางที่ 1 น้ำหนักสารสกัดและร้อยละ (Percentage Yield) ของสารสกัดเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองจังหวัดสระแก้วด้วยตัวทำละลายแบบต่อเนื่อง

สารละลายที่ใช้สกัด	น้ำหนัก (g)	ร้อยละผลผลิต (w/w)	ลักษณะของสารสกัดที่ได้
เฮกเซน	3.64	1.37	ของเหลวขุ่นหนืดสีเหลือง
ไดคลอโรมีเทน	2.73	1.03	ของเหลวขุ่นหนืดสีเหลือง
เอทิล อะซิเตท	2.85	1.07	ของเหลวขุ่นหนืดสีเหลือง
เมทานอล	72.47	27.27	ของเหลวขุ่นหนืดสีเหลือง

ผลการทดลองพฤษเคมี

การตรวจสอบสารพฤษเคมีเบื้องต้นของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้วด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด โดยแบ่งการทดสอบเป็น 9 กลุ่ม ได้แก่ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ แอนทราควิโนน คูมาริน ซาโปนิน แทนนิน เทอร์ปีนอยด์ สเตียรอยด์และคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ ตรวจสอบผลโดยอาศัยปฏิกิริยาการเกิดสีและตกตะกอน พบว่าสารสกัดจากเปลือกมะม่วงในตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด สารประกอบพฤษเคมี 5 ชนิด ที่พบในเปลือกของมะม่วง คือ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน แทนนินและ เทอร์ปีนอยด์

การวิเคราะห์ผลข้อมูล

นำข้อมูลสารสกัด และอัตราการตายของหนอนกระทู้ฝักจากสารสกัดเปลือกมะม่วง มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Tukey's HSD test และวิเคราะห์หาค่า EC_{50} และ LC_{50} โดยวิธี Probit analysis

ผลการศึกษาและการอภิปราย

ผลของการสกัดสาร

ตัวอย่างเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้วจะได้สารสกัดหยาบที่มีน้ำหนักของสารสกัดหยาบร้อยละผลผลิต (Percentage Yield) มากที่สุดคือ เมทานอล เฮกเซน เอทิลอะซิเตทและไดคลอโรมีเทน ดังแสดงในตารางที่ 1

และไม่พบสารประกอบพฤษเคมี 4 ชนิด คือ แอนทราควิโนน ซาโปนิน สเตียรอยด์และคาร์ดิแอกไกลโคไซด์ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากผลการทดลองตรวจสอบพฤษเคมีเบื้องต้นพบว่า ในตัวทำละลายที่แตกต่างกันให้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าในเปลือกมะม่วงมีสารพฤษเคมีที่แตกต่างกันเป็นองค์ประกอบ และสารละลายเมทานอลสามารถสกัดสารพฤษเคมีหลายชนิดได้มากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yearul Kabir และคณะ [16] พบว่า สารประกอบพฤษเคมีในเปลือกมะม่วงจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตัวทำละลาย และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดมีความแตกต่างกัน นอกเหนือจากนั้นสารพฤษเคมีจากพืชสามารถกำจัดแมลงได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับสารเคมีและปริมาณ

ที่อยู่ในพืช เนื่องจากกลไกของสารเคมีที่อยู่ในพืชส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของแมลง [17]

ผลสารประกอบฟีนอลิกรวม

จากผลการหาปริมาณฟีนอลิกรวมของเปลือกมะม่วง พบว่าในสารสกัดเปลือกมะม่วงมีปริมาณฟีนอลิกรวมสูงสุดที่เอทิลอะซิเตท (403.10 ± 0.02 mg GAE/g) รองลงมาได้แก่ เมทานอล (112.71 ± 0.00 mg GAE/g) ไดคลอโรมีเทน (26.02 ± 0.00 mg GAE/g) และเฮกเซน (14.36 ± 0.01 mg GAE/g) ตามลำดับ ตัวทำละลายแต่ละประเภทที่ใช้สกัดจะมีความสามารถในการดึงสารที่แตกต่างกัน ซึ่งตัวทำละลายที่นิยมใช้สกัดได้แก่ น้ำ เอทานอล เมทานอล อะซิโตนและเฮกเซน เป็นต้น [18] นอกเหนือจากนั้นมีการรายงานเกี่ยวกับปริมาณฟีนอลิกรวมในเนื้อของมะม่วงน้ำดอกไม้มีปริมาณเท่ากับ 192 mg GAE/g ในการสกัดด้วยเมทานอล

95% สกัดด้วยเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Shaking Water Bath) [19] ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าในเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้พันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้ว จากการรายงานสารประกอบฟีนอลิกที่พบในเนื้อมะม่วง ได้แก่ กรดเฟอร์ูลิก (Ferulic Acid) กรดโปรโตคาเทชูอิก (Protocatechuic) คลอโรจีนิค (Chlorogenic) แกลลิก (Gallic) วานิลลิก (Vanillic) กรดคาเฟอิก (Caffeic Acids) [20] และในเปลือกมะม่วงพันธุ์ Ataulfo Keitt Osteen และ Sensation ยังพบอนุพันธ์ของสารกรดไซรินจิก (Synergic) เมทิลไดแกแลเลตเอสเทอร์ (Methyl Digallate Ester) เมทิลแกแลเลต (Methyl Gallate) แกลโลแทนนิน (Gallotannins) แกลโลอิลกลูโคส (Galloyl Glucose) ทีโอแกลลิน (Theogallin) กรดโปรโตคาเทชูอิก (Protocatechuic) และกรดเฟอร์ูลิก [21, 22] สารเหล่านี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อพัฒนาต่อยอดงานวิจัยให้เกิดประโยชน์ยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2 การตรวจสอบสารฟลักซ์เคมีเบื้องต้นของสารสกัดเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้วด้วยตัวทำละลายแบบต่อเนื่อง

ฟลักซ์เคมี	เฮกเซน	ไดคลอโรมีเทน	เอทิล อะซิเตท	เมทานอล
แอลคาลอยด์	-	-	-	+
ฟลาโวนอยด์	+	+	+	+
แอนทราควิโนน	-	-	-	-
คูมาริน	-	-	+	-
ซาโปนิน	-	-	-	+
แทนนิน	+	+	+	+
เทอร์ปีนอยด์	+	+	+	-
สเตียรอยด์	-	-	-	-
คาร์ดิแอกไกลโคไซด์	-	-	-	-

หมายเหตุ - หมายถึง ตรวจสอบไม่พบ, + หมายถึง ตรวจสอบพบ

ผลของปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

จากผลการหาปริมาณฟลาโวนอยด์ของเปลือกมะม่วง พบว่าในสารสกัดเปลือกมะม่วงพบปริมาณฟลาโวนอยด์รวมสูงสุดที่ไดคลอโรมีเทน (255.11 ± 0.02 mg QE/g) รองลงมาได้แก่ เอทิลอะซิเตท (166.68 ± 0.01

mg QE/g) เฮกเซน (107.83 ± 0.02 mg QE/g) และเมทานอล (17.76 ± 0.00 mg QE/g) ตามลำดับ จากการรายงานของ Donatus Ebere Okwu และคณะ [23] พบว่า ในใบมะม่วงของประเทศไนจีเรียมีสารฟลาโวนอยด์ในใบปริมาณ 11.24 mg QE/g ซึ่งสารสำคัญที่พบ

ได้แก่ แมนจีเฟอริน (Mangiferin) แคทีชิน (Catechin) อีพิกาทะชิน (Epicatechin) และแควอซีติน กลูโคส (Glucose) กาแล็กโทส (Galactose) แรมโนส (Rhamnose) ไซโลส (Xylose) และ อะราบินอส (Arabinose) [6]

ผลของปริมาณแทนนินทั้งหมด

จากผลการหาปริมาณแทนนินของเปลือกมะม่วง พบว่าในสารสกัดในเปลือกมะม่วงพบปริมาณแทนนินรวมสูงสุดที่เอทิลอะซิเตท (330.78 ± 0.02 mg TAE/g) รองลงมาได้แก่ เมทานอล (92.37 ± 0.00 mg

TAE/g) ไดคลอโรมีเทน (21.28 ± 0.00 mg TAE/g) และ เฮกเซน (11.70 ± 0.01 mg TAE/g) ตามลำดับ จากการรายงานของ Donatus Ebere Okwu และคณะ [23] พบว่า ในใบมะม่วงของประเทศไนจีเรีย 0.45 mg TAE/g ซึ่งจะพบสารประกอบเทอร์ปีนอยด์ ได้แก่ เบต้าเอลิเม็น (β -elemene) เป็นสารที่สามารถยับยั้งการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณแทนนินของเปลือกมะม่วง น้ำดอกไม้วัดทุ่งพินเมืองจังหวัดสระแก้วมีปริมาณมากกว่าในใบมะม่วงในประเทศไนจีเรีย

ตารางที่ 3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดและปริมาณแทนนินทั้งหมด จากสารสกัดเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้วัดทุ่งพินเมืองจังหวัดสระแก้ว

ตัวทำละลายที่ใช้สกัด	ฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g)	ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg QE/g)	แทนนินทั้งหมด (mg TAE/g)
เฮกเซน	14.36 ± 0.01^a	107.83 ± 0.02^b	11.70 ± 0.01^a
ไดคลอโรมีเทน	26.02 ± 0.00^b	255.11 ± 0.02^d	21.28 ± 0.00^b
เอทิล อะซิเตท	403.10 ± 0.02^d	166.68 ± 0.01^c	330.78 ± 0.02^d
เมทานอล	112.71 ± 0.00^c	17.76 ± 0.00^a	92.37 ± 0.00^c

^{a-b}ค่าที่มีตัวอักษรมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($P \leq 0.05$) โดยวิธี Tukey's HSD test

ตารางที่ 4ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในสารสกัดเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้วัดทุ่งพินเมืองจังหวัดสระแก้ว

ตัวทำละลายที่ใช้สกัด	EC ₅₀ (mg/ml)
เฮกเซน	1923.78 ± 0.04^d
ไดคลอโรมีเทน	780.28 ± 0.01^c
เอทิล อะซิเตท	61.74 ± 0.04^b
เมทานอล	4.38 ± 0.03^a

^{a-b}ค่าที่มีตัวอักษรมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ($P \leq 0.05$) โดยวิธี Tukey's HSD test

การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH assay รายงานเป็นค่า 50% Effective Concentration (EC₅₀) ซึ่งหมายถึงความเข้มข้นของสารที่ต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของอนุมูล DPPH ลดลงร้อยละ 50 โดยค่า EC₅₀ ที่น้อย แสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีในการต้านออกซิเดชัน จากผลการทดลองพบว่า สารสกัดที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงที่สุด คือ เมทานอล

เอทิลอะซิเตท ไดคลอโรมีเทนและเฮกเซน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4 จากการรายงานของ Esi Resida และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาเปลือกไม้ และใบมะม่วง 11 สายพันธุ์ในประเทศอินโดนีเซีย พบว่า มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันเหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตามในมะม่วงแต่ละสายพันธุ์ และแต่ละส่วนของมะม่วงที่ได้ทำการศึกษาปริมาณการฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์หาปริมาณสาร

การตรวจสอบสารสกัดในเปลือกมะม่วงด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท เพื่อหาสารสำคัญที่สามารถออกฤทธิ์ต่อหนอนกระทู้ผัก เนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่ออกฤทธิ์ควบคุมหนอนกระทู้ผักได้ดีที่สุด

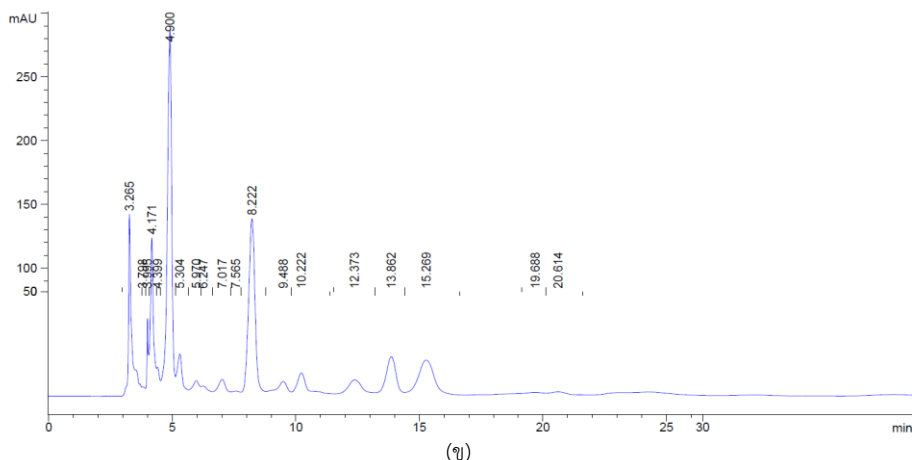
โครมาโตแกรม HPLC ของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกและแมงจีเฟอร์ินที่ความเข้มข้น 500 mg/l พบการทดลองพบว่าสารมาตรฐานกรดแกลลิกและแมงจีเฟอร์ิน มีค่า Retention time ที่ 4.87 และ 29.19 นาที ตามลำดับ

จากการตรวจสอบโครมาโตแกรม HPLC ของกรดแกลลิกและแมงจีเฟอร์ิน พบว่าในสารสกัดจาก

เปลือกด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท พบว่า กรดแกลลิกมีค่า Retention time ที่ 4.90 และไม่พบแมงจีเฟอร์ินในเปลือกที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท แสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 5 ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramirez และคณะ [25] ที่พบว่า ในเปลือกของมะม่วงสายพันธุ์ Pica และ Tommy Atkins มีปริมาณแมงจีเฟอร์ิน 22.15 และ 9.68 mg/100 g FW ตามลำดับซึ่งมากกว่าในเนื้อ (4.24 และ 3.25 mg/100 g FW) แต่อย่างไรก็ตามแมงจีเฟอร์ินในเปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้วอาจถูกสกัดอยู่ในตัวทำละลายชนิดอื่นที่ไม่ใช่เอทิลอะซิเตท นอกเหนือจากนั้นแมงจีเฟอร์ินสามารถพบได้ในเปลือกไม้และใบมะม่วง [26]

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ HPLC ของกรดแกลลิกและแมงจีเฟอร์ินในสารสกัดจากเปลือกด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท

กรดแกลลิก			แมงจีเฟอร์ิน		
Retention time (R _t)	Peak area (mAU*s)	Gallic acid content (mg/g)	Retention time (R _t)	Peak area (mAU*s)	mangiferin content (mg/g)
4.90	3620.77	43.71	0	0	0



รูปที่ 1 โครมาโตแกรม HPLC สารสกัดจากเปลือกด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท

ความเป็นพิษด้วยการรับสัมผัสโดยการหยดสาร (Topical Application Method)

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการสารสกัดจากเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้ว ในการควบคุมหนอนกระทู้ผัก โดยวิธีการ

ทดสอบความเป็นพิษด้วยการรับสัมผัสโดยการหยดสาร (Topical Application Method) พบว่าที่เวลา 24 ชั่วโมงด้วยสารสกัดจากเปลือกมะม่วงด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทมีผลต่ออัตราการตายของหนอนกระทู้ผักมากที่สุด รองลงมาคือเมทานอล ไดคลอโรมีเทนและเฮกเซน

และที่ 48 ชั่วโมง พบว่า ตัวทำละลายเมทานอลมีผลต่ออัตราการตายของหนอนกระทู้ผักมากที่สุด รองลงมาคือ เอทิลอะซิเตท เฮกเซนมีเทน และไดคลอโรมีเทน แสดงดังตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ลำดับการออกฤทธิ์ในตัวทำละลายแตกต่างกัน เนื่องจากตัวทำละลายแต่ละชนิดมีการสลายตัว ความคงตัวของสารสกัดและคุณสมบัติทางเคมีของสารออกฤทธิ์ไม่เหมือนกัน [27]

จากการรายงานของ Emam M และคณะ [9] พบว่าสารสกัดจากเมล็ดมะม่วงสามารถกำจัดลูกน้ำยุง โดยพบสารสำคัญ คือ เพนตากัลโลบิโกลูโคส (Pentagalloyl glucose (PGG)) และ แมนจีเฟอริน (Mangiferin) ที่มีฤทธิ์ต่อการตายของลูกน้ำยุงลายที่

169.38 และ 232.15 mg/l ตามลำดับ นอกเหนือจากนั้นพบว่าสารสกัดจากเปลือกมะม่วง 2 สายพันธุ์ (*Mangifera indica* var. “rosa” และ *Mangifera indica* var. “espada”) มีผลต่อการตายของแมลงหวี่ขาวยาสูบ ที่ LC₅₀ เท่ากับ 7.95 และ 3.27 mg/l ตามลำดับ และยัง มีผลต่อปริมาณการออกไข่ที่ลดลงแมลงหวี่ขาวยาสูบ [10] นอกจากนั้นได้มีการนำสารสกัดจากใบมะม่วงที่สกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน และเมทานอล พบว่าสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้หลายชนิด เช่น *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenase*, *Streptococcus pneumoniae*, *Bacillus cereus*, และ *Shigella flexneri* [8] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากเปลือกมีผลต่ออัตราการตายของหนอนกระทู้ผัก

ตารางที่ 6 ความเป็นพิษด้วยการรับสัมผัสโดยการหยดสารของสารสกัดจากเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้วีทองพันธุ์พื้นเมือง จังหวัดสระแก้วต่อหนอนกระทู้ผัก ที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง

ตัวทำละลายที่ ใช้สกัด	24 ชั่วโมง		48 ชั่วโมง	
	LC ₅₀ (mg/l)	LC ₅₀ range	LC ₅₀ (mg/l)	LC ₅₀ range
เฮกเซน	10,239.29 ± 0.13 ^d	6,753.55-20,250.57	3,601.74 ± 0.12 ^c	2,524.50-5,704.23
ไดคลอโรมีเทน	9,477.44 ± 0.13 ^c	6,175.29-19,394.76	6,590.28 ± 0.12 ^d	4,093.17-15,595.43
เอทิล อะซิเตท	2,392.14 ± 0.13 ^a	1,712.59-3,366.71	1,580.26 ± 0.12 ^a	1,037.24-2,225.23
เมทานอล	6,257.61 ± 0.12 ^b	3,635.28-18,796.78	1,721.18 ± 0.12 ^b	942.81-2,765.35

^{a-d}ค่าที่มีตัวอักษรมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 (P<0.05) โดยวิธี Tukey's HSD test

สรุปผล

เปลือกของมะม่วงน้ำดอกไม้วีทองพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดสระแก้ว มีสารพฤษเคมีและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณและประเภทของสารที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด จากผลการทดลองพบว่า มีสารประกอบพฤษเคมี 5 ชนิด ที่พบเปลือกของมะม่วง คือ แอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ คูมาริน แทนนินและเทอร์ปีนอยด์ และไม่พบสารประกอบพฤษเคมี 4 ชนิด คือ แอนทราควิโนน ซาโปนิน สเตียรอยด์ และคาร์ดิแอกไกลโคไซด์

การหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด พบปริมาณฟีนอลิกมากที่สุดในสกัดด้วยเอทิล อะซิเตท คือ 403.10 mg GAE/g และการหาฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่า สารสกัดจากเปลือกด้วยไดคลอโรมีเทนจะให้ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมากที่สุด คือ 255.11 ± 0.02 mg QE/g สำหรับการหาปริมาณแทนนินทั้งหมด พบว่า สารสกัดจากเปลือกจะได้ปริมาณแทนนินมากที่สุด เมื่อสกัดด้วยเอทิลอะซิเตท คือ 330.78 ± 0.02 mg TAE/g อย่างไรก็ตามฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการทดสอบด้วย DPPH จะมีค่าสูงสุด ที่สารสกัดเปลือกด้วยเมทานอล มีค่า EC₅₀ เท่ากับ 4.38 ± 0.03 mg/ml

จากผลวิเคราะห์ HPLC ของกรดแกลลิก และแมงจิเฟอริน ซึ่งเป็นสารสำคัญในมะม่วง โดยเลือกตรวจวิเคราะห์สกัดจากเปลือกด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท พบว่าสารสกัดจากเปลือกด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท พบเพียงกรดแกลลิกเพียงชนิดเดียว โดยมีปริมาณเท่ากับ 43.71 mg/g

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการสารสกัดจากเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้ว ในการควบคุมหนอนกระพุ่มักสารสกัดจากเปลือกมะม่วงด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทมีผลต่ออัตราการตายของหนอนกระพุ่มักมากที่สุด ที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง โดยมีค่า LC_{50} เท่ากับ $2,392.14 \pm 0.13$ และ $1,580.26 \pm 0.12$ mg/l ตามลำดับ

จากงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า ชนิดของตัวทำละลายในการสกัดมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดสระแก้ว มีสารพิษและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน รวมถึงมีสารออกฤทธิ์ คือ แมงจิเฟอริน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการต่อยอดงานวิจัยต่อไป รวมถึงพัฒนาเป็นสารชีวภัณฑ์ในการควบคุมศัตรูพืช อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองพันธุ์พื้นเมืองจังหวัดสระแก้วอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ประจำปีงบประมาณ 2564 ขอขอบคุณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ภาควิชาเคมีและภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การอนุเคราะห์ด้านสถานที่และอุปกรณ์ ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

1. Krish S. Antioxidant activity, beta-carotene, lycopene and flavonoid content of Thai native cultivars of green mango (*Mangifera indica*) after harvest. UTK research journal. 2019;13(1):68-81.
2. Ban Bo Nang Ching Mango Producer Group Community Enterprise. 2018. Nam dok mai sakaeo mango. Thai patent No. สข 62100122.
3. Data on mango production. Sa Kaeo province [Internet]. Sa Kaeo: Sa Kaeo provincial agricultural extension office 2021 [update 2022 Aug 31; cite 2020 Oct 20]. Availability from: http://www.sakaeo.doae.go.th/site/?page_id=2044
4. Nongluk H. Phytochemical screening and biological activities some thai medicinal plants using in the diabetes therapy [dissertation]. Faculty of science: Burapha University; 2016.
5. Abdalla AEM, Darwish SM, Ayad EHE, El-Hamahmy RM. Egyptian mango by-product 1. Compositional quality of mango seed kernel. Food Chem. 2007;103(4):1134-40.
6. Ribeiro VLS, Avancini C, Goncalves K, Toigo E, Poser GV. Investigation of the acaricidal activity of *Calea serrata* (Asteraceae) on *Boophilus microplus* and *Rhipicephalus sanguineus*. Vet Parasitol. 2008;151:351-4.
7. Makare N, Bodhankar S, Rangari V. Immunomodulatory activity of alcoholic extract of *Mangifera indica* L. in mice. J Ethnopharmacol. 2001;78(2-3):133-7.
8. Doughari JH, Manzara S. In vitro antibacterial activity of crude leaf extracts of *Mangifera indica* Linn. Afr J Microbiol Res. 2008;2:67-72.

9. Emam M, Abdel-Haleem DR, El-Ansari MA, Sobeh M. Larvicidal activity of pentagalloyl glucose and mangiferin isolated from the waste of mango kernel against *Culex pipiens* L. Waste and biomass Valorization. 2022;3: 83–93.
10. Da-Camara CAG, Carvalho-Ribeiro NDC, De-Melo JPR, De-Moraes MM. Insecticidal. Potential of citrus and mango essential and selected constituents on silverleaf whitefly. Revista Caatinga. 2020;33(1):90-9.
11. Ayoola GA, Adesegun SA, Adepoju-Bello AA, Obaweya K, Ezennia EC, Atangbayila TO. Phytochemical screening and antioxidant activities of some selected medicinal plants used for malaria therapy in southwestern nigeria. Trop J Pharm Res. 2008;7(3):1019-24.
12. Majhenic L, kerge MS, Knez Z. Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. Food Chemist. 2007;104(3):1258-68.
13. Arvouet-Grand A, Vennat B, Pourrat A, Legret P. Standardization d' une extrait de propolis et identification des principaux constituents. J Pharm Belg. 1994;49(6):462-8.
14. Tsai CJ, Harding SA, Jiang H, Jeong ML, Casado FL, Lin HW. Functional genomics analysis of foliar condensed tannin and phenolic glycoside regulation in natural cottonwood hybrids. Tree Physiol. 2005;25: 1475–86.
15. Braca A, Sortino C, Politi M, Morelli I, Mendez J. Antioxidant activity of flavonoids from *Licania licaniaeflora*. J Ethnopharmacol. 2002;79(3):379-81.
16. Yearul K, Hossain US, Jiwan S. Phytochemical compounds in functional properties of mangoes. Wiley Online Library 2007;12:237-54.
17. Nopdol K, Rawit P, Choosaeng P, Kanjana K. Efficacy of plant extracts for controlling of rice weevil (*Sitophilus oryzae*). Agriculture and Technology Journal. 2021;2(2):85-94.
18. Sultana B, Anwar F, Ashraf M. Effect of extraction solvent technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extract. Molecules. 2009;14(6):2167-80.
19. Piyata A, Wichanee M. Antioxidant Activity and tyrosinase inhibition of mango crude extracts (*Mangifera indica* Linn.). The 1st RUSNC, 2016 Jul 22. Rajamangala university of technology Suvarnabhumi. Ayutthaya: Rajamangala university of technology Suvarnabhumi; 2016.
20. Abbasi AM, Guo X, Fu X, Zhou L, Chen Y, Zhu Y. Comparative assessment of phenolic content and in vitro antioxidant capacity in the pulp and peel of mango cultivars. Inter J Mol Sci. 2015;16:13507-27.
21. López-Cobo A, Verado V, Diaz-de-Cerio E, Segura-Carretero A, FernandezGutiérrez A, Gomez-Caravaca AM. Use of HPLC- and GC–QTOF to determine hydrophilic and lipophilic phenols in mango fruit (*Mangifera indica* L.) and its by-products. Food Res Int. 2017;100: 423–4.

22. Pacheco-Ordaz R, Antuñes-Ricardo M, Gutiérrez-Urbe JA, GonzálezAguilar GA. Intestinal permeability and cellular antioxidant activity of phenolic compounds from mango (*Mangifera indica* cv. Ataulfo) peels. *Int J Mol Sci.* 2018;1:514. doi.org/10.3390/ijms19020514
23. Donatus EO, Vitus E. Evalution of the phytochemical composition of mango (*Mangifera Indica* Linn) stem bark and leaves. *Int J Chem Sci.* 2008;6(2):705-16.
24. Esi R, Sri NK, Rodesia MR, Muhammad A, Emrizal E. Phytochemical screening and antioxidant profiling of Sumatran wild mangoes (*Mangifera* spp.): a potential source for medicine antidegenerative effects. *PubMed Central.*2019;9:220. doi: 10.12688/f1000research.22380.3.
25. Ramirez JE, Zambrano R, Sepulveda B, Simirgiotis MJ. Antioxidant properties and hyphenated HPLC–PDA–MS profiling of *Chilean Pica* mango fruits (*Mangifera indica* L. cv. *piqueno*). *Mol.* 2013;19:438–58.
26. Matheyambath AC, Subramanian J, Paliyath G. “Mangoes reference module in food science,” in *Encyclopedia of food and health*. Eds B C Paul and F F Told (Switzerland: Elsevier). 2016;6 41–5. doi: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00442-6
27. Jiraporn N, Supawadee K. Marigold flower (*Tagetes erecta* L.) crude extract on killing the mealybug. *Academic Journal of Science and Applied Science.* 2019;1:45-54.



การประมาณค่าผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณ NDVI

Estimating of Maize Yield Using UAV Images and NDVI Index

ภูมิชัย ตรัยดลานนท์ และ เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์*

Phoomchai Traidalanon and Kiattisak Sangpradit*

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, THAILAND

*Corresponding author e-mail: k.sangpradit@rmutt.ac.th

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: November 24, 2022

Revised: January 27, 2023

Accepted: February 1, 2023

Available online: April 5, 2023

DOI: 10.14456/jarst.2023.3

Keywords: Aerial mapping, UAVs, NDVI, multi-wavelength photograph, maize yield estimation

The objective of this research is to study the relationship of the maize growth using an aerial geographic mapping with an unmanned aerial-vehicle (UAV) in order to forecast the actual number of yielded maizes. The work was done using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), acquired from considering the reflection of light waves Red (668 nm), Green (560 nm), NIR (842 nm) and Red Edge (717 nm). The study area was in Lam Sai, Wang Noi District, Phra Nakhon Sri Ayutthaya Province, started from June to November 2021. The experimental area was 12,467 square meters, separated into 198 blocks of 6x10 square meters. In the experiment, the area was divided into area A, prepared without soil improvement and B, with soil improvement, each measured 5,600 square meters in size. The result, after collecting the data for 107 days, showed that the relationship between NDVI and weight of maize seed can be described with linear regression, where the acquired yield forecast is $Y = 0.67X - 30.927$, with 95% level of confidence and 61% r-squared value. Furthermore, the correlation was calculated to be 78% when comparing the yield approximation of the entire area with the weight of harvested seeds. In addition, seeds at 30%

humidity are 3,208 kilograms and 2,999 kilograms for area A and B, respectively. When compared to the areas consisting NDVI 50-59%, 60-69, 70-79%, 80-89% and 90-100%, the error was calculated to be 1.75 and 1.67, respectively.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศแบบหลายคลื่นแสงเพื่อประมาณการผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI โดยการใช้การสะท้อน ของคลื่นแสงสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน เนียร์อินฟราเรด และขอบแสงสีแดง ซึ่งมีความยาวคลื่น 668, 560, 475, 842 และ 717 นาโนเมตร ตามลำดับ ทำการศึกษาที่ อำเภอลำดวน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในช่วงเดือนมิถุนายน ถึงเดือนพฤศจิกายน 2564 พื้นที่ทดลองขนาด 12,467 ตารางเมตร หรือประมาณ 7.8 ไร่ แบ่งเป็น 2 แปลง คือ แปลง A ไม่มีการปรับปรุงดินก่อนเพาะปลูก และแปลง B มีการปรับปรุงก่อนเพาะปลูก มีขนาดแปลงละ 3.5 ไร่ เก็บข้อมูลตั้งแต่ระยะเริ่มปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยวรวม 107 วัน ผลการวิจัยจากการเก็บข้อมูลจำนวน 10 พื้นที่ตัวอย่าง โดยพิจารณากลุ่มตัวอย่างจากค่าความสมบูรณ์ 5 ระดับ พบว่า จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI กับน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพด สามารถอธิบายได้ด้วยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติถดถอยเชิงเส้นตรง และได้ค่าการประมาณการณผลผลิตเท่ากับ $Y = 0.67X - 30.927$ ที่ระดับความมั่นใจ 95% และ R Square 61% และความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกันด้วยความสัมพันธ์ 78% เมื่อนำมาประมาณการณผลผลิตบนพื้นที่ทั้งหมด เปรียบเทียบกับค่าผลผลิตน้ำหนักเมล็ดด้วยการเก็บเกี่ยวภาคพื้นดิน ความชื้นเมล็ดข้าวโพดที่ 30 % ของแปลง A เท่ากับ 3,208 กิโลกรัม แปลง B เท่ากับ 2,999 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับพื้นที่ ที่มีดัชนีพืชพรรณ NDVI อยู่ในช่วง 50-59%, 60-69, 70-79%, 80-89% และ 90-100%

ที่ข้าวโพดอายุ 82 วัน ซึ่งได้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดของแปลง A เท่ากับ 3,265 กิโลกรัม และ แปลง B เท่ากับ 3,050 กิโลกรัม พบความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.75 และ 1.67 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การทำแผนที่ทางอากาศ UAVs NDVI ภาพถ่ายความยาวคลื่นหลายคลื่น การประมาณค่าผลผลิตข้าวโพด

บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย ผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งมีความต้องการใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ในขณะที่ผลผลิตยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ในประเทศ จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยในปี 2564-2565 ประเทศไทยนำเข้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปริมาณ 1.8 ล้านตัน มูลค่ารวมสูงถึง 12,723 ล้านบาท [1] และจากรายงานโครงการ Agricultural Outlook 2021-2030 ขององค์การเพื่อการร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (OECD) และ องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ระบุว่าใน 7 ปีข้างหน้า ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั่วโลกจะเพิ่มขึ้น 116 ถึง 787 ล้านตัน [2] ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปี 2565 ได้เพียง 4.9 ล้านตัน เฉลี่ยเป็น 735 กิโลกรัม/ไร่/รอบ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศที่มีความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ 9 ล้านตัน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกร เนื่องจากมีตลาดรองรับ

ผลผลิต โดยเฉพาะ การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนา เนื่องจากเป็นพืชอายุสั้นและใช้น้ำน้อย [3]

การเกษตรแบบใหม่ หรือ Smart Farm เป็นการนำเทคโนโลยีมาบริหารจัดการระบบการเพาะปลูก สามารถติดตามและวางแผนการเพาะปลูก เก็บข้อมูลมาวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาการปลูกแบบเรียลไทม์ พร้อมแสดงข้อมูลการเจริญเติบโตและสามารถทำนายผลผลิตจากข้อมูลการเพาะปลูกได้ [4] เทคโนโลยีในการสำรวจภาพถ่ายทางอากาศ โดยการใช้ภาพถ่ายทางดาวเทียมสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค่าดัชนีต่าง ๆ ของพืชพรรณได้ เช่น การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของพื้นที่เพาะปลูกด้วย NDVI แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียมนั้นยังไม่เหมาะกับพื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่า 40 กิโลเมตร [5] ภาพถ่ายทางอากาศจากโดรน หรือ อากาศยานไร้คนขับ (UAV) จึงมีบทบาทสำคัญเพราะมีความละเอียดของภาพต่อพิกเซลที่สูงกว่าภาพถ่ายทางดาวเทียม เช่น เมื่อถ่ายภาพจากระดับความสูง 100 เมตร จะได้ความละเอียดของภาพ 8 เซนติเมตรต่อพิกเซล เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายทางดาวเทียมของ Sentinel-2 ที่มีความละเอียดของภาพเพียง 10 ถึง 60 เมตรต่อพิกเซล ในระดับความสูง 40 กิโลเมตร [6] นอกจากนี้การทำฟาร์มแบบเกษตรแม่นยำเป็นหนึ่งในการปฏิวัติทางการเกษตรที่เน้นการบริหารที่ถูกต้องในสถานที่ อัตรา และเวลาที่เหมาะสม ทั้งในเรื่องการใช้ปุ๋ยของยาฆ่าแมลง หรือ ไกลพรวนและการชลประทานเพื่อเพิ่มผลผลิตหรือคุณภาพของพืชผลและ ลดการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง [7]

ดัชนีพืชพรรณ NDVI สามารถคำนวณได้จากผลต่างของการการนำค่าสะท้อนของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด และคลื่นแสงสีแดง จากใบพืช โดยถ้าใบพืชมีการสะท้อนของ คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด มากจะแสดงให้เห็นว่าพืชมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่าพืชที่มีการสะท้อนของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดที่น้อย [8] แต่ทั้งนี้ยังมีข้อจำกัดในการใช้ภาพถ่ายจากโดรนที่ใช้กล้องมัลติสเปกตรัมซึ่งยังมีราคาสูงมากในปัจจุบัน เพื่อ

ถ่ายภาพแบบหลายช่วงคลื่นแสง เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาดัชนีพืชพรรณเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามยังมีดัชนีพืชพรรณบางตัวที่สามารถการใช้คลื่นแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน หรือ RGB ในการคำนวณหาได้เช่นกันเช่น Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) และ Green Leaf Index (GLI) ณัฏฐา วิจารณ์สกุล และคณะ ได้ศึกษา การใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประเมินพื้นที่ใบของข้าว โดยการถ่ายภาพที่ความสูง 1 เมตร เหนือทรงพุ่มต้นข้าวที่ช่วงอายุ 20, 40, 60, 80 และ 100 วัน หลังปลูก แต่ละครั้งจะถ่ายภาพ 3 ช่วงเวลา คือ 08:00, 12:00 และ 16:00 น. วัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ อัตโนมัติ พบว่าการวัดพื้นที่ใบข้าวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเจริญเติบโตของข้าวโดยไม่มีการทำลายตัวอย่างพืชนั้นมีความแม่นยำที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. ซึ่งมีแสงสว่างที่สุด แต่โดยรวมแล้วยังคงไม่มีความแม่นยำมากพอ เนื่องจากยิ่งพืชมีการเจริญเติบโตจะมีใบเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการซ้อนทับกัน ทำให้การวิเคราะห์ค่าเคลื่อนตามไปด้วย [9] สุรพร ขอนพิกุล และคณะ ศึกษา การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยและแนวทางการลด เพื่อการผลิตรายังยืน โดยพบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์ปัจจุบันมีมากถึง 1.6 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า สาเหตุหลักเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร้อยละ 83 และมาจากการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรร้อยละ 17 นอกจากนี้การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทยส่วนใหญ่มีลักษณะที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากการปลูกในพื้นที่ลาดชันและอยู่ในเขตป่าไม้ ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง ก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันจากการเผาป่าและไร่ข้าวโพด อีกทั้งยังเป็นการสูญเสียพื้นที่ป่าอนุรักษ์ต้นน้ำ พบว่าการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ราบและในพื้นที่ที่เหมาะสมนั้น จะช่วยเพิ่มผลผลิตต่อไร่ ช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยและสารเคมีกำจัดวัชพืช ซึ่งการแก้ปัญหามลพิษทางอากาศ ปัญหามหมอกควันที่เกิด

จากการเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ต้องมีการหาแนวทางเพื่อการจัดการเศษวัสดุด้วยการนำไปแปรรูปทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (RDF) หรือการนำไปผลิตเป็นปุ๋ยหมัก (ปุ๋ยอินทรีย์) จากการวิจัยนี้ การปรับปรุงในสถานการณ์จำลองโดยใช้ปุ๋ยสังเคราะห์ สามารถลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 22 และปรับปรุงโดยใช้ปุ๋ยสังเคราะห์รวมกับการย้ายพื้นที่ปลูกและการจัดการชีวมวลอย่างถูกต้องเหมาะสม พบว่าสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 48 [10] ปาณทัช เจริญโสง และ คณะ ได้ศึกษา การตอบสนองของดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอนัลไลซ์ต่อปุ๋ยไนโตรเจน ในข้าวโพดข้าวเหนียวโดยใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งทำการบันทึกภาพถ่ายสีผสมจริงและภาพถ่ายหลายช่วงคลื่น เมื่อข้าวโพดมีการเจริญเติบโตในระยะ R1 ซึ่งมีอายุ 66 วัน จากผลการคำนวณค่า NDVI พบว่าพื้นที่บริเวณร่องทางเดินระหว่างแปลงมีค่าน้อยที่สุดคือ 0.16 และพื้นที่บริเวณต้นข้าวโพดที่มีทรงพุ่มเปียดมึค่ามากที่สุดคือ 0.96 โดยการตอบสนองค่า NDVI ต่อปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนนั้นมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวก โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้มีการทดสอบการให้ปุ๋ย 4 ตารับ และมีผลผลิตดังนี้ ตารับ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย ให้ผลผลิต 401.65 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับตารับ 2 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 23 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิต 1,316.25 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนตารับ 3 และ 4 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 20 และ 32 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิต 1,306.22 และ 1,316.25 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ การทดสอบนี้เมื่อถึงระดับหนึ่งข้าวโพดข้าวเหนียวจะเริ่มตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนในรูปผลผลิตน้อยลง แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI กับผลผลิตยังอยู่ในระดับมีความสัมพันธ์มาก [12] ปริยานันท์ สอนทับทิม และคณะ ได้ศึกษา การประเมินผลผลิตอ้อยด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล ในจังหวัดนครสวรรค์ โดยดัชนีพืชพรรณที่นำมาใช้คือ NDCI, NDRE, NDVI ซึ่งพบว่าดัชนี NDRE มีความสัมพันธ์กับผลผลิตอ้อยดีที่สุด และอายุ

อ้อย 8-10 เดือน ค่าความแม่นยำของประมาณการผลิตดีที่สุด การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน SMLR มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เทคนิคแปลงแบบ PCA โดยถ้าผลผลิตอ้อยสูงขึ้น ค่าการสะท้อนแสงจะลดลง โดยการประเมินผลผลิตอ้อยด้วยวิธี SMLR จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงกว่าการประเมินผลผลิตอ้อยด้วยดัชนีพืชพรรณ [13] จีรวัฒน์ โนดโสง และคณะ ได้ศึกษา การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI, Clred edge และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข โดยเก็บรวบรวมภาพถ่ายอ้อยในแปลงจากกล้องถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral camera) แบบ 5 ช่วงคลื่น (Red, Green, Blue, NIR และ RedEdge) ซึ่งติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ เพื่อประมวลผลและคำนวณค่าดัชนี พร้อมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่า การทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ (NDVI และ Clred edge) และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลขมีค่า $r = 0.77, 0.78$ และ 0.87 ตามลำดับ ค่าดัชนีทั้ง 3 ค่า สมการที่ทำนายผลผลิตอ้อยได้ดีที่สุดคือ ปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข [14] Etienne David และคณะ ได้ทำการศึกษาการตรวจจับและการนับพืชจากภาพ RGB ความละเอียดสูงที่ได้รับจาก UAV: การเปรียบเทียบระหว่างวิธี Deep Learning กับ Handcrafted ในข้าวโพด ปีหน้ำตาล และพืชทานตะวัน โดย Deep Learning (DL) จะให้ Machine ฝึกกับรูปภาพที่เลือกมาที่ Represent แต่ละช่วงการเติบโตของพืช และ Handcrafted (HC) จะมีกฎเกณฑ์ต่าง ๆ เช่น แบ่งส่วนพิกเซลของสีเกี่ยวกับพื้นหลัง แยกแถวและ Object ที่เกี่ยวกับพืชจากความรู้การหว่าน ผลคือ DL ทำได้ดีกว่าโดยเฉพาะข้าวโพดและทานตะวัน แต่ปัญหาของทั้ง 2 วิธีคือจะทำงานได้แย่งถ้าคุณภาพของรูปไม่ดี และสำหรับ DL จะทำงานได้แย่งอีกถ้ามีวัชพืช ดังนั้นจึงมีวิธีที่ 3 คือ Hybrid (HY) จะใช้กฎของ HC มาร่วมด้วย ซึ่งทำให้ทำงานดีกว่า DL เล็กน้อย หลังจากนั้นจึงใช้ Active learning คือการเพิ่มภาพที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไข

ของชุดข้อมูลเพื่อฝึกฝน DL จะทำให้พัฒนาประสิทธิภาพได้ดีมาก

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน รวมถึงการใช้ทรัพยากรในการผลิตอย่างคุ้มค่า และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการผลิต ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ทั้งในด้านการคัดเลือก พื้นที่ปลูก การจัดการดิน ปุ๋ยและน้ำ การจัดการศัตรูพืช รวมถึงการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือการหาความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศเพื่อประมาณการผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก

พื้นที่การวิจัยตั้งอยู่ที่บริษัท เคเอสพี อีควิเมนต์ จำกัด ตำบลลำไทร อำเภอน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 1 และได้ทำการศึกษาวิจัยเป็นระยะเวลา 6 เดือน เริ่มตั้งแต่มิถุนายนถึงพฤศจิกายน 2564 บนพื้นที่ทดลอง 12,467 ตารางเมตร หรือประมาณ 7.8 ไร่ แบ่งเป็น 2 แปลง ขนาดแปลงละ 3.5 ไร่ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อเปรียบเทียบความเจริญเติบโตและผลผลิตของน้ำหนักลมัสต์ข้าวโพด ของพื้นที่ที่มีการปรับปรุงดินและไม่ปรับปรุงดิน โดย แปลง A ไม่มีการปรับปรุงดินค่าความเป็นกรดเป็นด่างก่อนเพาะปลูก และแปลง B มีการปรับปรุงความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้อยู่ในระดับ pH 5.5-6.5 ก่อนเพาะปลูก ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในพื้นที่ที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว รวมไปถึงน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกควรมีค่า pH 5.6-6.5 เช่นเดียวกัน [1] รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดินและน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพก่อนการเพาะปลูก ซึ่งในแปลง A พบค่าดินมีค่า pH เฉลี่ยที่ 4.4 ซึ่งมีความเป็นกรดสูง ในขณะที่แปลง B พบค่าดินมีค่า pH เฉลี่ย 5.3 จึงใช้เป็นแปลงที่มีการปรับปรุงดิน

โดยใช้ ปูนขาว $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ในปริมาณ 740 กิโลกรัมต่อไร่ ในการปรับสภาพดิน ซึ่งหลังจากการปรับสภาพดินเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ของแปลง B พบค่าดินมีค่า pH เฉลี่ยเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 6.0 ส่วนแนวทางการปรับสภาพค่า pH ของน้ำได้ใช้ มูลไก่ ในการลดค่ากรด ซึ่งจากการวัดค่า pH เฉลี่ยของน้ำหลังการปรับสภาพ วัด pH ได้ 4.5 ซึ่งยังถือว่าเป็นกรด และยังไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช



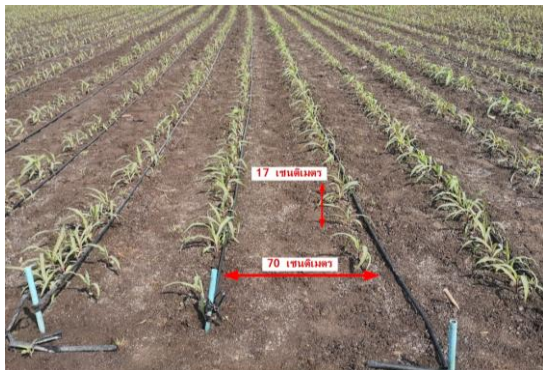
รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาวิจัย



รูปที่ 2 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินและน้ำในพื้นที่ที่วัดค่าก่อนการเพาะปลูก

เมล็ดพันธุ์ของข้าวโพดที่ใช้ในการปลูกทดสอบคือ พันธุ์ CP303 อายุข้าวโพดที่พร้อมในการเก็บเกี่ยวผลผลิต อยู่ในช่วง 105 ถึง 115 วัน ข้าวโพดพันธุ์นี้สามารถปลูกได้ทั้งในที่ราบและเนินเขา โดยต้องมีดินอุดมสมบูรณ์และมีฝนตกชุก คาดการณ์ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 1,500-2,000 กก./ไร่ ที่ความชื้น 25-30% [12] โดยระยะการหยอดเมล็ดปลูกข้าวโพดจะห่างกัน 17 เซนติเมตร 1 ต้นต่อหลุม และระยะห่างระหว่างแถวห่าง

กัน 70 เซนติเมตร ซึ่งเท่ากับ 13,400 ต้น/ไร่ ดังแสดงในรูปที่ 3 ระยะเวลาการให้ปุ๋ยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ 14 25 และ 40 วัน ตามลำดับ

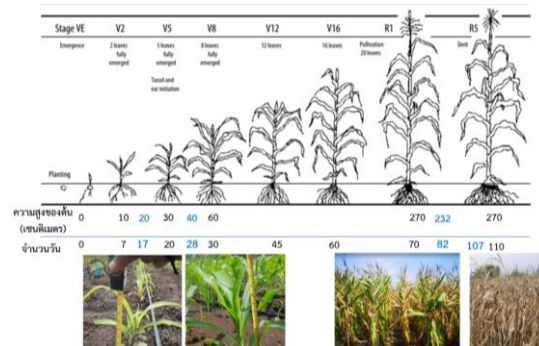


รูปที่ 3 ระยะห่างระหว่างต้นและระหว่างแถวของการปลูกข้าวโพด

2. การศึกษาผลผลิต

วัตถุประสงค์ที่ 2 ของงานวิจัยนี้ คือ การประมาณค่าผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณ NDVI และหาช่วงอายุที่เหมาะสมในการใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาประมาณการผลผลิต โดยการใช้ข้อมูลภาคพื้นดินของการเจริญเติบโตตามวัฏจักรของข้าวโพดตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว ซึ่ง O’Keeffe, Kieran [15] ได้แบ่งไว้ 8 ระยะ ดังนี้ 1) Stage VE คือระยะเริ่มหยอดเมล็ดลงแปลงปลูก 2) V2 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 2 ใบ และความสูงที่ 10 เซนติเมตร ในระยะเวลา 7 วันจากการปลูก 3) V5 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 5 ใบ และความสูงที่ 30 เซนติเมตร ในระยะเวลา 20 วันจากการปลูก 4) V8 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 8 ใบ และความสูงที่ 60 เซนติเมตร ในระยะเวลา 7 วันจากการปลูก 5) V12 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 12 ใบ ในระยะเวลา 45 วันจากการปลูก 6) V16 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 16 ใบ ในระยะเวลา 60 วันจากการปลูก 7) R1 คือ ระยะการออกรวงไหมจนถึงระยะฝักอ่อน มี 20 ใบ และความสูงที่ 270 เซนติเมตร ในระยะเวลา 70 วันจากการปลูก 8) R5 คือ ระยะที่ฝักเริ่มแห้งพร้อมเก็บเกี่ยวและสีของใบจะเริ่มเป็นสีน้ำตาล

เหลือง มีความสูงที่ 270 เซนติเมตร ในระยะเวลา 110 วันจากการปลูก รูปที่ 4 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวโพดในพื้นที่ทดลองในช่วงอายุ 17 วัน ซึ่งจัดอยู่ในช่วง V4 เนื่องจากมีจำนวนใบ 4 ใบและความสูงอยู่ที่ 20 เซนติเมตรเป็นช่วงระหว่างระยะ V2 และ V5 ระยะ 28 วัน จัดอยู่ในระยะ V7 เนื่องจากมีจำนวนใบ 7 ใบและความสูงอยู่ที่ 40 เซนติเมตรเป็นช่วงระหว่างระยะ V5 และ V8 ระยะ 82 วัน เป็นระยะที่ใช้ในการใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI เพื่อประมาณการผลผลิตของน้ำหนักเมล็ดข้าวโพด โดยพิจารณาจากค่าความสมบูรณ์ 5 ระดับ ของทรงพุ่มต้นข้าวโพดในช่วง 50-59%, 60-69%, 70-79%, 80-89% และ 90-100% เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่ต้นข้าวโพดออกรวงไหมและเริ่มมีฝัก และ ระยะ 107 วัน เป็นระยะที่เริ่มเก็บเกี่ยวข้าวโพด เนื่องจากเป็นระยะที่ ฝักแห้งมีความชื้นไม่เกิน 30%



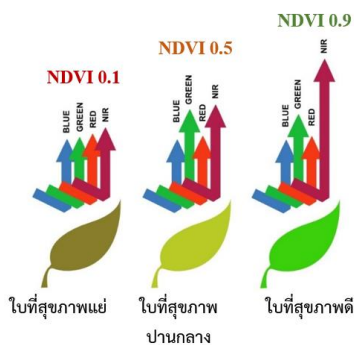
รูปที่ 4 ระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพดตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว

3. การศึกษาดัชนีพืชพรรณ

ดรชนีพืชพรรณ (Vegetation Index หรือ VI) คือ ค่าที่บอกถึงสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิว โดยการคำนวณจากการนำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำสัดส่วนซึ่งกันและกัน ซึ่งมีหลายดรชนีที่นิยมใช้ในการคำนวณ คือ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red-Edge Index), GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), CCCI

(Canopy Chlorophyll Content Index), Cgreen (Chlorophyll Index Green), MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index) ในการศึกษาค้างนี้จะใช้ค่า NDVI ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้มากกว่าดัชนีพืชพรรณอื่น โดยการนำค่าความแตกต่างของการสะท้อนของพื้นผิว ระหว่างช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรด กับช่วงคลื่นสีแดงที่ตามองเห็น มาทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่นเพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ ดังสมการที่ (1) ทำให้ผลลัพธ์ NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งสามารถแปลผลได้ดังนี้ ค่า 0 หรือ 0.1 หมายถึงไม่มีพืชพรรณใบเขียว หรือมีพืชพรรณใบเขียวอยู่น้อยมากในบริเวณพื้นที่สำรวจ ในขณะที่ ถ้าค่า NDVI เข้าใกล้ 1 เช่น 0.8 หรือ 0.9 หมายถึง พื้นที่ที่สำรวจ มีพืชพรรณใบเขียวที่หนาแน่น ดังแสดงในรูปที่ 5 กรณีที่พื้นผิวมีพืชพรรณปกคลุมจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรดสูงกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวก ในขณะที่ถ้าพื้นผิวที่สำรวจเป็นดินจะมีค่าการสะท้อนระหว่างสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกันทำให้ NDVI มีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ ส่วนกรณีที่พื้นผิวเป็นน้ำ จะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรด ต่ำกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ทำให้ NDVI มีค่าติดลบ

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

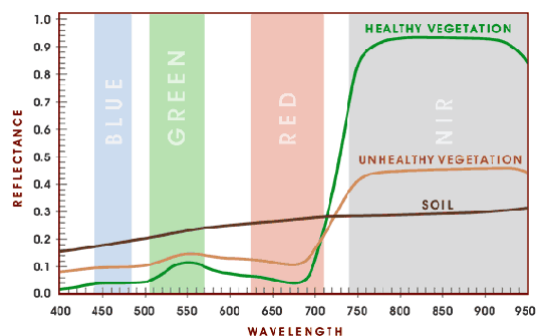


รูปที่ 5 เปรียบเทียบระดับการสะท้อนของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด 3 ระดับของใบพืช ที่มีผลต่อดัชนีพืชพรรณ

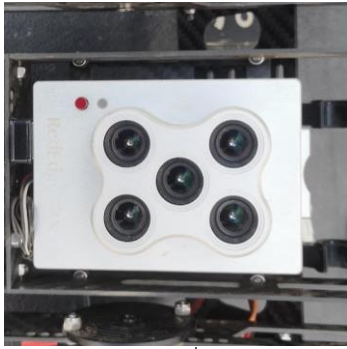
ช่วงการสะท้อนของคลื่นแสงจากภาพมัลติสเปกตรัม จะมีค่าคลื่นแสงสีน้ำเงินอยู่ในช่วง 440 – 480 นาโนเมตร คลื่นแสงสีเขียวอยู่ในช่วง 505 – 570 นาโนเมตร คลื่นแสงสีแดงอยู่ในช่วง 625 – 710 นาโนเมตร และ คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด อยู่ในช่วง 740 – 950 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 6 ในงานวิจัยนี้ได้ใช้กล้องมัลติสเปกตรัม MicaSense RedEdge-MX จากบริษัท AgEagle Aerial Systems Inc ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งมีค่าการสะท้อนของคลื่นแสงสีน้ำเงินที่ 475 นาโนเมตร คลื่นแสงสีเขียวที่ 560 นาโนเมตร คลื่นแสงสีแดงที่ 668 นาโนเมตร คลื่นแสงขอบสีแดงที่ 717 และ คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดที่ 840 นาโนเมตร มาใช้คำนวณหาค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะได้สมการในการคำนวณ NDVI ดังสมการที่ 2 คือ

$$NDVI = \frac{(NIR(840)nm-RED(668)nm)}{(NIR(840)nm+RED(668)nm)} \quad (2)$$

เมื่อ NIR (840) nm คือ ค่าสะท้อนของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดที่ 840 นาโนเมตร
RED (668) nm คือ ค่าสะท้อนของคลื่นแสงสีแดงที่ 840 นาโนเมตร

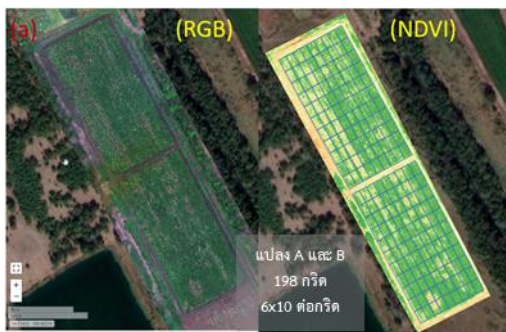


รูปที่ 6 ช่วงการสะท้อนของคลื่นแสงที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณ

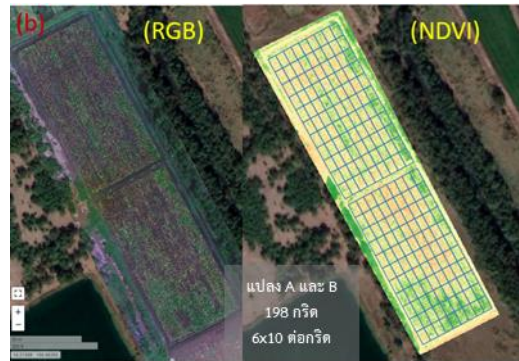


รูปที่ 7 กล้องมัลติสเปกตรัมที่ใช้ในงานวิจัย

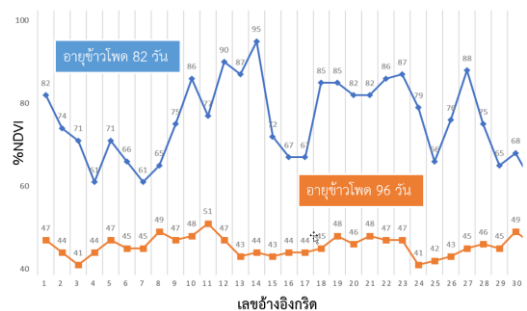
การศึกษาครั้งนี้ได้คำนวณ NDVI เมื่ออายุของข้าวโพดมีอายุ 82 วันเนื่องจากเป็นช่วงที่มีค่า NDVI และความสมบูรณ์สูงสุด และมีความสัมพันธ์กับค่าผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ปลูกและค่า NDVI เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.5 - 1 หรือ 50 % - 100% ดังแสดงในรูปที่ 8 สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดช่วงอายุข้าวโพด 96 วัน ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่ามีพื้นที่สีเขียวลดลง และ ค่า NDVI เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.4 - 0.7 หรือ 40 % - 70% โปรแกรม OpenDronMap ได้ถูกนำมาใช้ในการรวมภาพถ่ายเพื่อสร้างภาพถ่ายเชิงพื้นที่แบบออร์โธ ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 (RGB) ในขณะที่โปรแกรม QGIS ได้ถูกนำมาใช้ในการแบ่งพื้นที่แปลงทั้งหมดให้เป็นกริดย่อย เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า NDVI ใน แต่ละแปลง โดยทั้งแปลง A และ B แบ่งกริดขนาด 6x10 เมตรจะได้ 99 กริดต่อแปลง รวมทั้งแปลง A และ B เป็นจำนวน 198 กริด ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 (NDVI)



รูปที่ 8 ภาพถ่ายเปรียบเทียบ RGB และ NDVI เมื่ออายุข้าวโพด 82 วัน



รูปที่ 9 ภาพถ่ายเปรียบเทียบ RGB และ NDVI เมื่ออายุข้าวโพด 96 วัน



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ในแต่ละกริด ของแปลง B เมื่ออายุข้าวโพด 82 วัน และเมื่ออายุข้าวโพด 96 วัน

กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ NDVI ของทรงพุ่มต้นข้าวโพด ในแต่ละกริดของแปลง B เมื่ออายุข้าวโพด 82 วัน และเมื่ออายุข้าวโพด 96 วัน แสดงดังรูปที่ 10 โดยแกน Y จะแสดงเลขอ้างอิงกริดเริ่มตั้งแต่กริดที่ 1 ถึง กริดที่ 99 แกน X แสดงเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ NDVI ในแต่ละกริด ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่า เปอร์เซ็นต์ NDVI ของข้าวโพด อายุ 96 วัน ลดลงเป็นสัดส่วนกว่า 40% เมื่อเทียบกับ ข้าวโพด อายุ 82 วัน ซึ่งเมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยจะพบว่า NDVI เฉลี่ย ของอายุข้าวโพด 82 วันอยู่ในช่วง 0.5-1 หรือ 50 % - 100% ในขณะที่ NDVI เฉลี่ย ของอายุข้าวโพด 96 วันอยู่ในช่วง 0.4 - 0.7 หรือ 40 % - 70%

4. การประเมินผลทดสอบงานวิจัย

การประเมินผลทดสอบของงานวิจัยกับข้อมูลภาคพื้นดิน ได้แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ 1) หาค่าเฉลี่ยรวม NDVI ของแปลงที่ปรับปรุงดินและไม่ปรับปรุงดินเพื่อเทียบกับข้อมูลน้ำหนักเมล็ดของการเก็บเกี่ยวรวมในแต่ละแปลง และ 2) สุ่มเก็บข้อมูลจำนวน 10 พื้นที่ตัวอย่าง ในพื้นที่สองแปลง โดยพิจารณาตัวแทนกลุ่มตัวอย่างจากค่าความสมบูรณ์ 5 ระดับ ของทรงพุ่มต้นข้าวโพดในช่วง 50-59%, 60-69%, 70-79%, 80-89% และ 90-100% เพื่อเทียบกับข้อมูลน้ำหนักเมล็ดของการเก็บเกี่ยว ทั้ง 10 กริดตัวอย่าง ที่ขนาดของกริดเท่ากับ 6x10 เมตร โดยการหาค่าเฉลี่ยรวมของดัชนี NDVI ในพื้นที่ทดลองทั้งหมดทั้งพื้นที่แปลง A ไม่ปรับปรุงดิน และ แปลง B ปรับปรุงดิน เพื่อเปรียบเทียบค่า NDVI ของทั้งสองแปลง ซึ่งคำนวณหาจากการแบ่งกริดของพื้นที่แปลง A และ B ออกเป็นแปลงละ 99 กริด รวมทั้งสองแปลงมี 198 กริด ที่มีขนาดกริดละ 6x10 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 และรูปที่ 11 แสดงตัวอย่างค่า เปอร์เซนต์ NDVI ในแต่ละกริดของพื้นที่แปลง B ที่มีการปรับปรุงดิน ซึ่งในแต่ละกริดจะมีค่าตัวเลขที่แสดงเปอร์เซนต์ NDVI ซึ่งคำนวณหาจากสมการที่ 2 พร้อมทั้งรายงานตำแหน่งละติจูด ลองจิจูดของกริดนั้น ๆ



รูปที่ 11 ตัวอย่างค่า NDVI ในแต่ละกริดของพื้นที่แปลง B ที่มีการปรับปรุงดิน

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

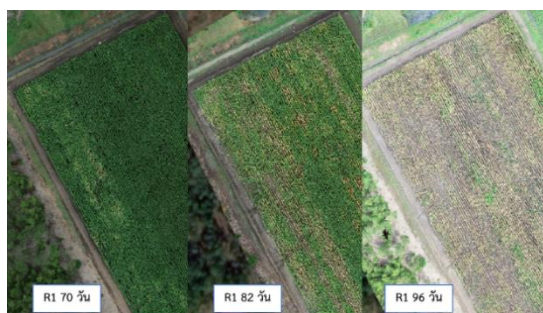
การวางแผนการเพาะปลูกเป็นไปตามวัฏจักรของข้าวโพดตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว 8 ระยะ โดยเตรียมแปลงเพาะปลูกทั้งสองแปลงเริ่มขึ้นในวันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2564 จากนั้นปลูกข้าวโพดพร้อมเมล็ดในวันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2564 และเก็บเกี่ยวข้าวโพดในวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2564 รวมระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวรวมทั้งหมด 107 วัน โดยได้วางแผนการบินเพื่อเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ 7 ครั้ง ครั้งที่ 1 ก่อนเริ่มเพาะปลูก ครั้งที่ 2 ระยะ V3 ครั้งที่ 3 ระยะ V5 ครั้งที่ 4 ระยะ V8 ครั้งที่ 5 6 และ 7 ในระยะ R1 ที่อายุข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ข้อมูลภาพถ่ายก่อนเริ่มเพาะปลูก และอายุข้าวโพด 21 หรือในระยะข้าวโพด 3 ใบ V3 รวมไปถึงภาพถ่ายของข้าวโพดในระยะข้าวโพด 60 วัน หรือ V8 จะยังไม่ได้นำมาใช้ในการคำนวณค่าเปอร์เซนต์ NDVI เนื่องจากยังมีค่าคลื่นสะท้อนของแสงเนียร์อินฟราเรดอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งภาพถ่ายทางอากาศของข้าวโพดแปลง B ระยะก่อนเริ่มเพาะปลูก V0 ระยะ V3 อายุข้าวโพด 21 วัน และ ระยะ V8 อายุข้าวโพด 60 วัน แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ภาพถ่ายทางอากาศ ระยะ VE, V3 และ V8 ของแปลง B

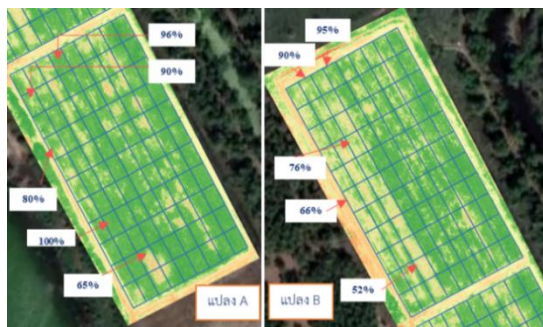
เมื่ออายุข้าวโพดอยู่ในระยะ R1 หรือ ระยะที่ข้าวโพดเริ่มออกรวงใหม่และเริ่มมีฝักนั้น ภาพถ่ายทางอากาศในระยะนี้ได้ถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI เพื่อประมาณการเทียบกับผลผลิตที่ได้จริง โดยในช่วงระยะ R1 ได้มีการเก็บข้อมูลภาพถ่าย 3 ครั้ง

ด้วยกันคือ เมื่ออายุข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ตามลำดับ และจากการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI พบว่าภาพถ่ายทางอากาศของอายุข้าวโพด 82 วัน มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับผลผลิตที่ได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับอายุข้าวโพด 70 วัน และ 96 วัน เนื่องจากค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI อยู่ในช่วง 0.5 - 1 หรือ 50 % - 100% กระจายตัวมากที่สุด ดังแสดงในกราฟรูปที่ 10 รูปที่ 13 แสดงภาพถ่ายทางอากาศเมื่ออายุข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ของแปลง B



รูปที่ 13 ภาพถ่ายทางอากาศเมื่ออายุข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ของแปลง B

กลุ่มตัวอย่าง 10 กริดที่เก็บข้อมูลจากทั้งแปลง A และแปลง B ได้ถูกนำมาใช้คำนวณทางสถิติเพื่อประมาณผลผลิตน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดเทียบกับดัชนี NDVI ของแต่ละกริด ซึ่งพิจารณาเลือกกริดจากค่าความสมบูรณ์ NDVI 5 ระดับ ของทรงพุ่มต้นข้าวโพดในช่วง 50-59%, 60-69%, 70-79%, 80-89% และ 90-100% ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 เปอร์เซนต์ NDVI ของ 10 กริดกลุ่มตัวอย่างที่มีค่า NDVI อยู่ในช่วง 50% ถึง 100%

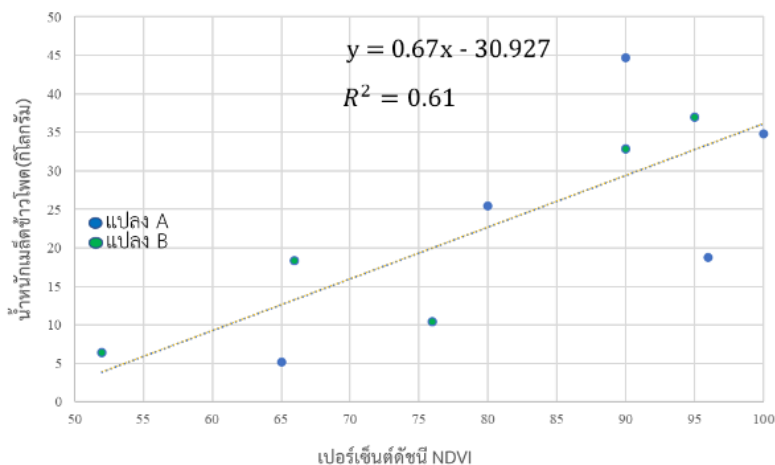
ค่าผลผลิตน้ำหนักเมล็ดจากข้อมูลการเก็บเกี่ยวภาคพื้นดิน 10 กริดเทียบกับเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI ในช่วง 50% ถึง 100 % แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI และน้ำหนักเมล็ดที่ได้จากแต่ละกริดของแปลง A และ B

เปอร์เซ็นต์ ดัชนี NDVI	แปลง	น้ำหนักเมล็ด (กิโลกรัม)
52	B	6.4
65	A	5.2
66	B	18.3
76	B	10.4
80	A	25.4
90	A	44.67
90	B	32.8
95	B	36.9
96	A	18.8
100	A	34.8

ข้อมูลค่าผลผลิตน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดและเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI จากตารางที่ 1 ได้ถูกนำมาใช้ในการหาสมการการประมาณค่าผลผลิตน้ำหนักเมล็ดด้วยการคำนวณแบบสถิติเชิงเส้นถดถอยซึ่งแปรผลได้ว่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดและเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและสัมพันธ์กันร้อยละ 78 ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 และ ค่า R square ร้อยละ 61 ของน้ำหนักเมล็ดสามารถอธิบายได้ด้วยเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI แบบมีนัยยะสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 15

เมื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณสถิติเชิงเส้นถดถอยมาประมาณการน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดจากเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI เทียบกับน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดจากการเก็บเกี่ยวในแต่ละกริดจริง แสดงให้เห็นในตารางที่ 2



รูปที่ 15 ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติแบบเชิงเส้นถดถอยของน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพดกับเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI

ตารางที่ 2 ค่าร้อยละ NDVI และน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพด

เปอร์เซ็นต์ ดัชนี NDVI	แปลง	น้ำหนักรวมเมล็ดที่เก็บ เกี่ยวจริง (กิโลกรัม)	น้ำหนักรวมเมล็ดจากการ ประมาณค่า (กิโลกรัม)
52	B	6.4	3.91
65	A	5.2	12.62
66	B	18.3	13.29
76	B	10.4	19.99
80	A	25.4	22.67
90	A	44.67	29.37
90	B	32.8	29.37
95	B	36.9	32.72
96	A	18.8	33.39
100	A	34.8	36.07

เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI เท่ากับ 52 พบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ระหว่างค่าน้ำหนักเมล็ดที่เก็บเกี่ยวจริงและน้ำหนักรวมเมล็ดที่ได้จากการประมาณค่า คิดเป็นร้อยละ 2.48 ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI เท่ากับ 80 พบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ระหว่างค่าน้ำหนักเมล็ดที่เก็บเกี่ยวจริงและน้ำหนักรวมเมล็ดที่ได้จากการประมาณค่า คิดเป็นร้อยละ 2.72 และเมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI เท่ากับ 90 95 และ 100 พบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ระหว่างค่าน้ำหนักเมล็ดที่เก็บเกี่ยวจริงและน้ำหนักรวมเมล็ดที่ได้จากการประมาณค่าคิดเป็นร้อยละ 3.4 4.17 และ 1.27 ตามลำดับ

สรุปผล

การประมาณค่าผลผลิตน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณ NDVI เพื่อเปรียบเทียบความเจริญเติบโตและผลผลิตของน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพด เฉลี่ยรวมของพื้นที่ที่มีการปรับปรุงดินและไม่ปรับปรุงดิน ด้วยการวางแผนการเพาะปลูกเป็นไปตามวัฏจักรของข้าวโพดตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว 8 ระยะ ในพื้นที่ทดลองขนาด 12,467 ตารางเมตร หรือประมาณ 7.8 ไร่ และใช้ข้อมูลดัชนีพืชพรรณ NDVI เมื่ออายุข้าวโพด 82 วัน มาใช้ในการประมาณค่าผลผลิตน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพด โดยการสะท้อนของ คลื่นแสงสีแดง ความยาวคลื่น 668 นาโนเมตร และเนียร์อินฟราเรด ความยาวคลื่น 840 นาโนเมตร ในการหาค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ผลการวิจัยจากการเก็บข้อมูลจำนวน 10 พื้นที่ตัวอย่างในพื้นที่สองแปลง โดยพิจารณาจากตัวอย่างจากค่าความสมบูรณ์ 5 ระดับ ของทรงพุ่มต้นข้าวโพดในช่วง 50-59%, 60-69%, 70-79%, 80-89% และ 90-100% พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI กับน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพด ควรประมาณการผลผลิตเมื่อข้าวโพดมีอายุในช่วง 65-82 วัน หรือช่วงระยะการออกทรงพุ่มจนถึงระยะฝักอ่อน และเก็บเกี่ยวเมื่ออายุได้ 107 วัน หรือระยะฝักพร้อมเก็บเกี่ยว และการวัดน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดทั้ง 10 พื้นที่ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า ดัชนีพืชพรรณ NDVI กับน้ำหนักรวม

ของเมล็ดข้าวโพดเป็นไปในทิศทางเดียวกันด้วยความสัมพันธ์ 78% ที่ระดับความมั่นใจ 95% และ R Square 61% ด้วยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติถดถอยเชิงเส้นตรง ได้ค่าเท่ากับ $Y = 0.67X - 30.927$ และเมื่อนำมาประมาณการณผลผลิตบนพื้นที่ทั้งหมด แปลง A และ B พบว่าค่าการประมาณผลผลิตของน้ำหนักรเมล็ดข้าวโพดด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณ สามารถอธิบายค่าน้ำหนักได้สัมพันธ์กันเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการวัดผลผลิตการเก็บเกี่ยวภาคพื้นดิน โดยผลผลิตน้ำหนักรเมล็ด ความชื้นที่ 30 % ของแปลง A เท่ากับ 3,208.87 กิโลกรัม แปลง B เท่ากับ 2,999.8 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับพื้นที่ ที่มีดัชนีพืชพรรณอยู่ในช่วง 50-59%, 60-69, 70-79%, 80-89% และ 90-100% ซึ่งได้ผลผลิตน้ำหนักรเมล็ดเท่ากับ 8.6 กิโลกรัม, 15.3 กิโลกรัม, 22.7 กิโลกรัม, 29.3 กิโลกรัม และ 36.1 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำสัดส่วนที่ได้มาประมาณการณผลผลิตของแปลง A เท่ากับ 3,265 กิโลกรัม และ แปลง B เท่ากับ 3,050 กิโลกรัม พบความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.75 และ 1.67 ตามลำดับ ทั้งนี้ผลผลิตของแปลง A ที่ไม่ได้มีการปรับปรุงค่าความเป็นกรดของดินแต่สามารถให้ผลผลิตที่มากกว่าแปลง B ที่มีการปรับปรุงดิน ซึ่งพบการให้ปุ๋ยอาจเป็นสาเหตุปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของแปลง B โดยการวิเคราะห์จากค่าดัชนี NDVI ในช่วงระยะ V2 ถึง V8 รวมไปถึงระยะ R1 พบว่าแปลง B มีการเจริญ NDVI เฉลี่ยรวมน้อยกว่าแปลง A ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผลผลิตของน้ำหนักรเมล็ดข้าวโพด ยังมีปัจจัยอื่น เช่น การให้ปุ๋ยตามความต้องการของพื้นที่นั้น ๆ การควบคุมโรคระบาดและแมลงศัตรูพืช นอกการการปรับปรุงดินก่อนเพาะปลูก ซึ่งทางผู้วิจัยได้ศึกษาการให้ปุ๋ยแบบแม่นยำและ การประเมินโรคระบาดและแมลงศัตรูพืชของข้าวโพด ซึ่งอยู่ในการทดสอบการปลูกในรอบเพาะปลูกถัด ๆ ไปเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และบริษัทเคเอสที อูปรณ์ จำกัด ที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนงานวิจัยนี้อย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

1. Department of Agriculture. Maize Production Technology [Internet]. 2019 [cited 2023 Jan 20]. Availability from: <https://www.doa.go.th/oard5/wpcontent/uploads/201909/km62.pdf>
2. OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030. [Internet]. [cited 2023 Jan 20]. Availability from: <https://www.oecdilibrary.org>
3. Department of Agriculture [Internet]. [cited 2023 Jan 20]. Availability from: https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/forecastdata/files/forecast/situation/3S_MZ.pdf
4. ARDA. Smart Farming, Agricultural Research Development Agency (Public organization) [Internet]. 2018 [cited 2023 Jan 20]. Availability from: https://www.arda.or.th/knowledge_detail.php?id=6
5. Mitr Phol. Remote Sensing, Remote Sensing Technology [Internet]. 2018 [cited 2023 Jan 20]. Availability from: <https://www.mitrphol-modernfarm.com>
6. Paolo DF, Tania L, Alice C, Chiara G, Pasquale D, Marco M, et al. Multispectral sentinel-2 and SAR sentinel-1 integration for automatic land cover classification. Land. 2021;10(6):611.
7. David JM, Yuxin M. Precision Farming. In: Land Resources Monitoring, Modeling, and

- Mapping with Remote Sensing. 2016. p. 161-78.
8. Mulla DJ, Miao Y. 2015. Precision Farming. In: Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing. 1st ed. Imprint CRC Press; 2015. p. 161–78.
 9. Naphat R, Raksak S, Kriengkri K. Using digital image for estimation leaf area of rice. Thai Science and Technology Journal. 2020;28(9): 1717-24.
 10. Sureeporn K, Napat J, Jitti M. Assessment of greenhouses gas emission and mitigation from maize cultivation in thailand for sustainable production systems. Thai Science and Technology Journal. 2019;26(7):1176-96.
 11. Panath J, Sununtha K, Petchporn C, Yasushi K. NDVI response to nitrogen fertilizer application in waxy corn using uav imagery. Khon Kaen Agriculture Journal. 2020;48(5): 1068-81.
 12. Preeyanan S, Piyatida B, Waratchaya P, Arunprapa P. Sugarcane yield estimate from remotely sensed data in nakhon sawan province. Kasetsart University; 2019. p. 1-35.
 13. Nodthaisong C, Saengprachathanarug K, Chea C, Posom J, Wongpichet S, Konyai S, et al. Feasibility study of sugarcane yield prediction using NDVI, cired edge indice associated with volume of digital surface model (DSM). Khon Kaen Agriculture Journal. 2021;47(4):679–94.
 14. Etienne D, Gaëtan D, François J, Philippe B, Alexis C, Benoit de S, et al. Plant detection and counting from high-resolution RGB images acquired from UAVs: comparison between deep-learning and handcrafted methods with application to maize, sugar beet, and sunflower crops. bioRxiv. 2021; 1-18. doi: <https://doi.org/10.1101/2021.04.27.441631>
 15. Kieran O’Keeffe. Maize Growth & Development. Orange, N.S.W.: NSW Dept. of Primary Industries [Internet]. 2009 [cited 2023 Jan 20]. Availability from: <https://cornindustryppnikolakostic.wordpress.com/life-cycle-of-corn/>



ความสัมพันธ์ของความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันต่อประสิทธิภาพในการควบคุมแขนหุ่นยนต์

The Relationship of Task Difficulty and Multitasking on Performance in Robot Arm Control

ชลาลัย วงเวียน¹ อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก¹ นาถนภา นกดี² และ ประจวบ กล่อมจิตร^{2*}

Chalalai Wongwian¹, Alongkorn Chatmuangpak¹, Natnapha Nokdee² and Prachuab Klomjit^{2*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จ.เพชรบุรี 76000

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ จ.นครปฐม 73000

¹Department of Industrial Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi 76000, THAILAND

²Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University Sanamchandra Palace Campus, Nakhon Pathom 73000, THAILAND

*Corresponding author e-mail: KLOMJIT_P@su.ac.th

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: October 17, 2022

Revised: March 6, 2023

Accepted: March 9, 2023

Available online: April xx, 2023

DOI: 10.14456/jarst.2023.4

Keywords: Multitasking, Performance, Robot arm control, Mathematics test, NASA-TLX

This research aims to study the relationship between task difficulty and multitasking on performance to control the robot arm. The experimental population was obtained randomly without probabilities, based on the study of specific groups. It was testing in the ABB Robot Studio simulation program with mathematical test questions. The Task's difficulty is divided into simple and complex manipulation of the robotic arm. Multitasking is a level 1 and level 3 math test. Performance is error percentage, reaction time, and workload or mental workload with the NASA TASK LOAD INDEX (NASA-TLX). The research results were analyzed using Paired sample t-test statistical methods using the Minitab18 program. The results showed that the NASA-TLX workload assessment scores and the mean reaction time of the easy and challenging robotic arms combined with level 1 and level 3 were significantly different at 0.05. The mean reaction time of the robotic arm alone was less than the mean reaction time of the robotic arm with both levels of mathematics tests. In conclusion, task difficulty and multitasking were positively correlated with the mean reaction time applied to the

robotic arm. The error percentage of using the robot arm only was less than using the robot arm together with the mathematics test at both levels, with statistical significance at the 0.05 level. It was concluded that task difficulty and multitasking were positively correlated with error percentage. The difficulty of the task and multitasking affected the efficiency of the robotic arm.

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกัน (Multitasking) ต่อประสิทธิภาพ (Performance) ในการควบคุมแขนหุ่นยนต์หรือแขนกล (Robot arm) ประชากรที่ใช้ในการทดลองได้จากการสุ่มโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น โดยศึกษาในกลุ่มที่เฉพาะเจาะจง การทดสอบในแบบจำลองโปรแกรม ABB Robot Studio พร้อมกับตอบคำถามทดสอบทางคณิตศาสตร์ (Mathematics test) ความยากของงานแบ่งเป็นการบังคับแขนกลแบบง่ายและแบบยาก การทำงานหลายอย่างพร้อมกันเป็นการทดสอบทางคณิตศาสตร์ระดับ 1 และระดับ 3 ประสิทธิภาพ (Performance) คือ ร้อยละความผิดพลาด (Error) เวลาปฏิกิริยา (Reaction time) และภาระงานหรือภาระงานทางจิตใจด้วยแบบประเมิน NASA TASK LOAD INDEX (NASA-TLX) และวิเคราะห์ผลการวิจัยด้วยหลักสถิติแบบ Paired sample t-test ด้วยโปรแกรม Minitab18 ซึ่งผลการวิจัยพบว่าค่าคะแนนประเมินภาระงาน NASA-TLX และค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาของบังคับแขนกลแบบง่ายและแบบยากร่วมกับตอบแบบทดสอบระดับ 1 และระดับ 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาที่ใช้บังคับแขนกลอย่างเดียว น้อยกว่าค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาที่ใช้บังคับแขนกลพร้อมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ทั้ง 2 ระดับ หรือสรุปได้ว่าความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันมีความสัมพันธ์ทางเชิงบวกกับค่าเฉลี่ยเวลาปฏิกิริยาที่ใช้บังคับแขนกล ส่วนค่าร้อยละความผิดพลาดในการบังคับแขนกลอย่างเดียว น้อยกว่าบังคับแขนกลพร้อมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ทั้ง 2 ระดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งสรุปได้ว่าความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันมีความสัมพันธ์ทางเชิงบวกกับร้อยละความผิดพลาดเช่นกัน ความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันมีผลต่อประสิทธิภาพในการบังคับแขนกล

คำสำคัญ: การทำงานหลายอย่างพร้อมกัน ประสิทธิภาพ การบังคับแขนกล แบบทดสอบคณิตศาสตร์ NASA-TLX

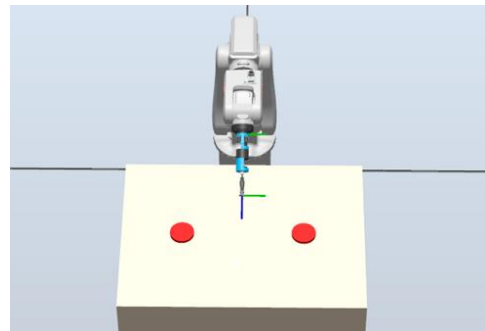
บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันต้องการให้พนักงานมีทักษะการทำงานหลายอย่างพร้อมกัน (Multitasking) หรือความสามารถในการทำงานที่หลากหลาย เช่น กำลังทำงานอยู่แล้วมีอีกงานแทรกขึ้นมาจึงทำให้จำเป็นต้องเปลี่ยนไปทำงานอื่นทันที สมองก็จะค่อย ๆ เรียนรู้ว่าจะต้องคอยสลับความสนใจไปยังสิ่งอื่นตลอด จนทำให้ประสิทธิภาพ (Performance) ในการทำงานลดลง [1] เพื่อรองรับลักษณะงานที่มีความท้าทายและการแข่งขันที่สูงขึ้น ประกอบกับสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบันที่ได้รับผลกระทบจากการระบาดของเชื้อโรคโคโรนาไวรัส 2019 ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่ทำให้ต้องการลดงบประมาณในส่วนของการจ้างงานลง การวางแผนการใช้ทรัพยากรบุคคลที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด [2] การให้พนักงานทำงานหลาย ๆ อย่างพร้อมกัน อาจไม่ได้ประหยัดเวลาและประหยัดงบประมาณแต่จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างภาระงาน (Workload) และประสิทธิภาพในการทำงาน หรือขึ้นอยู่กับขีดจำกัดของความสามารถ การรับรู้ และความเหนื่อยล้าในการทำงาน [1] ซึ่งมีการวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ภาระงานและความเหนื่อยหน่ายในการทำงานของพนักงานต้อนรับบนเครื่องบิน [3] เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม และใช้แบบประเมินการจัดการภาระงาน NASA-TLX โดยผลการวิจัย พบว่า การรับรู้ภาระงานมีความสัมพันธ์ทางลบกับความเหนื่อยหน่ายในการทำงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีการศึกษาเรื่องการประเมินภาระงานทางจิตใจของผู้ปฏิบัติงานที่ตรวจสอบความหนาแน่นของการจราจรในศูนย์ควบคุมการจราจรในเมือง เพื่อตรวจสอบภาระงานทางจิตใจ สัญญาณทางสรีรวิทยา (ECG, EMG) และแบบประเมินการจัดการภาระงาน NASA-TLX และการศึกษาปริมาณงานทางกายภาพ และปริมาณทางจิตใจของพนักงาน

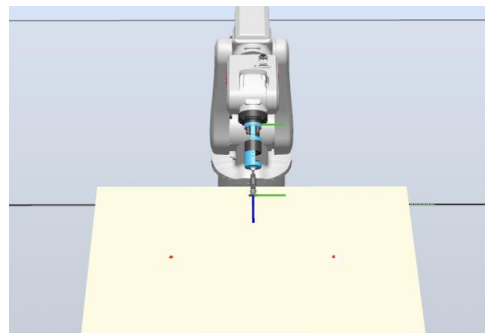
ห้องควบคุมกลางในบริษัทแปรรูปน้ำมัน ซึ่งพนักงานได้รับมอบหมายให้ตรวจสอบหน่วยการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการหยุดพัก โดยแบ่งเป็น 3กะ ใน 24 ชั่วโมง โดยได้นำ NASA Task Load Index (NASA-TLX) ซึ่งเป็นหนึ่งในการวัดภาระงานทางจิตใจ โดยใช้ปัจจัย 6 ประการ [4] ได้แก่ ความต้องการด้านจิตใจ (Mental Demand) ความต้องการด้านร่างกาย (Physical Demand) ความต้องการด้านเวลา (Temporal Demand) ด้านผลสำเร็จของงาน (Performance) ด้านความพยายาม (Effort) ความคับข้องใจ (Frustration) ซึ่งมีภาระงานทางจิตใจที่สูงมากของพนักงานในห้องควบคุม คือ ต้องการความแม่นยำสูง ความตื่นตัว และสามารถตัดสินใจได้อย่างรวดเร็ว [5] งานวิจัยที่ผ่านมาใช้แบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA Task Load Index (NASA-TLX) กันอย่างแพร่หลาย [6-9]

จากการศึกษา พบว่า อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากหุ่นยนต์มักไม่เกิดขึ้นในขั้นตอนการปฏิบัติการปกติ แต่กลับเกิดขึ้นระหว่างการเขียนโปรแกรม การซ่อมแซม การติดตั้ง การทดสอบ การปรับตั้งค่า หรือขั้นตอนที่นอกเหนือจากการปฏิบัติหน้าที่ [10] ซึ่งเจ้าหน้าที่เหล่านั้นไม่ว่าผู้ปฏิบัติงาน นักเขียนโปรแกรม ช่างซ่อมบำรุง อาจอยู่ในระยะทำการของหุ่นยนต์ซึ่งเกิดการทำงานโดยไม่ตั้งใจและส่งผลให้เกิดปัญหาและอาการบาดเจ็บขึ้นได้ จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [11-12] พบว่า การทำงานที่ก่อให้เกิดภาวะเครียดหรือภาระงานที่มากเกินไปจนสะสมอาจทำให้เกิดความเสียหายทางด้านอุบัติเหตุหรือทรัพย์สินได้ เนื่องจากหากเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในกระบวนการทำงานหรือการเซตค่าของหุ่นยนต์แล้วอาจก่อให้เกิดความเสียหายที่ไม่อาจตีเป็นมูลค่าได้ต่อโรงงานรวมถึงชีวิตของพนักงานอีกด้วย ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงภาระงานที่มากเกินไปในการทำงาน การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นประโยชน์ให้แก่ผู้ประกอบการต่างๆ ให้ได้ศึกษาและนำไปใช้ประโยชน์แก่โรงงานได้ จึงได้ศึกษาหาของความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันในการทำงานบังคับแขนกล (Robot arm) และการร่วมกับการทดสอบทางคณิตศาสตร์ โดยประชากรที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ นักศึกษาปริญญาตรีภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร สุ่มโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น เป็นการศึกษาจากกลุ่มที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งเป็นการทดลองการบังคับแขนกลอุตสาหกรรม 6 แกน [13]

ด้วยโปรแกรม ABB Robot Studio [14] ร่วมกับการทำแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับต่าง ๆ



รูปที่ 1 การทดสอบการบังคับแขนกลแบบง่าย



รูปที่ 2 การทดสอบการบังคับแขนกลระดับยาก

วิธีดำเนินการวิจัย

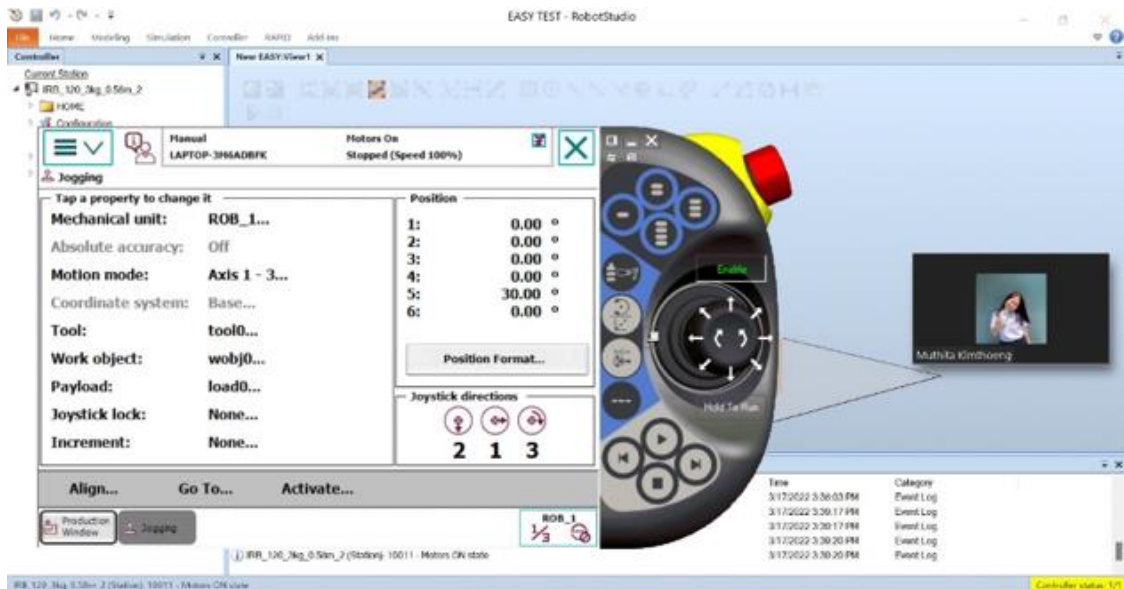
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักศึกษาปริญญาตรีภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ตำบลลำพญา อำเภอมือง จังหวัดนครปฐม จำนวน 10 คน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ สุ่มโดยไม่อาศัยความน่าจะเป็น เป็นการศึกษาจากกลุ่มที่เฉพาะเจาะจง โดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบอาสาสมัคร

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ABB Robot Studio โดยเลือกไฟล์ชื่อ EASY TEST.rsstn หรือ HARD TEST.rsstn เป็นแบบทดสอบบังคับแขนกลแบบง่ายและแบบยาก ดังรูปที่ 1 และ รูปที่ 2

ซึ่งควบคุมการเคลื่อนที่ด้วย FlexPendant ที่จะปรากฏที่หน้าจอ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 หน้าต่าง Jogging ของ Virtual FlexPendant

ตารางที่ 1 ตัวอย่างโจทย์ ชุดแบบทดสอบคณิตศาสตร์ ระดับ 1

ลำดับ	โจทย์	คำตอบ
1	3+7	10
2	4+9	13
3	9+9	18
4	5+2+3	10

ตารางที่ 2 ตัวอย่างโจทย์ ชุดแบบทดสอบคณิตศาสตร์ ระดับ 3

ลำดับ	โจทย์	คำตอบ
1	142+124	266
2	436+153	589
3	679+218	897
4	180+410+200	790

2. แบบทดสอบทางคณิตศาสตร์ แบ่งตามจำนวนหลักของตัวเลขที่กำหนดเป็นโจทย์ โดยแบ่งเป็น 2 ระดับ ดังนี้ ระดับ 1 คือโจทย์ที่กำหนดจะเป็นจำนวนตัวเลข 1 หลัก (ดังตารางที่ 1) และ ระดับ 3 คือ โจทย์จะเป็นจำนวนตัวเลข 3 หลัก (ดังตารางที่ 2)

ชื่อผู้ทดลอง

ระดับแบบทดสอบคณิตศาสตร์: ☐ 1 ☐ 3

ระดับความยากชุดแบบทดสอบบังคับแขนกล ABB:

☐ ง่าย ☐ ยาก

หัวข้อมิติ	ค่าถ่วงน้ำหนัก	คะแนนดิบ	คะแนนสุทธิ
การใช้ความคิด			
การใช้ร่างกาย			
การใช้เวลา			
ความรู้สึกพอใจกับผลสำเร็จ			
ความพยายามที่ใช้			
ความรู้สึกคับข้องใจ			
คะแนนรวมสุทธิ			
คะแนนรวมสุทธิที่ผ่านการถ่วงน้ำหนัก (คะแนนรวมสุทธิ/15)			

รูปที่ 4 แบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA-TLX

3. แบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA-TLX ดังรูปที่ 4

ระเบียบวิธีที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

โดยการทดลองนี้แบ่งการทดลองเป็น 2 ระยะ คือ 1) ก่อนการทดลอง และ 2) วิธีการดำเนินการทดลอง ดังนี้

ก่อนการทดลอง 1) ผู้วิจัยสุ่มกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาจากกลุ่มที่เฉพาะเจาะจง โดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบอาสาสมัคร 2) ผู้วิจัยนัดหมายกลุ่มตัวอย่าง เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์และขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 3) กำหนดตารางกิจกรรม เพื่อดำเนินการทดสอบ

วิธีการดำเนินการทดลอง 1) อธิบายรายละเอียดของกระบวนการทดลอง ระยะเวลาในการทดลอง อุปกรณ์เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อลดความวิตกกังวลระหว่างทำการทดลอง 2) ให้ผู้ทดลองทำการฝึกใช้งานแขนกล ABB จาก โปรแกรม Robot Studio ในคอมพิวเตอร์ โดยใช้เมาส์ในการควบคุมโดยบังคับให้มีการเคลื่อนย้ายขึ้นที่กำหนดจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งเพื่อใช้ระหว่างการทดสอบ 3) ผู้ทดลองทำการบังคับแขนกลแบบง่าย และบังคับแขนกลแบบยาก และจับเวลาเวลาปฏิบัติการที่ใช้ขณะทำการทดลองจากนั้นบันทึกลงในใบบันทึกผล 4) ผู้ทดลองทำแบบประเมิน NASA TASK LOAD INDEX (NASA-TLX) หลังการทดลอง 5) กลับไปทำการทดลองที่ข้อ 4) โดยบังคับแขนกลร่วมกับทำแบบทดสอบคณิตศาสตร์ โดยผู้ทดลอง 1 คน จะทำการทดลองคนละ 6 ครั้ง โดยจับระดับการทดลองมี คือ บังคับแขนกลแบบง่าย บังคับแขนกลแบบยาก บังคับแขนกลแบบง่ายร่วมกับทำแบบทดสอบคณิตศาสตร์ ระดับ 1 บังคับแขนกลแบบง่ายร่วมกับทำแบบทดสอบคณิตศาสตร์ ระดับ 3 บังคับแขนกลแบบยากร่วมกับทำแบบทดสอบคณิตศาสตร์ ระดับ 1 และบังคับแขนกลแบบยากร่วมกับทำแบบทดสอบคณิตศาสตร์ ระดับ 3

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ทดลองออนไลน์ผ่านโปรแกรมซูม (Zoom) โดยการบันทึกข้อมูลในการทดลองบังคับแขนกล โดยไม่ตอบแบบทดสอบคณิตศาสตร์ และการทดลองบังคับแขนกลร่วมกับการตอบแบบทดสอบคณิตศาสตร์

2. จากการเก็บรวบรวมคะแนนความผิดพลาดของการตอบสนอง และเวลาปฏิบัติการที่ใช้บังคับแขนกลและแบบประเมิน NASA-TLX ให้คะแนนตามระดับความรู้ลึก

ทั้ง 6 มิติ ภายหลังจากทำการทดลองแต่ละแบบ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความยากของงานในการทำงานหลายอย่างพร้อมกัน โดยกำหนดให้ข้อมูลประสิทธิภาพของงาน ได้แก่ 1) ค่าความผิดพลาด คือ ค่าร้อยละของความผิดพลาดจากการตอบคำถามแบบทดสอบคณิตศาสตร์ต่อคำถามที่ตอบทั้งหมด และ 2) เวลาปฏิบัติการ คือ เวลาในควบคุมแขนกล (หน่วย: วินาที) อีกทั้งยังกำหนดให้ความยากของงาน คือ การบังคับแขนกลแบบง่ายกับแบบยาก และการทำงานหลายอย่างพร้อมกัน คือ การที่ผู้ทดลองบังคับแขนกลร่วมกับการทำแบบทดสอบคณิตศาสตร์ ซึ่งจากการวิจัยศึกษาความยากของการทดลองทั้ง 2 ระดับด้วยการวิเคราะห์โดยหลักสถิติด้วยการทดสอบค่าที่แบบ Paired sample t-test โดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ของค่าความวิตกกังวลภาวะทางจิตใจจากแบบประเมิน Nasa-TLX ของกลุ่มทดลองหลังการบังคับแขนกลตามเงื่อนไขการทดลอง

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันต่อประสิทธิภาพในการควบคุมแขนกลหรือบังคับแขนกล โดยแบ่งการวิเคราะห์และนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์แบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA TASK LOAD INDEX (NASA-TLX)
2. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบังคับแขนกล
3. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบังคับแขนกลร่วมกับการทำงานหลายอย่างพร้อมกัน

1. ผลการวิเคราะห์แบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA TASK LOAD INDEX (NASA-TLX)

จากตารางที่ 3 ผลการทำแบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA-TLX ของกลุ่มตัวอย่างหลังบังคับแขนกลแบบง่าย ($M = 14.12$, $SD = 3.09$), บังคับแขนกลแบบยาก ($M = 16.11$, $SD = 2.31$) และวิเคราะห์ทางสถิติค่า $t = 2.92$, $p < 0.05$ ซึ่งสรุปได้ว่ากลุ่มตัวอย่างมีค่าความวิตกกังวลภาวะทางจิตใจ จากแบบประเมิน Nasa-TLX หลังบังคับแขนกลแบบง่ายและแบบยาก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

ระดับ 0.05 จากกราฟในรูปที่ 5 จะแสดงให้เห็นว่าการบังคับแขนกลแบบง่ายมีค่าเฉลี่ยจากแบบประเมินภาระงานน้อยกว่าบังคับแบบยาก งานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ความยากของการบังคับแขนกลดังกล่าวเป็นเงื่อนไขของการทดลองต่อไป เพื่อให้ผู้ทดสอบบังคับแขนกลร่วมกับเงื่อนไขในการทำงานหลายอย่างพร้อมกันอย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 3 ผลจากแบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA-TLX หลังจากบังคับแขนกลแบบง่ายและบังคับแขนกลแบบยาก

บังคับ แขนกล	n	M	SD	df	t	p
แบบง่าย	10	14.12	3.09	9		
แบบยาก	10	16.11	2.31	9	2.92	0.02

* $p < 0.05$

ในการศึกษาความสัมพันธ์ของภาระงานบังคับแขนกลที่ความยากของงานที่แตกต่างกันและทำงานหลายอย่างพร้อมกัน ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยคะแนนภาระงานทางจิตใจ จากแบบประเมิน NASA-TLX หรือค่าความวิตกกังวลภาระทางจิตใจหลังจากบังคับแขนกลระหว่างแบบยากกับแบบง่ายร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 และระดับ 3 (ดังตารางที่ 4) แสดงให้เห็นว่าผลค่าความวิตกกังวลภาระทางจิตใจของนักศึกษากลุ่มตัวอย่างหลังทำบังคับแขนกลแบบง่ายร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 ($M = 16.52$, $SD = 1.70$) และระดับ 3 ($M = 17.92$, $SD = 1.25$) และบังคับแขนกลแบบยากร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ ระดับ 1 ($M = 15.59$, $SD = 1.76$) และระดับ 3 ($M = 17.62$, $SD = 1.43$)

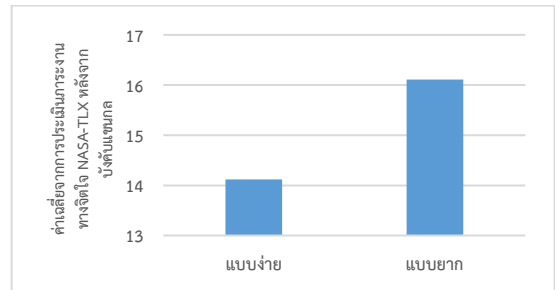
ซึ่งค่าความวิตกกังวลภาระทางจิตใจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้ง 10 คน (ดังรูปที่ 6) และได้ค่า $t = 2.63$,

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์จากแบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA-TLX หลังบังคับแขนกลแบบง่ายกับแบบยาก ร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 และระดับ 3

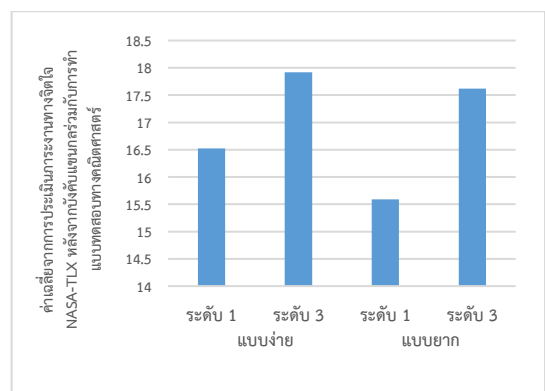
การบังคับ แขนกล	แบบทดสอบ คณิตศาสตร์	n	M	SD	df	t	p
แบบง่าย	ระดับ 1	10	16.52	1.70	9	2.63	0.027
	ระดับ 3	10	17.92	1.25			
แบบยาก	ระดับ 1	10	15.59	1.76	9	3.15	0.012
	ระดับ 3	10	17.62	1.43			

* $p < 0.05$

$p < 0.05$ และ $t = 3.15$, $p < 0.05$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการกำหนดเงื่อนไขการทดสอบมีความแตกต่างการอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถใช้ความยากและระดับแบบทดสอบเป็นพารามิเตอร์ในศึกษาวิจัย โดยผลในการกำหนดความยากและพารามิเตอร์การทำงานหลายพร้อมกันเป็นไปตามหลักการความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ภาระงานกับแบบประเมินภาระงาน NASA-TLX



รูปที่ 5 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยจากการประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA-TLX หลังจากบังคับแขนกลแบบง่ายและแบบยาก

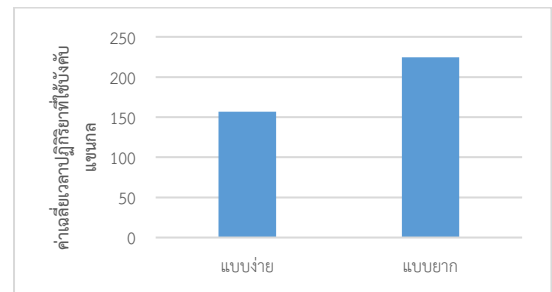


รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยจากการแบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA-TLX หลังจากทำบังคับแขนกลแบบยากกับแบบง่ายร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 และระดับ 3

2. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบังคับแขนกล

ในการศึกษาความสัมพันธ์ของความยากของงานกับประสิทธิภาพ (Performance) ในการบังคับแขนกล จากข้อมูลเวลาปฏิบัติหน้าที่ใช้บังคับแขนกลจากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติหน้าที่ใช้บังคับแขนกล แบบง่าย และแบบยาก ได้ค่า $t = 5.72$, $p < 0.05$ และสรุปได้ว่าแบบการบังคับแขนกลแบบง่ายและแบบยากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการนำข้อมูลสร้างกราฟจะเห็นว่า บังคับแขนกลแบบง่ายใช้เวลาน้อยกว่าบังคับแขนกลแบบยาก (ดังรูปที่ 7) โดยแสดง

ให้เห็นว่าความยากของงานที่ศึกษามีความสัมพันธ์ทางบวกกับเวลาที่ใช้ในการบังคับแขนกล



รูปที่ 7 กราฟแท่งความสัมพันธ์ระหว่างความยากของงานกับค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติหน้าที่ใช้บังคับแขนกล

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติหน้าที่ใช้บังคับแขนกล

การบังคับแขนกล	ค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติหน้าที่ใช้บังคับแขนกล					
	n	M	SD	df	t	p
แบบง่าย	10	156.7	69.5	9	5.72	0.00
แบบยาก	10	224.4	80.4	9		

* $p < 0.05$

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์คะแนนความผิดพลาดของการควบคุมแขนกล ABB และแบบทดสอบคณิตศาสตร์

การบังคับแขนกล	แบบทดสอบคณิตศาสตร์	ร้อยละความผิดพลาดของการควบคุมแขนกลร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์					
		n	M	SD	df	t	p
ง่าย	ระดับ 1	10	5.12	4.25	9	4.38	0.002
	ระดับ 3	10	45.13	30.29			
ยาก	ระดับ 1	10	16.73	23.33	9	4.81	0.001
	ระดับ 3	10	65.82	16.01			

* $p < 0.05$

3. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบังคับแขนกลร่วมกับการทำงานหลายอย่างพร้อมกัน

ศึกษาความสัมพันธ์ของความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกัน (Multitasking) ต่อประสิทธิภาพ (Performance) ในบังคับแขนกล (Robot arm) จากตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของร้อยละความผิดพลาดในการบังคับแขนกลแบบง่ายร่วมกับการทดสอบทางคณิตศาสตร์ระดับ 1 ($M = 5.12$, $SD = 4.25$) และระดับ 3 ($M = 45.13$, $SD = 30.29$) ผลวิเคราะห์พบว่า ร้อยละความผิดพลาดในการบังคับแขนกลร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 และระดับ 3 ของกลุ่มตัวอย่าง ได้ค่า $t = 4.38$, $p < 0.05$ สรุปได้ว่าร้อยละความผิดพลาดของการบังคับแขนกลร่วมกับ

แบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 น้อยกว่าร้อยละความผิดพลาดของบังคับแขนกลร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างร้อยละความผิดพลาดของการบังคับแขนกลแบบยากร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 ($M = 16.73$, $SD = 23.33$) และระดับ 3 ($M = 65.82$, $SD = 16.01$) ได้ค่า $t = 4.81$, $p < 0.05$ ซึ่งสรุปได้ว่าร้อยละความผิดพลาดของการบังคับแขนกลร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 น้อยกว่า ร้อยละความผิดพลาดของการบังคับแขนกลร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากรูปแบบการแขนกลทั้ง 2 แบบ และจากตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติหน้าที่ใช้บังคับแขน

กลแบบง่ายร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 ($M = 167.5$, $SD = 76.7$) และแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 3 ($M = 236.0$, $SD = 61.6$) ได้ค่า $t = 3.72$, $p < 0.05$ สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติที่ใช้บังคับแขนกลแบบง่ายร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 น้อยกว่าระดับ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติที่ใช้บังคับแขนกลแบบยากร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 ($M = 171.2$, $SD = 52.7$) และระดับ 3 ($M = 306.9$, $SD = 79.6$) ได้ค่า $t = 3.88$, $p < 0.05$ และสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติที่ใช้บังคับแขนกลแบบยากร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 น้อยกว่าระดับ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันต่อประสิทธิภาพในบังคับแขนกล ได้ผลสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย เมื่อความยากเพิ่มขึ้นพร้อมกับการทำงานหลายอย่างพร้อมกัน จากผลการศึกษาพบว่า ความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันมีความสัมพันธ์ทางเชิงบวกกับร้อยละความผิดพลาด (ดังรูปที่ 8) และความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันมีความสัมพันธ์ทางเชิงบวกกับค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติที่ใช้บังคับแขนกล (ดังรูปที่ 9)

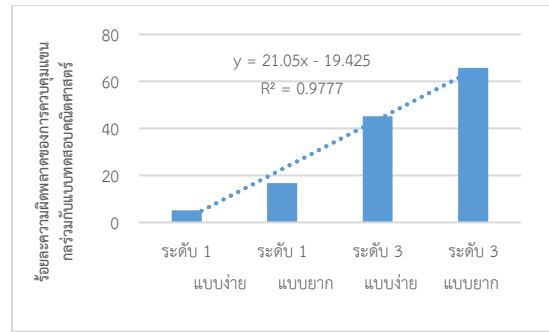
ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติที่ใช้ขณะทำการควบคุมแขนกลและแบบทดสอบคณิตศาสตร์

การบังคับ แขนกล ABB	แบบทดสอบ คณิตศาสตร์	ค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติที่ใช้บังคับแขนกลร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์					
		n	M	SD	df	t	p
ง่าย	ระดับ 1	10	167.5	76.7	9	3.72	0.005
	ระดับ 3	10	236.0	61.6			
ยาก	ระดับ 1	10	171.2	52.7	9	3.88	0.004
	ระดับ 3	10	306.9	79.6			

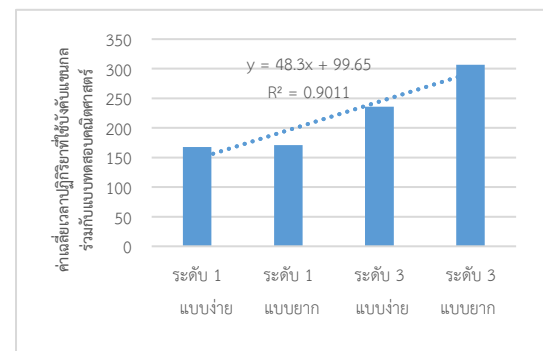
* $p < 0.05$

สรุปผล

ในศึกษาความสัมพันธ์ของความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกัน (Multitasking) ต่อประสิทธิภาพ (Performance) ในการบังคับแขนกล (Robot arm) ผลการวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างมีภาระงานทางจิตใจ NASA TASK LOAD INDEX (NASA-TLX) ขณะบังคับแขนกลแบบง่ายน้อยกว่าบังคับแขนกลระดับยาก



รูปที่ 8 กราฟแสดงร้อยละความผิดพลาดของบังคับแขนกลแบบง่ายและแบบยากร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 และระดับ 3



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติที่ใช้บังคับแขนกลร่วมกับการทำแบบทดสอบทางคณิตศาสตร์

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า เมื่องานมีความยากเพิ่มขึ้นทำให้เกิดภาระงานทางจิตใจเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างมีคะแนนประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA-TLX หลังบังคับแขนกลแบบง่าย และแบบยากร่วมกับแบบทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 และระดับ 3 มีคะแนนแบบประเมินภาระงานทางจิตใจ NASA-TLX เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ที่ระดับ 0.05 ผลการวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติการใช้บังคับแผนกแบบง่ายน้อยกว่าบังคับแผนกแบบยากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า เมื่อการทำงานมีความยากที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดเวลาการทำงานที่เพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์การบังคับแผนกสร่วมกับการทดสอบคณิตศาสตร์ จากการทดลองพบว่า ร้อยละความผิดพลาดของการบังคับแผนกแบบง่ายและแบบยากร่วมกับการทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 และระดับ 3 มีผลร้อยละความผิดพลาดเพิ่มขึ้น และพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติการใช้บังคับแผนกและแบบทดสอบคณิตศาสตร์ของการบังคับแผนกแบบง่าย และแบบยากร่วมกับการทดสอบคณิตศาสตร์ระดับ 1 และระดับ 3 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งสรุปการศึกษาความสัมพันธ์ของความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันต่อประสิทธิภาพในการบังคับแผนกได้ว่า ความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันมีผลต่อประสิทธิภาพในการบังคับแผนก [15] โดยที่ความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันมีความสัมพันธ์ทางเชิงบวกกับร้อยละความผิดพลาด และความยากของงานและการทำงานหลายอย่างพร้อมกันมีความสัมพันธ์ทางเชิงบวกกับค่าเฉลี่ยเวลาปฏิบัติการใช้บังคับแผนก

กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก กองทุนสนับสนุนการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

เอกสารอ้างอิง

1. Intranon K. Ergonomics. Bangkok: Chulalongkorn University Press; 2005.
2. Sherman MT, Seth AK. Effects of expected task difficulty on metacognitive confidence and multitasking. PsyArXiv. 2021. Availability from: <https://doi.org/10.31234/osf.io/3gfp2>
3. Suwanwatin P. Perceived workload and burnout in flight attendants. where communication within the organization and work stress were the guiding variables. [master's thesis]. Pathum Thani: Thammasat University; 2016.
4. Hart SG. NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. In: Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting. Sage CA: Los Angeles, CA: Sage publications, 2006. p. 904-8.
5. Fallahi M, Motamedzade M, Heidarimoghadam R, Soltanian AR, Miyake S. Effects of mental workload on physiological and subjective responses during traffic density monitoring: A field study. Appl Ergon. 2016;52:95-103.
6. Gloria Y, Lyubov Z, Hooper V. Assessment of workload using NASA Task Load Index in perianesthesia nursing. J Perianesth Nurs. 2008;23(2):102-10.
7. Sugarindra M, Suryoputro MR, Permana AI. Mental workload measurement in operator control room using NASA-TLX. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2017;277(1):1-6.
8. Ramkumar A, Stappers PJ, Niessen WJ, Adebahr S, Schimek-Jasch T, Nestle U, et al. Using GOMS and NASA-TLX to Evaluate Human-Computer Interaction Process in Interactive Segmentation. Int J Hum-Comput Int. 2017;33(2):123-34.
9. Li W, Li R, Xie X, Chang Y. Evaluating mental workload during multitasking in simulated flight. Brain Behav. 2022;12(4):e2489.
10. Liu L, Schoen AJ, Henrichs C, Li J, Mutlu B, Zhang Y, et al. Human Robot Collaboration for Enhancing Work Activities. Human Factors [Internet]. 2022. Availability From: doi.org/10.1177/00187208221077722
11. Schnedler W. Task Difficulty, Performance Measure Characteristics, and the Trade-Off

- between Insurance and Well-Allocated Effort. (May 2006). IZA Discussion Paper No. 2124.
12. Memar AH, Esfahani ET. Objective assessment of human workload in physical human-robot cooperation using brain monitoring. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction (THRI)*. 2019;9(2):1-21.
13. Wallén J. The History of the Industrial Robot. Linköping. [Internet]. LITH-ISY-R. 2008. Availability from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-56167>
14. ABB Robotics Global Media Relations. ABB robots accelerate COVID-19 vaccine development in Thailand [Internet]. 2020. [cited 2021 Aug 23]; Availability from : <https://new.abb.com/news/detail/72021/abb-robots-accelerate-covid-19-vaccine-development-in-thailand>.
15. Adler RF, Benbunan-Fich R. The effects of task difficulty and multitasking on performance. *Interact Comput*. 2015;27(4):430-9.



การพัฒนาชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงท่าสำหรับเด็กสมองพิการชนิดอัมพาตครึ่งท่อนล่าง The Development of Bodysuit for Body Balance in Children with Spastic Diplegia Cerebral Palsy

พิธาลัย ผู้พัฒน์¹ สิริพร ศศิสมณฑลกุล² ไพลิน เผือกประคอง² วรกรรอง ยะสินธุ์³ นลิน ขำหลี่³ พรรณภัทร พรหมเพ็ญ¹ ดาวรัตน์ หิรัญญะสิริ¹ และ ปาวริน ตันตริยานนท์^{*}

Pithalai Phoochat¹, Siriporn Sasimontongkul², Pailin Puagprakong², Wirongrong Yasasindhu³, Nalin Khumlee³, Phannaphat Phromphen¹, Duangrat Hirunyasiri¹, Pawarin Tuntariyanond^{1*}

¹ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร จ.กรุงเทพมหานคร 10900

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์การฟื้นฟูและการเคลื่อนไหว คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

³สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี เขตราชเทวี จ.กรุงเทพมหานคร 10400

¹Department of Textile Science, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok 10900, THAILAND

²Department of Rehabilitation and Movement Sciences, Faculty of Sports Science, Kasetsart University, Nakhon Pathom 73140, THAILAND

³Queen Sirikit National Institute of Child Health, Bangkok 10400, THAILAND

^{*}Corresponding author e-mail: pawarin.s@ku.ac.th

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: November 16, 2022

Revised: February 24, 2023

Accepted: March 10, 2023

Available online: April 21, 2023

DOI: 10.14456/jarst.2023.6

Keywords: children with cerebral palsy, bodysuit for body balance, textile product design, effectiveness of product

This study aimed to design a bodysuit for body balance in children with spastic diplegia cerebral palsy and evaluate the effectiveness of the products. Studying product usage needs through in-depth interviews with specialists in children with cerebral palsy treatment found that textile products that support and balance for trunk and correct kyphosis and round shoulder would meet their needs. The result of the physical study of eleven spastic diplegia cerebral palsy children with hypertonia and GMFCS at 1-4 levels were applied to design the bodysuit for body balance that increases the stability of upper bodies, reduces the tilt of the body, and improves kyphosis and round shoulders. The data from the body size study of the sampling were applied to develop the prototype of the bodysuit for body balance for children with cerebral palsy in six standard sizes. Three different stretch fabrics with different pressure and elasticity were used in the different areas of the bodysuit. The evaluation of effectiveness of the

product prototype was evaluated by expert physical therapists and revealed that a sample of children with cerebral palsy had no change in the sitting posture score and had increased reach in some directions. However, the samples had qualitative changes in posture while sitting. The body is upright, and they had a better spine elongation. The products can reduce kyphosis and the round shoulder of the samples. However, they cannot reduce the lateral tilt because the weight of the hips on both sides is unequal and still see the instability of the sitting position in the forward bending direction in some of the samples. The result of the satisfaction test of prototypes after wearing the product for 4 weeks through the caregiver of children with spastic diplegia cerebral palsy, showed relatively high scores in function, physiology and aesthetic aspects.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดบอดี้สูทเพื่อช่วยในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการกลุ่มแข็งเกร็งแบบครึ่งท่อน ผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในการบำบัดรักษาเด็กที่มีภาวะสมองพิการ พบว่ามีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่ช่วยพยุงลำตัว จัดสมดุลของลำตัวที่เอียง และช่วยแก้ไขภาวะหลังค่อมและไหล่ห่อ ผลการศึกษาสรีระของกลุ่มตัวอย่างเด็กสมองพิการจำนวน 11 คน ที่มีอายุ 4-10 ปี มีความผิดปกติในกลุ่มแข็งเกร็งแบบครึ่งท่อน มีความรุนแรงของโรคระดับ 1-4 และข้อมูลที่ได้จากศึกษาขนาดสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่าง นำมาใช้ในการพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์ในขนาดมาตรฐาน จำนวน 6 ไซส์ โดยใช้ผ้ายืด 3 ชนิดที่มีแรงกด และความยืดหยุ่นที่แตกต่างกันในแต่ละส่วนของชุดบอดี้สูท ผลการทดสอบประสิทธิภาพของต้นแบบผลิตภัณฑ์โดยนักกายภาพบำบัด พบว่าขณะสวมใส่ผลิตภัณฑ์ เด็กส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับคะแนนของการทรงตัวในท่ายืน และมีระยะเวลาการเอื้อมเพิ่มขึ้นในบางทิศทาง แต่กลุ่มตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพในการทรงตัวในขณะนั่ง มีการตั้งตรงของลำตัวและมีการยืดเหยียดของกระดูกสันหลังดีขึ้น ลดการค่อมของหลัง และการห่อของไหล่ได้ แต่ยังไม่สามารถลดการเอียงด้านข้าง เนื่องจากการลงน้ำหนักของสะโพกทั้งสองข้างไม่เท่ากัน และยังคงเห็นความไม่นิ่งของท่ายืนในทิศก้มไปด้านหน้าในกลุ่มตัวอย่างบางราย ผลการประเมินความพึงพอใจหลังการใช้งาน 4 สัปดาห์

ผ่านผู้ดูแลเด็กสมองพิการ พบว่ามีความพึงพอใจในการใช้งานผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับค่อนข้างสูง

คำสำคัญ: เด็กสมองพิการ ชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัว การออกแบบผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์

บทนำ

เด็กสมองพิการ (Cerebral palsy: C.P.) เป็นกลุ่มผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของระบบประสาทและการควบคุมการเคลื่อนไหวที่สมอง ทำให้มีปัญหาในการควบคุมท่าทาง เคลื่อนไหวและทรงตัวลำบาก ต้องพึ่งพาผู้อื่นและมีความลำบากในการใช้ชีวิตประจำวัน [1] ชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัว สำหรับเด็กสมองพิการมีการพัฒนาและมีการในผลิตเชิงพาณิชย์เพื่อใช้เป็นทางเลือกหนึ่งของอุปกรณ์เสริมในการบำบัดรักษาและช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้ชีวิตประจำวันสำหรับเด็กสมองพิการ อาทิเช่น ชุดบอดี้สูทสำหรับเด็กสมองพิการของบริษัท TheraTogs ที่มีออกแบบเป็นชุดที่รัดรูป และมีการเพิ่มแถบผ้าที่สามารถปรับความกระชับในจุดที่ต้องการปรับแก้ไขสรีระเพื่อเพิ่มความมั่นคงของลำตัว และมีการออกชุดให้เปิดบริเวณเป้า เพื่อความสะดวกในการเข้าห้องน้ำ [2] ชุดบอดี้สูทสำหรับเด็กสมองพิการของบริษัท Second skin ที่มีการออกแบบชุดโดยใช้โครงสร้างผ้าที่แตกต่าง ๆ กันและใช้วัสดุเสริมในส่วนต่างๆ ของชุด เพื่อช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของลำตัวและช่วยปรับแก้ไขสรีระ [3] ผลการทดลองใช้ชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัวในเด็กสมองพิการ พบว่าชุดสามารถช่วยรักษา

เสถียรภาพบริเวณช่วงลำตัว ช่วยแก้ไขความไม่สมดุลของร่างกาย และช่วยจัดท่าทางให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง [4] ผลการศึกษาปัญหาและความต้องการใช้งานชุดบอดีสูทช่วยทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการ พบว่าเด็กสมองพิการและผู้ดูแลมีความต้องการชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัวที่สวมใส่สบาย สามารถระบายความร้อนและเหงื่อ ไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวของเด็กและมีน้ำหนักเบา ต้องการชุดบอดีสูทที่มีความสะดวกในการสวมและถอดชุด โดยเฉพาะในเวลาปัสสาวะและขับถ่ายที่มีความลำบากในการถอดและใส่ชุด รวมถึงมีความต้องการชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัวที่มีการผลิตในขนาดต่าง ๆ เพื่อให้สามารถเปลี่ยนใช้ชุดบอดีสูทที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความเหมาะสมกับขนาดสัดส่วนของร่างกายเด็กที่มีการเจริญเติบโตขึ้น [4, 5, 13] ชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัว ที่มีการพัฒนาขึ้น ยังคงพบปัญหาในด้านความสะดวกในการสวมใส่และถอดชุด โดยเฉพาะในเวลาปัสสาวะและขับถ่ายที่มีความยุ่งยากและต้องใช้เวลานานในการถอดชุดและใส่ชุด ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ทำให้มีผู้ดูแลเด็กสมองพิการในจำนวนน้อยที่ตัดสินใจใช้ชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัว และยังพบปัญหาด้านการระบายความร้อนของผ้าและวัสดุที่ใช้ในการทำชุดที่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวเด็ก ต้องการผ้าและวัสดุ โดยเฉพาะในส่วนที่มีแรงรัดและแรงกดให้น้ำหนักเบา และมีสมบัติในการระบายความร้อน และการพัฒนาสายรัดที่ให้แรงกดแต่ไม่ระคายเคืองต่อผิวเด็ก รวมทั้งการใช้ผ้าและวัสดุที่มีความสะดวกสบายในการดูแล สามารถซักและทำความสะอาดง่าย [4, 5]

การออกแบบและการสร้างแบบตัด (Pattern) ของชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการที่ช่วยปรับสรีระ ช่วยพยุงลำตัว และมีความพอดีในการสวมใส่ จะทำการปรับขนาดแบบตัด (Pattern) ให้เล็กลงกว่าขนาดสัดส่วนจริงของผู้สวมใส่อยู่ระหว่าง 5-20% ทั้งขนาดรอบอกและตามแนวยาวของชุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนชั้นของวัสดุที่ใช้ เนื่องจากชุดบอดีสูทมีการใช้ผ้าแต่ละส่วนที่มีแรงยึดต่างกัน การปรับขนาดแบบตัดจะขึ้นกับความกระชับและแรงกด (Compression) ที่ต้องการในบริเวณต่าง ๆ ของชุดที่มีผลต่อการแก้ไขความผิดปกติทางสรีระและการช่วยเพิ่มสมดุลในการทรงตัว [6] การประเมินผลการใช้งานชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัว โดยให้เด็กสมองพิการสวมใส่ชุดวันละ 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และทำการประเมินและเปรียบเทียบ

ความสามารถในการทรงตัวและการเคลื่อนไหวก่อนและขณะใส่ชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัว ด้วยแบบทดสอบการทรงท่า (Functional balance grades) และแบบประเมินการทำงานของกล้ามเนื้อใหญ่ (Gross motor function measure: GMF66) พบว่าขณะสวมใส่ชุดบอดีสูท เด็กสมองพิการมีความสามารถในการทรงตัวและมีการเคลื่อนไหวในท่าทางต่าง ๆ ในขณะนั่งได้ดีขึ้น [7] ในปัจจุบัน ยังไม่มีการผลิตชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการในประเทศไทย และยังขาดการศึกษาปัญหาและความต้องการใช้งานชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัวจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในการบำบัดรักษาเด็กสมองพิการ เพื่อนำมาออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงต่อความต้องการใช้งาน รวมทั้งยังไม่มีการพัฒนาชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการในขนาดมาตรฐานเพื่อการผลิตในระบอบอุตสาหกรรม

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัวให้กับเด็กสมองพิการกลุ่มแข็งเกร็งแบบครึ่งท่อน (Spastic diplegia) ซึ่งเป็นกลุ่มที่พบปัญหาด้านการทรงตัวได้มากที่สุดร้อยละ 70-80 ของเด็กสมองพิการทั้งหมด [8] และทำการประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น โดยการศึกษาปัญหาความต้องการใช้งานผลิตภัณฑ์จากผู้เชี่ยวชาญในการบำบัดรักษาเด็กสมองพิการ และนำผลมาคัดเลือกผ้าและวัสดุสิ่งทอที่ใช้ในการตัดเย็บผลิตภัณฑ์ให้ตรงต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ทำการทดสอบความแข็งแรง และความยืดหยุ่นของผ้าที่ใช้ในตัดเย็บผลิตภัณฑ์ ทำการศึกษาสรีระและขนาดสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างเด็กสมองพิการ ทำการออกแบบ สร้างแบบตัด และตัดเย็บต้นแบบชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัวในขนาดมาตรฐาน ต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ผ่านการประเมินประสิทธิภาพ ด้วยแบบทดสอบมาตรฐานทางคลินิก รวมทั้งทำการประเมินความพึงพอใจหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์ผ่านผู้ดูแลเด็กสมองพิการ ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ทำให้ได้องค์ความรู้ใหม่ในการออกแบบผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ช่วยปรับการทรงท่า และเพิ่มความมั่นคงของร่างกายส่วนบน และได้ต้นแบบชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการในขนาดมาตรฐานที่พร้อมนำไปผลิตในอุตสาหกรรม

จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยสามารถนำมาตั้งคำถามวิจัย (Research Questions: RQ) ได้ดังนี้

RQ1. ผู้เชี่ยวชาญในการบำบัดรักษาเด็กสมองพิการ มีความต้องการใช้งานชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการอย่างไร และสามารถนำมาออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างไร

RQ2. การศึกษาสรีระและขนาดสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างเด็กสมองพิการ สามารถนำมาสร้างแบบตัดและตัดเย็บผลิตภัณฑ์ในขนาดมาตรฐานอย่างไร

RQ3. ต้นแบบชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอย่างไร

วิธีดำเนินการวิจัย

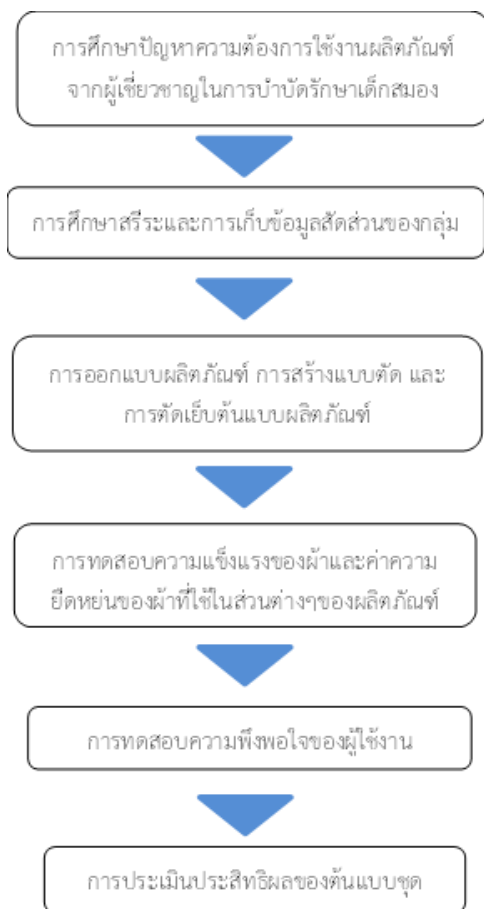
งานวิจัยนี้มีการใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงผสมผสาน โดยใช้วิธีวิจัยเชิงคุณภาพและวิธีวิจัยเชิงทดลอง และใช้การคัดเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Prepositive Sampling) และแบบมีเกณฑ์ (Criterion Sampling) เพื่อทำการคัดกรองตัวอย่างที่ศึกษาตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในงานวิจัยร่วมกับผู้เชี่ยวชาญในการบำบัดรักษาเด็กที่มีภาวะสมองพิการ เพื่อให้ได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในการเป็นตัวแทนของประชากรเป้าหมายในการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย เด็กที่มีภาวะสมองพิการ จำนวน 11 คน ที่มีอายุระหว่าง 4-10 ปี มีลักษณะความผิดปกติของการเคลื่อนไหวในกลุ่ม Spastic diplegia มีระดับความรุนแรงของอาการอยู่ในระดับ GMFCS 1-4 [9] ตามระบบจำแนกความสามารถด้านการเคลื่อนไหว (GMFCS) ของเด็กสมองพิการ ที่แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้คือ ระดับ 1 เดินได้โดยไม่มีข้อจำกัด, ระดับ 2 เดินได้โดยมีข้อจำกัด, ระดับ 3 เดินได้โดยใช้อุปกรณ์ในการเคลื่อนที่ที่ใช้มือจับ, ระดับ 4 เคลื่อนที่เองโดยมีข้อจำกัด อาจใช้การเคลื่อนที่โดยอาศัยอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ใช้ไฟฟ้า และระดับ 5 เคลื่อนย้ายโดยผู้อื่นในรถเข็นนั่งที่ใช้มือเข็น [10] และเป็นเด็กสมองพิการที่มีภาวะความตึงตัวของกล้ามเนื้อมากกว่าปกติ (Hypertonia)

วิธีการเก็บข้อมูลและเครื่องมือในการศึกษาวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย 1) การสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interview) ผู้เชี่ยวชาญในการบำบัดรักษาเด็กที่มีภาวะสมองพิการประกอบด้วย แพทย์ด้านเวชศาสตร์ฟื้นฟู จำนวน 1 ท่าน นักกายภาพบำบัดเด็ก จำนวน 2 ท่าน และพยาบาลพัฒนาการเด็ก จำนวน 2 ท่าน และทำการสัมภาษณ์แบบกึ่งมีโครงสร้าง (Semi-structured interview) เพื่อศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาและความต้องการใช้งานผลิตภัณฑ์สิ่งทอช่วยในการทรงตัว 2) การศึกษาสรีระและ

ขนาดสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างเด็กที่มีภาวะสมองพิการ จำนวน 11 คน 3) การทดสอบความแข็งแรงของผ้าและค่าความยืดหยุ่นของผ้าที่ใช้ในการตัดเย็บต้นแบบผลิตภัณฑ์ ในการวิจัยนี้ ได้ใช้ผ้ายัด 3 ชนิดในการตัดเย็บชุดบอดี้สูทช่วยทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการ โดยทำการทดสอบความแข็งแรง ตามมาตรฐาน ISO 13934-1:2013 โดยใช้เครื่องทดสอบ Instron model 5566 ใช้อัตราเร็วในการทดสอบ 100 มิลลิเมตร/นาที ระยะทดสอบ 100 มิลลิเมตร โดยทำการทดสอบเพื่อหาค่าแรงดึงสูงสุด (force) และค่าการยืดตัวสูงสุด (elongation) และทำการทดสอบค่าความยืดหยุ่นของผ้ายัด ตามมาตรฐาน BS EN 14704-1:2005 Method A โดยใช้เครื่องทดสอบ Instron model 5566 ใช้อัตราเร็วในการทดสอบคงที่ที่ 100 มิลลิเมตร/นาที ระยะทดสอบ 100 มิลลิเมตร และยืดขึ้นตัวอย่างไป 50% ของความยาวเดิม เพื่อหาค่าแรงดึงสูงสุดเมื่อทำการดึงยืดรอบที่ 5 และ ร้อยละการหดตัวกลับของผ้าหลังจากปล่อยชิ้นผ้าตัวอย่างไว้หลังการยืด 30 นาที 4) การออกแบบผลิตภัณฑ์ การสร้างแบบตัด และการตัดเย็บต้นแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้ผ้าในชั้นตอนที่ 3 ทั้ง 3 ชนิดที่มีเนื้อผ้าและสมบัติที่แตกต่างกันถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการตัดเย็บชุดบอดี้สูทในบริเวณที่แตกต่างกัน 5) การทดสอบประสิทธิภาพของต้นแบบผลิตภัณฑ์ กับกลุ่มตัวอย่างเด็กสมองพิการ โดยนักกายภาพบำบัดที่มีประสบการณ์ทำงานด้านกายภาพบำบัดเด็ก ไม่ต่ำกว่า 10 ปี จำนวน 2 ท่าน เป็นผู้ประเมินผล ด้วยแบบทดสอบการทรงตัว (Functional Balance Test) [11] ที่เป็นการประเมินความสามารถในการทรงตัวในท่านั่งทั้งในขณะอยู่นิ่ง (static) และขณะมีการเคลื่อนไหว (dynamic) ตามที่กำหนดไว้ในแบบทดสอบ ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่สามารถเข้าใจและปฏิบัติตามได้ง่าย ไม่ซับซ้อนเหมาะสมกับเด็กสมองพิการที่มีความบกพร่องอื่นร่วมด้วย ได้แก่ ความบกพร่องทางสติปัญญาและการเรียนรู้หรือเด็กที่มีอายุน้อย [12] และแบบทดสอบการเอื้อมมือ (Pediatric Reach Test) [5] ที่เป็นการวัดระยะการเอื้อมแขนและมือไปทางด้านข้างและด้านหน้าในท่านั่ง ซึ่งใช้สำหรับวัดความมั่นคงของท่าทางจากทิศทางด้านหน้าและด้านข้างในเด็กสมองพิการ โดยวัดระยะทางที่เด็กสามารถเอื้อมไปข้างหน้าและด้านข้างจากท่านั่งได้โดยไม่สูญเสียการทรงตัว [13] และทำการเปรียบเทียบผลก่อนและขณะใช้งานผลิตภัณฑ์ และทำการทดสอบสมมติฐานเปรียบเทียบความแตกต่างของระยะการเอื้อมก่อนและขณะใช้ผลิตภัณฑ์โดย

ใช้สถิติ The Wilcoxon Matched-Pair Signed Rank Test
6) การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานผลิตภัณฑ์ตาม
โมเดลในการศึกษาความต้องการของผู้ใช้แบบ Functional,
Expressive and Aesthetic Model (FEA) ที่ใช้ในการ
ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติพิเศษ (Functional
Products) [14] โดยการพิจารณาความต้องการของผู้ใช้ใน 3
ด้านหลัก ได้แก่ ด้านการใช้งาน ด้านกายภาพ และด้านจิตใจ
และทำการประเมินผลหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 4
สัปดาห์ ผ่านกลุ่มดูแลเด็กสมองพิการ โดยกำหนดระดับ
คะแนนดังนี้คือ ระดับคะแนน 4 (มากที่สุด), ระดับคะแนน 3
(ค่อนข้างมาก), ระดับคะแนน 2 (ค่อนข้างน้อย) และ ระดับ
คะแนน 1 (น้อยที่สุด)

งานวิจัยนี้ผ่านการรับรองด้านจริยธรรมการวิจัย
ในมนุษย์ ของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อวันที่ 24
มีนาคม 2564



รูปที่ 1 ขั้นตอนการวิจัย

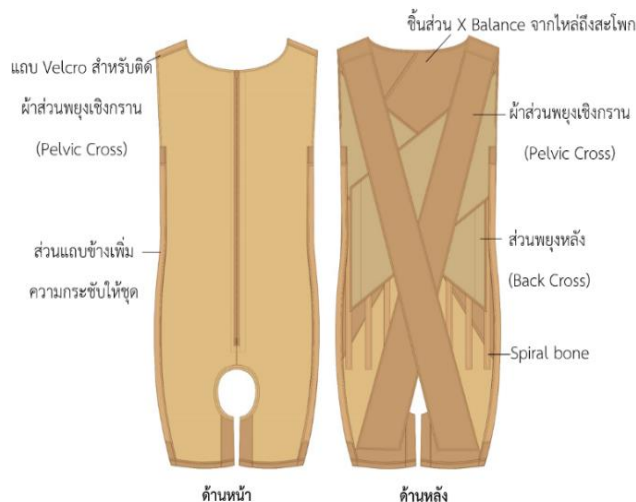
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญในการ
บำบัดรักษาเด็กที่มีภาวะสมองพิการ จำนวน 5 ท่าน ดัง
แสดงในตารางที่ 1 พบว่ามีความต้องการผลิตภัณฑ์สิ่งทอ
ช่วยในการทรงตัวที่ช่วยจัดสมดุลของลำตัวที่เอียง (Trunk
Alignment) ช่วยแก้ไขภาวะหลังค่อม (Kyphosis) และ
ไหล่ห่อ (Round Shoulder) ต้องการผลิตภัณฑ์สิ่งทอช่วย
ในการทรงตัวที่ใช้ผ้าและวัสดุที่มีการระบายอากาศดี ไม่
ระคายเคืองผิว และมีรูปแบบที่สะดวกต่อการเคลื่อนไหว มี
ความสะดวกในการสวมใส่และการถอด และการเข้า
ห้องน้ำ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการทำเป็นซับในของตัว
ผลิตภัณฑ์

จากผลการศึกษาปัญหาและความต้องการใช้
งานผลิตภัณฑ์ สามารถนำมาแปลงเป็นข้อกำหนดและ
คุณลักษณะของชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัวได้ ดังแสดง
ในตารางที่ 2 และทำการออกแบบชุดบอดี้สูทช่วยทรงตัว
สำหรับเด็กสมองพิการ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยทำการศึกษา
สรีระของเด็กสมองพิการ ด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลความ
ผิดปกติทางสรีระของกลุ่มตัวอย่างเด็กสมองพิการ จำนวน
11 คน จากนักกายภาพบำบัดเด็ก พบว่าเด็กสมองพิการมี
ลักษณะลำตัวที่เอียงไปทางด้านข้างทางด้านใดด้านหนึ่ง
ไม่สามารถนั่งทรงตัวหลังตรงได้เป็นระยะเวลานาน บาง
รายมีระดับไหล่ซ้ายและขวาไม่เท่ากัน และมีการลง
น้ำหนักที่ก้นซ้ายและขวาไม่เท่ากัน ในขณะที่ทรงตัวในท่า
นั่งมีการแอ่นของลำตัวไปทางด้านหน้า มีลักษณะหลังค่อม
และไหล่ห่อ จากข้อมูลความผิดปกติทางสรีระของกลุ่ม
ตัวอย่างเด็กสมองพิการสามารถนำมาออกแบบและสร้าง
แบบตัด (Pattern) ของชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัว ดัง
แสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วย การออกแบบชิ้นส่วน
กากบาท (X Balance) ที่ด้านหลังของชุดเพื่อช่วยพยุง
ลำตัว การออกแบบส่วนพยุงหลังส่วนบน (Backcross)
เพื่อลดการเอนของลำตัวไปทางด้านข้างและช่วยจัดสมดุล
ของลำตัวที่เอียง และการออกแบบส่วนพยุงเชิงกราน
(Pelvic Cross) เป็นแถบผ้าที่คาดที่สามารถปรับความ
กระชับได้ตามลักษณะสรีระ เพื่อช่วยลดการงอลำตัวและ
ดัดท่าให้หงายออก เพื่อช่วยปรับแก้ไขภาวะหลังค่อมและ
ไหล่ห่อ รวมทั้งออกแบบบริเวณเป้าให้มีความสะดวกใน
การสวมใส่และการถอด และการเข้าห้องน้ำ

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาปัญหาและความต้องการใช้งานผลิตภัณฑ์

ความต้องการใช้งานผลิตภัณฑ์	ตัวอย่างคำสัมภาษณ์
การพยุงลำตัว (Trunk Control) และการจัดสมดุลของลำตัวที่เอียง (Trunk Alignment)	“กล้ามเนื้อลำตัวไม่แข็งแรง ทำให้ไม่สามารถยืดต้านแรงโน้มถ่วงได้ ต้องพยุงกล้ามเนื้อหลัง กล้ามเนื้อหน้าท้อง ปรับกระดูกสันหลังให้ตั้งตรงได้” “ในเรื่องของการทรงตัว จะทรงตัวไม่ได้ นั่งเอียงซ้ายหรือขวา”
การแก้ไขภาวะหลังค่อม (Kyphosis) และไหล่ห่อ (Round Shoulder)	“เด็กส่วนใหญ่จะเป็น Kyphosis กระดูกขนาดเชิงกรานจะเทไปข้างหลัง จะนั่งหลังค่อม” “หัวไหล่ห่อ หัวไหล่งุ้มมาด้านหน้า คอแข็ง คางยื่น”
การระบายอากาศและไม่ระคายเคืองผิว ความสะดวกในการสวมใส่และการถอด	“สวมใส่สบาย ระบายอากาศ ไม่เกิดอาการแพ้ผิวหนัง” “มีรูปแบบที่ช่วยให้เด็กมีการเคลื่อนไหวใช้แขนขาในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ มีความสะดวกในการเข้าห้องน้ำ”



รูปที่ 2 การออกแบบชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการ

ตารางที่ 2 การแปลงความต้องการในการใช้งานเป็นข้อกำหนดและคุณลักษณะของชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัว

ความต้องการใช้งาน	ข้อกำหนดและคุณลักษณะของชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัว	การออกแบบผลิตภัณฑ์
ผ้าและวัสดุสิ่งทอ		
การพยุงลำตัว (Trunk Control)	- ใช้ผ้าที่มีแรงกระชับดึงยึดที่ดี เพื่อเพิ่มแรงกระชับในผลิตภัณฑ์ - ใช้วัสดุตาม ได้แก่ Spiral bone และผ้าตาม	- ออกแบบชิ้นส่วนกากบาท (X Balance) จากไหล่ถึงสะโพก และวางผ้าแนวขวาง เพื่อเพิ่มความกระชับให้กับชุด - ออกแบบให้มีส่วนแถบข้าง เป็นแถบผ้ายาวจากใต้รักแร้ถึงข้อขา และวางผ้าแนวขวาง เพื่อเพิ่มความกระชับให้ชุด - ออกแบบด้านหลังของชุดให้มีการเสริมด้วยวัสดุตาม

ความต้องการใช้งาน	ข้อกำหนดและคุณลักษณะของชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัว	
	ผ้าและวัสดุสิ่งทอ	การออกแบบผลิตภัณฑ์
การจัดสมดุลของลำตัวที่เอียง (Trunk Alignment)	ใช้ผ้าที่มีแรงกระชับดีและมีประสิทธิภาพในการหดกลับตัวหลังจากดึงยืดได้โดยไม่เสียคุณสมบัติ	ออกแบบชิ้นส่วนพุงหลัง (Back Cross) เป็นแถบผ้ากากบาท เพื่อเพิ่มแรงดึงจากรักแร้ข้างหนึ่งมาถึงสะโพกอีกข้างหนึ่ง เพื่อช่วยจัดสมดุลของลำตัวที่เอียงไปข้างใดข้างหนึ่ง ติดเวลโครที่บริเวณด้านข้างของลำตัว เพื่อให้สามารถปรับความกระชับได้ตามลักษณะสรีระ และทำการเสริมผ้า 3 ชั้น เพื่อเพิ่มแรงดึง
การแก้ไขภาวะหลังค่อม (Kyphosis) และไหล่ห่อ (Round Shoulder)	ใช้ผ้าที่มีความแข็งแรง มีแรงกระชับดีที่ยืดได้ดี	ออกแบบส่วนพุงเชิงกราน (Pelvic Cross) เป็นแถบผ้าคาดไขว้กัน เพื่อเพิ่มแรงดึงในการปรับแก้ไขภาวะหลังค่อมและไหล่ห่อ รวมทั้งช่วยจัดสมดุลของลำตัวที่เอียงไปข้างใดข้างหนึ่ง ติดเวลโครที่บริเวณบ่า เพื่อให้สามารถปรับความกระชับได้ตามลักษณะสรีระ และเสริมผ้า 2 ชั้น เพื่อเพิ่มแรงดึง
การระบายอากาศและไม่ระคายเคืองผิว	ใช้ผ้าที่มีโครงสร้างผ้าที่สามารถระบายเหงื่อและแห้งเร็ว เหมาะสำหรับการผลิตเสื้อผ้าที่ต้องสัมผัสหรือติดกับผิวหนังมากกว่า 6 ชั่วโมง เป็นผ้าที่ผ่านการตกแต่งสารป้องกันเชื้อแบคทีเรีย และผ่านการทดสอบความปลอดภัยว่าสามารถใช้กับเด็กที่มีอายุตั้งแต่ 3 ปีขึ้นไป	- ทำเป็นส่วนซับในของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดความอ่อนนุ่มเมื่อสัมผัสกับผิว - สร้างแบบตัดของชุดให้พอดีสัดส่วนแต่ไม่รัดจนเกินไป - หลีกเลี่ยงตะเข็บไม่ให้ติดกับบริเวณลำตัวหรือสัมผัสผิวหนัง ซ่อนตะเข็บเอาตะเข็บไว้ด้านนอก และหลีกเลี่ยงไม่ให้ซิปสัมผัสผิว
ความสะดวกในการสวมใส่และการถอด	ใช้ซิปเพื่อความสะดวกในการสวมใส่และการถอด	- เปิดเป็นเป้าโหว่ โดยเปิดตั้งแต่ด้านหน้าไปถึงด้านหลัง เพื่อให้มีความสะดวกสบายในการขยับย้าย - ติดซิปบริเวณกลางหน้าของชุด

ผลการวัดสัดส่วนกลุ่มตัวอย่างเด็กสมองพิการจำนวน 11 คน สามารถนำมาสร้างแบบตัดและทำการคำนวณเพื่อปรับเพิ่มหรือลดขนาดของแบบตัด (Pattern grading) สำหรับการผลิตในระบบอุตสาหกรรม โดยนำขนาดมาตรฐานของเสื้อผ้าเด็กมาปรับใช้ และอิงจากค่ากลางของแต่ละไซส์ในการทำต้นแบบผลิตภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาต้นแบบชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัว โดยกำหนดชื่อของบอดี้สูทที่ออกแบบขึ้นมาใหม่นี้ ดังนี้ “X-Balance Bodysuit” จำนวน 6 ไซส์ (Size) อ้างอิงจากขนาดรอบอก

ของกลุ่มตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนี้ ไซส์ 2 ไซส์ 4 ไซส์ 6 ไซส์ 8 ไซส์ 10 และ ไซส์ 12 โดยเด็กที่มีขนาดสัดส่วนต่างๆ สามารถสวมใส่ชุดบอดี้สูท ใน Size ต่างๆ ได้ตามขนาดรอบอกของเด็ก และชุดบอดี้สูททุก Size จะประกอบด้วยส่วนพุงลำตัว ส่วนพุงหลังส่วนบน และส่วนพุงเชิงกราน ซึ่งสามารถปรับความกระชับได้ตามลักษณะสรีระ ในการสร้างแบบตัดของผลิตภัณฑ์ได้ทำการลดขนาดของแบบตัด (Pattern reduction) ตามแนวตั้ง 10% และรอบอก 15% และตัดเย็บชุดบอดี้สูท

ตารางที่ 3 การแบ่งไซส์ของชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัวตามขนาดรอบอกของกลุ่มตัวอย่างเด็กสมองพิการ

ไซส์	รอบอก	ค่ากลาง
2	48-50-52	50
4	52-54-56	54
6	56-58-60	58
8	60-62-64	62
10	64-66-68	66
12	68-70-72	66

ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพ ความแข็งแรง และ ความยืดหยุ่นของผ้าตัวอย่างที่ใช้ในการทำตัวอย่างชุดบอดี้สูท

ผ้า	ส่วนผสมเส้นใย	น้ำหนักผ้า (g/m ²)	แรงดึงสูงสุด (N)		การยืดตัวสูงสุด (%)		แรงดึงสูงสุด (N)		การหดตัวกลับของผ้า (%)	
			แนวตั้ง	แนวนอน	แนวตั้ง	แนวนอน	แนวตั้ง	แนวนอน	แนวตั้ง	แนวนอน
ผ้ายัดซาติน	57%Nylon/ 25%Lycra/ 8%Cotton	200.4	359.96	198.82	236.17	107.57	4.65	8.08	99.9	98.8
ผ้าโลคร่า A	75%Nylon/ 25%Spandex	174.8	315.33	425.04	422.50	283.07	6.34	12.68	99.4	98.4
ผ้าโลคร่า B	82% Nylon/ 18% Spandex	208.7	411.01	491.13	363.43	315.47	6.33	9.37	100.0	98.0

ผลการทดสอบผ้าเพื่อใช้ในส่วนต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์โดยผ้าที่เลือกมาใช้งานวิจัยนี้ได้รับการรับรองว่าเป็นผ้าที่สามารถใช้กับเด็กที่มีอายุตั้งแต่ 3 ปีขึ้นไป แสดงในตารางที่ 4 โดยผ้าที่ใช้ประกอบด้วย 1) ผ้ายัดซาติน (Satin net composition) ที่มีโครงสร้างผ้าที่ประกอบไปด้วยเส้นใยไนลอน 57% เส้นใยสแปนเด็กซ์ 25% และ เส้นใยฝ้าย 18% เนื่องจากมีส่วนผสมของฝ้ายทำให้มีผิวสัมผัสนุ่ม ไม่ระคายเคืองต่อผิวหนัง จึงใช้ทำซับด้านใน ซึ่งมีแรงกด และใช้เป็นแถบผ้าใช้ในบริเวณที่ต้องการดึงรั้งชุดบอดี้สูท เพื่อปรับแก้ไขสรีระและช่วยพยุงหัวไหล่ 2) ผ้าโลคร่า A (Lycra®) ซึ่งเป็นผ้าถักด้ายยืนแบบราเชล ประกอบด้วยเส้นใยไนลอน 75% และสแปนเด็กซ์ 25% จึงมีแรงกระชับดึงยืดที่ดี และมีประสิทธิภาพในการหดกลับตัวหลังจากยืด โดยนำมาใช้เป็นผ้าชั้นนอกของผลิตภัณฑ์และใช้เป็นส่วนประกอบผ้าชั้นกลางระหว่างผ้าชั้นในกับชั้นนอกของผลิตภัณฑ์ เพื่อช่วยเพิ่มแรงกระชับในผลิตภัณฑ์และช่วยพยุงลำตัว และ 3) ผ้าโลคร่า B ที่มีส่วนผสมของเส้นใยไนลอน 82% และ เส้นใยสแปนเด็กซ์ 18% โดยเนื้อผ้ามีผิวสัมผัสผ้า ค่อนข้างกระด้าง แต่สามารถทนต่อแรงดึงได้ดีกว่าผ้ายัดซาตินและผ้าโลคร่า A ดังนั้นผ้ายัดดังกล่าวจึงนำมาใช้ในบริเวณที่ต้องการแรงดึงยืด เช่น ชิ้นส่วน X Balance และผ้าส่วนพุงเชิงกราน เมื่อพิจารณา

ค่าความยืดหยุ่นของผ้ายัดทั้ง 3 ชนิดที่นำมาใช้ในการตัดเย็บชุดบอดี้สูท พบว่ามีความยืดหยุ่นดี แม้จะมีแรงดึงยืดผ้าให้ยืดออกจากความยาวเดิมร้อยละ 50 ผ้ายัดทั้ง 3 ชนิดก็สามารถคืนตัวกลับมายังความยาวเดิมได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผ้ายัดที่ใช้ในการขึ้นตัวอย่างชุดบอดี้สูทจะมีความทนทานในการใช้งาน ผ้าไม่ยืดย้วย และสามารถพุงร่างกายของกลุ่มตัวอย่างได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 3 ต้นแบบชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการ

นอกจากนั้นมีการใช้วัสดุเสริมและอุปกรณ์เกาะเกี่ยว ได้แก่ แถบตีนตุ๊กแก (Velcro tape) ใช้ในการปรับความกระชับของชุด โครงกระดูก (Spiral bone) เป็นวัสดุเสริมบริเวณหลัง เพื่อช่วยเพิ่มความมั่นคงของหลังและลำตัว ผ้าพอลิเอสเตอร์ (Polyester) จำนวน 3 ชั้น ที่มีคุณสมบัติไม่ดึงยืด นำมาใช้ในการส่วนที่ต้องการเพิ่ม และซิปเพื่อให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกในการสวมใส่และถอดออก ดังแสดงต้นแบบชุดบอดี้สูทในรูปที่ 3

ผลการประเมินความสามารถในการทรงท่าด้วยแบบทดสอบ Functional Balance Grades และแบบทดสอบ Pediatric Reach Test ที่ต้องใช้ทักษะในการถ่วงน้ำหนัก (Weight shift) การเอื้อม (Reaching) และการควบคุมการทรงตัว (Postural control) ของกลุ่มตัวอย่างเด็กที่มีภาวะสมองพิการ จำนวน 11 ราย โดยมีนักกายภาพบำบัดที่มีความเชี่ยวชาญ จำนวน 2 ท่าน เป็นผู้ประเมินผล ดังแสดงตัวอย่างวิธีการประเมินในรูปที่ 4

ตารางที่ 5 และตารางที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบก่อนใส่ผลิตภัณฑ์และขณะสวมใส่ผลิตภัณฑ์ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการทรงท่าในท่านั่งขณะอยู่นิ่ง (Static) และการทรงท่าในท่านั่งขณะมีการเคลื่อนไหว (Dynamic) เนื่องในการทำการวิจัยครั้งนี้ทางผู้วิจัยได้เลือกแบบประเมิน Functional Balance Grades มาใช้ในการวัดกลุ่มเด็กที่มีภาวะสมองพิการ เนื่องจากการเป็นทดสอบที่เด็กอายุ 3-10 ปี สามารถเข้าใจและปฏิบัติตามได้ง่าย ไม่ซับซ้อนเหมาะสมกับเด็กสมองพิการที่มีความบกพร่องอื่นร่วมด้วย ได้แก่ ความบกพร่องทางสติปัญญาและการเรียนรู้ หรือเด็กที่มีอายุน้อย ทำให้ในการประเมินอาจมีความละเอียดไม่เพียงพอที่จะวัดความเปลี่ยนแปลงของก่อนและขณะใส่ body suit แต่เมื่อพิจารณาจากรายละเอียดที่เห็นในขณะใส่จริงจะมีการเปลี่ยนแปลงในรายละเอียด ดังนี้คือ เด็กส่วนใหญ่ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับคะแนนของแบบประเมิน Functional Balance Grades (ตารางที่ 5) เมื่อพิจารณาจากรายละเอียดเชิงคุณภาพการทรงท่าในรูปแบบอยู่นิ่ง (static) ในขณะนั่ง ต่างๆ พบว่าการตั้งตรงของลำตัวและมีการยืดเหยียดของกระดูกสันหลังได้ดีขึ้น (Elongation of Spine) ลดการค่อมของหลัง (Kyphosis) และการห่อของไหล่ได้ (Round

Shoulders) ดังแสดงในรูปที่ 5 แต่ยังไม่สามารถลดการเอียงด้านข้าง (Lateral Shifting) เนื่องจากการลงน้ำหนักของสะโพกทั้งสองข้าง ไม่เท่ากัน และยังคงเห็นความไม่นิ่งของท่อนั่งในทิศทางไปด้านหน้า (Forward Bending) ในกลุ่มตัวอย่างบางราย และในทิศเอียงข้าง (Lateral Shifting) ในกลุ่มตัวอย่างทุกราย ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปควรนำแบบประเมินอื่นที่มีความละเอียดในการวัดเชิงคุณภาพมากยิ่งขึ้นมาใช้ในการประเมินการทรงท่าขณะอยู่นิ่ง

ผลการประเมินด้วยแบบทดสอบ Pediatric Reach Test ก่อนใส่และขณะใส่ผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 6) พบว่า กลุ่มตัวอย่างจำนวน 5 รายในจำนวนทั้งหมด 11 ราย มีระยะทางการเอื้อมทางด้านหน้า (Forward) เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนใส่ (P0) และขณะใส่ Body Suit (P1) ในขณะที่กลุ่มตัวอย่างจำนวน 8 รายในจำนวนทั้งหมด 11 ราย มีระยะทางการเอื้อมทางด้านข้างขวา (Right Side) เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนใส่ (P0) และขณะใส่ body suit (P1) และกลุ่มตัวอย่างจำนวน 4 รายในจำนวนทั้งหมด 11 ราย มีระยะทางการเอื้อมทางด้านซ้าย (Left side) เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนใส่ (P0) และขณะใส่ Body Suit (P1) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนใส่ (P0) และขณะใส่ bodysuit (P1) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระยะเวลาการเอื้อมทุกทิศทาง ดังแสดงในตารางที่ 7 การทดสอบสมมติฐานโดยใช้สถิติ The Wilcoxon Matched-Pair Signed Ranks Test เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีกลุ่มตัวอย่างในจำนวนน้อย ทำให้ได้ผลการประเมินที่ยังไม่ชัดเจน ในการวิจัยครั้งต่อไปจึงควรเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างประกอบกับกลุ่มตัวอย่างมีกำลังแขนไม่เท่ากันทั้ง 2 ข้าง หรือมีแขนข้างหนึ่งเกร็งมากกว่าอีกข้างหนึ่งทำให้ยกหรือเหยียดแขนออกไปได้ไม่เท่ากันใน 2 ทิศทางที่ทำการเปรียบเทียบกัน รวมทั้งกลุ่มตัวอย่างเด็กสมองพิการบางรายมีปัญหาในเรื่องสมาธิ โดยในขณะทดสอบบางครั้งกลุ่มตัวอย่างไม่มีสมาธิที่ในการทำตาม นักกายภาพบำบัดได้แจ้งให้ทำตาม จึงควรนำแบบประเมินอื่นที่มีความละเอียดในการวัดเชิงคุณภาพมากยิ่งขึ้นมาใช้ในการประเมินการทรงท่าในขณะมีเคลื่อนไหว



รูปที่ 4 การประเมินความสามารถในการทรงท่าของเด็กสมองพิการ ขณะใส่ผลิตภัณฑ์



รูปที่ 5 การทรงท่าในรูปแบบอยู่นิ่งของเด็กสมองพิการ ก่อนใส่ผลิตภัณฑ์และขณะใส่ผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความสามารถในการทรงท่าด้วยแบบทดสอบ Functional Balance Grades

Subject	Balance	ก่อนใส่ผลิตภัณฑ์	ขณะสวมใส่ผลิตภัณฑ์	หมายเหตุ
1	Static	Good	Good	หลังใส่: หลังตรงขึ้น แต่เมื่อนั่งนานๆก็ค่อมลงบ้าง และลงน้ำหนักที่สะโพกซ้ายมากกว่าขวา ร่วมกับเอียงลำตัวลงขวา (น้อยกว่าก่อนใส่) เมื่อบิดหมุนลำตัวจะทำได้ยากกว่าก่อนใส่ทั้งซ้ายและขวา
	Dynamic	Good	Good	
2	Static	Good	Good	หลังใส่: หลังตรงขึ้น แต่เมื่อนั่งนานๆจะยังคงลงน้ำหนักที่สะโพกขวามากกว่าซ้าย และบิดหมุนลำตัวได้ยากกว่าก่อนใส่
	Dynamic	Good	Good	
3	Static	Good	Good	หลังใส่: หลังตรงขึ้นขณะอยู่นิ่ง แต่บิดหมุนลำตัวได้ยากกว่าก่อนใส่ และชดเชยโดยการแอ่นคอเพิ่มขึ้นทั้งซ้ายและขวา
	Dynamic	Good	Good	
4	Static	Good	Good	หลังใส่: หลังตรงขึ้น แต่เมื่อนั่งนานๆจะยังคงลงน้ำหนักที่สะโพกขวามากกว่าซ้าย และบิดหมุนลำตัวได้ยากกว่าก่อนใส่
	Dynamic	Good	Good	
5	Static	Normal	Normal	หลังใส่: หลังตรงขึ้น และเมื่อบิดหมุนลำตัวได้ยากกว่าก่อนใส่ แต่เมื่อนั่งนานๆจะยังคงลงน้ำหนักที่สะโพกขวามากกว่าซ้ายเล็กน้อย
	Dynamic	Good	Good	
6	Static	Good	Good	หลังใส่: หลังตรงขึ้น และเมื่อบิดหมุนลำตัวได้ยากกว่าก่อนใส่ และชดเชยโดยการแอ่นคอเพิ่มขึ้นทั้งซ้ายและขวา
	Dynamic	Good	Good	

Subject	Balance	ก่อนใส่ผลิตภัณฑ์	ขณะสวมใส่ผลิตภัณฑ์	หมายเหตุ
7	Static	Good	Good	หลังใส่: หลังยังคงค่อม(kyphosis)อยู่ แต่เอื้อมแตะสิ่งของได้เร็วขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนใส่
	Dynamic	Fair	Fair	
8	Static	Good	Good	หลังใส่: หลังตรงขึ้น แต่พอนั่งนานๆ ยังมีค่อม(kyphosis)อยู่เล็กน้อย และเมื่อบิดหมุนลำตัวจะได้ยากกว่าก่อนใส่
	Dynamic	Good	Good	
9	Static	Good	Good	หลังใส่: ยังคงลงน้ำหนักที่สะโพกซ้ายมากกว่าขวา และบิดหมุนลำตัวได้ยากกว่าก่อนใส่
	Dynamic	Good	Good	
10	Static	Good	Good	หลังใส่: หลังตรงขึ้น แต่เมื่อนั่งนานๆจะยังคงลงน้ำหนักที่สะโพกซ้ายมากกว่าขวา ร่วมกับเอียงลำตัวลงขวา (น้อยกว่าก่อนใส่) และบิดหมุนลำตัวได้ยากกว่าก่อนใส่
	Dynamic	Good	Good	
11	Static	Good	Good	หลังใส่: หลังตรงขึ้น แต่เมื่อนั่งนานๆจะยังคงลงน้ำหนักที่สะโพกซ้ายมากกว่าขวา และบิดหมุนลำตัวได้น้อยกว่าก่อนใส่ (หมุนลำตัวไปซ้ายดีกว่าขวา)
	Dynamic	Good	Good	

ตารางที่ 6 ผลการประเมินด้วยแบบทดสอบ Pediatric Reach Test ก่อนใส่และขณะใส่ผลิตภัณฑ์

Subject	Direction	ก่อนใส่ผลิตภัณฑ์ (P ₀)	ขณะสวมใส่ผลิตภัณฑ์ (P ₁)	Difference (P ₁ - P ₀)
1	F(Rt.hand)	28	27	-1
	Rt.	13	14	+1
	Lt.	9	9	0
2	F(Lt.hand)	22	28	+6
	Rt.	5	7	+2
	Lt.	9	12	+3
3	F(Lt.hand)	18	12	-6
	Rt.	9	10	+1
	Lt.	8	5	-3
4	F(Lt.hand)	25	25	0
	Rt.	9	14	+5
	Lt.	10	13	+3
5	F(Rt.hand)	28	30	+2
	Rt.	10	13	+3
	Lt.	10	11	+1
6	F(Lt.hand)	19	14	-5
	Rt.	11	10	-1
	Lt.	10	10	0
7	F(Rt.hand)	15	14	-1
	Rt.	0	0	0
	Lt.	0	0	0
8	F(Rt.hand)	21	22	+1
	Rt.	10	11	+1
	Lt.	6	5	-1
9	F(Rt.hand)	26	28	+2
	Rt.	14	18	+4
	Lt.	17	15	-2

Subject	Direction	ก่อนใส่ผลิตภัณฑ์ (P ₀)	ขณะสวมใส่ผลิตภัณฑ์ (P ₁)	Difference (P ₁ - P ₀)
10	F(Rt.hand)	23	26	+3
	Rt.	12	13	+1
	Lt.	14	14	0
11	F(Lt.hand)	18	17	-1
	Rt.	13	12	-1
	Lt.	11	13	+1

* หน่วยเป็น เซนติเมตร, F = Forward (ข้างหน้า), Rt. = Right side, Lt. = Left side

* ค่าคะแนนเป็นลบ คือ ความสามารถในการเอื้อมในทิศทางนั้น ๆ ลดลง

* ค่าคะแนนเป็นบวก คือ ความสามารถในการเอื้อมในทิศทางนั้น ๆ เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบระยะเวลาการเอื้อมก่อนและขณะใส่ชุดบอดีสูทด้วยการทดสอบ The Wilcoxon Matched-Pair Signed Ranks Test

	F	Rt.	Lt.
Z	-0.422	-1.802	0.756
Asymp Sign. (2-tailed)	0.673	0.072	0.450

$p=0.05$

ผลการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัว ผ่านผู้ดูแลเด็กสมองพิการ ดังแสดงในตารางที่ 8 โดยให้กลุ่มตัวอย่างเด็กสมองพิการจำนวน 11 คน ใส่ผลิตภัณฑ์ 6-8 ชั่วโมง ต่อวัน เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่ามีความพึงพอใจในด้านการทรงตัว อยู่ในระดับค่อนข้างน้อย ด้านการใช้งาน ด้านกายภาพ และด้านจิตใจ ทั้ง 3 ด้านอยู่ในระดับค่อนข้างมาก ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัว

หัวข้อการประเมินความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ				N	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	S.D.	แปลผล
	4	3	2	1					
ด้านการทรงตัว									
1. ผลิตภัณฑ์ช่วยพยุงลำตัวและช่วยให้ทรงตัวดีขึ้น	1	8	2	0	11	2.91	72.73	0.51	2.94 ค่อนข้างน้อย
2. ขณะใส่ผลิตภัณฑ์ ผู้ป่วยสามารถเคลื่อนไหวร่างกายได้สะดวก	1	8	2	0	11	2.91	72.73	0.51	
3. ขณะใส่ผลิตภัณฑ์ ผู้ป่วยทำกิจวัตรต่าง ๆ ได้สะดวก	2	7	2	0	11	3.00	75.00	0.60	
ด้านการใช้งาน									
1. ผลิตภัณฑ์มีความสะดวกในการถอดและสวมใส่	1	4	6	0	11	2.55	63.64	0.66	3.16 ค่อนข้างมาก
2. สามารถดูแลและซักทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ได้ง่าย	6	3	2	0	11	3.36	84.09	0.77	
3. ผลิตภัณฑ์มีความทนทานในการใช้งาน ไม่ชำรุดง่าย	5	4	2	0	11	3.27	81.82	0.75	
4. ขณะใส่ผลิตภัณฑ์ผู้ป่วยสามารถทำกิจวัตรต่าง ๆ ได้	5	6	0	0	11	3.45	86.36	0.50	

หัวข้อการประเมินความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ				N	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	S.D.	แปลผล
	4	3	2	1					
ด้านกายภาพ									
1. ผลิตภัณฑ์สามารถระบายความร้อนและระบายอากาศได้ดี	1	8	2	0	11	2.91	72.73	0.51	3.07 ค่อนข้างมาก
2. ผลิตภัณฑ์ไม่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย	2	5	4	0	11	2.82	70.45	0.72	
3. ผลิตภัณฑ์ไม่ทำให้รู้สึกอึดอัดและหายใจไม่สะดวก	4	5	2	0	11	3.18	79.55	0.72	
4. ผลิตภัณฑ์ไม่ก่อให้เกิดอาการระคายเคือง	3	6	2	0	11	3.09	77.27	0.67	
5. ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบา	4	7	0	0	11	3.36	84.09	0.48	
ด้านจิตใจ									
1. เมื่อใส่ผลิตภัณฑ์ ไม่ทำให้รู้สึกแปลกแยกจากบุคคลทั่วไป	3	5	4	0	12	2.92	72.92	0.76	3.00 ค่อนข้างมาก
2. ผลิตภัณฑ์มีรูปแบบที่สวยงามน่าใช้งาน	2	7	2	0	11	3.00	75.00	0.60	
3. ผลิตภัณฑ์สามารถใส่ไปข้างนอกบ้านได้	1	7	3	0	11	2.82	70.45	0.57	
4. ผู้ดูแลหรือผู้ป่วยคิดว่าจะใส่ผลิตภัณฑ์นี้ต่อไปในอนาคต	5	4	2	0	11	3.27	81.82	0.75	

ระดับคะแนน 4.00-3.50 = มากที่สุด, 3.50-3.00 = ค่อนข้างมาก, 3.00-2.50 = ค่อนข้างน้อย และ 2.50-2.99 = น้อยที่สุด

จากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ ทำให้ได้องค์ความรู้ใหม่ในการออกแบบชุดบอดีสูทที่ช่วยพยุงร่างกายส่วนบนและช่วยจัดสมดุลของลำตัวในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการ และได้ต้นแบบผลิตภัณฑ์ในขนาดมาตรฐานสำหรับการผลิตในระบบอุตสาหกรรม ที่ผ่านการประเมินประสิทธิภาพด้วยแบบทดสอบมาตรฐานทางคลินิกในการช่วยการแก้ไขความผิดปกติของสรีระและการเพิ่มความมั่นคงในการทรงตัวของร่างกายส่วนบน และผ่านการทดสอบสิ่งทอในด้านความคงทนในการใช้งาน รวมถึงผ่านการทดสอบความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างหลังการใช้งาน ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ช่วยในทรงตัว ยังขาดการศึกษาสัดส่วน ลักษณะความผิดปกติของสรีระ และลักษณะการทรงตัวของเด็กสมองพิการ เพื่อนำมาคัดเลือกผ้าและพัฒนาแบบตัด (Pattern) ชุดบอดีสูทที่ช่วยปรับแก้ไขสรีระและช่วยเพิ่มสมดุลในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการในขนาดมาตรฐาน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาเชิงพาณิชย์และการผลิตในประเทศไทย [15-17]

งานวิจัยนี้ยังเป็นการออกแบบชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัวที่ใช่เฉพาะกลุ่มเด็กที่มีภาวะสมองพิการ จึงควรขยายผลการวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอสำหรับผู้ที่มีปัญหาการทรงตัวในกลุ่มอื่น ๆ และควรทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มหรือลดขนาดแบบตัด และการเพิ่มสมรรถนะของผลิตภัณฑ์ในการช่วยปรับแก้ไขสรีระและการเพิ่มความสามารถในการทรงตัว รวมทั้งทำการศึกษาและวิเคราะห์แรงกด (Compression) ที่เกิดขึ้นในบริเวณต่าง ๆ ของชุดที่มีผลต่อการแก้ไขความผิดปกติทางสรีระและการช่วยเพิ่มสมดุลในการทรงตัว เพื่อวิจัยและพัฒนาชุดบอดีสูทช่วยในการทรงตัวที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

สรุปผล

จากผลการวิจัยสามารถสรุปผลการศึกษิตตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อ ศึกษาปัญหาความต้องการใช้งานผลิตภัณฑ์ เพื่อศึกษาสรีระและขนาดสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างเด็กสมองพิการและนำมาสร้างแบบตัดและตัดเย็บผลิตภัณฑ์ในขนาดมาตรฐาน และเพื่อประเมิน

ประสิทธิผลต้นแบบชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการ ได้ดังนี้ ผลการศึกษาปัญหาและความต้องการใช้งานผลิตภัณฑ์จากผู้เชี่ยวชาญในการบำบัดรักษาเด็กสมองพิการ พบว่ามีความต้องการผลิตภัณฑ์สิ่งทอช่วยในการทรงตัวที่ช่วยพยุงลำตัว ช่วยแก้ไขการเอียงของลำตัว ช่วยลดภาวะหลังค่อมและไหล่ห่อ ผลการคัดเลือกผ้าและวัสดุสิ่งทอที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ เป็นผ้ายืดที่มีแรงกดและแรงดึงรัด เพื่อช่วยแก้ไขสรีระและพยุงลำตัว ผลออกแบบชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัวสำหรับเด็กสมองพิการ เป็นการออกแบบชุดบอดี้สูทที่เป็นชุดรัดรูป ประกอบด้วยชิ้นส่วนผ้ากากบาทที่ช่วยเพิ่มความมั่นคงของร่างกายส่วนบน และเสริมด้วยวัสดุตามบริเวณด้านหลัง และมีการออกแบบชิ้นส่วนเสริมเป็นแถบผ้าคาดไขว้ ที่สามารถปรับความกระชับได้ตามลักษณะสรีระ เพื่อช่วยจัดสมดุลของลำตัวที่เอียงและช่วยปรับแก้ไขภาวะภาวะหลังค่อมและไหล่ห่อ รวมทั้งออกแบบบริเวณเป้าให้มีความสะดวกในการสวมใส่และการถอดและการเข้าห้องน้ำ ผลการศึกษาสัดส่วนของเด็กสมองพิการสามารถนำมาพัฒนาด้านแบบชุดบอดี้สูทช่วยในการทรงตัว ในขนาดมาตรฐานเสื้อผ้าเด็กที่สามารถนำไปผลิตในระบบอุตสาหกรรม จำนวน 6 ไชส์ ผลการประเมินประสิทธิผลของผลิตภัณฑ์ต่อกลุ่มตัวอย่างเด็กสมองพิการ ด้วยการทดสอบความสามารถในการทรงตัวในท่านั่ง โดยนักกายภาพบำบัดเป็นผู้ประเมินผล พบว่า เมื่อพิจารณาจากรายละเอียดที่เห็นในขณะใส่จริง กลุ่มตัวอย่างมีคุณภาพการทรงตัวในรูปแบบอยู่นิ่งและการทรงตัวในรูปแบบเคลื่อนไหวในขณะนั่งที่ดีขึ้น มีการตั้งตรงของลำตัวและมีการยืดเหยียดของกระดูกสันหลังได้ดีขึ้น ลดการค่อมของหลังและการห่อของไหล่ได้ รวมทั้งกลุ่มตัวอย่างมีระยะการเอื้อมเพิ่มขึ้นในบางทิศทาง ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้า พบว่าผ้าชั้นในของชุดที่มีผิวสัมผัสนุ่มและไม่ระคายเคืองต่อผิวหนัง ผ้าชั้นนอกของชุดมีความทนทานต่อแรงดึง ช่วยในการกระชับลำตัวและพยุงลำตัว ผลการทดสอบค่าความยืดหยุ่น พบว่าผ้ามีแรงดึงยืดดีและสามารถคืนตัวกลับได้ดี มีความทนทานในการใช้งานและผ้าไม่ยืดย้วย และเมื่อติดตามวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างภายหลังการใส่ผลิตภัณฑ์ไปแล้วอย่างน้อย 4 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในการใช้งานผลิตภัณฑ์โดยรวมอยู่ในระดับค่อนข้างมาก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผู้ให้ทุนอุดหนุนวิจัยในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ ขอขอบคุณ รศ.พิเศษ พญ.อดิสรุสุตา เพื่องฟู หัวหน้าศูนย์ความเป็นเลิศเฉพาะทางพัฒนาการและพฤติกรรมเด็ก สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี ที่ร่วมดำเนินงานวิจัยและให้คำปรึกษาแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณสถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นพื้นที่ในการเก็บข้อมูลวิจัย ขอขอบคุณ บริษัทไทยวโก้ จำกัด (มหาชน) ที่ร่วมดำเนินงานวิจัยและให้การสนับสนุนในการตัดเย็บต้นแบบผลิตภัณฑ์

เอกสารอ้างอิง

1. Rajanukul Institute. Cerebral Palsy [Internet]. 2557 [cited 2016 Apr 20]. Availability from: http://rajanukul.go.th/new/index.php?mode=academic&group=269&id=3231&date_start=&date_end.
2. Theratogs. Trunk- spine -posture Full body system [Internet]. 2022 [cited 2022 Sep 20]. Availability from: <https://theratogs.com/product/full-body-system/>.
3. Second Skin. Splints & Neurological [Internet]. 2022 [cited 2022 Sep 20] Availability from: <https://www.secondskin.com.au/products/splintsneurological>.
4. Rebeca DE, Barros RS. Use of suit therapy in Cerebral Palsy rehabilitation: a literature review. Journal of Society for development in new net environment in B&H. 2015;9(1):483-9.
5. MacKenzie C, Mclwain S. Evidence – Based Management of Postural Control in a Child with Cerebral Palsy. Physioth Can. 2015;67(3):245-7.
6. Leung WY, Yuen DW, Ng SP, Shi SQ. Pressure prediction model for compression garment design. J. Burn Care Res. 2010;31(5):716-27.

7. Fuengfoo A, Tuntariyanond P, Yasasindhu W, Khumlee N. The efficacy of lycra garments in children with cerebral palsy at queen sirikit national institute of child health. *JCMPhR*. 2021;2(1):1-9.
8. The Thai Red Cross Rehabilitation Center. Cerebral Palsy [Internet]. [cited 2023 Feb 03]. Available from: <https://shorturl.asia/RPb8z>.
9. Bax M, Goldstein M, Rosenbaum P, Leviton A, Paneth N, Dan B, et al. Proposed definition and classification of cerebral palsy. *DMCN*. 2005;47(8):571-6.
10. Palisano R, Rosenbaum P, Bartlett D, Livingston M. GMFCS – E & R Gross Motor Function Classification System Expanded and Revised. *DMCN*. 1997;39:214-23.
11. Pavão SL, Barbosa KA, Sato Tde O, Rocha NA. Functional balance and gross motor function in children with cerebral palsy. *RES DEV DISABIL*. 2014;35(10):2278-83.
12. OT DUDE. Balance Grades for Occupational & Physical Therapy (Normal, Good, Fair, Poor Scale) [Internet]. [updated 2019 Sep 30; [cited 2023 Feb 1]. Availability from: <https://citly.me/VUfWo>.
13. Bartlett D, Birmingham T. Validity and Reliability of a Pediatric Reach Test. *PEDIATR PHYS THER*. 2003;15(2):84-92.
14. Orzada BT, Kallal MJ. FEA Consumer Needs Model: 25 Years Later. *CLOTH TEXT RES J*. 2019;39(1):24-38.
15. Tuntariyanond P, Fuengfoo A, Kumphai P, Tooptompong P, Setthayanond J, Duangpanya T. Textile and Product Innovation for Children with Cerebral Palsy in Thailand. National Research Council of Thailand (NRCT); 2017.
16. Romeo DM, Specchia A, Sini F, Bompard S, Polito DA, Vecchio AD, et al. Effects of Lycra suits in children with cerebral palsy. *EUR J PAEDIATR NEURO*. 2018;22(5):831-6.
17. Ruangkasa S, Vichuwanich W. A Study of Physiological Structure and Element Composition of Fibers at Burial with Different pH Values. *J. Appl. Res. Sci.* [Internet]. 2021 [cited 2022 Nov 5];20(2):12-24. Available from: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/rmutt-journal/article/view/240971>.



มูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เสื่อมโทรมจากการปลูกข้าวโพดโดยการฟื้นฟูด้วยระบบการปลูกไม้ 3 ชนิด เพื่อประโยชน์ 4 อย่าง จังหวัดน่าน

Carbon Storage Evaluation of Restoring in Degraded Areas by Corn Cultivation Using 3 Forests, 4 Benefits, Nan Province

กฤษฎา ภาณุมนต์วาที* และ เสวียน เปรมประสิทธิ์

Gitsada Panumonwatee* and Savent Pampasit

คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan university, Phitsanulok 65000, THAILAND

*Corresponding author e-mail: gitsadap@nu.ac.th

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history:	This research aims to assess the carbon storage of
Received: February 3, 2023	restoration in degraded areas by corn cultivation using 3 forests and
Revised: March 25, 2023	4 benefits concepts and to evaluate the carbon storage. Girth at
Accepted: March 27, 2023	breath height (GBH) was measured in a 100x100m square plot (1
Available online: April 21, 2023	ha). Three experiment plots were surveyed: Maraka, Muangchang.,
DOI: 10.14456/jarst.2023.7	and Suanmeang. The allometric equation was used to calculate the
Keywords: Carbon storage,	biomass and convert it to in-situ carbon storage. The carbon storage
Restoration, Carbon credit,	evaluation was calculated using the 2022 Thailand Greenhouse Gas
Nan province	Management Organization (TGO) carbon credit price. Findings,
	Maraka experimental plot found 25 species, 16 families, and 436
	trees. The total carbon storage was 91.57 Ton C/ ha (171,687
	baht/ha). In the Muangchang experimental plot, the plants found
	14 species, 11 families, and 1,039 trees whose carbon storage was
	142.60 Ton C eq / ha (267,365 baht/ha). Third, the Suanmeang
	experimental plot found 21 species, 16 families, and 2,186 trees
	which calculated to total carbon storage was 140.27 Ton C eq/ha

(262,996 baht/ha). This study might motivate the local community, which will generate income for the community in the future.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ที่ได้รับการฟื้นฟูจากพื้นที่เสื่อมโทรมจากการปลูกข้าวโพดในอดีตด้วยรูปแบบการปลูกป่าเพื่ออนุรักษ์ต้นน้ำตามแนวพระราชดำริ หรือ การปลูกไม้ 3 ชนิดเพื่อประโยชน์ 4 อย่าง และประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในพรรณไม้ เก็บข้อมูลพรรณไม้โดยการวัดขนาดเส้นรอบวงของลำต้นที่ระดับอก (Girth at breast height, GBH) ในแปลงตัวอย่างขนาด 100x100 เมตร (1 เฮกตาร์) ใน 3 พื้นที่โดยประกอบไปด้วยแปลงตัวอย่างมะระกา แปลงตัวอย่างเมืองจาง และแปลงตัวอย่างสวนเมี่ยง นำข้อมูลพรรณไม้ที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์มวลชีวภาพโดยใช้สมการแอลโลเมตรีคำนวณเป็นการกักเก็บคาร์บอนของพรรณไม้ในพื้นที่และคำนวณมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนอ้างอิงตามราคาเฉลี่ยคาร์บอนเครดิตจาก องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) ในปี พ.ศ.2565 ผลการศึกษาพบว่าแปลงตัวอย่างมะระกา พบพรรณไม้ 25 ชนิด 16 วงศ์ 436 ต้น มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอน 91.57 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เฮกตาร์ คิดเป็นมูลค่า 171,687 บาท/เฮกตาร์ แปลงตัวอย่างเมืองจางพบพรรณไม้ 14 ชนิด 11 วงศ์ 1,039 ต้น มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอน 142.60 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เฮกตาร์ คิดเป็นมูลค่า 267,365 บาท/เฮกตาร์ และพื้นที่แปลงตัวอย่างสวนเมี่ยงพบพรรณไม้ทั้งสิ้น 21 ชนิด 16 วงศ์ 2,186 ต้น มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอน 140.27 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เฮกตาร์ คิดเป็นมูลค่า 262,996 บาท/เฮกตาร์ การศึกษานี้จึงเป็นเป็นแนวทางแก่ชุมชนที่ต้องการสร้างรายได้จากการขายคาร์บอนเครดิตอันจะเป็นการหารายได้ของชุมชนในอนาคต

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอน การฟื้นฟู คาร์บอนเครดิต มวลชีวภาพ น่าน

บทนำ

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) จากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการลดลงของพื้นที่ดูดซับคาร์บอน เป็นปรากฏการณ์ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก (Global climate change) โดยมีหลักฐานจากการที่อุณหภูมิของโลกมีค่าสูงขึ้น จากการประชุมคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ได้เผยแพร่รายงาน The Sixth Assessment Report หรือ AR6 ซึ่งมีใจความสำคัญว่าในปัจจุบันอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้นถึงระดับ 1.5 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับยุคก่อนปฏิวัติอุตสาหกรรม จึงทำให้ทั่วโลกวมไปถึงประเทศไทยมีเป้าหมายจะยับยั้งการเพิ่มความรุนแรงของภาวะโลกร้อน เช่นการเพิ่มพื้นที่สีเขียว การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นต้น โดยอีกหนึ่งเป้าหมายที่ทั่วทั้งโลกวมไปถึงประเทศไทยตั้งเป้าหมายไว้ คือจะให้มีการปลดปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ (Carbon neutrality) [1]

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2564 มีปริมาณการปลดปล่อย 354.26 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และมีการปล่อยสุทธิจากการใช้ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และป่าไม้ (Land use, Land use change and forestry, LULUCF) ที่ 263.33 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า[2]

การกักเก็บคาร์บอนในชีวมวลหรือการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการที่พืชกักเก็บคาร์บอนไว้ในส่วนของ

ลำต้น ราก กิ่ง และใบ ในรูปมวลชีวภาพ ในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ป่าขึ้นอยู่กับชนิดของต้นไม้แต่ละชนิด โดยความสามารถในการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกของป่าไม้ในประเทศไทยขึ้นอยู่กับชนิดป่า ตั้งแต่ 14.5 ตัน/ไร่ สำหรับป่าเต็งรัง 25.6 ตัน/ไร่ สำหรับป่าชายเลน 27.6 ตัน/ไร่ ในป่าเบญจพรรณ และ 42.8 ตัน/ไร่ สำหรับป่าดงดิบ [3]

จังหวัดน่านเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ในภาคเหนือของประเทศไทยมีพื้นที่ทั้งหมด 7.6 ล้านไร่ มีพื้นที่ป่าตาม พรบ.ป่าสงวนแห่งชาติ ปี พ.ศ.2507 จำนวน 6.5 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 84-ของ พื้นที่ป่าธรรมชาติในจังหวัดน่านได้ถูกเปลี่ยนเป็นที่พื้นที่การเกษตรเชิงเดี่ยวเพื่อการพาณิชย์ โดยเฉพาะการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อย่างรวดเร็วจนกระทั่งปี พ.ศ.2553 มีพื้นที่ปลูกข้าวโพดประมาณเกือบ 9 แสนไร่ และในรายงานโครงการประเมินระบบนิเวศในจังหวัดน่าน [4] ได้ให้เหตุผลว่าเกษตรกรไม่มีทางเลือกต้องหาเงินเพื่อการศึกษาของลูกหลานจึงต้องบุกเบิกพื้นที่เพื่อทำการเกษตรเชิงเดี่ยว ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นผลกระทบที่เกิดขึ้น เช่น การพังทลายของดินบนพื้นที่ลาดชันและที่สูง การชะล้างตะกอนสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ การปนเปื้อนของสารเคมีในแหล่งน้ำใช้ และพิษของสารเคมีต่อเกษตรกร

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [5] พบว่าจังหวัดน่านมีพื้นที่ป่าลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงปี พ.ศ. 2530-2548 มีค่าเฉลี่ยการลดลงของพื้นที่ป่า 20,300 ไร่ และมีอัตราการลดลงที่สูงขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2548-2554 ที่ป่า 48,600 ไร่ ส่งผลให้ในปี พ.ศ.2564 จังหวัดน่านมีพื้นที่ป่าประมาณ 4.6 ล้านไร่ หรือลดลง 30% จากประกาศพื้นที่ป่า [6]

จากสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในจังหวัดน่าน รัฐบาล นักวิชาการ และหลากหลายหน่วยงาน ได้ตระหนักและพยายามแก้ไขปัญหาผ่านนโยบายต่าง ๆ เพื่อช่วยส่งเสริมสภาพเศรษฐกิจและแก้ไขปัญหาของ

เกษตรกรในเรื่องการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำให้เกษตรกรพยายามปรับเปลี่ยนและลดพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ไปปลูกไม้ยืนต้นต่างๆ ปัจจุบันพบว่ารูปแบบการส่งเสริมเกษตรกรจากหน่วยงานภาครัฐที่ดำเนินการกับเกษตรกรในจังหวัดน่านมีหลายรูปแบบ ซึ่งแตกต่างกันไปตามบริบทของพื้นที่ และมีทั้งที่ประสบความสำเร็จและไม่ประสบความสำเร็จ โดยหนึ่งในรูปแบบที่ได้รับการสนับสนุนคือระบบการปลูกไม้ 3 ชนิด เพื่อประโยชน์ 4 อย่าง ซึ่งเป็นพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร ที่มุ่งเน้นการมีทรัพยากรที่เป็นปัจจัยในการดำรงชีพได้แก่ ไม้ อาหาร ไม้ที่ให้เนื้อไม้ ไม้เศรษฐกิจ ควบคู่การอนุรักษ์ดิน ดิน น้ำ ป่าไม้ หรือเป็นรูปแบบที่ส่งเสริมให้ชุมชนอยู่ร่วมกับป่า สามารถใช้ทรัพยากรท้องถิ่น และสร้างรายได้จากการอนุรักษ์พื้นที่ป่าของตนเอง ทนแทนการทำเกษตรเชิงเดี่ยวที่ส่งผลเสียต่อระบบนิเวศและศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอน

ดังนั้นการศึกษาระบบนิเวศของพื้นที่และประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่พื้นที่ป่าทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่ ตำบลเมืองจัง อำเภอภูเพียง ตำบลเรณู อำเภอเมืองน่าน และตำบลพระพุทธบาท อำเภอเชียงกลาง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดนโยบายระดับจังหวัดในการพัฒนาพื้นที่ด้านการส่งเสริมการปลูกพืชให้เกษตรกรในพื้นที่สามารถใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมกับการอนุรักษ์ทรัพยากรไม่บุกรุกพื้นที่ป่าธรรมชาติเพิ่มเติม รวมถึงการประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอน ซึ่งจะช่วยให้แสดงถึงแนวทางในการยกระดับรายได้ของเกษตรกรควบคู่กับการรักษาระบบนิเวศป่าไม้อย่างยั่งยืน

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่วิจัย

การศึกษานี้จะทำการเก็บข้อมูลในพื้นที่จังหวัดน่าน จำนวน 3 พื้นที่ที่มีการปลูกป่าในพื้นที่เสื่อมโทรมจาก

การปลูกข้าวโพด ได้แก่ บ้านป่าเมี่ยง ต.เรือง อ.เมืองน่าน (แปลงตัวอย่างสวนเมี่ยง) มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 430 เมตร บ้านราษฎร์สามัคคี ต.เมืองจัน อ.เมืองน่าน (แปลงตัวอย่างเมืองจัน) มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 300 เมตร และบ้านวังทอง ต.พระพุทธบาท อ.เชียงกลาง (แปลงตัวอย่างมะระกา) มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 269 เมตร โดยดินทั้ง 3 พื้นที่อยู่ในชุดดินที่ 62 พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 26.3 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี 1,462 มิลลิเมตร เก็บข้อมูลพรรณไม้โดยการวัดขนาดเส้นรอบวงของลำต้นที่ระดับอก (1.3 เมตร จากระดับพื้น หรือ Grith at Breast Height, GBH) เพื่อนำมาคำนวณเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at breast height, DBH) ในแปลงตัวอย่างขนาด 100x100 เมตร (1 เฮกตาร์) เพื่อทำการเปรียบเทียบศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่

ข้อมูลที่ได้จากแปลงตัวอย่างจะถูกนำมาคำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้โดยใช้สมการแอลโลเมตริกสำหรับพรรณไม้ทั่วไป (Allometric equation) [7] โดยแยกเป็น มวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดิน (Aboveground biomass, AGB) แสดงดังสมการ (1) ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนลำต้น (WS) ส่วนกิ่ง (WB) และส่วนใบ (WL) แสดงดังสมการ (2) (3) และ (4) ตามลำดับ สำหรับมวลชีวภาพส่วนใต้พื้นดิน (Below ground biomass, BGB) แสดงดังสมการ (5)

$$AGB (\text{ตัน/เฮกตาร์}) = (W_s + W_b + W_l) / 1000 \quad (1)$$

$$WS = 0.02903 \times (DBH^2 \times H)^{0.9813} \quad (2)$$

$$WB = 0.11920 \times (W_s)^{1.059} \quad (3)$$

$$WL = 0.09146 \times (W_s + W_b)^{0.7266} \quad (4)$$

$$BGB (\text{ตัน/เฮกตาร์}) = \text{EXP}(0.8836 \ln (AGB) - 1.0587) \quad (5)$$

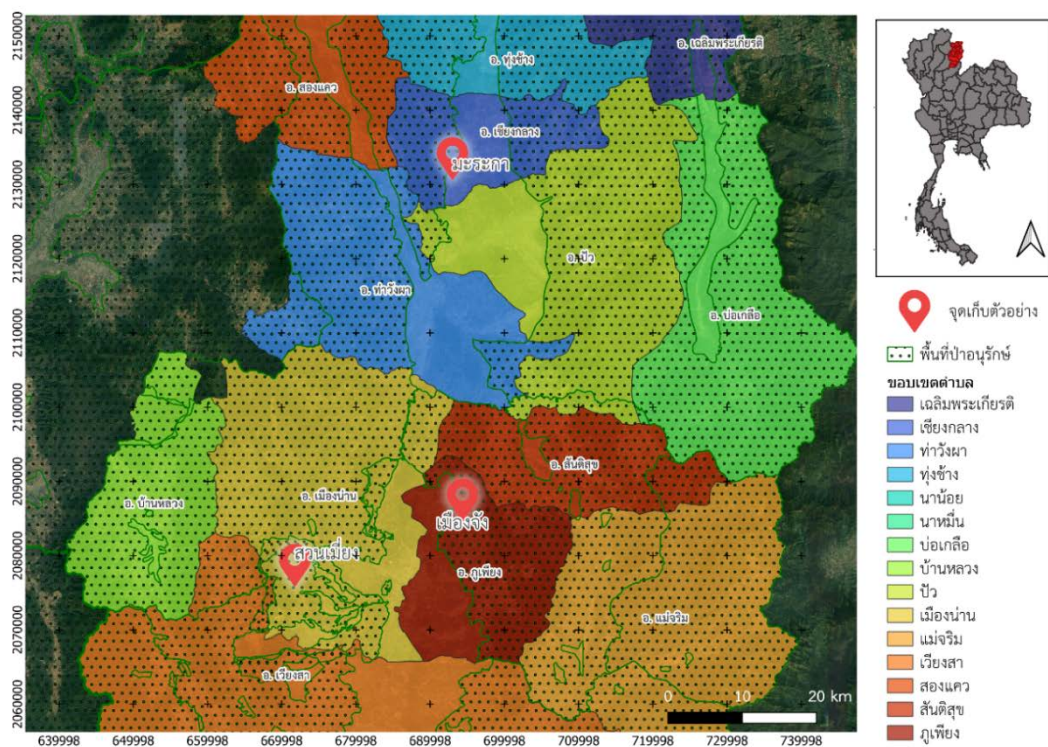
สำหรับการคำนวณการกักเก็บคาร์บอนจากมวลชีวภาพจะใช้ค่า Carbon fraction of biomass ที่ 0.5 อ้างอิงตาม IPCC [8] แสดงดังสมการ (6)

$$\text{Carbon Storage} = \text{Biomass} \times 0.5 \quad (6)$$

จากนั้นการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดจะถูกคำนวณเป็นมูลค่าการกักเก็บคาร์บอน (Carbon credit) โดยใช้มูลค่าการซื้อขายคาร์บอนเครดิตจากโครงการ T-VER ประเภทภาคป่าไม้ เฉลี่ยในปี พ.ศ.2565 ที่ 1,874.93 บาท/ตัน C [9]

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

รูปที่ 1 แสดงพื้นที่แปลงตัวอย่าง ทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่ แปลงตัวอย่างมะระกา (692971,2133534 UTM47Q) แปลงตัวอย่างเมืองจัน (694336,2087529 UTM47Q) และแปลงตัวอย่างสวนเมี่ยง (671730, 2078747 UTM47Q) จากการซ้อนทับด้วยข้อมูลขอบเขตพื้นที่ป่าอนุรักษ์พบว่า พื้นที่แปลงตัวอย่างสวนเมี่ยงและเมืองจันตั้งอยู่ในขอบเขตพื้นที่ป่าอนุรักษ์ตามข้อมูลขอบเขตป่าอนุรักษ์จากกรมป่าไม้ แกะไขข้อมูลล่าสุดวันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2564 [6] ซึ่งเป็นการบุกรุกพื้นที่ป่าเป็นไร่ข้าวโพดตั้งแต่เดิม ซึ่งในปัจจุบันได้มีการฟื้นฟูพื้นที่ด้วยการปลูกป่า 3 อย่าง ประโยชน์ 4 อย่าง จากผลการเก็บข้อมูลในพื้นที่แปลงตัวอย่างมะระกาพบว่า มีพรรณไม้ทั้งสิ้น 25 ชนิด 16 วงศ์ 436 ต้น คิดเป็นความหนาแน่นของพรรณไม้ที่ประมาณ 70 ต้น/ไร่ โดยพรรณไม้ที่พบมากที่สุดคือ เงาะ (*Nephelium lappaceum* L.) ซึ่งมีจำนวน 116 ต้น (26.61%) รองลงมาคือ กล้วยป่า (*Musa acuminata* Colla subsp. Acuminate) ลองกอง (*Aglaia dookkoo* Griff.) และลำไย (*Dimocarpus longan* Lour.) ซึ่งมีจำนวน 110, 98 และ 54 ต้น คิดเป็นร้อยละ 25.23, 22.48 และ 12.39 ตามลำดับ โดยข้อมูลพรรณไม้ที่สำรวจพบทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 จุดเก็บตัวอย่าง ขอบเขตอำเภอ และขอบเขตป่าอนุรักษ์

ตารางที่ 1 พรรณไม้ที่สำรวจพบบริเวณแปลงตัวอย่างมะระกา

ชื่อ	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	จำนวน (ต้น)	ความสูง เฉลี่ย (ม.)	DBH เฉลี่ย (ซม.)
เงาะ	<i>Nephelium lappaceum</i> L.	Sapindaceae	116	3.25	7.16
กระโดน	<i>Careya arborea</i> Roxb.	Lecythidaceae	2	12.00	15.59
กระท่อน	<i>Sandoricum koetjape</i> (Burm.f.) Merr.	Meliaceae	2	11.56	18.80
กล้วยป่า	<i>Musa acuminata</i> Colla subsp. Acuminate	Musaceae	110	2.56	5.35
ขนุน	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	Moraceae	4	3.95	13.50
ชิงชัน	<i>Dalbergia oliveri</i> Gamble ex Prain	Fabaceae	2	4.00	4.45
ชมพู	<i>Syzygium megacarpum</i> (Craib) Rahakr. & N.C. Nair	Myrtaceae	2	4.20	13.73
ชมพู	<i>Eugenia malaccensis</i> Linn.	Myrtaceae	2	3.00	7.00
มะเหมี่ยว					
เสี้ยวป่า	<i>Bauhinia saccocalyx</i> Pierre	Fabaceae	2	14.00	13.36
ต้นสะเดา	<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	Meliaceae	2	2.50	4.77
ตะขบป่า	<i>Flacourtia indica</i> (Burm.f.) Merr.	Salicaceae	2	4.50	10.90
ท้อ	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Rosaceae	2	4.50	5.89
ปรงเหลื่อม	<i>Cycas siamensis</i> Miq.	Cycadaceae	6	4.00	8.09

ชื่อ	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	จำนวน (ต้น)	ความสูง เฉลี่ย (ม.)	DBH เฉลี่ย (ซม.)
ปาล์มขวด	<i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F.Cook	Arecaceae	2	2.50	3.42
มะแขว่น	<i>Zanthoxylum limonella</i> Alston	Rutaceae	6	10.22	18.24
มะขามป้อม	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	Phyllanthaceae	2	6.00	6.76
มะนาว	<i>Citrus aurantifolia</i> Swing.	Rutaceae	2	3.50	5.41
มะปราง	<i>Bouea oppositifolia</i> (Roxb.) Meisn.	Anacardiaceae	8	3.49	12.27
มะหาด	<i>Lepisanthes rubiginosa</i> (Roxb.) Leenh.	Sapindaceae	2	5.00	3.02
ยอป่า	<i>Morinda coreia</i> Buch.-ham.	Rubiaceae	2	3.80	2.39
ลองกอง	<i>Aglaia dookkoo</i> Griff.	Meliaceae	98	3.07	5.40
ลำไย	<i>Dimocarpus longan</i> Lour.	Sapindaceae	54	3.89	10.33
ท้อ	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Rosaceae	2	7.00	4.30
หว่า	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	Myrtaceae	2	8.00	13.36
หูกวาง	<i>Terminalia catappa</i> L.	Combretaceae	2	5.08	8.15

สำหรับแปลงตัวอย่างเมืองจันทบุรีพบพรรณไม้ทั้งสิ้น 14 ชนิด 11 วงศ์ 1,039 ต้น ซึ่งมีความหนาแน่นพรรณไม้สูงกว่าแปลงตัวอย่างมะระกาที่ 2.4 เท่า ดังตารางที่ 2 โดยพรรณไม้ที่พบมากที่สุดคือเหมือด (*Memecylon scutellatum* Naudin) จำนวน 157 ต้น (15.11%) รองลงมาคือ เหยิง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm.ex Miq.) ปอกระสา (*Broussonetia papyrifera* (L.) L'Hér. ex Vent.) และมะเดื่อสาย (*Ficus semicordata* J. E. Smith) มีจำนวน 135, 131 ต้น และ 106 ต้น คิดเป็นร้อยละ 12.99, 12.61 และ 10.20 ตามลำดับ โดยจากข้อมูลพรรณไม้ที่พบสามอันดับแรกเป็นพรรณอยู่ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีโครงสร้างแตกต่างจากแปลงตัวอย่างมะระกาอย่างชัดเจน ที่พรรณไม้ที่พบมากจะเป็นพรรณไม้ที่สามารถนำมาบริโภคได้ ดังนั้นแปลงตัวอย่างมะระกาจึงมีศักยภาพในการเป็นป่าที่ให้บทบาทต่อการเป็นทรัพยากรอาหาร ส่วนแปลง

ตัวอย่างเมืองจันทบุรีพบป่าที่เป็นทรัพยากรไม้ที่เป็นเนื้อไม้

พื้นที่แปลงตัวอย่างสวนเมี่ยงพบพรรณไม้ทั้งสิ้น 21 ชนิด 16 วงศ์ 2,186 ต้น โดยคิดเป็นความหนาแน่นพรรณไม้ที่ประมาณ 350 ต้น/ไร่ หรือเป็นความหนาแน่นพรรณไม้ที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากทั้งสามแปลงตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจากแปลงบริเวณแปลงตัวอย่างสวนเมี่ยงมีการปลูกเมี่ยง (*Camellia sinesis* Seem.) จำนวนมาก โดยจากการสำรวจพบว่ามีต้นเมี่ยง 1,518 ต้น ซึ่งคิด 69.44% ของจำนวนพรรณไม้ทั้งหมดในพื้นที่แปลงตัวอย่างสำหรับพรรณไม้ที่พบมากเป็นอันดับสองและสามเป็น ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus*) และเพกา (*Oroxylum indicum* (L.) Benth. ex Kurz) โดยมีจำนวน 416 และ 104 คิดเป็นร้อยละ 19.03 และ 4.76 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 พรรณไม้ที่สำรวจพบบริเวณแปลงตัวอย่างเมืองจัน

ชื่อ	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	จำนวน (ต้น)	ความสูง เฉลี่ย (ม.)	DBH เฉลี่ย (ซม.)
เหมือด	<i>Memecylon scutellatum</i> Naudin	Melastomataceae	157	6.69	3.26
เหมือดจี้	<i>Memecylon scutellatum</i> (Lour.) Hook. & Arn. var. <i>scutellatum</i>	Melastomataceae	63	5.90	2.43
เหมือดโกลด	<i>Aporosa villosa</i> (Wall. ex Lindl.) Baill.	Phyllanthaceae	21	7.03	4.31
เหียง	<i>Dipterocarpus</i> <i>obtusifolius</i> Teijsm.ex Miq.	Dipterocarpaceae	135	5.89	2.97
ตัวหนาม	<i>Cratoxylum formosum</i> (Jack.) Dyer spp. <i>pruniflorum</i> (Kurz) Gogel.	Guttiferae	42	8.80	2.08
ก่อเดือย, ก่อแป้น	<i>Castanopsis echinocarpa</i> Miq.	Fagaceae	21	5.20	3.50
ตะแบก	<i>Lagerstroemia floribunda</i> Jack var. <i>floribunda</i>	Lythraceae	99	5.45	2.71
กว้าว	<i>haldina cordifolia</i> (Roxb.) Ridsdale	Rubiaceae	42	6.80	3.18
ประดู่	<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	Fabaceae	75	6.56	3.07
ปอกระสา	<i>Broussonetia papyrifera</i> (L.) L'Hér. ex Vent.	Moraceae	131	7.82	4.16
มะขามป้อม	<i>Phyllanthus emblica</i> L.	Euphorbiaceae	84	9.00	2.63
มะเดื่อสาย	<i>Ficus semicordata</i> J. E. Smith	Moraceae	106	5.43	5.32
ยอป่า	<i>Morinda coreia</i> Buch.-ham.	Rubiaceae	42	4.50	2.31
หว่า	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	Myrtaceae	21	7.50	4.14

ตารางที่ 3 พรรณไม้ที่สำรวจพบบริเวณแปลงตัวอย่างสวนเมืง

ชื่อ	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	จำนวน (ต้น)	ความสูง เฉลี่ย (ม.)	DBH เฉลี่ย (ซม.)
กล้วยป่า	<i>Musa acuminata</i> Colla subsp. Acuminate	Musaceae	4	1.05	0.95
กะบก	<i>Irvingia malayana</i> Oliv. ex A.W.Benn.	Irvingiaceae	4	39.33	12.72
กะอาม	<i>Crypteronia paniculata</i> Blume	Crypteroniaceae	4	32.00	1.76
แค	<i>Sesbania grandiflora</i> (L.) Desv.	Fabaceae	4	32.00	7.00

ชื่อ	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	จำนวน (ต้น)	ความสูง เฉลี่ย (ม.)	DBH เฉลี่ย (ซม.)
แดง	<i>Xylia xylocarpa</i> (Roxb.) Taub. var. <i>kerrii</i> (Craib ex Hutch.) Nielsen	Fabaceae	4	14.50	3.48
ตะแบกเลือด	<i>Terminalia corticosa</i> Pierre ex Laness.	Combretaceae	4	2.80	0.98
ตีนเป็ดแดง	<i>Cerbera odollam</i> Gaertn. var. <i>rubrum</i>	Apocynaceae	4	6.50	1.34
ทะโล้	<i>Schima wallichii</i> choisy	Theaceae	40	10.45	1.12
ประตู่	<i>Pterocarpus macrocarpus</i>	Fabaceae	416	3.05	1.69
เพกา	<i>Oroxylum indicum</i> (L.) Benth. ex Kurz	Bignoniaceae	104	8.12	1.81
มณฑาดอย	<i>Magnolia henryi</i> Dunn	Magnoliaceae	4	9.70	1.33
มะกล่ำต้น	<i>Adenanthera pavonina</i> L.	Fabaceae	8	8.85	2.27
ชะมวง	<i>Garcinia cowa</i> Roxb. ex Choisy	Clusiaceae	4	36.00	2.22
มะพร้าววนก	<i>Horsfieldia glabra</i> (Blume) Warb.	Myristicaceae	4	42.00	10.03
มะไฟ	<i>Baccaurea ramiflora</i> Lour.	Phyllanthaceae	4	3.70	1.93
เมี่ยง	<i>Camellia sinnensis</i> Seem.	Theaceae	1,518	2.45	1.04
ยมหอม	<i>Toona ciliata</i> M. Roem.	Meliaceae	16	33.45	5.48
ยางนา	<i>Dipterocarpus alatus</i> Roxb. ex G.Don	Dipterocarpaceae	8	28.50	4.32
ยางบก	<i>Persea kurzii</i>	Lauraceae	24	19.22	2.57
ส้มโอ	<i>Citrus maxima</i> (Burm.) Merr.	Rutaceae	4	12.00	2.96
ส้านใหญ่	<i>Dillenia obovata</i> (Blume) Hoogland	Dilleniaceae	4	38.50	10.01

จากนั้นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหามวลชีวภาพทั้งส่วนเหนือพื้นดิน (Above ground biomass, AGB) และมวลชีวภาพส่วนใต้ดิน (Below ground biomass, BGB) โดยใช้สมการแอลโลเมตริคดังสมการ (1) – (5) โดยได้ผลการศึกษาของพื้นที่ระยะกาดังตารางที่ 4, 5 และ 6 โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการกักเก็บคาร์บอนจะขึ้นอยู่กับความโตพรรณไม้ และความสูงของต้นไม้ เนื่องจากเป็นวิธีการคำนวณมวลชีวภาพโดยใช้สมการแอลโลเมตริค

และนำมาคำนวณหาการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้สัมประสิทธิ์จาก IPCC

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์มวลชีวภาพ ส่วนลำต้น (WS) ส่วนกิ่ง (WB) และส่วนใบ (WL) ตามลำดับพบว่าพรรณไม้ที่มีการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่สูงที่สุดเป็นเงาะซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนต้นที่พบมากที่สุด รองลงมาคือลำไย และ กัลยูปาหรือลองกอง ตามลำดับ ซึ่งมีการกักเก็บคาร์บอนของกัลยูปาและลองกองในระดับที่ใกล้เคียงกันเป็นผลมาจากการมวล

ชีวภาพของทั้งสองชนิดพรรณใกล้เคียงกัน แต่ทว่าการกักเก็บคาร์บอนของลำไยที่สูงเป็นอันดับ 2 ของพื้นที่ ในขณะที่พบจำนวนต้นเป็นอันดับ 4 ของพื้นที่ ทั้งนี้เป็นผลมาจากที่ต้นลำไยมีความโตของต้น (DBH) ที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพรรณไม้ชนิดอื่นๆในแปลงตัวอย่าง จึงทำให้การกักเก็บคาร์บอนต่อต้นสูง

เมื่อพิจารณาถึงผลรวมของมวลชีวภาพในพื้นที่พบว่ามีความเท่ากับ 183.14 ตัน/เฮกตาร์ หรือสามารถคำนวณเป็นการกักเก็บคาร์บอนได้ 91.57 ตัน/เฮกตาร์ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการกักเก็บคาร์บอนบริเวณแปลงตัวอย่างเมืองจัน และสวนเมี่ยง พบว่าการกักเก็บคาร์บอนที่ 142.60 และ 140.27 ตัน/เฮกตาร์ โดยแสดงผลการศึกษาดังตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

พื้นที่แปลงตัวอย่างเมืองจันพบว่าต้นปอกระสมามีการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุดในพื้นที่โดยมีปริมาณเท่ากับ 38.42 ตัน/เฮกตาร์ รองลงมาคือต้นเหมือดมะเตือสาย และ เหยียง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 29.16, 16.13 และ 28.80 ตัน/เฮกตาร์ ตามลำดับ สำหรับพื้นที่แปลงตัวอย่างสวนเมี่ยงพบว่าพรรณไม้ที่มีการกักเก็บ

คาร์บอนสูงที่สุดในพื้นที่คือเมี่ยงซึ่งสอดคล้องกับจำนวนต้นที่พบในพื้นที่ ในขณะที่มีความสูงและความโตต่ำกว่า ประดู่ เพกา และพืชอีกหลายชนิด ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวปลูกเมี่ยงเป็นพืชเศรษฐกิจและมีจำนวนต้นสูงเป็นอันดับหนึ่งและสูงกว่าพืชชนิดอื่นมาก จึงทำให้ผลรวมของการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ โดยเมี่ยงเพียงชนิดเดียว มีการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 97.75 ตัน/เฮกตาร์ ซึ่งใกล้เคียงกับการกักเก็บคาร์บอนของทั้งพื้นที่แปลงตัวอย่างมะระกา

จากการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของทั้ง 3 พื้นที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของพรรณไม้ในป่าปลูก โดยจากการศึกษางานวิจัยของ ม่วงศรี และคณะ [10] ได้ประเมินศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของข้าวโพดเท่ากับ 3 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เฮกตาร์ ทำให้ในปัจจุบันทั้ง 3 พื้นที่ศึกษามีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนเพิ่มขึ้น 30-50 เท่า ประกอบกับชาวบ้านยังสามารถใช้ประโยชน์จาก ป่า และพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจเช่น เมี่ยง ลำไย ลองกอง เป็นต้น

ตารางที่ 4 การกักเก็บคาร์บอนในพรรณไม้บริเวณแปลงตัวอย่างมะระกา

ชื่อ	WS (กิโลกรัม/ เฮกตาร์)	WB (กิโลกรัม/ เฮกตาร์)	WL (กิโลกรัม/ เฮกตาร์)	AGB (ตัน/ เฮกตาร์)	BGB (ตัน/ เฮกตาร์)	มวลชีวภาพ รวม (ตัน/ เฮกตาร์)	การกักเก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า/เฮกตาร์)
เงาะ	49,601.98	11,189.47	273.63	61.07	13.13	74.19	37.10
กระโดน	284.30	47.30	6.20	0.34	0.13	0.47	0.24
กระถ่อน	395.91	67.16	7.91	0.47	0.18	0.65	0.32
กล้วยป่า	19,935.49	4,261.68	140.11	24.34	5.82	30.16	15.08
ขนุน	280.68	46.66	6.15	0.33	0.13	0.46	0.23
ชิงชัน	8.28	1.12	0.47	0.01	0.01	0.02	0.01
ชมพู	79.07	12.20	2.43	0.09	0.04	0.14	0.07
ชมพูมะเหมี่ยว	15.15	2.12	0.72	0.02	0.01	0.03	0.01
เสี้ยวป่า	244.39	40.30	5.55	0.29	0.12	0.41	0.20
ต้นสะเดา	5.97	0.79	0.37	0.01	0.004	0.01	0.01
ตะขบป่า	53.77	8.11	1.83	0.06	0.03	0.09	0.05
ท้อ	16.05	2.25	0.76	0.02	0.01	0.03	0.01

ชื่อ	WS (กิโลกรัม/ เฮกตาร์)	WB (กิโลกรัม/ เฮกตาร์)	WL (กิโลกรัม /เฮกตาร์)	AGB (ตัน/ เฮกตาร์)	BGB (ตัน/ เฮกตาร์)	มวลชีวภาพ รวม (ตัน/ เฮกตาร์)	การกักเก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า/เฮกตาร์)
ปรังเหลียม	230.70	37.91	5.32	0.27	0.11	0.38	0.19
ปาล์มขวด	3.11	0.40	0.23	0.004	0.002	0.006	0.003
มะแขว่น	2,853.47	543.90	33.65	3.43	1.03	4.46	2.23
มะขามป้อม	27.94	4.05	1.13	0.03	0.02	0.05	0.03
มะนาว	10.63	1.46	0.56	0.01	0.01	0.02	0.01
มะปราง	802.75	141.98	13.28	0.96	0.33	1.29	0.65
มะหวด	4.81	0.63	0.31	0.006	0.004	0.009	0.005
ยอป่า	2.31	0.29	0.18	0.003	0.002	0.005	0.002
ลองกอง	19,322.90	4,123.13	136.94	23.58	5.66	29.25	14.62
ลำไย	27,000.87	5,876.32	175.07	33.05	7.63	40.68	20.34
ท้อ	13.34	1.85	0.66	0.02	0.01	0.02	0.01
หว่า	141.12	22.53	3.71	0.17	0.07	0.24	0.12
หูกวาง	34.20	5.02	1.32	0.04	0.02	0.06	0.03
รวม				148.63	34.51	183.14	91.57

ตารางที่ 5 การกักเก็บคาร์บอนในพรรณไม้บริเวณแปลงตัวอย่างเมืองจัน

ชื่อ	WS (กิโลกรัม/ เฮกตาร์)	WB (กิโลกรัม/ เฮกตาร์)	WL (กิโลกรัม /เฮกตาร์)	AGB (ตัน/ เฮกตาร์)	BGB (ตัน/ เฮกตาร์)	มวลชีวภาพ รวม (ตัน/ เฮกตาร์)	การกักเก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า/เฮกตาร์)
เหมือด	38,877.02	8,644.92	228.80	47.75	10.56	58.31	29.16
เหมือดจี	3,233.48	620.89	36.88	3.89	1.15	5.04	2.52
เหมือดโลด	1,365.28	249.16	19.60	1.63	0.54	2.17	1.08
เหียง	21,345.65	4,581.58	147.32	26.07	6.19	32.26	16.13
ตั่วหนาม	1,592.71	293.32	21.94	1.91	0.61	2.52	1.26
ก่อเตื่อย, ก่อ แป้น	674.55	118.09	11.69	0.80	0.29	1.09	0.55
ตะแบก	8,936.98	1,822.16	77.75	10.84	2.85	13.69	6.84
กว้าว	2,837.28	540.63	33.51	3.41	1.03	4.44	2.22
ประดู่	7,966.80	1,613.38	71.47	9.65	2.57	12.22	6.11
ปอกระสา	51,393.37	11,617.88	280.86	63.29	13.55	76.84	38.42
มะขามป้อม	9,981.46	2,048.44	84.32	12.11	3.14	15.26	7.63
มะเดื่อสาย	38,398.33	8,532.24	226.73	47.16	10.45	57.60	28.80
ยอป่า	1,006.60	180.43	15.67	1.20	0.41	1.61	0.81
หว่า	1,341.17	244.50	19.34	1.61	0.53	2.13	1.07

ชื่อ	WS (กิโลกรัม/ เฮกตาร์)	WB (กิโลกรัม/ เฮกตาร์)	WL (กิโลกรัม/ /เฮกตาร์)	AGB (ตัน/ เฮกตาร์)	BGB (ตัน/ เฮกตาร์)	มวลชีวภาพ รวม (ตัน/ เฮกตาร์)	การกักเก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า/เฮกตาร์)
รวม				231.33	53.86	285.19	142.60

ตารางที่ 6 การกักเก็บคาร์บอนในพรรณไม้บริเวณแปลงตัวอย่างสวนเมี่ยง

ชื่อ	WS (กิโลกรัม/ เฮกตาร์)	WB (กิโลกรัม/ เฮกตาร์)	WL (กิโลกรัม/ เฮกตาร์)	AGB (ตัน/ เฮกตาร์)	BGB (ตัน/ เฮกตาร์)	มวลชีวภาพรวม (ตัน/เฮกตาร์)	การกักเก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า/เฮกตาร์)
กล้วยป่า	0.42	0.05	0.05	0.0006	0.0004	0.0010	0.0005
กะบก	2,390.80	450.98	29.55	2.87	0.88	3.75	1.88
กะอาม	40.33	5.98	1.48	0.05	0.02	0.07	0.04
แค	604.04	105.06	10.78	0.72	0.26	0.98	0.49
แดง	70.46	10.80	2.23	0.08	0.04	0.12	0.06
ตะแบกเลือด	1.17	0.14	0.11	0.001	0.001	0.002	0.001
ตีนเป็ดแดง	4.91	0.64	0.32	0.006	0.004	0.010	0.005
ทะโล้	508.83	87.61	9.51	0.61	0.22	0.83	0.41
ประดู่	33,756.75	7,444.07	206.26	41.41	9.31	50.72	25.36
เพกา	6,604.83	1,322.85	62.28	7.99	2.18	10.17	5.08
มณฑาดอย	7.21	0.97	0.42	0.01	0.01	0.01	0.01
มะกล่ำต้น	72.94	11.20	2.29	0.09	0.04	0.13	0.06
ชะมวง	71.10	10.90	2.25	0.08	0.04	0.12	0.06
มะพร้าววก	1,599.04	294.55	22.00	1.92	0.62	2.53	1.27
มะไฟ	5.83	0.77	0.36	0.01	0.004	0.01	0.01
เมี่ยง	131,959.81	31,537.26	561.52	164.06	31.43	195.49	97.75
ยมหอม	5,928.81	1,179.91	57.54	7.17	1.98	9.14	4.57
ยางนา	815.12	144.30	13.43	0.97	0.34	1.31	0.66
ยางบก	1,728.31	319.83	23.30	2.07	0.66	2.73	1.37
ส้มโอ	42.55	6.33	1.54	0.05	0.02	0.08	0.04
ส้านใหญ่	1,463.82	268.24	20.62	1.75	0.57	2.32	1.16
รวม				231.91	48.63	280.53	140.27

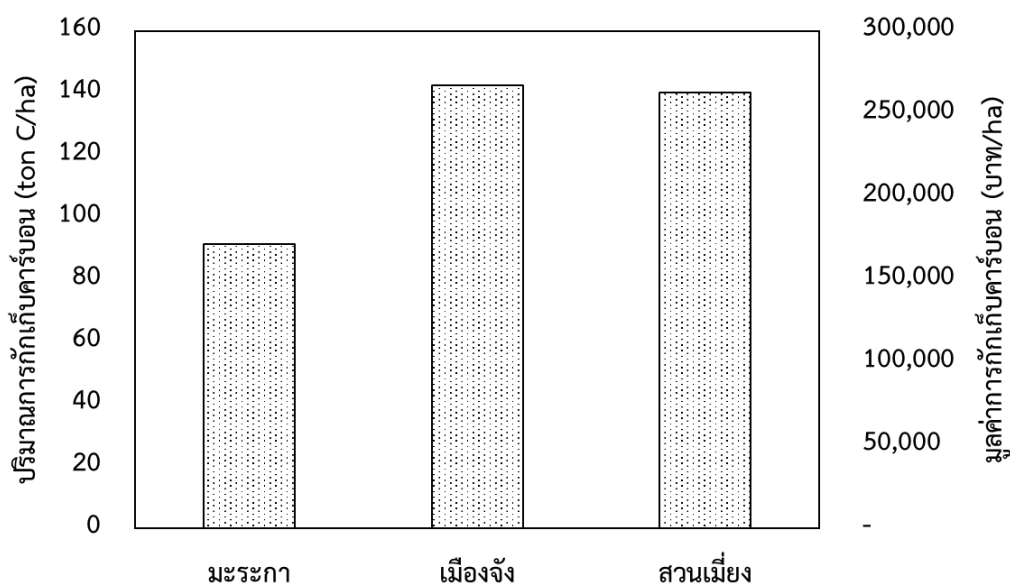
รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของแต่ละพื้นที่และเมื่อใช้มูลค่าจากการซื้อขายคาร์บอนเครดิตในการคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพรรณไม้ให้อยู่ในรูปของตัวเงิน

พบว่าพื้นที่แปลงตัวอย่างมะระกามีมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่เท่ากับ 171,687 บาท/เฮกตาร์ หรือคิดเป็น 27,470 บาท/ไร่ สำหรับพื้นที่แปลงตัวอย่างเมืองจันและสวนเมี่ยงพบว่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน

โดยมีค่าเท่ากับ 267,365 และ 262,996 บาท/เฮกตาร์ หรือคิดเป็น 42,778 และ 42,079 บาท/ไร่

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าทั้งสามพื้นที่ตัวอย่างมีมูลค่าในการกักเก็บคาร์บอนใกล้เคียงกับพื้นที่ป่าเบญจพรรณในอุทยานแห่งชาติเอราวัณ จังหวัดกาญจนบุรี [11] ที่มีมูลค่าประมาณ 160,000 – 230,000 บาท มีมวลชีวภาพเฉลี่ยที่ 180 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เฮกตาร์ ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการศึกษาแล้ว พบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในงานวิจัยอ้างอิงสูงกว่าพื้นที่วิจัยในการศึกษานี้ทั้งสามพื้นที่ (~40-90 ตัน

คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เฮกตาร์) แต่ทว่ามีมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากราคาคาร์บอนมีการปรับตัวสูงขึ้นโดยมูลค่าคาร์บอนที่ใช้ในการคำนวณในการศึกษานี้มีราคาเท่ากับ 1,874.93 บาท/ตัน ซึ่งอ้างอิงตามราคาเฉลี่ยคาร์บอนเครดิตในปี พ.ศ.2565 [9] จากตลาดคาร์บอนแบบภาคสมัครใจ (Voluntary carbon market) ตามโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction: T-VER)



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบการกักเก็บคาร์บอนและมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่แปลงตัวอย่าง

สรุปผล

การศึกษานี้ได้ศึกษาชนิดและจำนวนพรรณไม้ที่ปรากฏในสามพื้นที่วิจัย ได้แก่ บ้านวังทอง ตำบลพระพุทธรบาท อำเภอยะยงกลาง (แปลงตัวอย่างมะระกา) บ้านราษฎร์สามัคคี ตำบลเมืองจ้ัง อำเภอยะยง (แปลงตัวอย่างเมืองจ้ัง) และบ้านป่าเมี่ยง ตำบลเรือง อำเภอมืองน่าน (แปลงตัวอย่างสวนเมี่ยง) ซึ่งแต่เดิมเป็นพื้นที่เสื่อมโทรมจากการแผ้วถางป่าเพื่อทำไร่ข้าวโพดมาก่อนจึง โดยในปัจจุบันทั้ง 3 พื้นที่ได้เลือก

รูปแบบการอนุรักษ์และฟื้นฟูพื้นที่ด้วยหลักการปลูกป่า 3 อย่าง ประโยชน์ 4 อย่าง งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนและประเมินมูลค่า ซึ่งทั้งสามพื้นที่นั้นมีศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในพรรณไม้ 91.57 142.60 และ 140.27 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/เฮกตาร์ สำหรับพื้นที่แปลงตัวอย่างมะระกา แปลงตัวอย่างเมืองจ้ัง และแปลงตัวอย่างสวนเมี่ยงตามลำดับ โดยเมื่อคำนวณมูลค่าแล้วพบว่าแต่ละพื้นที่มีมูลค่าในการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 171,687 267,365 และ 262,996 บาท/เฮกตาร์ ตามลำดับ ซึ่ง

ผลการศึกษานี้อาจเป็นแนวทางพื้นฐานแก่ชุมชนที่ต้องการขายคาร์บอนเครดิตอันจะเป็นการหารายได้ของชุมชนในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Chen Y, et al. Climate change 2021 the physical science basis working group I contribution to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2021. p. 33–144.
2. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. Greenhouse gases emission of Thailand [Internet]. Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand: 2021; cited 2022 Oct 26. Available from: <https://opendata.data.go.th/dataset/ghg-emission>
3. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. Forest ecology and biodiversity [Internet]. Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand: 2009; cited 2022 Oct 27. Available from: <http://www.eppo.go.th/ccep/download/>
4. Benjamas C, Wachirapong S, Wilavan N, Sanit M. Report of PEI-SGA in Nan Province [Internet]. Thailand Environment Institute: 2011; cited 2022 Oct 27. Availability from: <http://www.tei.or.th/publications/2011-download/2011-SGA-Nan-PEI-Report.pdf>
5. Saibua K, Sakda J. Loss of forest area in Nan province. Khon Kaen Agr J. 2021;49(2):312-22. Thai
6. Royal Forest Department. Forest statistics [Internet]. Ministry of Natural Resources and Environment, Thailand: 2021; cited 2022 Oct 26. Available from: <http://www.eppo.go.th/ccep/download/>
7. Yamakura T, hagihara A, Sukardjo S, Ogawa H. Aboveground biomass of tropical rain forest stands in Indonesian Borneo. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht – Printed in The Netherlands. Vegetatio. 1986(68):71-82.
8. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Chapter 4 Forest land. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES); 2006. p. 1-83
9. Thailand Greenhouse Gas Management Organization. 2022 Thailand carbon credit price [Internet]. Thailand Greenhouse Gas Management Organization, Thailand: 2021; cited 2022 Nov 5. Available from: <http://carbonmarket.tgo.or.th/index.php>
10. Mounsree S, Polprasert S, Neamhom T, Patthanaissaranukool W. Carbon emission from maize cultivation in dry season of Thailand. TSTJ. 2021(29):950-965. Thai
11. Phattheera B, Wathinee S, Somporn M. Estimation of carbon stock value of woody plants in mixed deciduous forest in Erawan National Park, Kanchanaburi Province]. Thai J For. 2020(39):27-40. Thai



การพัฒนา Line Chatbot สำหรับงานบริการด้านงานวิจัย กรณีศึกษาสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Development of Line Chatbot for Research Services Case Study: Institute of Research and Development Rajamangala University of Technology Thanyaburi

มนต์ทิชา รัตนพันธุ์* และ จัตรวดี สายใยทอง

Monticha Ruttanapan* and Chatwadee Saiyaitong

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Institute of Research and Development, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, THAILAND

*Corresponding author e-mail: monticha_r@rmutt.ac.th

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history:	This work aimed to develop the Line Chatbot for research
Received: February 23, 2023	services. The satisfaction with the Line Chatbot application in the
Revised: April 8, 2023	Institute of Research and Development case study, Rajamangala
Accepted: April 11, 2023	University of Technology Thanyaburi (RMUTT), was evaluated. The
Available Online: April 28, 2023	327 RMUTT staff were used as the sample. Google Sheets was used
DOI: 10.14456/jarst.2023.8	as a tool to generate the questionnaire connecting the Chatbot of
Keywords: Program	the Line application via Dialogflow. The user satisfaction evaluation
Development, Chatbot,	was analyzed with mean and standard deviation. The results
research services work, Line	revealed that the overall user satisfaction was at a high level with
Chatbot	an average of 3.83 (SD = 0.85), where the top three 3 items were
	(1) appropriate interaction between users (4.24; SD = 0.64), (2) the
	accuracy system (4.17; SD = 0.82) and (3) consistency between
	questions, answers, and instructions (4.12; SD = 0.73). Therefore,
	the developed Chatbot in the Line application can significantly
	improve service performance and reduce the response time to the
	user.

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา Line Chatbot สำหรับงานบริการด้านงานวิจัย และ ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อการนำ Line Chatbot สำหรับงานบริการด้านงานวิจัย กรณีศึกษา สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ บุคลากรสังกัดมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จำนวน 327 คน ใช้ Google Sheet เป็นเครื่องมือในการสร้างคำถาม คำตอบและใช้ Dialogflow เพื่อเชื่อมต่อฐานข้อมูลข้อความคำถาม คำตอบใน Google Sheet เข้ากับ Chatbot และติดต่อกับผู้ใช้งานผ่านทางโปรแกรม Line ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อการนำ Line Chatbot สำหรับงานบริการด้านงานวิจัยที่พัฒนาขึ้น สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ความพึงพอใจต่อภาพรวมของระบบของผู้ใช้งานที่มีต่อ Line Chatbot อยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.83 (SD = 0.85) และเมื่อพิจารณารายข้อ 3 ลำดับแรก พบว่า ความเหมาะสมในการปฏิสัมพันธ์โต้ตอบระหว่างผู้ใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.24 (SD = 0.64) รองลงมาคือ ระบบให้ผลลัพธ์ถูกต้องตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.17 (SD = 0.82) และความสอดคล้องระหว่างคำถาม คำตอบ และคำแนะนำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.12 (SD = 0.73) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า Chatbot ในแอปพลิเคชัน Line ที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบข้อความงานบริการด้านงานวิจัยและลดระยะเวลาการตอบคำถามจากเจ้าหน้าที่ด้านงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การพัฒนาโปรแกรม Chatbot งานบริการด้านงานวิจัย Line Chatbot

บทนำ

ในปี ค.ศ. 2016 Chatbot ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยการนำเทคโนโลยี Machine Learning ที่ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพได้มากกว่าเมื่อเทียบกับระบบซอฟต์แวร์ในอดีตมาทำให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมการบิน ด้านสายการบิน ประกันชีวิต ธุรกิจต่าง ๆ เหล่านี้ได้นำ Chatbot เข้ามาใช้งานเป็นอีกช่องทางการสื่อสารกับลูกค้า ซึ่งในปัจจุบันมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมของลูกค้าที่สามารถเข้าถึงมีความคุ้นชินกับการใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ในชีวิตประจำวัน และในปี ค.ศ. 2015 สำหรับองค์กรที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,500 องค์กรพบว่าลูกค้าออนไลน์มากกว่า 50% จะใช้ผู้ช่วยเสมือนจริงในการทำการค้นหาข้อมูลด้วยตนเอง [1] ดังนั้น Chatbot จึงได้รับความนิยมและมีการพัฒนาเพื่อใช้ในธุรกิจมากยิ่งขึ้น ปัจจุบันพบว่า Chatbot ได้รับการพัฒนาให้สามารถทำงานบน Platform แอปพลิเคชัน โดยได้รับการพัฒนามาเพื่อเน้นการสนทนา (Messaging Application) เช่น Whatsapp, Facebook, WeChat และ Line ได้ทำการพัฒนา Chatbot เพื่อใช้งานใน Platform รูปแบบธุรกิจของตนเอง [2] จึงไม่สามารถปฏิเสธได้ว่าทุกองค์กรสามารถศึกษาเรียนรู้เพื่อนำ Chatbot ไปใช้ประโยชน์ต่อการทำธุรกิจได้ องค์กรสามารถเข้าถึงใกล้ชิดกับลูกค้าได้มากยิ่งขึ้นด้วย Chatbot องค์กรก็จะสามารถสร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้า (Customer Satisfaction) ด้วยการนำเสนอข้อมูลที่ดีและรวดเร็วขึ้นให้กับลูกค้า ในปี 2563 วสุ บัวแก้วและปณิธิ เนตินันท์ ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบ Line Bot สำหรับบัณฑิตวิทยาลัย มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบโต้ตอบอัตโนมัติของไลน์ (Line Bot) เพื่อสนับสนุนการโต้ตอบคำถามเกี่ยวกับข้อมูลต่าง ๆ ของหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา ซึ่งผู้ใช้งานสามารถสอบถามได้ตลอดเวลาทำให้ลดภาระการทำงานของเจ้าหน้าที่ด้วยการประยุกต์ใช้บริการขอความไลน์ตอบกลับอัตโนมัติ (Line Messaging API) ทั้งนี้เมื่อเปิดให้บริการ พบว่า ไลน์บอท (Line Bot) เป็นช่องทางการติดต่อสื่อสารที่อำนวยความสะดวก

ความสะดวกและมีประสิทธิภาพทำให้ผู้ใช้พอใจในการได้รับบริการอย่างรวดเร็วต่อเนื่อง [3] ปี 2565 จตุรงค์ จิตติยพล, พงษ์ศักดิ์ ตรีพนิจ ศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการเรียนรู้คำศัพท์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ผ่านแอปพลิเคชัน Line Chatbot เป็นการประยุกต์ใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ตอบแชทอัตโนมัติเพื่อช่วยให้นักศึกษาสามารถทบทวน หาคำตอบ ที่เกี่ยวกับคำศัพท์ด้านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ซึ่งมีจำนวนมากและเป็นคำศัพท์พื้นฐานที่จะต้องทำความเข้าใจ เพื่อให้การเรียนรู้สามารถเชื่อมโยงเข้ากับเนื้อหาในการเรียนได้ [4] ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Chatbot ถือเป็นระบบปัญญาประดิษฐ์ประเภทหนึ่งที่มีความสามารถในด้านทางการสนทนาและมีความเข้าใจในภาษามนุษย์อย่างเป็นธรรมชาติ มีกฎเกณฑ์และเงื่อนไขต้นแบบซึ่งสามารถที่จะคาดเดาประโยคถัดไปได้จากบทสนทนามาก่อนหน้า [5] จึงทำให้ผู้สนทนารู้สึกเหมือนกับการสนทนากับคนจริง ๆ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มีความตระหนักว่าการศึกษาด้านการวิจัยนับเป็นหัวใจที่สำคัญในการพัฒนาองค์ความรู้ในทุกด้านที่นำไปสู่การพัฒนาการเรียนการสอน รวมไปถึงการบริการทางวิชาการ อีกทั้งการตีพิมพ์ผลงานการวิจัยทั้งในวารสารระดับนานาชาติและวารสารระดับชาตินับเป็นการเผยแพร่องค์ความรู้จากการวิจัยไปสู่สาธารณะเป็นการสนับสนุนองค์ความรู้และข้อมูลใหม่ให้กับผู้ที่ทำงานวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป และยังเป็นการสร้างชื่อเสียงให้กับผู้เขียนและสถาบันอีกด้วย แนวทางในการผลักดันและสนับสนุนให้บุคลากรในสังกัดตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยนั้นจะเห็นได้จากที่มหาวิทยาลัยได้ทำการจัดตั้งและออกประกาศคณะกรรมการกองทุนส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี หลากหลายฉบับเพื่อให้การสนับสนุนในหลายด้านกับบุคลากรในสังกัด [6] มีการออกประกาศคณะกรรมการกองทุนส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เรื่องหลักเกณฑ์การจ่ายเงินและค่าสมนาคุณการเผยแพร่ผลงานวิจัยหรือ

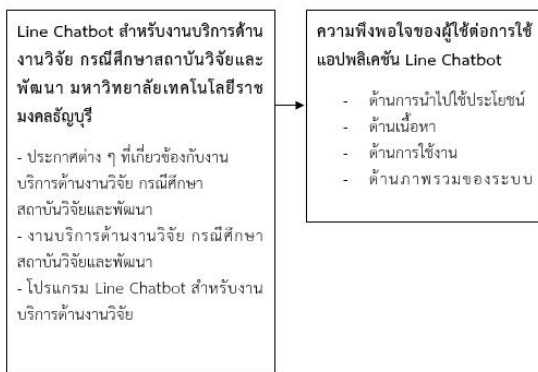
งานสร้างสรรค์ เพื่อจ่ายเงินและค่าสมนาคุณการเผยแพร่บทความวิจัยและการเผยแพร่ผลงานสร้างสรรค์ให้กับบุคลากรของมหาวิทยาลัย ซึ่งในประกาศมีการระบุเนื้อหาคุณสมบัติผู้ขอรับการสนับสนุนค่าสมนาคุณการเผยแพร่ผลงานวิจัยหรืองานสร้างสรรค์ ขอบเขตของบทความวิจัยงานสร้างสรรค์ สิทธิบัตร และอนุสิทธิบัตรที่ขอรับการสนับสนุนค่าสมนาคุณได้ อัตราการจ่ายเงินค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์และค่าสมนาคุณ หลักฐานประกอบการเสนอขอรับการสนับสนุน เป็นต้น ข้อความสำคัญต่าง ๆ ที่อยู่ในประกาศจะมีการเปลี่ยนแปลงตามมติที่ประชุมคณะกรรมการกองทุนส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อประกาศมีการเปลี่ยนแปลงบุคลากรที่จะขอรับการสนับสนุนจะเกิดความสับสน หรือเกิดความไม่แน่ใจในเนื้อหา รวมไปถึงบุคลากรใหม่ที่ไม่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเนื้อหาในประกาศดังกล่าวจะมีข้อสงสัยและข้อคำถาม เมื่อบุคลากรเกิดข้อสงสัยหรือเกิดความสับสนในเนื้อหาของประกาศจะติดต่อสอบถามมาที่เจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยและพัฒนา ซึ่งในบางครั้งการติดต่อกับเจ้าหน้าที่ของสถาบันวิจัยและพัฒนาก็มีข้อจำกัดในหลาย ๆ ด้าน เช่น บุคลากรเกิดข้อสงสัยในวันหยุดราชการ ไม่รู้ว่าจะต้องติดต่อสอบถามข้อมูลใคร เบอร์โทรศัพท์ติดต่อคืออะไร เจ้าหน้าที่ไม่ได้รับโทรศัพท์ เจ้าหน้าที่ไม่สามารถตอบคำถามทางไลน์ได้ทันที ซึ่งข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เกิดการรอคอยการตอบคำถามจากเจ้าหน้าที่ อีกทั้งเจ้าหน้าที่เองก็ต้องคอยตอบคำถามและบางครั้งเป็นคำถามซ้ำ ๆ ดังนั้นหากมีการพัฒนา Chatbot สำหรับตอบข้อคำถามและเข้าถึงได้โดยง่ายเมื่อบุคลากรมีความสงสัยหรือไม่แน่ใจก็จะช่วยในด้านข้อมูลที่จำเป็นกับบุคลากรได้เป็นอย่างดีและยังเป็นการลดระยะเวลาในการรอคอยการตอบคำถามจากเจ้าหน้าที่และลดภาระในการตอบคำถามของเจ้าหน้าที่อีกด้วย

จากปัญหาต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยในฐานะที่ปฏิบัติหน้าที่ในการให้การสนับสนุนและงานบริการด้านการวิจัยได้เห็นถึงความสำคัญในการนำ

แนวความคิดการใช้ Chatbot เข้ามาช่วยแก้ไขปัญหา และส่งเสริมงานด้านการสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัยหรืองานสร้างสรรค์ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถสอบถามได้ตลอดเวลาทำให้ลดภาระการทำงานของเจ้าหน้าที่และยังเป็นแหล่งการให้ข้อมูลที่ถูกต้องและรวดเร็วกับบุคลากรของมหาวิทยาลัยต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

กรอบแนวคิดของการวิจัย



การศึกษาค้นคว้า

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับงานบริการด้านงานวิจัยกรณีศึกษาสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยทำการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารภาระหน้าที่ของสถาบันวิจัยและพัฒนา ประกาศของมหาวิทยาลัย รายงานการวิจัย วารสาร บทความทางวิชาการทั้งในรูปแบบสิ่งพิมพ์เอกสารงานวิจัยและสื่ออิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังรวมถึงข้อ

คำถามต่าง ๆ ที่บุคลากรสังกัดมหาวิทยาลัยได้ทำการสอบถามมายังเจ้าหน้าที่อีกด้วย เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์คำถาม-คำตอบที่จะทำการบันทึกข้อมูลเข้าสู่ระบบของ Chatbot

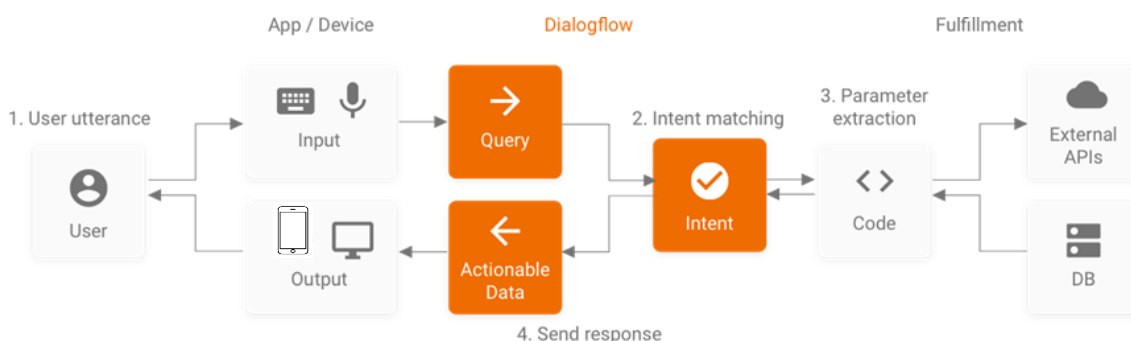
ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ Chatbot

การพัฒนาระบบที่ได้ออกแบบไว้ ข้อกำหนดและการออกแบบในส่วนของการประกอบการพัฒนาแอปพลิเคชัน Chatbot นั้น ระบบที่ถูกพัฒนาจะต้องสามารถแสดงผลบนสมาร์ตโฟนได้ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เครื่องมือที่ผู้วิจัยใช้ในการพัฒนา Chatbot ประกอบไปด้วย

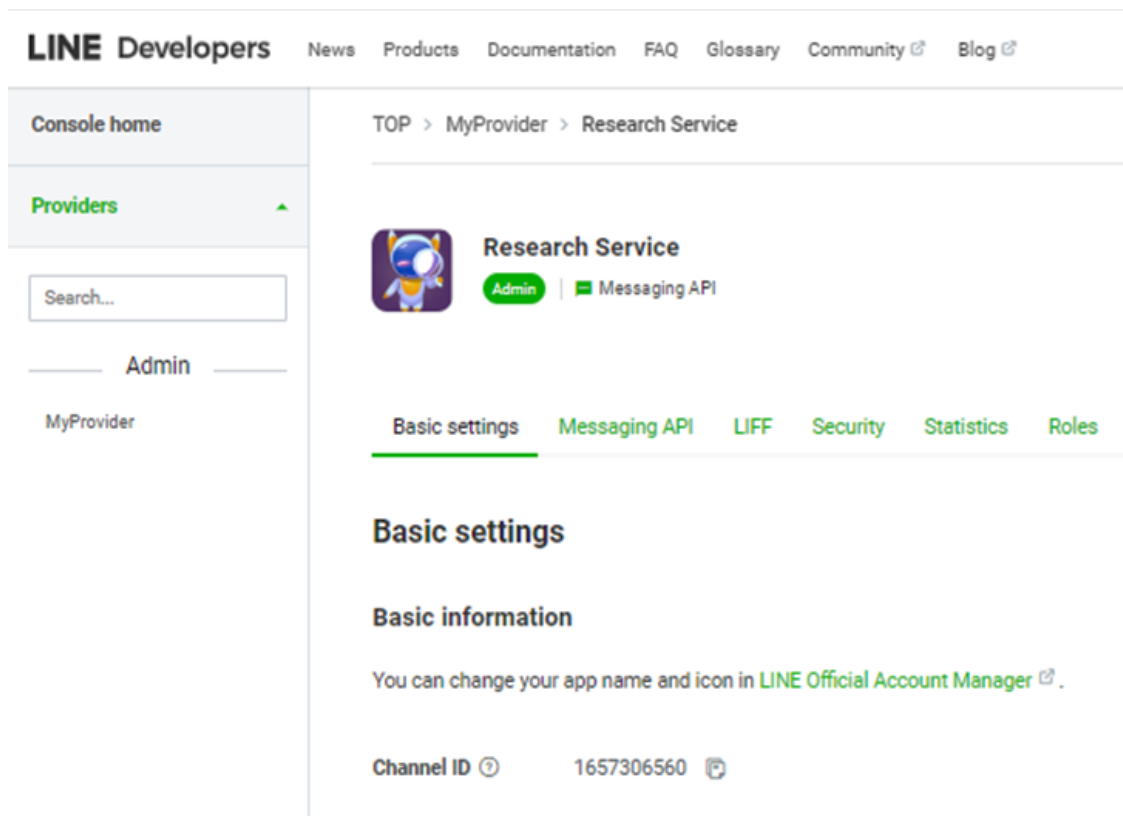
1. Line Application
2. Line Developer
3. Line Manager
4. Dialogflow
5. Google Sheet

ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาระบบ Chatbot

ในการวิจัยครั้งนี้การสนทนาระหว่างผู้ใช้งานกับระบบโต้ตอบการสนทนาอัตโนมัติตัวกลางที่ผู้วิจัยเลือกใช้คือแอปพลิเคชัน Line ซึ่งมี Web hook ของแอปพลิเคชัน Line เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างแอปพลิเคชันกับฐานข้อมูล Google Sheet ที่ทำหน้าที่ในการจัดเก็บคำถาม-คำตอบ โดยภาพรวมของกระบวนการในการทำงานดังแสดงในรูปที่ 1



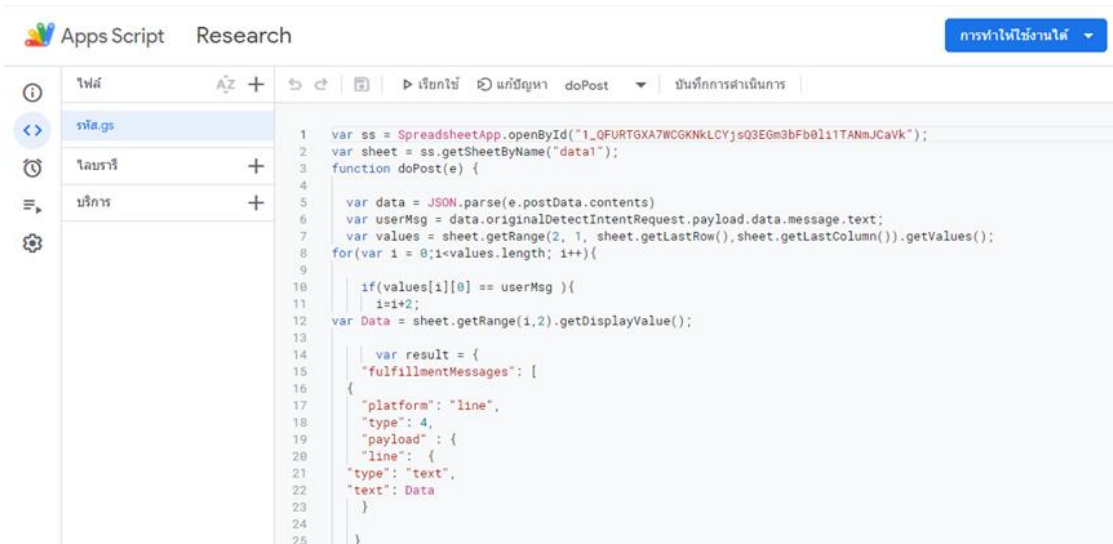
รูปที่ 1 กระบวนการทำงานคัดเลือกเจตนาในโปรแกรม Dialogflow



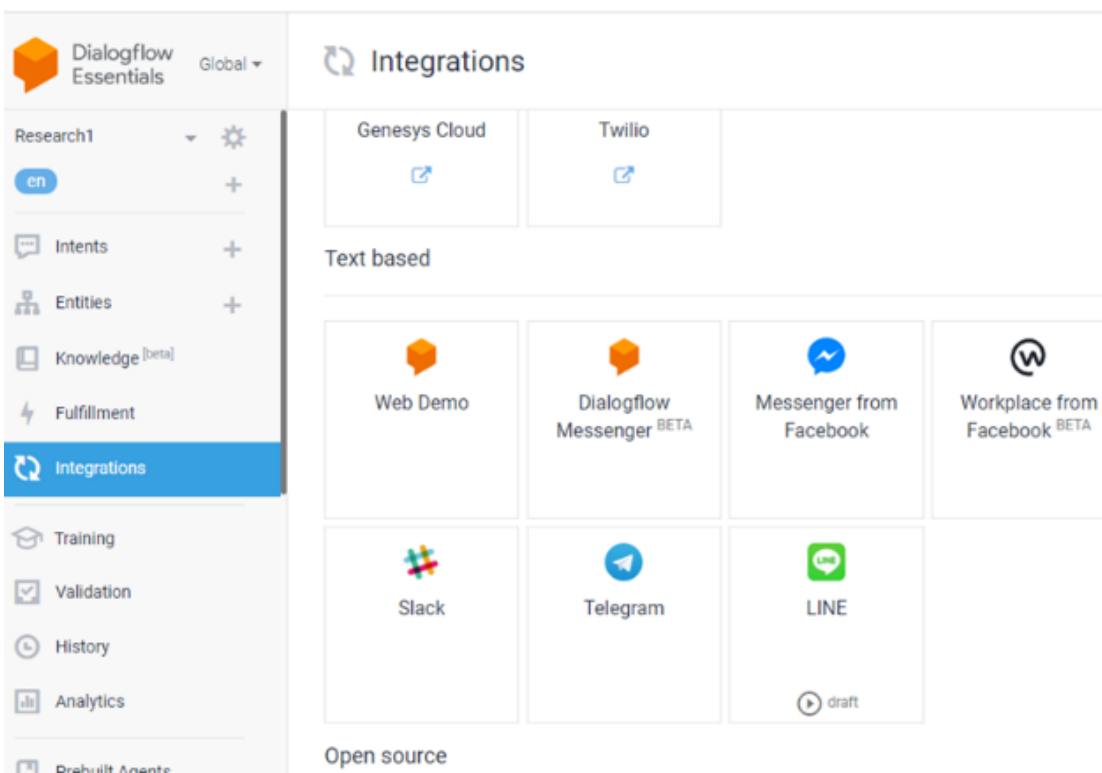
รูปที่ 2 การสร้าง Chatbot ใน Line Developers

Research								
ไฟล์ แก้ไข ดู แปรกร รูปแบบ ข้อมูล เครื่องมือ ส่วนขยาย ความช่วยเหลือ								
A666 ฝึก ประชุมกองทุน								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	คำถาม	คำตอบ						
2	สนับสนุนการตีพิมพ์	ช่วยระบุฐานที่ตีพิมพ์บทความวิจัยด้วยค่า เช่น TCI, Scopus						
3	เงินรางวัล	หมายถึงการขอรับเงินรางวัลตีพิมพ์บทความวิจัยใช้ใหม่ค่า						
4	ขอรับการสนับสนุนการตีพิมพ์	หมายถึงการขอรับเงินรางวัลตีพิมพ์บทความวิจัยใช้ใหม่ค่า						
5	ขอรับเงินรางวัล	หมายถึงการขอรับเงินรางวัลตีพิมพ์บทความวิจัยใช้ใหม่ค่า						
6	ใช่	รบกวนระบุฐานข้อมูลของวารสารที่บทความได้รับการตีพิมพ์ด้วยค่า						
7	Yes	รบกวนระบุฐานข้อมูลของวารสารที่บทความได้รับการตีพิมพ์ด้วยค่า						
8	ไม่ใช่	โปรดระบุประเภทเงินรางวัลที่ต้องการทราบข้อมูลด้วยค่า เช่น เงินรางวัลตีพิมพ์บทความวิจัย หรือ เงินรางวัลงานสร้างสรรค์						
9	No	โปรดระบุประเภทเงินรางวัลที่ต้องการทราบข้อมูลด้วยค่า เช่น เงินรางวัลตีพิมพ์บทความวิจัย หรือ เงินรางวัลงานสร้างสรรค์						
10	ค่าตีพิมพ์	ตีพิมพ์บทความฐานไหนค่า						
11	ตีพิมพ์	หมายถึงการขอรับเงินรางวัลตีพิมพ์บทความวิจัยใช้ใหม่ค่า						
12	Scopus	โปรดระบุ Quartiles ของวารสารด้วยค่า						
13	scopus	ทวน Quartiles ของวารสารหรือไม่ค่า						
14	SJR	ไม่ได้จ่ายเงินค่าสมนาคุณในการตีพิมพ์บทความวิจัยในวารสารที่อยู่ในฐาน SJR แล้วค่า						
15	Sjr	มหาวิทยาลัยไม่ได้สนับสนุนการตีพิมพ์บทความวิจัยในวารสารที่อยู่ในฐานนี้แล้วค่า						
16	sjr	มหาวิทยาลัยไม่ได้สนับสนุนการตีพิมพ์บทความวิจัยในวารสารที่อยู่ในฐานนี้แล้วค่า						
17	Web of Science	มหาวิทยาลัยไม่ได้จ่ายเงินค่าสมนาคุณการตีพิมพ์บทความวิจัยในวารสารที่อยู่ในฐานนี้แล้วค่า						

รูปที่ 3 การสร้างคำถาม-คำตอบ ใน Google Sheet



รูปที่ 4 การเขียน Code เพื่อให้ระบบแสดงผลบนโปรแกรม Line



รูปที่ 5 การเชื่อมต่อ แชนบอท กับ Line ในเว็บไซต์ของ Line Developer

จากรูปที่ 1 เมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูลข้อความที่ต้องการไปยังระบบผ่านสมาร์ทโฟนหรือคอมพิวเตอร์ Dialogflow จะทำหน้าที่รับหัวข้อ Intent และจากคำพูดที่ได้รับมานำมาทำ Intent Classification แล้วดำเนินการตามประเภทของ Intent และ Parameter ที่ได้รับ โดยใช้หลักการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของคำพูดของผู้ใช้ว่ามีความใกล้เคียงกับกลุ่มคำพูดตัวอย่างใดของเจตนา มีกำหนดไว้ล่วงหน้าหรือไม่ โดยความเหมาะสมของการพิจารณาหัวข้อของเจตนา นั้นบริบทจะถูกใช้เป็นตัวกำหนดว่าเจตนาไหนจะถูกนำมาพิจารณาในการคัดเลือก โดยที่หากเจตนาไหนไม่ตรงกับบริบทที่กำหนดไว้ก็จะไม่ถูกคัดเลือกออกมา โดยขั้นตอนของการคัดเลือกจะไม่สนใจกลุ่มคำพูดตัวอย่างที่ใกล้เคียงกับคำพูดของผู้ใช้หรือไม่ [7]

ขั้นตอนการพัฒนา ระบบ Chatbot

- ขั้นตอนที่ 1 การสร้าง Line Bot ในเว็บไซต์ Line Developers ผู้วิจัยได้สร้าง Chatbot ที่เว็บไซต์ <https://developers.line.biz> โดยใช้ชื่อ “Research Service” ดังรูปที่ 2

- ทำการสร้างคำถาม-คำตอบ ที่เกี่ยวข้องกับงานบริการด้านงานวิจัยใน Google Sheet เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลคำถาม-คำตอบที่ Bot จะทำการค้นหา เมื่อผู้ใช้มีคำถามจำนวน 710 ชุดคำถาม-คำตอบ แสดงดังรูปที่ 3

- เชื่อมต่อ Chatbot เข้ากับ Google Sheet ด้วย Dialogflow เพื่อเชื่อมต่อฐานข้อมูลข้อความ-คำตอบที่อยู่ในรูปแบบของ Google Sheet พร้อมมีการทดสอบการทำงานของโปรแกรมในแต่ละฟังก์ชันให้มีความสมบูรณ์ก่อนนำไปเชื่อมต่อเข้ากับ Line Application

- ใช้ Webhook ในการเชื่อมต่อระหว่าง Google Sheet กับ Dialogflow และระหว่าง Dialogflow กับ Line Application ดังรูปที่ 5

ขั้นตอนการทดลองใช้โปรแกรมและการประเมินผล

เมื่อผู้วิจัยได้พัฒนาระบบเรียบร้อยแล้วมีขั้นตอนการทดสอบการใช้งานจริงและประเมินผลความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจในการประเมินผลจากกลุ่มตัวอย่างบุคลากรสายวิชาการและบุคลากรสายสนับสนุนสังกัดมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จำนวน 327 คนที่ได้ทดลองใช้แอปพลิเคชัน ซึ่งทำการทดสอบด้วย Usability Testing เพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพ ประสิทธิผลและความพึงพอใจของผู้ใช้ โดยแบบสอบถามมีลักษณะเป็นข้อความแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแบบเชิงปริมาณและใช้การวัดมาตราส่วนลิเกิร์ต (Likert Scale) โดยมีคะแนนเต็ม 5 คะแนนแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ ส่วนลิเกิร์ต (Likert Scale) โดยมีคะแนนเต็ม 5 คะแนนแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ

มากที่สุด	ค่าคะแนนเท่ากับ 5
มาก	มีค่าคะแนนเท่ากับ 4
ปานกลาง	มีค่าคะแนนเท่ากับ 3
น้อย	มีค่าคะแนนเท่ากับ 2
น้อยที่สุด	มีค่าคะแนนเท่ากับ 1

ค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้นำมาแปลความหมายได้ ดังนี้

1.00 - 1.50 คะแนน มีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด
1.51 - 2.50 คะแนน มีความพึงพอใจระดับน้อย
2.51 - 3.50 คะแนน มีความพึงพอใจระดับปานกลาง
3.51 - 4.50 คะแนน มีความพึงพอใจในระดับมาก
4.51 - 5.00 คะแนน มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

ลักษณะของคำถามจะเป็นการตั้งคำถามเพื่อวัดความพึงพอใจทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ ด้านเนื้อหา ด้านการใช้งาน ด้านภาพรวมของระบบ

ผู้วิจัยดำเนินการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล เลือกเฉพาะวิธีวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการพัฒนา Line Chatbot สำหรับงานบริการด้านงานวิจัย ภาควิชาศึกษาศาสตร์บัณฑิตวิทยาลัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มีดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 การเชื่อมต่อ Line Chatbot ผู้ใช้สามารถเชื่อมต่อกับ Line Chatbot ได้โดยใช้ QR Code หรือ Bot basic ID: @768bzrfg

- ขั้นตอนที่ 2 เมื่อเข้าสู่แอปพลิเคชัน ระบบจะพาผู้ใช้เข้าสู่หน้าเมนูหลักโดยมีเมนูย่อยให้เลือกทั้งหมด 5 เมนูย่อย ได้แก่

1. Website IRD RMUTT
2. Fanpage IRD RMUTT
3. Scopus
4. Scimago Journal & Country Rank (SJR)
5. Google Scholar

- ขั้นตอนที่ 3 เมื่อกดเลือกเมนูย่อยระบบจะนำผู้ใช้งานไปยังหน้าเว็บไซต์นั้นดังรูปที่ 8



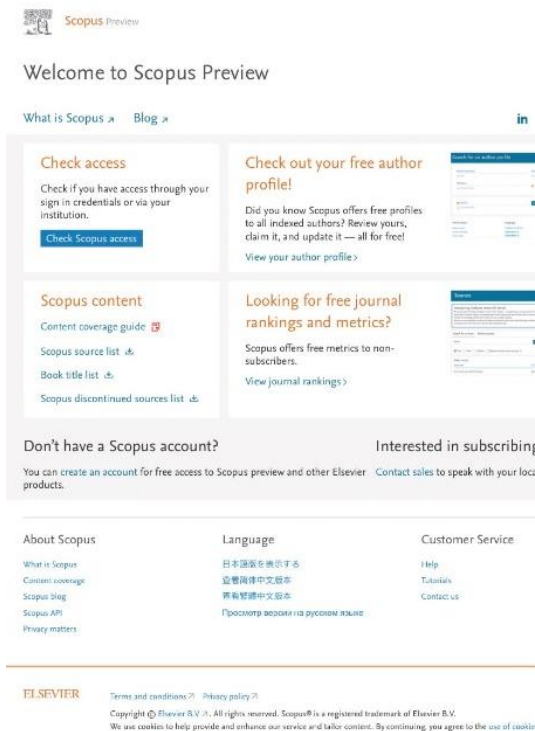
รูปที่ 6 Line QR code สำหรับ Research Service



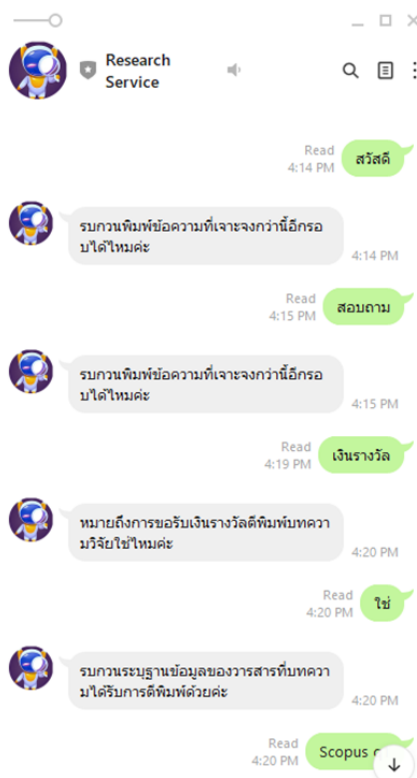
รูปที่ 7 ข้อความต้อนรับผู้ใช้อัตโนมัติ



รูปที่ 8 เมนูย่อยในแอปพลิเคชัน



รูปที่ 9 หน้าเว็บไซต์ Scopus



รูปที่ 10 ข้อความตอบคำถามผู้ใช้อัตโนมัติ

- ขั้นตอนที่ 4 หากผู้ใช้งานต้องการสอบถามเกี่ยวกับงานสนับสนุนการตีพิมพ์บทความวิจัย สามารถพิมพ์ข้อความเหมือนการสนทนา Line ทั่วไป เมื่อ Chatbot ได้รับข้อความจากผู้ใช้แล้วจะดำเนินการหาคำตอบและตอบกลับไปยังผู้ใช้ ดังรูปที่ 9

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อ Line Chatbot

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อ Line Chatbot สำหรับงานบริการด้านงานวิจัย กรณีศึกษาสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ด้านเนื้อหาพบว่า ความสอดคล้องระหว่างคำถาม คำตอบ และคำแนะนำ ข้อความที่ใช้งานในระบบสามารถสื่อสารกับผู้ให้เข้าใจได้ และความครอบคลุมเนื้อหาตามประกาศ ระเบียบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.12$, $\bar{X}=3.86$, $\bar{X}=3.95$ ตามลำดับ) ความครอบคลุมเนื้อหาในงานบริการด้านงานวิจัย มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}=3.41$)

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อ Line Chatbot สำหรับงานบริการด้านงานวิจัย กรณีศึกษาสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ด้านการใช้งานพบว่า ระบบใช้สามารถใช้งานได้ง่ายโดยไม่ต้องมีผู้ให้คำแนะนำ ความเหมาะสมในการเลือกใช้สื่อประกอบอื่น ๆ ในระบบความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมาย ความเหมาะสมในการปฏิสัมพันธ์โต้ตอบระหว่างผู้ใช้งาน ระยะเวลาการตอบสนองต่อข้อความของผู้ใช้งาน และระบบมีความเป็นธรรมชาติใกล้เคียงกับการสนทนาของมนุษย์มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.86$, $\bar{X}=3.69$, $\bar{X}=3.95$, $\bar{X}=4.24$, $\bar{X}=4.06$, $\bar{X}=4.06$ ตามลำดับ)

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อ Line Chatbot สำหรับงานบริการด้านงานวิจัย ภาควิชาศึกษาศาสตร์วิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ด้านเนื้อหา

คำถาม	$\bar{X}$	SD	ระดับ
ด้านเนื้อหา			
1. ความสอดคล้องระหว่างคำถาม คำตอบ และคำแนะนำ	4.12	0.73	มาก
2. ข้อความที่ใช้งานในระบบสามารถสื่อสารกับผู้ให้เข้าใจได้	3.86	0.84	มาก
3. ความครอบคลุมเนื้อหาในงานบริการด้านงานวิจัย	3.41	0.84	ปานกลาง
4. ความครอบคลุมเนื้อหาตามประกาศ ระเบียบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง	3.95	0.67	มาก

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อ Line Chatbot สำหรับงานบริการด้านงานวิจัย ภาควิชาศึกษาศาสตร์วิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ด้านการใช้งาน

คำถาม	$\bar{X}$	SD	ระดับ
ด้านการใช้งาน			
1. ระบบใช้สามารถใช้งานได้ง่ายโดยไม่ต้องมีผู้ให้คำแนะนำ	3.86	0.84	มาก
2. ความเหมาะสมในการเลือกใช้สื่อประกอบอื่น ๆ ในระบบ	3.69	0.78	มาก
3. ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมาย	3.95	0.79	มาก
4. ความเหมาะสมในการปฏิสัมพันธ์โต้ตอบระหว่างผู้ใช้งาน	4.24	0.64	มาก
5. ระยะเวลาการตอบสนองต่อข้อความของผู้ใช้งาน	4.06	0.98	มาก
6. ระบบมีความเป็นธรรมชาติใกล้เคียงกับการสนทนาของมนุษย์	4.06	0.53	มาก

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อ Line Chatbot สำหรับงานบริการด้านงานวิจัย ภาควิชาศึกษาศาสตร์วิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ และภาพรวมของระบบ

คำถาม	$\bar{X}$	SD	ระดับ
ด้านการนำไปใช้ประโยชน์			
1. ระบบสามารถช่วยผู้ใช้งานในการตอบข้อสงสัยและแก้ปัญหาเบื้องต้นเกี่ยวกับงานสนับสนุนการวิจัยได้	3.95	0.63	มาก
2. ระบบให้ผลลัพธ์ถูกต้องตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน	4.17	0.82	มาก
3. ระบบสามารถตอบคำถามได้ดีใกล้เคียงกับการหาข้อมูลด้วยวิธีหรือสื่ออื่น ๆ	3.95	0.93	มาก
ภาพรวมของระบบ	3.83	0.85	มาก

จากตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อ Line Chatbot สำหรับงานบริการด้านงานวิจัย ภาควิชาศึกษาศาสตร์วิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ และภาพรวมของระบบ พบว่า ระบบสามารถช่วยผู้ใช้งานในการตอบข้อสงสัยและแก้ปัญหาเบื้องต้นเกี่ยวกับงาน

สนับสนุนการวิจัยได้ ระบบให้ผลลัพธ์ถูกต้องตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน และระบบสามารถตอบคำถามได้ดีใกล้เคียงกับการหาข้อมูลด้วยวิธีหรือสื่ออื่น ๆ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.95$, $\bar{X}=4.17$, $\bar{X}=3.95$ ตามลำดับ) และความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อ Line Chatbot สำหรับงานบริการด้านงานวิจัย กรณีศึกษาสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาพรวมของระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.83$)

สรุปผล

ผลการพัฒนา Line Chatbot สำหรับงานสนับสนุนการตีพิมพ์บทความวิจัย กรณีศึกษาสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยเป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรม Dialogflow, Application Line และ Line Developer ในการพัฒนา Line Chatbot โดยผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อคำถามเกี่ยวกับงานสนับสนุนงานด้านการวิจัย ระเบียบ ประกาศต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างชุดคำถาม-คำตอบจำนวน 710 ชุดในการเข้าใช้งานเมื่อผู้ใช้งานทำการเพิ่มเพื่อนระบบจะแสดงเมนูทางลัดเพื่อ Link ไปยังเว็บไซต์โดยจะมีให้เลือกทั้งหมด 5 เว็บไซต์ ได้แก่ Website IRD RMUTT, Fanpage IRD RMUTT, Scopus, Scimago Journal & Country Rank (SJR) และ Google Scholar และในกรณีที่ผู้ใช้งานมีข้อคำถามสามารถพิมพ์คำถามและส่งใน Line Chatbot ได้ทันทีเหมือนการใช้งานโปรแกรมไลน์ทั่วไป หลังจากระบบได้รับข้อคำถามแล้วระบบจะทำการดึงคำตอบที่เกี่ยวข้องมาตอบผู้ใช้งานเสมือนมีคนพิมพ์ข้อความโต้ตอบเป็นการเพิ่มช่องทางการติดต่อสื่อสารและอำนวยความสะดวกในการตอบข้อคำถามเกี่ยวกับงานบริการด้านการวิจัยให้กับบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อการนำ Chatbot ในแอปพลิเคชัน Line สำหรับงานบริการด้านงานวิจัย กรณีศึกษาสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประเมินความพึง

พอใจทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านการใช้งาน ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ และภาพรวมของระบบ พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อภาพรวมของระบบอยู่ในระดับ “มาก” ($\bar{X}=3.83$) และเมื่อพิจารณารายชื่อ 3 ลำดับแรกพบว่า ความเหมาะสมในการปฏิสัมพันธ์โต้ตอบระหว่างผู้ใช้งาน รองลงมาคือ ระบบให้ผลลัพธ์ถูกต้องตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน และความสอดคล้องระหว่างคำถาม คำตอบ และคำแนะนำ ตามลำดับ ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาจุดด้อยที่ต้องพัฒนามากที่สุด พบว่าความครอบคลุมเนื้อหาในงานบริการด้านงานวิจัย ซึ่งผลการวิจัยมีความสอดคล้องกับผลวิจัยของ จักรินทร์ สันติรัตนภักดี (2561) ที่ได้ทำการพัฒนาใช้แชทบอท Chatfuel ปฏิสัมพันธ์กับลูกค้าในรูปแบบตลาดออนไลน์ ผลการวิจัยพบว่า การประเมินผลในภาพรวม อยู่ในระดับดี ($\bar{X}=3.68$) เมื่อกล่าวถึงจุดเด่นของแชทบอทคือ ด้านการเรียนรู้ของผู้ใช้และด้านประสิทธิภาพ ($\bar{X}=4.20$ และ 3.97) และจุดที่ควรพัฒนาเพิ่มเติมคือ ด้านความครอบคลุม ($\bar{X}=3.07$) [8] สอดคล้องกับ รัตนาวลี ไม่สีก และจิราวรรณ แก้วจินดา (2562) ทำการวิจัยแอปพลิเคชันแชทบอทเพื่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรและวัฒนธรรม ผลการประเมินความเจตคติของผู้ใช้ที่มีต่อระบบฯ พบว่า ในภาพรวมผู้ใช้มีความพึงพอใจระบบฯ ต่อการใช้งานโดยรวม ($\bar{X}=3.80$) และความพึงพอใจน้อยสุดคือ ระบบมีความเป็นธรรมชาติใกล้เคียงกับการสนทนาของมนุษย์ ($\bar{X}=3.66$) [9]

นอกจากนี้ Chatbot ยังมีประโยชน์กับผู้ใช้งานในด้านการให้ข้อมูลที่ถูกต้อง รวดเร็วและแนะนำข้อมูลที่ต้องการได้ เนื่องด้วยในปัจจุบันพฤติกรรมของผู้ใช้งานที่มุ่งเน้นการสื่อสารระหว่างบุคคลกับอีกบุคคลผ่านแอปพลิเคชันสำหรับการสื่อสารที่มีลักษณะความเป็นส่วนตัวมากขึ้น ซึ่งในขณะเดียวกันก็มีการพัฒนาให้เทคโนโลยีมีความสามารถและความเป็นธรรมชาติ คล้ายคลึงกับมนุษย์มากที่สุดเพื่อยกระดับประสิทธิภาพการสนทนาของผู้ใช้งานให้ดียิ่งขึ้นกว่ารูปแบบเดิม ซึ่งอยู่ในรูปแบบระบบตอบโต้อัตโนมัติหรือแชทบอท ส่งผลให้

แชทบอทมีบทบาทสำคัญที่ช่วยเพิ่มคุณค่าให้แก่กิจกรรมต่าง ๆ ในการเป็นสื่อกลางระหว่างผู้ให้ข้อมูลกับผู้ใช้งานที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับงานด้านการให้บริการ จะเห็นได้ว่าแอปพลิเคชันแชทบอทได้มีบทบาทในการส่งเสริมความสัมพันธ์อันดีระหว่างผู้ใช้งานและผู้ให้ข้อมูลซึ่งสามารถพิจารณาให้เห็นได้จากผลงานวิจัยฉบับนี้และมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของนักวิจัยรายอื่น ๆ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย “ทุนสนับสนุนการพัฒนางานประจำสู่งานวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2564”

เอกสารอ้างอิง

1. More Than 50 Percent of Organizations That Manage Innovation Processes Will Gamify Those Processes [Internet]. 2011; [cited 2020 May 15]. Availability from: <http://www.gartner.com/newroom/id/1629214>.
2. Budsabok S, Pechpong N, Singtokaeo C. [Development of chatbot application for student services case study: Division of student development Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi]. JARST. 2020;19(2):85-94. Thai.
3. Buakaew V, Netinan P. The Development of Grad School's Line Bot In: Graduate School, Rangsi University. The 15th RSU National Graduate Research Conference; 2020 Aug 13; 2020. p. 2406-13.
4. Chitiyaphol J, Dornpinij P. [Developing an information system for learning computer network vocabulary through the Line chatbot application]. Interdisciplinary Academic and Research Journal. 2022;2(4):607-18. Thai.
5. Burgess A. AI in Action. In: Burgess A, editor. The Executive Guide to Artificial Intelligence. London: AJBurgess Ltd; 2018. p. 73-89.
6. Institute of Research and Development. Government action plan for the year 2020. Institute of Research and Development Rajamangala University of Technology Thanyaburi; 2020. p. 4-36.
7. Ngammanasiri P. Dialogflow: Intent, Parameters and Fulfillment [Internet]. 2019; [cited 2020 May 15]. Availability from: <https://tangerinecoth.wordpress.com>.
8. Santirattanaphakdi C. [Online marketing and customer service by chatbot case study: chatfuel in customer Interactive on messenger]. Sripatum Review of Science and Technology. 2018;10:71-87. Thai.
9. Maisak R, Kaewchinda J. Chatbot applications will serve as Eco-tourism assistants [dissertation]. Rajamangala University of Technology Phra Nakhon; 2562.



การพัฒนาสูตรกล้วยกวนปรุงรสโดยผสมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรส

Development of Formulation for Seasoning Banana Puree by Mixing with Tropical Fruits Paste Mixed with Banana Peel Powder and Passion Fruit Puree

อินทิรา ลิจันทรพร* นันทชนก นันทะไชย ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์ และ ภุรินทร์ อัครกุลธร

Intira Lichanporn*, Nanchanok Nanthachai, Palida Tanganurat and Purin Akkarakultron

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Division of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

*Corresponding author e-mail: intira_l@rmutt.ac.th

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: February 22, 2023

Revised: April 12, 2023

Accepted: April 17, 2023

Available online: April 28, 2023

DOI: 10.14456/jarst.2023.9

Keywords: Banana peel, banana paste, passion fruit, antioxidant

This study aimed to develop a formulation for tropical fruit paste mixed with banana peel and passion fruit puree. Banana peel powder is fine-grained brown, and L^* , a^* and b^* were 38.38, -0.21, and 2.74%. Total soluble solids, pH, and titratable acidity were 3.16%, 6.50, and 10.73%, respectively. The total phenolic and antioxidant content of banana peel powder were 76.86 μg GAE/gDW and 45.47 μg Trolox/gDW, respectively. The effects of banana peel powder mixed with passion fruit puree on physical, chemical, and sensory qualities in banana paste were determined by using banana peel to passion fruit puree ratios of 0:0(control; BC), 150:0(B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4), and 75:75(B5) g. The results showed that banana products used banana peel to passion fruit puree ratios of 50:100(B3), with the highest overall taste, color, and preference, equal to 8.52, 8.28, and 8.49 scores, respectively. The color (L^* , a^* , and b^*) of banana products using banana peel to passion fruit puree ratios of 50:100 was 40.92, -1.01, and 2.09, respectively. It has a pH, titratable acidity, and total soluble solids of 5.22, 1.87%, and 23.27%. The phenolic content and antioxidant compounds were 7.70 μg GAE/gDW and 43.42 μg Trolox/gDW. The post-seasoning banana paste product contains phenolic compounds and antioxidants with 10.54 μg GAE/gDW and 43.04 μg Trolox/gDW. While paste banana products use banana peel to passion fruit puree

ratios of 0:0(BC) and 0:100(B4), they have the lowest overall color, taste, texture, and acceptability scores. Therefore, adding banana peel powder and passion fruit puree to banana paste products can help increase antioxidants.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรกล้วย กวนผสมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรส โดยเลือกกล้วยผงมีสีน้ำตาลเนื้อละเอียด มีค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 38.38 -0.21 และ 2.74 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 3.16 ความเป็นกรดต่าง 6.50 ปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 10.73 ส่วนฟีนอลิกทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 76.86 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 45.47 ไมโครกรัมสมมูลของโพลีฟีนอล/กรัมน้ำหนักแห้ง การศึกษาปริมาณผงเปลือกกล้วยผสมน้ำเสาวรสต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์กล้วยกวน โดยใช้ผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(ชุดควบคุม;BC), 150:0(B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4) และ 75:75(B5) กรัม พบว่าผลิตภัณฑ์กล้วยกวนใช้อัตราส่วนเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 50:100(B3) มีรสชาติ สี และความชอบโดยรวมมากที่สุด เท่ากับ 8.52 8.28 และ 8.49 คะแนน ตามลำดับ มีค่า L^* a^* b^* เท่ากับ 40.92 -1.01 และ 2.09 ตามลำดับ มีค่ากรดต่างเท่ากับ 5.22 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำร้อยละ 1.87 และ 23.27 ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนก่อนปรุงรสมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 7.70 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 43.42 ไมโครกรัมสมมูลของโพลีฟีนอล/กรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนผลิตภัณฑ์กล้วยกวนหลังปรุงรสมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 10.54 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 43.04 ไมโครกรัมสมมูลของโพลีฟีนอล/กรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนใช้อัตราส่วนเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(BC) และ 0:100(B4) มีคะแนนด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมต่ำที่สุดเนื่องจากไม่มีส่วนผสมของผงเปลือกกล้วยจึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น

ดังนั้นการเติมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสลงในผลิตภัณฑ์กล้วยกวนจึงช่วยเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระได้

คำสำคัญ: เปลือกกล้วย กล้วยกวน เสาวรส สารต้านอนุมูลอิสระ

บทนำ

ผลไม้กวนในปัจจุบันถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนแบ่งในตลาดค่อนข้างสูง และยังเป็นที่ยอดนิยมของทุกวัย ซึ่งในหลายบริษัทได้มีการแข่งขันกันเพื่อลดปริมาณน้ำตาลในผลไม้กวนและสร้างผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพมากขึ้น กล้วยกวน (Banana Paste) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากกล้วยที่สุกงอม และเลือกมีสีตามาใช้ในการแปรรูปโดยกวนกับน้ำตาลหรืออาจมีกะทิเป็นส่วนผสม กวนจนมีลักษณะตามที่ต้องการ [1] ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนที่ดีควรใช้วัตถุดิบที่อยู่ในสภาพดี ไม่เน่าเสีย ผลิตภัณฑ์จะต้องมีลักษณะเนื้อสัมผัสตามชนิดของผลไม้ มีสีสม่ำเสมอ ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ และจะต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอม [2] จากงานวิจัยของ Wiesoppa และ Kwanmuang [3] ได้พัฒนากล้วยกวน โดยปรับอัตราส่วนการใช้สับประรด สตรอว์เบอร์รี โปรตีนถั่วเหลือง สก๊ต และรีบาวตีโอไซด์ พบว่าสูตรกล้วยกวนที่ผู้บริโภคยอมรับประกอบด้วยกล้วย น้ำว่า สับประรดสตรอว์เบอร์รี น้ำกระเจียวแดงเข้มข้น น้ำตาลทรายขาว น้ำตาลมะพร้าว น้ำกะทิ กลูโคสไซรัป โปรตีนถั่วเหลืองสก๊ตรีบาวตีโอไซด์ และเกลือ ในปริมาณร้อยละ 48 15.67 9.40 6.27 2.35 0.78 18.81 1.57 1.07 0.012 และ 0.19 มีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบจากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคด้วยวิธีทดสอบแบบ 9 ระดับ เท่ากับ 6.22 ± 1.67 ค่า สี L^* a^* และ b^* ความแข็ง (N) ค่าความเป็นกรดต่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix) เท่ากับ 29.72, 5.97, 5.92, 4.56, 4.38 และ 53.33 ตามลำดับ คุณค่าทางโภชนาการของกล้วยกวน 100 กรัม ให้พลังงาน 316 กิโลแคลอรี มีคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันร้อยละ 58.2, 4.57 และ 7.17 โดยมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ไม่น้อยกว่า 90 วัน ในปัจจุบันการ

ใช้ประโยชน์จากเปลือกกล้วยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีต้นทุนต่ำยังมีการศึกษากันน้อย

เปลือกกล้วยเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากการนำเนื้อมีกล้วยไปแปรรูป อีกทั้งยังมีคุณค่าทางอาหารสูงเปลือกกล้วย (Banana Peel) ซึ่งอุดมไปด้วยสารอาหาร เช่น แร่ธาตุ น้ำตาล เส้นใยอาหาร และสารต้านอนุมูลอิสระ [4] ดังนั้นการสูญเสียวัสดุทิ้งที่เหลือทิ้งนี้จึงเป็นการสูญเสียคุณค่าทางสารอาหารไปโดยเปล่าประโยชน์ โดยได้มีการนำต้นกล้วยซึ่งเป็นสารชีวโมเลกุลมาเพิ่มมูลค่า เช่น เส้นใยเซลลูโลส เป็นวัตถุดิบสำหรับกระดาษ [5] ปุยอินทรีย์ [6] ไบโอดีท [7] และกรดแลคติก [8] เป็นต้น เปลือกกล้วยเป็นแหล่งฟีนอลิกที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ เปลือกคิดเป็นร้อยละ 40 ของน้ำหนักทั้งหมด [9] และเปลือกเหล่านี้ปัจจุบันใช้เป็นปุ๋ยหรือกำจัดทิ้งในหลาย ๆ ประเทศ [10] จากข้อมูลของสถาบันมาตรฐานมะเร็งแห่งชาติ [11] พบว่าสารสกัดจากเปลือกกล้วยจัดว่าไม่เป็นพิษต่อเซลล์ปกติของมนุษย์ ดังนั้นสามารถใช้เป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติได้อย่างปลอดภัย นอกจากนี้เส้นใยอาหารและสารเพคตินของเปลือกกล้วยสูงกว่าเปลือกผลไม้อื่น ๆ เปลือกกล้วยมีเส้นใยอาหารสูง (ร้อยละ 50 ของเปลือกกล้วย) ทำให้มีแนวโน้มที่จะนำไปใช้งานที่หลากหลายในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพแม้ว่าเปลือกกล้วยจะมีฟีนอลิก และเส้นใยอาหารปริมาณมาก แต่สามารถบริโภคได้เพียงน้อยมาก เนื่องจากเมื่อผสมในส่วนประกอบอาหารส่งผลต่อรสชาติและเนื้อสัมผัส อย่างไรก็ตามเปลือกกล้วยยังอุดมไปด้วยเพคติน (ร้อยละ 9-22) [12] ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ที่จะผลิตผลไม้กวนผสมเปลือกกล้วยปรุงรสซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่บริโภคได้ในทุกกลุ่มอายุ

เสาวรส อุดมด้วยวิตามินซี คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ โยอาหาร และน้ำตาล กรดอะมิโนอิสระจำพวก ลูซีน วาลีน โปรตีน อาร์จินีน และกรดแอสปาดิก นอกจากนี้ยังมีไขมัน แร่ธาตุ แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โซเดียม และสังกะสี [13] จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำเสาวรสน้ำอ้อยที่มีต่อการผลิตเสาวรสมผสมน้ำอ้อยพบว่าน้ำเสาวรสมีวิตามินเอและซี สูงสุดเท่ากับ 35.94 ไมโครกรัม/100 กรัมและ 4.44 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ การผสมน้ำเสาวรสน้ำอ้อยในอัตราส่วนเท่ากับ 20:80 ได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุดซึ่งการใช้น้ำเสาวรสน้ำอ้อยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพ [14] ปริมาณฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระใน

น้ำผลไม้มีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น แหล่งที่มาของวัตถุดิบ กระบวนการล้าง การให้ความร้อน การคั้นน้ำ การบรรจุภัณฑ์และการเก็บรักษาที่ส่งผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้ [15] Chayrat และ Sathongin [16] ได้ศึกษาผลไม้กวนที่มีปริมาณฟีนอลิกส้มโอร้อยละ 2.50 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำทั้งหมด และมีปริมาณฟีนอลิกมากที่สุด คือ 13.0 °Brix และ 13.70 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ค่าสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วงร้อยละ 15.62 – 26.62 ผลไม้กวนที่มีเปลือกส้มโอปริมาณร้อยละ 0.50 มีแนวโน้มได้รับการยอมรับทางด้านการประสาทสัมผัสมากที่สุด Phayung และคณะ [17] ได้นำน้ำใบย่านางมาสกัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสพบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุด และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อโดยวิธีพาสเจอร์ไรส์มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น และเมื่อนำน้ำใบย่านางมาผสมกับผลไม้กวนมีการเก็บได้ไม่เกิน 4 สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส

ปัจจุบันพบว่าเปลือกกล้วยใช้ผลิตแป้งเค้ก [18] และโดนัท [19] มาผสมในกล้วยกวน ดังนั้นการผลิตกล้วยกวนจากเปลือกกล้วยผสมน้ำเสาวรสน้ำอ้อยมาปรุงรสด้วยพริก เกลือ จึงเป็นทางเลือกที่ดี เนื่องจากเปลือกกล้วยมีโยอาหาร สารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระ เมื่อผสมในกล้วยกวนช่วยเพิ่มสารอาหาร และการเพิ่มเสาวรสน้ำอ้อยในผลิตภัณฑ์กล้วยกวนช่วยเพิ่มวิตามินซี และปรับปรุงรสชาติของกล้วยกวนได้ อีกทั้งช่วยเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง มีต้นทุนในการผลิตต่ำ ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเปลือกกล้วย และปริมาณฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มรายได้แก่ชุมชน ลดของเหลือทิ้งทางการเกษตรได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัสดุทดลอง

การเตรียมวัตถุดิบเปลือกกล้วยหอม ดัดแปลงจาก Adisakwattana [20] โดยนำเปลือกกล้วยหอมสุก

100% มาล้างทำความสะอาด ตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ (1.5×1.5 เซนติเมตร) และลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส (เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาล) นาน 3 นาที จากนั้น นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 17 ชั่วโมง (ความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 7) บดให้ละเอียด ร้อนผ่านตะแกรงที่มีความถี่ 200 เมช และบรรจุใส่ถุงซิปล็อค นำใส่โถดูดความชื้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเปลือกกล้วย

นำผงเปลือกกล้วยที่ผ่านการอบแห้งมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ การวัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดค่าสี Minolta และแสดงผลในรูป ค่าความสว่าง (L^*), ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) การวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid Content, TSS) ด้วยเครื่อง Hand refractometer 0 – 32 °Brix การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่อง pH meter (ยี่ห้อ Sartorius) ปริมาณกรดทั้งหมด (Total Acidity) [21] ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin Ciocalteu reagent ดัดแปลงจาก Tsai และคณะ [22] และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay ดัดแปลงจาก Shimada และคณะ [23] และ Brahmahirankul [24]

3. ศึกษาปริมาณเปลือกกล้วยผสมน้ำเสาวรสต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์กล้วยกวนจากเปลือกกล้วย

3.1 การเตรียมน้ำเสาวร

นำผลเสาวรที่แก่จัดและยังสดอยู่ล้างทำความสะอาด แล้วผ่าออกเป็น 2 ซีก ตักเนื้อพร้อมทั้งเมล็ดขยี้ผ่านตะแกรงที่มีรูเล็กพอที่เมล็ดจะลอดลงไปได้ จากนั้นนำเสาวรสมากรองผ่านผ้าขาวบาง 2 ชั้น [25] แล้วนำน้ำเสาวรไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.2 ขั้นตอนกระบวนการผลิตกล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวร

เตรียมส่วนผสมการผลิตกล้วยกวน ดังนี้ ชั่งน้ำตาลทราย (100 กรัม) และเบะแซ (100 กรัม) น้ำกะทิ (250 กรัม) เกลือ (6 กรัม) จากนั้นเติมส่วนผสมดังกล่าวในกระทะทองเหลือง ยกเว้นเบะแซ กวนโดยใช้ไฟปานกลางจนขึ้นเหนียว เพื่อให้ส่วนผสมร้อนสม่ำเสมอและไม่เกิดการไหม้ เติมเบะแซและกวนต่อจนขึ้น

ส่วนผสมเริ่มร้อนจากกระทะและเวลาพักไม่ไหลง่าย ระยะเวลาการกวนประมาณ 30-45 นาที การเตรียมส่วนผสมการผลิตกล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวร โดยชั่งส่วนผสมเหมือนการผลิตกล้วยกวน แต่ผสมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรในส่วนผสมด้วยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มีสิ่งทดลองทั้งหมด 6 สิ่งทดลอง แต่ละสิ่งทดลองใช้ 3 ซ้ำ จัดสิ่งทดลองได้ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 ผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวร 0:0 กรัม
 สิ่งทดลองที่ 2 ผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวร 150:0 กรัม
 สิ่งทดลองที่ 3 ผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวร 100:50 กรัม
 สิ่งทดลองที่ 4 ผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวร 50:100 กรัม
 สิ่งทดลองที่ 5 ผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวร 0:150 กรัม
 สิ่งทดลองที่ 6 ผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวร 75:75 กรัม

จากนั้นนำกล้วยกวนไปแผ่บนแผ่นพลาสติกใส วางทับด้วยแผ่นพลาสติกใสด้านบนอีกหนึ่งแผ่น และรีดให้ได้ความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร นำไปวางบนถาดสำหรับอบแห้ง ลอกแผ่นพลาสติกด้านบนออกเพื่อให้ผลไม้กวนแห้งได้ดี ต้องรีดผลไม้กวนให้เป็นแผ่นที่มีความหนาสม่ำเสมอ เพื่อให้อบแห้งได้เท่า ๆ กัน นำไปอบในตู้อบลมร้อน ให้แห้งถ้าใช้ตู้อบลมร้อน อบที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 28-30 ชั่วโมง เมื่อผิวด้านบนของแผ่นผลไม้กวนแห้งแล้วจึงกลับด้าน และลอกแผ่นพลาสติกใสออก อบต่อจนแห้งทั้ง 2 ด้าน สังเกตโดยใช้มือแตะที่ผลไม้กวนต้องไม่แห้งหรือแข็งเกินไป บรรจุใส่ในถุงพลาสติกปิดถุงให้สนิท เพื่อบรรจุการนำแผ่นผลไม้กวนให้แห้งเป็นชิ้นขนาด 3×10 มิลลิเมตร คลุกเนื้อผลไม้กวนที่แห้งแล้วกับเครื่องปรุง ประกอบด้วย น้ำตาลทราย เกลือ พริกป่น และผงเซเมอปริมาณเท่ากับ 20 20 5 และ 2 กรัม ตามลำดับ บรรจุในถุงพลาสติกปิดให้สนิท [26] นำไปวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

3.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี และคุณภาพทางเคมีดังนี้ การวัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดค่าสี Minolta และแสดงผลในรูป ค่าความสว่าง (L^*), ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) การวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ด้วยเครื่อง Hand refractometer 0 – 32 °Brix การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด [21]

การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดดัดแปลงจาก Tsai และคณะ [22] การวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay ดัดแปลงจาก Shimada และคณะ [23] และ Brahmahirankul [24] การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยนำผลไม้จากเปลือกกล้วยปรงรสมาวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการให้คะแนนความชอบด้วยวิธี Hedonic scale [27] เพื่อวัดคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน แล้วใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (RCBD) [28]

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ/สิ่งทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ Anova (Analysis of Variance) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติแบบ Duncan's Multiple Range Test

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเปลือกกล้วยผง พบว่าเปลือกกล้วยผงมีสีน้ำตาลอ่อนละเอียด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผงเปลือกกล้วยหอม

จากตารางที่ 1 แสดงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผงเปลือกกล้วยหอมพบว่ามีค่า L^* a^* และ b^*

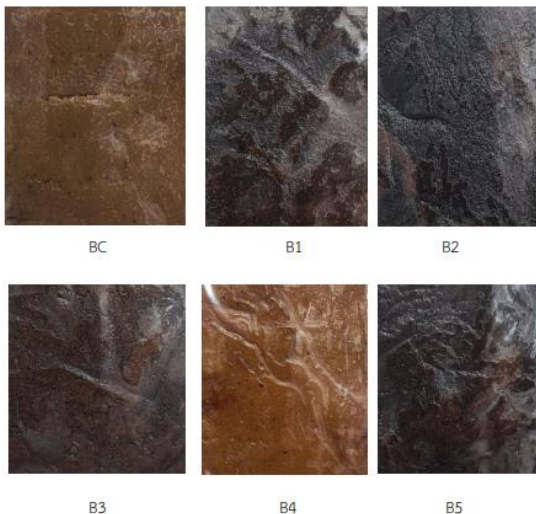
เท่ากับ 38.38 -0.21 และ 2.74 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 3.16 ความเป็นกรด-ด่าง 6.50 ปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 10.73 ส่วนฟีนอลิกทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 76.86 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 45.47 ไมโครกรัมสมมูลของโทรลอคซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เปลือกกล้วยเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบฟีนอลิก สารเหล่านี้มีฤทธิ์ต้านมะเร็ง ต้อต่านวัย และมีคุณสมบัติด้านการอักเสบ และมีความสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์ สารประกอบฟีนอลิก และแทนนินมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 6411 มิลลิกรัม/100 กรัมของเปลือกแห้ง และ 1056 มิลลิกรัม/100 กรัมของเปลือกแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังพบว่ากล้วยสุกมีสารประกอบฟีนอลิก (GAE) และแทนนิน (TAE) ลดลง [29] จากงานวิจัยของ Anhwange และคณะ [30] ได้วิเคราะห์เปลือก *Musa sapientum* พบว่ามีปริมาณแร่ธาตุ ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม โซเดียม เหล็ก แมงกานีส โบรมีน รูบิเดียม สตรอนเทียม เซอร์โคเนียม และไนโอเบียม เป็น 78.10, 19.20, 24.30, 0.61, 76.20, 0.04, 0.21, 0.03, 0.02 และ 0.02 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเส้นใย เท่ากับร้อยละ 0.90, 1.70, 59.00 และ 31.70 ตามลำดับ ดังนั้นเปลือกกล้วยจึงเป็นแหล่งที่ดีของสารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระ รวมทั้งแร่ธาตุและองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ นำไปใช้ประโยชน์ด้านอาหารได้

ตารางที่ 1 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเปลือกกล้วยหอม

คุณภาพทางกายภาพและเคมี	ปริมาณ
ค่าสี	
L^* value	38.38
a^* value	-0.21
b^* value	2.74
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (%)	3.16
ความเป็นกรด-ด่าง	6.50
ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	10.73
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (μg GAE/g. DW)	76.86
สารต้านอนุมูลอิสระ (μg Trolox/g. DW)	45.47

จากการนำผงเปลือกกล้วยผสมเสาวรสมาผลิตผลไม้กวนจากเปลือกกล้วยโดยใช้อัตราส่วนเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(ชุดควบคุม;BC), 150:0(B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4) และ 75:75(B5) กรัม พบว่าผลิตภัณฑ์กล้วยกวนมีสีแตกต่างกันตามปริมาณของผงเปลือกกล้วยที่เพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนที่ไม่ได้ผสมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรส (B1) มีสีน้ำตาล แต่เข้มกว่าผลิตภัณฑ์กล้วยกวนที่ไม่เติมผงเปลือกกล้วยแต่เติมน้ำเสาวรส (B4) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เติมผงเปลือกกล้วยมีสีดำ (รูปที่ 2)

ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนที่ผสมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสนำมาปรุงรสด้วยพริกป่น น้ำตาล เกลือ และผงพะยอมโดยใช้อัตราส่วนผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(ชุดควบคุม;BI-C), 150:0(BI-1), 100:50(BI-2), 50:100(BI-3), 0:150(BI-4) และ 75:75(BI-5) กรัม พบว่าผลิตภัณฑ์กล้วยกวนที่มีอัตราส่วนของเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:150(BI-4) มีสีน้ำตาลอ่อน ในขณะที่ชุดควบคุมมีสีน้ำตาลเข้ม และผลิตภัณฑ์กล้วยกวนที่ผสมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 150:0(BI-1), 100:50(BI-2), 50:100(BI-3) และ 75:75(BI-5) มีสีดำ (รูปที่ 3)



รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(BC), 150:0(B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4), 75:75(B5)



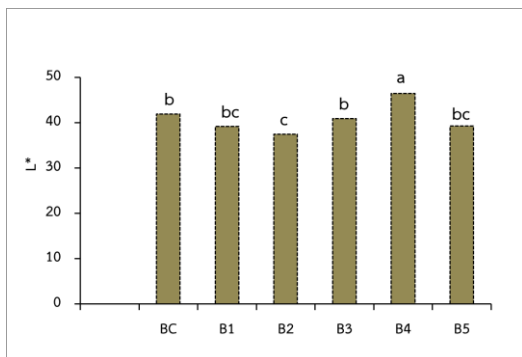
รูปที่ 3 ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสที่ผ่านการปรุงรสด้วย น้ำตาลทราย เกลือ พริกป่น และผงพะยอม ปริมาณเท่ากับ 20 20 5 และ 2 กรัม อัตราส่วนของผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(BI-C), 150:0(BI-1), 100:50(BI-2), 50:100(BI-3), 0:150(BI-4), 75:75(BI-5)

สีของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนขึ้นอยู่กับปริมาณของผงเปลือกกล้วย เมื่อเพิ่มปริมาณของผงเปลือกกล้วยส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 150:0(B1) 100:50(B2) และ 75:75(B5) มีค่า L^* น้อยกว่ากล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรส ในอัตราส่วน 0:0(BC) 50:100(B3) และ 0:150(B4) ซึ่งสัมพันธ์กับค่า a^* และ b^* ที่มีสีเข้มมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกของกล้วยยังคงมีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสอยู่ และเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างเอนไซม์และสารประกอบฟีนอลิกในเปลือกกล้วย และจากงานวิจัยของ Wohlt และคณะ [31] พบว่าการใช้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียส เวลา 5-15 นาที สามารถยับยั้งเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ ซึ่งเป็นไปได้ว่าการใช้ความร้อนในการอบแห้งเปลือกกล้วยหอมการกวน และอบแห้งผลิตภัณฑ์กล้วยกวนซึ่งใช้อุณหภูมิระหว่าง 60-80 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งเอนไซม์ดังกล่าวได้บางส่วน แต่ยังคงมีเอนไซม์ที่ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนมีสีน้ำตาลเข้มจึงถึงสีดำตามปริมาณผงเปลือกกล้วยที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่การผสมน้ำเสาวรสช่วยให้ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนมีสีน้ำตาล โดยผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยอัตราส่วน 0:150(B4) มีค่า L^* มากที่สุดเท่ากับ 46.43 รองลงมา

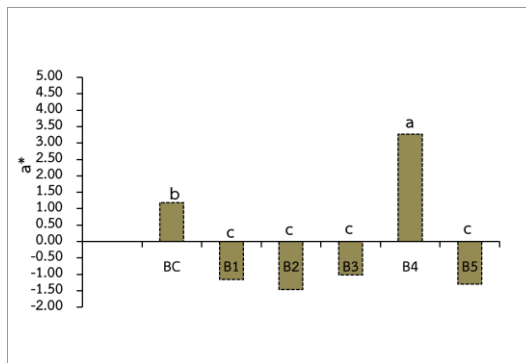
คืออัตราส่วน 0:0(BC) 50:100(B3) 75:75(B5) 150:0(B1) และ 100:50(B2) มีค่า L^* เท่ากับ 41.87 40.92 39.31 39.15 และ 37.45 ตามลำดับ (รูปที่ 4) ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อและน้ำเสาวรสมีสารแคโรทีนอยด์อยู่ในปริมาณ 3.83 มิลลิกรัมสมมูลของเบต้าแคโรทีนอยด์/100 กรัมตัวอย่าง และมีฟลาโวนอยด์เท่ากับ 70.10 มิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีติน/100กรัมของตัวอย่าง [32] ซึ่งทั้งสองชนิดเป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง ดังนั้นเมื่อผสมในกล้วยกวนในปริมาณมากอีกทั้งไม่มีการเติมผงเปลือกกล้วยที่มีสีดำ จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนมีสีน้ำตาลอ่อน

ค่าสีแดง (a^*) ของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 0:150(B4) มีสีแดงมากที่สุด เนื่องจากมีส่วนผสมของน้ำเสาวรสอยู่มากที่สุดจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีแดง โดยมีค่า a^* เท่ากับ 3.27 กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 0:0(BC) 150:0(B1) 100:50(B2) 50:100(B3) และ 75:75(B5) มีค่า a^* 1.19 -1.16 -1.46 -1.01 และ -1.29 ตามลำดับ (รูปที่ 5)

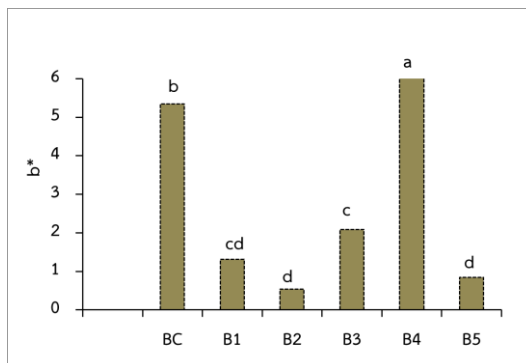
ค่าสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 0:150(B4) มีสีเหลืองมากที่สุดเท่ากับ 7.72 รองลงมาคือผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 0:0(BC) 50:100(B3) 150:0(B1) 75:75(B5) และ 100:50(B2) มีค่า b^* เท่ากับ 5.35 2.09 1.31 0.84 และ 0.54 ตามลำดับ (รูปที่ 6)



รูปที่ 4 ค่าสี L^* ของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(BC), 150:0(B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4), 75:75(B5)



รูปที่ 5 ค่า a^* ของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(BC), 150:0(B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4), 75:75(B5)

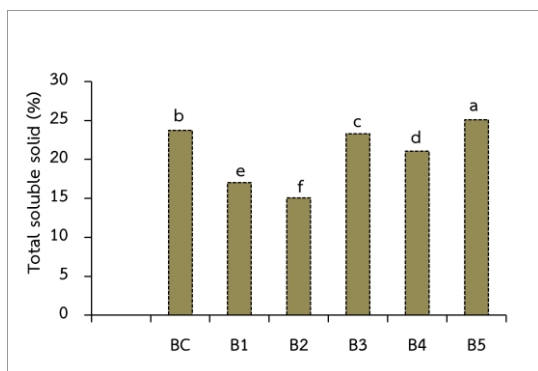


รูปที่ 6 ค่า b^* ของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(BC), 150:0(B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4), 75:75(B5)

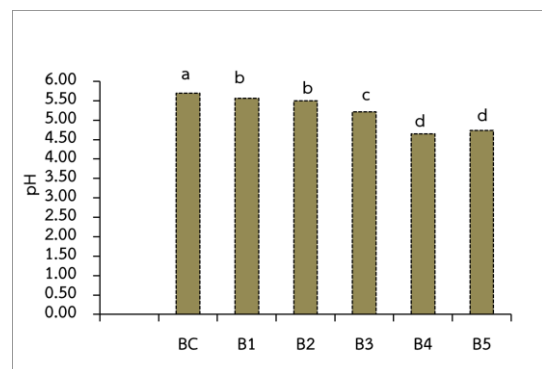
ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดน้อยเมื่อเติมผงเปลือกกล้วย ในปริมาณ 100(B2) และ 150(B1) กรัม โดยมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 15.07 และ 17.03 ในขณะที่ชุดควบคุมและผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 50:100(B3) 0:150(B4) และ 75:75(B5) มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 23.73 23.27 21.07 และ 25.10 ตามลำดับ (รูปที่ 7) Oliveira และคณะ [33] รายงานว่าเนื้อเสาวรสมีสารของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 7.7 ± 0.20 °Brix ส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ 3.13 กรัม/100 กรัม ซึ่งจากการทดลองนี้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ในช่วงร้อยละ 15-24 โดยการเติมผงเปลือกกล้วยส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์กล้วยกวนที่ไม่เติมผงเปลือกกล้วย

ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 0:150 และ 75:75 มีความเป็นกรด-

ต่างต่ำกว่าผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 0:0 150:0 100:50 และ 50:100 โดยผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 0:0(BC) มีความเป็นกรดต่ำสูงสุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 150:0(B1) 100:50(B2) 50:100(B3) 75:75(B5) และ 0:150(B4) เท่ากับ 5.69 5.57 4.49 5.22 4.73 และ 4.65 ตามลำดับ (รูปที่ 8) จากงานวิจัยของ Oliveira และคณะ [33] ได้ศึกษาองค์ประกอบของเนื้อเสาวรสโดยกรด-ต่างของน้ำเสาวรสเท่ากับ 2.8 และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ คือ 2.87 ดังนั้นการเติมน้ำเสาวรสที่มากขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนมีค่ากรด-ต่างต่ำกว่าไม่เติมน้ำเสาวรส



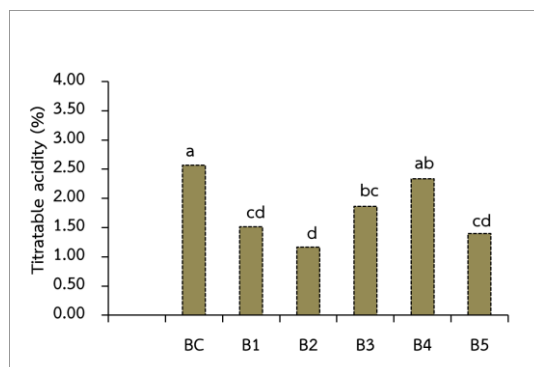
รูปที่ 7 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(BC), 150:0(B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4), 75:75(B5)



รูปที่ 8 ค่าความเป็นกรด-ต่างของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0 (BC), 150:0 (B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4), 75:75(B5)

ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 0:0(BC) (ร้อยละ 2.57) มีปริมาณ

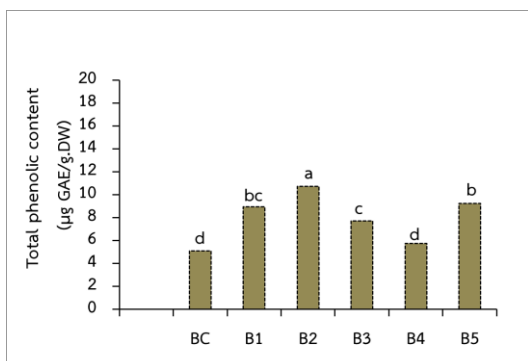
กรดทั้งหมดสูงสุดไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 0:150(B4) (ร้อยละ 2.33) การเติมผงเปลือกกล้วยในผลิตภัณฑ์กล้วยกวนส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.87-1.17 โดยผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 150:0(B1) 100:50(B2) 50:100(B3) และ 75:75(B5) มีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 1.52 1.17 1.87 และ 1.40 ตามลำดับ (รูปที่ 9) การเติมน้ำเสาวรสในผลิตภัณฑ์กล้วยกวนส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดต่ำกว่าผลิตภัณฑ์กล้วยกวนที่ไม่เติมน้ำเสาวรสทั้งนี้มียางานว่าเสาวรสมีวิตามินซีเท่ากับ 44.40 มิลลิกรัมของกรดแอสคอร์บิก/ 100 กรัม [34] น้ำเสาวรสประกอบด้วยกรดอินทรีย์หลายชนิดได้แก่ กรดซิตริก กรดมาลิก กรดแลกติก กรดแอสคอร์บิก เป็นต้น [35] ดังนั้นจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนมีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำ



รูปที่ 9 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0 (BC), 150:0 (B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4), 75:75(B5)

ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 0:0(BC) และ 0:150(B4) มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด น้อยกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปริมาณเท่ากับ 5.12 และ 5.76 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากการไม่มีการเติมผงเปลือกกล้วย โดยผงเปลือกกล้วยจะมีสารประกอบฟีนอลิกเป็นส่วนประกอบ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 100:50(B2) มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 10.72 ไมโครกรัมสมมูลของ

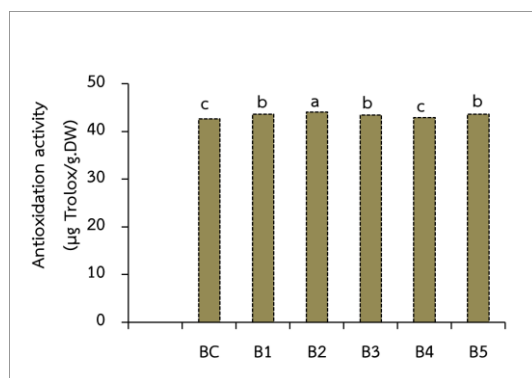
กรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือ ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 75:75(B5) ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 150:0(B1) และผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 50:100(B3) ซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 9.24 8.94 และ 7.70 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (รูปที่ 10) ในงานวิจัยนี้เปลือกกล้วยมีสารประกอบฟีนอลิกเท่ากับ 76.86 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง และจากหลายรายงานพบว่าสารประกอบฟีนอลิกหลักในเปลือกกล้วยประกอบด้วยกลุ่มของฟลาโวนอยด์ เช่น Rutin และ myricetin [36] โดยปริมาณ Rutin มีอยู่ในแป้ง buckwheat (ร้อยละ 0.08–0.20) [37] ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นแหล่ง Rutin ที่สำคัญในอาหาร อีกทั้งเปลือกกล้วยยังมี Carotenoids ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ สารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านการก่อมะเร็ง และป้องกันโรคอ้วนได้ [38] กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยนอกจากมีสารประกอบฟีนอลิกแล้ว ในส่วนของผลเสาวรสยังมีสารประกอบฟีนอลิกอยู่ด้วยซึ่งมีรายงานเท่ากับ 81 มิลลิกรัม/100 กรัม [39] ดังนั้นการผลิตกล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าผลิตภัณฑ์กล้วยกวนเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 10 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยก่อนปรุงรสต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(BC), 150:0(B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4), 75:75(B5)

ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 150:0(B1) มีปริมาณสารต้านอนุมูล

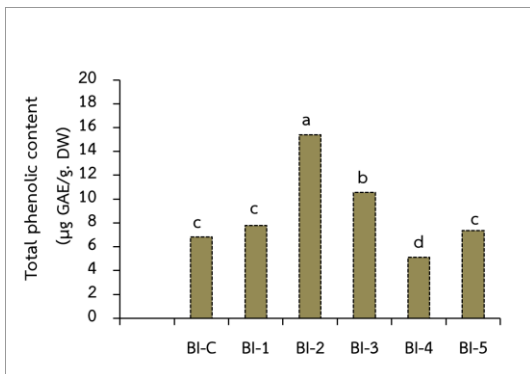
อิสระสูงสุดเท่ากับ 44.11 ไมโครกรัมสมมูลของโทร็อกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 75:75(B5) ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 150:0(B1) และผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 50:100(B3) มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 43.66 43.61 และ 43.42 ไมโครกรัมสมมูลของโทร็อกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 0:0(BC) และผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสในอัตราส่วน 0:150(B4) มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระต่ำสุดเท่ากับ 42.67 และ 42.92 ไมโครกรัมสมมูลของโทร็อกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง (รูปที่ 11) เปลือกกล้วยเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะสาร Galocatechin ซึ่งมีอยู่ในเปลือกกล้วย และเนื้อของกล้วยและแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ [40] สารต้านอนุมูลอิสระจะป้องกัน Reactive Oxygen Species (ROS) ดังนั้นในการทดลองนี้ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนที่ผสมเปลือกกล้วยมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด อีกทั้งการเติมน้ำเสาวรสในผลิตภัณฑ์กล้วยกวนยังช่วยเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระด้วย โดยมีรายงานว่าเสาวรสมีสารต้านอนุมูลอิสระในเนื้อเท่ากับ 869.05 ไมโครโมลสมมูลของโทร็อกซ์/กรัมน้ำหนักแห้ง [41]



รูปที่ 11 สารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยก่อนปรุงรสต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(BC), 150:0(B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4), 75:75(B5)

ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสหลังจากปรุงรสด้วยพริกป่น เกลือ น้ำตาล และผงอะมูมิ พบว่าผลิตภัณฑ์กล้วยกวนปรุงรสที่ไม่มี

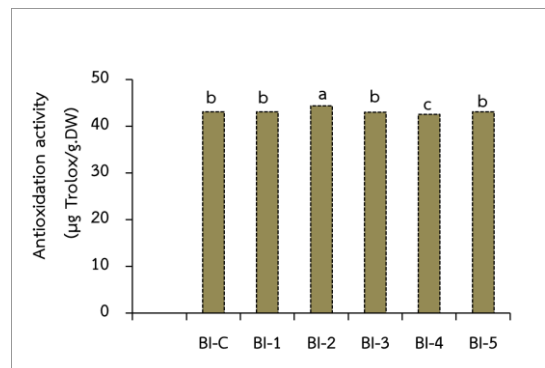
ส่วนผสมของผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสมีปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้นจากผลิตภัณฑ์กล้วยกวนที่ไม่ปรุงรสเดิม 5.12 เป็น 6.83 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักแห้ง และมีมากกว่าผลิตภัณฑ์กล้วยกวนปรุงรสที่มีผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสอัตราส่วน 100:50(B4) มีปริมาณฟีนอลิกมากที่สุดเท่ากับ 15.39 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือผลิตภัณฑ์กล้วยกวนปรุงรสที่มีผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสอัตราส่วน 50:100(B3) ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนปรุงรสที่มีผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสอัตราส่วน 150:0(B2) และ ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนปรุงรสที่มีผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสอัตราส่วน 75:75(B5) มีปริมาณฟีนอลิกเท่ากับ 10.54 7.78 และ 7.34 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (รูปที่ 12) ผงปรุงรสมีส่วนผสมของชะเอม และพริกป่นซึ่งมีส่วนประกอบของประกอบฟีนอลิก ดังนั้นจึงช่วยส่งเสริมให้มีปริมาณฟีนอลิกเพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 12 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสที่ผ่านการปรุงรสด้วย น้ำตาลทราย เกลือ พริกป่น และผงชะเอม ปริมาณเท่ากับ 20 20 5 และ 2 กรัม (อัตราส่วนของผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(BI-C), 150:0(BI-1), 100:50(BI-2), 50:100(BI-3), 0:150(BI-4), 75:75(BI-5))

ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสทั้งก่อนและหลังปรุงไม่มีความแตกต่างของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสหลังปรุงรสในอัตราส่วน 150:0(B1) มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดเท่ากับ 44.38 ไมโครกรัมสมมูลของโทรลอคซ์/กรัม น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำ

น้ำเสาวรสหลังปรุงรสในอัตราส่วน 75:75(B5) ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสหลังปรุงรสในอัตราส่วน 150:0(B1) และผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสหลังปรุงรสในอัตราส่วน 50:100(B3) มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 43.07 43.07 และ 43.04 ไมโครกรัมสมมูลของโทรลอคซ์/กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสหลังปรุงรสในอัตราส่วน 0:0(BC) และผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสหลังปรุงรสในอัตราส่วน 0:150(B4) มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระต่ำสุดเท่ากับ 43.07 และ 42.57 ไมโครกรัมสมมูลของโทรลอคซ์/กรัม น้ำหนักแห้ง (รูปที่ 13)



รูปที่ 13 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสที่ผ่านการปรุงรสด้วย น้ำตาลทราย เกลือ พริกป่น และผงชะเอม ปริมาณเท่ากับ 20 20 5 และ 2 กรัม (อัตราส่วนของผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(BI-C), 150:0(BI-1), 100:50(BI-2), 50:100(BI-3), 0:150(BI-4), 75:75(BI-5))

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนหลังปรุงรสที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 50:100 และ 75:75 มีคะแนนการยอมรับด้านสีมากที่สุด มีคะแนนเท่ากับ 8.52 และ 8.32 ตามลำดับ รองลงมาคือ ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนหลังปรุงรสที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 100:0 100:50 และ 0:0 มีคะแนนเท่ากับ 7.68 7.62 และ 6.30 ตามลำดับ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนหลังปรุงรสที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:150 มีคะแนนต่ำสุดเท่ากับ 5.58

ทั้งนี้สีของเสาวรสเป็นสีเหลืองเมื่อเติมลงในกล้วยกวน โดยไม่มีผงเปลือกกล้วยจึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลอ่อน การเติมผงเปลือกกล้วยซึ่งมีสีดําส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนมีสีดํา

ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนทั้งที่เติมและไม่เติมผงเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรสพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์อาจเป็นไปได้ว่าการกวนใช้อุณหภูมิสูงจึงส่งผลให้กลิ่นระเหยไประหว่างการผลิต อย่างไรก็ตามการเติมน้ำเสาวรสในผลิตภัณฑ์กล้วยกวนมีคะแนนสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ทั้งนี้มีรายงานว่าเสาวรสมีส่วนประกอบของ Esters, Alcohols และ Terpenes, Ethyl butanoate และ Ethyl hexanoate

อีกกลุ่มหนึ่งคือกลุ่มของ Alcohols รวมทั้ง Hexanol และ Heptan-2-ol (ร้อยละ 0.28) [33]

ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนหลังปรุงรสที่มีส่วนผสมของน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:150 มีรสชาติเปรี้ยวมากจากการเติมเสาวรสจึงได้คะแนนน้อยที่สุดมีคะแนนเท่ากับ 5.40 ส่วนผลิตภัณฑ์กล้วยกวนหลังปรุงรสที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 50:100 มีคะแนนด้านรสชาติมากที่สุดเท่ากับ 8.28 ทั้งนี้เสาวรสช่วยเพิ่มรสชาติให้กับผลิตภัณฑ์กล้วยกวนให้มีรสเปรี้ยวไม่มาก และกล้วยกวนที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยและน้ำเสาวรส 150:0 100:50 75:75 และ 0:0 มีคะแนนเท่ากับ 6.63 6.53 6.50 และ 6.03 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 การยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนหลังปรุงรสที่มีส่วนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(BC), 150:0(B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4), 75:75(B5)

กล้วยกวนผสมผงเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรส (กรัม)	การยอมรับทางประสาทสัมผัส				
	สี*	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ*	เนื้อสัมผัส*	ความชอบโดยรวม*
0:0 (ชุดควบคุม)	6.30±0.16 ^c	6.56±0.15	6.03±0.06 ^c	6.80±0.19 ^{ab}	6.13±0.12 ^c
150:0	7.68±0.14 ^b	6.53±0.16	6.63±0.09 ^b	7.00±0.08 ^{ab}	6.20±0.11 ^c
100:50	7.62±0.15 ^b	6.60±0.13	6.53±0.08 ^{bc}	6.23±0.11 ^{bc}	7.68±0.18 ^b
50:100	8.52±0.16 ^a	6.46±0.12	8.28±0.08 ^a	7.23±0.15 ^a	8.49±0.15 ^a
0:150	5.58±0.12 ^d	6.83±0.14	5.40±0.12 ^d	5.53±0.12 ^c	5.56±0.10 ^d
75:75	8.32±0.14 ^a	6.43±0.16	6.50±0.14 ^b	6.93±0.05 ^{ab}	7.55±0.13 ^b

^{ns} แสดงถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05)

^{a-d} แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยในแนวนอน (P ≤ 0.05)

ด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยกวนปรุงรสที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสอัตราส่วน 50:100 มีคะแนนสูงสุดเท่ากับ 7.23 ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์กล้วยกวนปรุงรสที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสอัตราส่วน 150:0 75:75 และ 0:0 มีคะแนนด้านเนื้อสัมผัสเท่ากับ 7.00 6.93 6.80 ตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์กล้วยกวนปรุงรสที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสอัตราส่วน 0:150 มีคะแนนเนื้อสัมผัสต่ำสุดเท่ากับ 5.53 อาจเนื่องจากลักษณะผลิตภัณฑ์อ่อนนุ่มมีรสชาติเปรี้ยวมากจึงส่งผลให้คะแนนเนื้อสัมผัสต่ำ

ความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์กล้วยกวนปรุงรสที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสอัตราส่วน 50:100 มีคะแนนมากที่สุดเท่ากับ 8.49 เนื่องจากผู้ทดสอบชอบด้านสี รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นี้จึงให้คะแนนสูง รองลงมาคือผลิตภัณฑ์กล้วยกวนปรุง

รสที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสอัตราส่วน 75:75 50:100 150:0 และ 0:0 มีคะแนนเท่ากับ 7.55 7.68 6.20 และ 6.13 ตามลำดับ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์กล้วยกวนปรุงรสที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสอัตราส่วน 0:150 มีคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 5.56 (ตารางที่ 2)

สรุปผล

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเปลือกกล้วยผงพบว่าเปลือกกล้วยผงมีสีน้ำตาลเนื้อละเอียด มีค่า L* a* และ b* เท่ากับ 38.38 -0.21 และ 2.74 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 3.16 ความเป็นกรด-ด่าง 6.50 ปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 10.73 ส่วนฟีนอลิกทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 76.86

ไม่โครกรัมสมมูลของกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 45.47 ไมโครกรัมสมมูลของโพลีฟีนอล/กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และจากการนำผงเปลือกกล้วยผสมเสาวรส มาผลิตผลไม้กวนจากเปลือกกล้วยโดยใช้อัตราส่วน เปลือกกล้วยต่อน้ำเสาวรสเท่ากับ 0:0(ชุดควบคุม;BC), 150:0(B1), 100:50(B2), 50:100(B3), 0:150(B4) และ 75:75(B5) กรัม พบว่าความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ กล้วยกวนปรุงรสที่มีส่วนผสมของเปลือกกล้วยต่อน้ำ เสาวรสอัตราส่วน 50:100 มีคะแนนมากที่สุด ผลิตภัณฑ์ กล้วยกวนมีสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ มีค่า $L^* a^* b^*$ เท่ากับ 40.92 -1.01 และ 2.09 ตามลำดับ มีค่ากรด-ต่างเท่ากับ 5.22 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และปริมาณของแข็งที่ ละลายน้ำร้อยละ 1.87 และ 23.27 ผลิตภัณฑ์กล้วยกวน ก่อนปรุงรสปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 7.70 ไมโครกรัมสมมูลของกรด แกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 43.42 ไมโครกรัมสมมูล ของโพลีฟีนอล/กรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนผลิตภัณฑ์กล้วย กวนหลังปรุงรสมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสาร ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 10.54 ไมโครกรัมสมมูลของกรด แกลลิก/กรัมน้ำหนักแห้ง และ 43.04 ไมโครกรัมสมมูล ของโพลีฟีนอล/กรัมน้ำหนักแห้ง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนกาพัฒนา วิทยาศาสตร์วิจัย และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลธัญบุรี ภายใต้กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ. ศ. 2565 (รหัส ทุน ววน. FRB650070/0168 และรหัสโครงการวิจัย FRB65E0204F.3)

เอกสารอ้างอิง

1. Agricultural Product Promotion and Development Group. Banana products. bangkok: Office of Technology Transfer Development, Department of Agricultural Promotion. 2004. Thai.
2. Thai community product standard. Candied fruits and vegetables, Phak Lae Phonlamai Kuan. [Internet]. Bangkok: Thai industrial standards institute; 2015 [cited 2023 Jan 09]. Availability from: [http:// tcps.tisi.go.th/pub/tcps0035_58.pdf](http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0035_58.pdf). Thai.
3. Wiesoppa N, Kwanmuang P. Development of banana products stirred using pineapple Strawberry and soy protein extract. Proceeding of Academic Conference of Kasetsart University 57th: Science and Genetic Engineering, Architecture and Engineering, Agro-Industrial, Natural Resources and Environment. 2019. Thai.
4. Wolfe K, Xianzhong WU, Liu RH. Antioxidant activity of apple peels. J Agric Food Chem. 2003;51(3):609–14.
5. Li XL, Sun CJ, Zhou BX, He Y. Determination of hemicellulose, cellulose and lignin in Moso bamboo by near infrared spectroscopy. Sci Rep. 2015;5(1):17210.
6. De Carvalho LMJ, Gomes PB, de Oliveira Godoy RL, Pacheco S, do Monte PHF, de Carvalho JLV, et al. Total carotenoid content, α -carotene and β -carotene, of Landrace Pumpkins (*Cucurbita moschata* Duch): A Preliminary Study. Food Res Int. 2012;47(2):337–40.
7. Ingale S, Joshi SJ, Gupte A. Production of bioethanol using agricultural waste: Banana pseudo stem. Braz J Microbiol. 2014;45(3): 885–92.
8. Idrees M, Adnan A, Malik F et al. Enzymatic saccharification and lactic acid production from banana pseudo-stem through optimized pretreatment at lowest catalyst concentration. Excli J. 2013;12(1):269–81.
9. Tchobanoglous T, Theisen H, Vigil S. Integrated Solid Waste Management-Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, NY, USA. 1993. p. 3-22.

10. Zhang P, Whistler RL, BeMiller JN, Hamaker BR. Banana starch: Production, physicochemical properties, and digestibilitya review. *Carbohydr Polym.* 2005;59(4):443-58.
11. Someya S, Yoshiki Y, Okubo K. Antioxidant compounds from bananas (*Musa Cavendish*). *Food chem.* 2002;79(3):351-54.
12. Emaga TH, Andrianaivo RH, Wathelet B, Tchango JT, Paquot M. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food Chem.* 2007;103(2):590-600.
13. USDA Food Composition Databases. [Internet]. 2019. [cited 2019 April 1]. Availability from: <https://fdc.nal.usda.gov/>
14. Wirivutikorn W. [Effect of Passion Fruit Juice and Sugarcane Juice Ratios on Blended Passion Fruit juice and Sugarcane Juice Production]. *Agricultural Sci J.* 2018;49(3):229-35. Thai.
15. Srimul R, Tajai S. Total phenolic content and antioxidant activity in processed juices in Chanthaburi province: Chanthaburi: Rajamangala University of Technology East; 2013. Thai.
16. Chayrat R, Sathongin S. Development of fruit products stirred grapefruit peel juice: Phathumthani: Rajamangala University of Technology Thanyaburi; 2014. Thai.
17. Phayung R, Vajreya Pongsirisan V, Poonpol B. Study of extraction temperature and optimum sweetness in the production of granny leaf stirring fruits. Phathumthani: Rajamangala University of Technology Thanyaburi; 2014. Thai.
18. Turker B, Savlak N, Huzeyyen BK. Effect of green banana peel flour substitution on physical characteristics of gluten-free cakes. *Curr Res Nutr Food Sci.* 2016;4(SI.2):197-204.
19. Mutia AK, Pakaya D. The effect of using banana peel flour on the Organoleptic quality of the donut cake. *Agropolitan.* 2018; 3(3):45-54.
20. Adisakwattana S. Strain differences in anti-oxidation and high-fat anti-fat abilities of grapefruit meat in Thailand. Department of Nutrition and Dietetics, Chulalongkorn University. 2014. Thai.
21. AOAC International. Official methods of analysis of AOAC International. 17th ed. 2000.
22. Tsai TH, Tsai PJ, Ho SC. Antioxidant and Anti-inflammatory Activities of Several Commonly Used Spices. *J Food Sci.* 2005;70(1):93-7.
23. Shimada K, Fujikawa K, Yahara K, Nakamura T. Antioxidative properties of xanthans on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *J Agric Food Chem.* 1992; 40(6):945-48.
24. Brahmahirankul P. Evaluation of antioxidants in fruits, stirrings, herbs, and Thai wines. *Medical Substances Maharaj Nakhon Ratchasima Hospital.* 2008;32(2):101-8. Thai.
25. Saisit P. Passion Fruit: Juices of the Tropical World. *Journal of Food.* 1988;18(3):165-77. Thai.
26. Bhavasut A, Kongthong C, Thamsuvarorn N, Jamkord, J, Sukjitpigno K, Jitsakta N. A study selecting mango varieties on high ground for processing. Changmai: Highland Research and Development Institute (Public Organization). 2015. Thai.
27. Meilgaard M, Civille CV, Carr BT. *Sensory Evaluation Techniques.* 3rd ed. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.1999.
28. Viriyajari P. Sensory evaluation. Department of Product Development Technology.

- Faculty of Agro-Industry. Chiang Mai University. 2002. Thai.
29. Alfredo E, Stalin S. Phenolic compounds from the peel of *Musa cavendish*, *Musa acuminata* and *Musa cavandanaish*. *Revista Politécnica-Enero*. 2017;38(2):69
 30. Anhwange BA, Ugye TJ, Nyiaatagher TD. Chemical composition of *Musa Sapientum* (BANANA) Peels. *Elec J Env Agricult. Food Chem*. 2009;8(6):437-42.
 31. Wohlt D, Schwarz E, Schieber A, Bader-Mittermaier S. Effects of extraction conditions on banana peel polyphenol oxidase activity and insights into inactivation kinetics using thermal and cold plasma treatment. *Foods*. 2021;10(5):1022.
 32. Septembre-Malaterre A, Stanislas G, Douraguia E, Gonthier MP. Evaluation of nutritional and antioxidant properties of the tropical fruits banana, litchi, mango, papaya, passion fruit and pineapple cultivated in Réunion French Island. *Food Chem*. 2016; 212:225–33.
 33. Oliveira PN, Alcarde AR, Bortoletto AM, Leite Neta MTS, Narain N, Abud AK de S, et al. Characterization and volatile profile of passion fruit spirit. *Int J Gastron Food Sci*. 2020;21:100223.
 34. Wang QF, Li LP, Gao L. Determination of organic acids in passiflora by reversed - phase high performance liquid chromatography. *Journal of Tropical Crops*. 2015;36(1):1511-17.
 35. Tsamo CVP, Herent MF, Tomekpe K, Emaga TH, Quetin-Leclercq J, Rogez H, Andre CM. Effect of boiling on phenolic profiles determined using HPLC/ESI-LTQ-Orbitrap-MS, physico-chemical parameters of six plantain banana cultivars (*Musa sp*). *J Food Compos Anal*. 2015;44(1):158–69.
 36. Behiry SI, Okla MK, Alamri SA, EL-Hefny M, Salem MZM, Alaraidh IA, et al. Antifungal and antibacterial activities of *Musa paradisiaca* L. peel extract: HPLC analysis of phenolic and flavonoid contents. *Processes*. 2019;7(4):215.
 37. Kreft I, Fabjan N, Yasumoto K. Rutin content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) food materials and products. *Food chem*. 2006;98(3):508–12.
 38. Zaini HM, Roslan J, Saallah S, Munsu E, Sulaiman NS, Pindi W. Banana peels as a bioactive ingredient and its potential application in the food industry. *J Funct Foods*. 2022;92(1):105054
 39. Murillo E, Britton GB, Durant AA. Antioxidant activity and polyphenol content in cultivated and wild edible fruits grown in Panama. *J Pharm BioAllied Sci*. 2012;4(4): 313–7.
 40. Someya S, Yoshiki Y, Okubo K. Antioxidant compounds from bananas (*Musa Cavendish*). *Food chem*. 2002;79(3): 351–4.
 41. Morais DR, Rotta EM, Sargi SC, Schmidt, EM, Bonafe EG, Eberlin MN, et al. Antioxidant activity, phenolics and UPLC-ESI (-) -MS of extracts from different tropical fruits parts and processed peels. *Food Res Int*. 2015;77(1):392–9.



อิทธิพลการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวต่อการลดอุณหภูมิในเขตเมือง
กรณีศึกษา กรุงเทพมหานคร และจังหวัดนนทบุรี ประเทศไทย

Investigation of Green Park Cooling Intensity on Urban Temperature Reduction:
A Case Study of Bangkok and Nonthaburi Province, Thailand

อดุลย์เดช ปัตไย* กิตติวรรณ กิจปรกรณ์สันติ สุรางคณา อิ่นชู และ อัศมน ลิ้มสกุล

Aduldech Patpai*, Kittiwarn Kitpakornsanti, Surangkha Ainchu and Atsamon Limsakul

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม จ.ปทุมธานี 12120

Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion, Ministry
of Natural Resources and Environment, Pathum Thani 12120, THAILAND

*Corresponding author e-mail: patpai_a@hotmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: November 3, 2022

Revised: April 19, 2023

Accepted: April 19, 2023

Available online: April 28, 2023

DOI: 10.14456/jarst.2023.10

Keywords: Land surface
temperature, Heat island,
Normalized difference
vegetation index, Cooling
intensity, Green area

This article aims to study the intensity of park cooling effect on temperature reduction in urban areas. In this study, the Landsat-8 images (2015-2020) during the summer season were used to assess the Land Surface Temperature (LST) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data and the correlation of green area characteristics and Park Cooling Intensity (PCI) by utilizing the remote sensing and Google Earth Engine (GEE). The results of this study showed that the 3 Public Parks (i.e. Wachirabenchathat Park, Lumpini Park, and Makut Rommayasarn Park) have the average LST (average $\pm$ standard deviation; S.D.) were 27.34 ± 1.23 , 27.62 ± 1.59 and 27.86 ± 1.36 °C and the average NDVI were 0.55 ± 0.03 , 0.53 ± 0.02 and 0.42 ± 0.05 , respectively. In case of the correlation of LST and NDVI, they were negative correlation with a coefficient (R^2) of 0.8929 at a significance level of 0.01. In case of PCI analysis on green urban area, we found that the large public parks, low complexity area (shape uncertainty) and complicated shape the optimal proportion of pervious, canopy, and water area were related to the PCI of surrounding area. Therefore, the expansion of urban public parks and increasing of proportion of vegetation, pervious and water source inside the public park would be the important way to increase the cooling intensity. Moreover, another cooling sources in surrounding

area can enhance the efficiency of cooling intensity and temperature reduction inside the urban area. Lastly, this study would be the important reference for future urban planning and urban public park design to mitigate the urban heat island.

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวต่อการลดอุณหภูมิความร้อนในเขตเมือง โดยการประยุกต์ใช้การรับรู้จากระยะไกลและซอฟต์แวร์ Google Earth Engine: GEE) ในการประมวลผลอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature; LST) และ ดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 ในปี พ.ศ. 2558 - 2563 ในช่วงฤดูร้อน พบว่า สวนสาธารณะทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ สวนวชิรเบญจทัศ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรณราชานุสรณ์ ซึ่งมีขนาดที่แตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ย LST (ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เท่ากับ 27.34 ± 1.23 , 27.62 ± 1.59 และ 27.86 ± 1.36 °C และมีค่าเฉลี่ย NDVI เท่ากับ 0.55 ± 0.03 , 0.53 ± 0.02 และ 0.42 ± 0.05 ตามลำดับ โดย LST มีความสัมพันธ์ทางลบกับ NDVI โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ (R^2) เท่ากับ 0.8929 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จากการวิเคราะห์อิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว (Park Cooling Intensity; PCI) พบว่าพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดใหญ่ และมีรูปร่างไม่ซับซ้อน รวมถึงมีสัดส่วนของพื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้ พื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ และพื้นที่น้ำจะมีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายความเย็นไปยังพื้นที่โดยรอบได้ดี ซึ่งให้เห็นว่าการเพิ่มขนาดของพื้นที่สีเขียว และการเพิ่มสัดส่วนของต้นไม้ สนามหญ้า และแหล่งน้ำภายในสวนสาธารณะเป็นวิธีที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการแพร่กระจายความเย็น นอกจากนี้การมีพื้นที่สีเขียวหรือแหล่งกำเนิดความเย็นแทรกอยู่ตามพื้นที่โดยรอบยังสามารถช่วยเสริมการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวได้เช่นกัน ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการวางผังเมืองและการออกแบบสวนสาธารณะเพื่อลดปัญหาเกาะความร้อนในเขตเมือง

คำสำคัญ: อุณหภูมิพื้นผิว เกาะความร้อน ดัชนีพืชพรรณ ระดับความเข้มการกระจายความเย็น พื้นที่สีเขียว

บทนำ

จากรายงานของ Intergovernmental Panel Climate Change (IPCC) พบว่า ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา ภาวะโลกร้อนได้รับการยอมรับว่าเป็นปัญหาระดับสากล และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินี้มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นเร็วกว่าที่คาดการณ์ไว้ [1, 2] คาดว่าในปี ค.ศ. 2050 ประชากรโลกอาศัยอยู่ในเขตเมืองจะเพิ่มขึ้นเป็น 66% [3] ซึ่งการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลกส่งผลให้เกิดการขยายตัวของเมือง การขยายตัวของแหล่งที่อยู่อาศัย การก่อสร้างอาคาร บ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้าง โดยสิ่งปลูกสร้างส่วนใหญ่สร้างขึ้นจากคอนกรีตที่มีความสามารถดูดซับความร้อนทำให้ภายในเมืองมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น [4] นำไปสู่ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban Heat Island) ซึ่งเกิดจากการสะสมความร้อนจากดวงอาทิตย์ส่งผลให้อุณหภูมิในเขตชุมชนเมืองมีค่าเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมินี้ยังส่งผลต่อทิศทางการไหลของอากาศ และมีอิทธิพลต่อการเกิดปรากฏการณ์อุณหภูมิผกผันในชั้นโทรโพสเฟียร์ ที่เป็นส่วนสำคัญต่อการแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศ [5] โดยในพื้นที่เมืองพบว่า สาเหตุหลักเกิดจากการที่พื้นที่สะสมความร้อนที่มีเพิ่มขึ้นรวมถึง การลดลงของพื้นที่สีเขียวหรือส่วนที่เป็นพืช ที่ช่วยระเหยและการปล่อยความร้อนลดลง [6] ทั้งนี้ ประเทศไทยได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองมายาวนานหลายสิบปี โดยเฉพาะกรุงเทพมหานครและจังหวัดนนทบุรี ซึ่งตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยก็ประสบกับปัญหาดังกล่าวด้วยเช่นกัน [7] ด้วยเหตุนี้จึงนำมาสู่การหาวิธีการในลดผลกระทบของปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองต่าง ๆ เช่น การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองในรูปแบบของสวนสาธารณะและการวางผังเมืองที่เหมาะสม [8, 9] โดยอาศัยคุณสมบัติและการเพิ่มสัดส่วนของพื้นที่สีเขียว การกำหนดสัดส่วนของสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ในเมือง ในการช่วยลดระดับอุณหภูมิสะสมในเขตเมือง สำหรับเมืองที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องอย่างกรุงเทพมหานครและจังหวัดนนทบุรี

พื้นที่สีเขียวสามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศได้จากอิทธิพลความเย็น “Cooling Effect” ของต้นไม้ ซึ่งเป็นการกระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว และส่งผลต่อการลดระดับอุณหภูมิของพื้นที่โดยรอบพื้นที่สีเขียว นั้น ๆ โดยเป็นปรากฏการณ์ที่ให้ผลตรงกันข้ามกับปรากฏการณ์เกาะความร้อนที่เกิดการกระจายความร้อนไปยังพื้นที่โดยรอบ เนื่องจากคุณสมบัติในการสังเคราะห์แสง และการคายน้ำของพื้นที่สีเขียวมีบทบาทสำคัญในการทำ ความเย็นและความชื้นให้แก่สวนสาธารณะในเมือง และยังอิทธิพลต่อพื้นที่ใกล้เคียง [9] เนื่องมาจากการเกิด เกาะความร้อน (Park Cool Island) รอบบริเวณพื้นที่ สีเขียว [10] ส่งผลให้บริเวณโดยรอบพื้นที่สีเขียวมี อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในบริเวณชุมชนเมือง ทั่วไป [11, 12] จากการศึกษาการแพร่กระจายความเย็น พบว่า พื้นที่สีเขียวกับบริเวณพื้นที่โดยรอบอาจมีอุณหภูมิ ที่แตกต่างกัน 1-2 °C และอาจแตกต่างกันได้ถึง 5-7 °C ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและปัจจัยของพื้นที่โดยรอบ นอกจากนี้ยังพบว่า พื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่สามารถ แพร่กระจายความเย็นได้มากกว่าพื้นที่สีเขียวที่มี ขนาดเล็ก แต่ในขณะเดียวกันพื้นที่สีเขียวขนาดเล็กที่ กระจายตัวกันหลายพื้นที่ก็สามารถเกิดการแพร่กระจาย ความเย็นได้ และมีประสิทธิภาพมากกว่าพื้นที่สีเขียว เพียงพื้นที่เดียว [13, 14] ส่วนต้นไม้หรือแหล่งน้ำที่มีอยู่ ระหว่างพื้นที่สีเขียว ก็เป็นส่วนสำคัญในการเพิ่ม ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายความเย็นได้เช่นกัน [15] ดังนั้น การใช้ประโยชน์จากสวนสาธารณะใน เขตเมืองที่มีข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ และได้รับประโยชน์ สูงสุดทางนิเวศวิทยาภายใต้เขตเมืองที่มีความหนาแน่น สูงจึงเป็นหัวข้อที่น่าสนใจซึ่งมีเป้าหมายใน การศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพของพื้นที่แตกต่างกัน รวมถึงอุณหภูมิพื้นผิว (LST) ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และ สัดส่วนและองค์ประกอบของพื้นที่สีเขียวที่มีอิทธิพลต่อ การแพร่กระจายความเย็น ของพื้นที่สีเขียว (Park Cooling Intensity; PCI) ในสวนสาธารณะ รวมถึงการศึกษา ความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าว ที่เกี่ยวข้องในเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานครและจังหวัดนนทบุรี ร่วมกับการใช้เทคนิค การสำรวจระยะไกลและซอฟต์แวร์ Google Earth Engine (GEE) เพื่อการศึกษาอิทธิพลการแพร่กระจายความเย็น ในพื้นที่สวนสาธารณะเพื่อลดอุณหภูมิในเขตเมือง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

การศึกษารั้วนี้ได้เลือกพื้นที่สีเขียว 3 แห่ง ได้แก่ สวนวชิรเบญจทัศ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรยสราญ ที่มีขนาดแตกต่างกันและตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร และจังหวัดนนทบุรีเป็นพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) ซึ่งเป็นพื้นที่อยู่ในเขตพื้นที่ภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย ตั้งอยู่บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร ละติจูดที่ 13 องศา 30 ลิปดาเหนือ และ ลองจิจูดที่ 100 องศาตะวันออก จัดอยู่ในโซนที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง และอากาศร้อนอบอ้าวมากในฤดูร้อน เป็นพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุม ดิน จากพื้นที่ผิวดินธรรมชาติกลายเป็นพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง ทำให้ประสบกับปัญหาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง [16] จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา [7] พบว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่มีการติดตามในกรุงเทพมหานคร โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2563 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า ค่าปกติ 1.04 °C และยังมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ จากค่าอุณหภูมิปกติ 30 ปี โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของ กรุงเทพมหานคร อยู่ระหว่าง 26 ถึง 31 °C โดยมีอากาศร้อน จัดอยู่ในเดือนเมษายนและพฤษภาคม

2. ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่สีเขียวในเมือง

ทำการคำนวณลักษณะของพื้นที่สีเขียวที่มี อิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเย็น ได้แก่ 1) ขนาด พื้นที่ของสวนสาธารณะ (Park Area; PA) 2) ระยะทาง รอบพื้นที่สวนสาธารณะ (Park Perimeter; PP) และ 3) ดัชนีรูปร่างของสวนสาธารณะ (Park Shape Index; PSI) คือ อัตราส่วนของระยะทางรอบพื้นที่ต่อขนาดพื้นที่ ของสวนสาธารณะ [17] แสดงดังสมการที่ 1 โดยลักษณะ เหล่านี้สามารถคำนวณและใช้อธิบายภาพรวม สวนสาธารณะในเมืองได้

$$PSI = 0.25 \times PP / \sqrt{PA} \quad (1)$$

3. สัดส่วนและองค์ประกอบของพื้นที่สีเขียว

โดยใช้ซอฟต์แวร์ i-Tree Canopy [18] ในการ แยกองค์ประกอบของพื้นที่สีเขียว โดยแบ่งเป็น 5 องค์ประกอบ ได้แก่ พื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ (Canopy) พื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้ (Pervious) พื้นที่เปิด

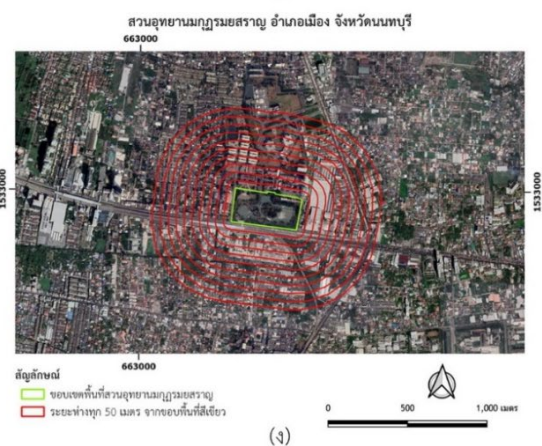
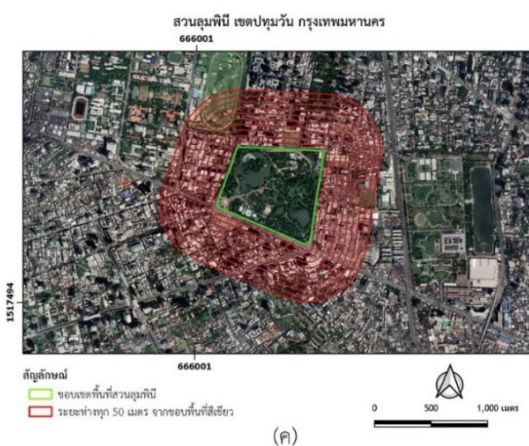
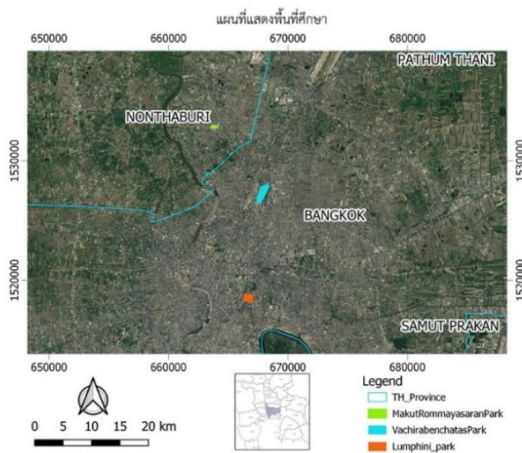
ที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ (Impervious) พื้นที่อาคาร สิ่งปลูกสร้าง (Building) และพื้นที่น้ำ (Water) เป็นการ แปลภาพถ่ายดาวเทียม Google maps ปี พ.ศ. 2563 ด้วยสายตาจากจุดตัวอย่างที่ซอฟต์แวร์กำหนดให้ โดยวิธี การสุ่มที่มีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวน 1,000 จุด ต่อ 1 พื้นที่ศึกษา สำหรับระบุประเภทองค์ประกอบและใช้ คำนวณสัดส่วนของพื้นที่สีเขียว เพื่อนำมาวิเคราะห์ ความสัมพันธ์การแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว กับพื้นที่โดยรอบ

4. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้ได้นำซอฟต์แวร์กูเกิลเอิร์ธเอนจิน (Google Earth Engine: GEE) มาประยุกต์ใช้ในการ วิเคราะห์และประเมินอุณหภูมิพื้นผิวของพื้นที่ สีเขียว [19] และการวิเคราะห์อนุกรมเวลาของการ เปลี่ยนแปลงความเขียวขจีของพืชจากดัชนีพืชพรรณ [20] จากโปรแกรม GEE ผ่านการเขียนโค้ดคำสั่งด้วย

ภาษา JavaScript เพื่อเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม นำมาวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 ระบบ Operational Land Imager (OLI) ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ B5 (Near Infrared: NIR) และช่วงคลื่นสีแดง B4 (Red) และระบบอินฟราเรด ความร้อน Thermal Infrared Sensor (TIRS) ในช่วง คลื่น B10 (Thermal Infrared-TIRS 1)

4.1 การศึกษาอุณหภูมิพื้นผิว (LST) โดย เลือกใช้อุณหภูมิความสว่าง (Brightness Temperature) เป็นอุณหภูมิพื้นผิวโลกในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน ซึ่งข้อมูลที่ตรวจวัดจากดาวเทียม Landsat-8 ที่จัดเก็บ ในรูปแบบของค่าเชิงเลข (Digital Number: DN) โดย เมื่อการแผ่รังสี (Radiance) ของวัตถุเท่ากับการแผ่รังสี ของวัตถุดำ (Black body) ทั้งนี้การแผ่รังสีของวัตถุดำ จะเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิความสว่างของวัตถุ สามารถ คำนวณได้จากสมการที่ 2



รูปที่ 1 (ก) พื้นที่สวนสาธารณะในเมืองทั้ง 3 แห่ง และระยะบัฟเฟอร์ 50-500 เมตร (ข) สวนวชิรเบญจทัศ (ค) สวนลุมพินี และ (ง) สวนอุทยานมกุฏมรยสราญ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad (2)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิความสว่างหน่วยเคลวิน (K), K_1 คือ ค่าคงที่ 774.89 ในแบนด์ B10 และ 480.89 ในแบนด์ B11, K_2 คือ ค่าคงที่ 1321.08 ในแบนด์ B10 และ 1201.14 ในแบนด์ B11 และ L_λ คือ ค่าการแผ่รังสี (Radiance) เชิงสเปกตรัม

นอกจากนี้การแผ่รังสีของวัตถุจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นและสัดส่วนระหว่างการดูดกลืน (Absorb) การสะท้อน (Reflectance) และการปล่อยผ่าน (Transmittance) โดยวัตถุที่มีการดูดกลืนได้ดีจะสามารถแผ่รังสีได้ดีด้วย [21-22] แสดงดังสมการที่ 3

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (3)$$

เมื่อ M_L คือ ค่า Radiance Multi Band, A_L คือ ค่า Radiance Add Band และ Q_{cal} คือ ค่า Digital Number (DN)

การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจะวิเคราะห์จาก 1) ค่าอุณหภูมิความสว่างของแบนด์ B10 และแบนด์ B11 และ 2) ค่าการวิเคราะห์สภาพเปล่งรังสีของพื้นผิวโลกแบนด์ B10 และแบนด์ B11 สำหรับวิธีการวิเคราะห์แสดงดังสมการที่ 4 [23]

$$LST = (T_{10} + C_{10} - T_{11}) + (T_{10} - T_{11})^2 C_0 + (C_3 + C_4 W)(1 - \epsilon) + (C_5 + C_6 W) \Delta \epsilon \quad (4)$$

เมื่อ T_{10} และ T_{11} คือ ค่าอุณหภูมิความสว่างของแบนด์ B10 และแบนด์ B11, ϵ คือ ความแตกต่างสภาพเปล่งรังสีของแบนด์ B10 และแบนด์ B11, C_0 - C_6 คือ ค่าคงที่ของสมการและ W คือ ค่าไอน้ำในชั้นบรรยากาศ

4.2. ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) เพื่อนำมาใช้ประเมินความสมบูรณ์ของพืชพรรณ โดยการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของการสะท้อนของพื้นผิว ระหว่างช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดกับช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงมาทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่นเพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ แสดงดังสมการที่ 5 [24]

$$NDVI = NIR - RED / NIR + RED \quad (5)$$

โดยที่ NIR เป็นค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และ RED เป็นค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

โดยที่ค่า NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งค่า 0 ซึ่งหมายถึง บริเวณที่วิเคราะห์ไม่มีพืชพรรณใบเขียวอยู่ในพื้นที่สำรวจ ในขณะที่ค่า 0.8 หรือ 0.9 หมายถึง พื้นที่นั้น ๆ มีพืชมักพืชพรรณใบเขียวหนาแน่นมากในพื้นที่ดังกล่าว กรณีที่พื้นผิวมีพืชพรรณปกคลุมจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดสูงกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวก ในขณะที่พื้นผิวเป็นดินจะมีค่าการสะท้อนระหว่างสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกัน ทำให้ NDVI มีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ ส่วนกรณีที่พื้นผิว เป็นดินจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดต่ำกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ทำให้ NDVI มีค่าติดลบ

4.3 ลักษณะการเกิด Park Cooling Island เพื่อศึกษาการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวในการลดระดับอุณหภูมิของพื้นที่สีเขียวต่อบริเวณโดยรอบ [10] ของสวนวชิรเบญจทัศ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรยสราญ โดยกำหนดแนวกันชนที่ระยะห่าง 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข) - (ง) โดยคุณสมบัติของสวนสาธารณะที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเกาะความเย็นในเมือง แบ่งออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้

4.3.1 พื้นที่ทำความเย็นที่ของพื้นที่สีเขียว (Park Cooling Area; PCA) คือ พื้นที่ที่ใหญ่ที่สุดที่อาจได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ หรือเป็นพื้นที่กันชนที่สร้างขึ้นบนพื้นฐานของระยะทางที่ไกลที่สุดที่ได้รับอิทธิพลความเย็นจากพื้นที่สีเขียว (ระยะการระบายความร้อนที่มากที่สุด) [25-27]

4.3.2 การแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียว (Park Cooling Intensity, PCI) เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย LST ภายนอกพื้นที่สีเขียว (TU) และ ภายในพื้นที่สีเขียว (TP) [27] ที่ระยะแนวกันชน 500 เมตร จากขอบพื้นที่สีเขียว แสดงดังสมการที่ 6

$$PCI = TU - TP \quad (6)$$

4.3.3 ประสิทธิภาพการทำความเย็น (Park Cooling Efficiency; PCE) คืออัตราส่วนของพื้นที่ทำความเย็นสูงสุด ต่อพื้นที่สีเขียว (PA) สามารถคำนวณได้โดยใช้ค่า PCA และ PCI [25-26] แสดงดังสมการที่ 7

$$PCE = (PCI \times PCA) / PA \quad (7)$$

4.3.4 อัตราการเพิ่มอุณหภูมิตามระยะทาง (Park Cooling Gradient; PCG) คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยของการเพิ่มระยะทาง (100 เมตร) จากขอบเขตของสวนสาธารณะ [26, 28] แสดงดังสมการที่ 8

$$PCG = PCI / PCD \quad (8)$$

โดยที่ PCD คือ ระยะการทำความเย็นของพื้นที่สีเขียว ซึ่งกำหนดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยของการเพิ่มระยะทาง (100 เมตร) จากขอบเขตพื้นที่สีเขียว

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและสัดส่วนของสวนสาธารณะ

ลักษณะทางกายภาพ	สวนวชิรเบญจทัศ	สวนลุมพินี	สวนอุทยานมกุฏมรยสราญ
PA (km ²)	0.9233	0.5099	0.0873
PP (km)	4.3764	2.9898	1.2613
PSI	1.28	1.18	1.20
สัดส่วนของสวนสาธารณะ			
Building Canopy Impervious Previous Water			
Building	4%	5%	4%
Canopy	47%	43%	51%
Impervious	10%	13%	12%
Previous	27%	22%	11%
Water	12%	17%	22%



ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ลักษณะทางกายภาพและสัดส่วนของพื้นที่สีเขียว

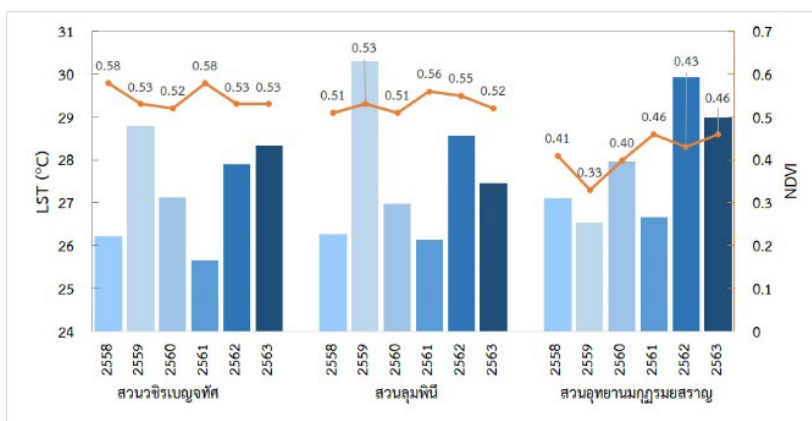
การศึกษาสวนสาธารณะในเขตเมืองจำนวน 3 แห่ง พบว่า พื้นที่เฉลี่ย 0.5068 ตารางกิโลเมตร โดยสวนวชิรเบญจทัศ ซึ่งเป็นสวนขนาดใหญ่มีขนาดพื้นที่ (0.9233 ตารางกิโลเมตร) และระยะทางรอบพื้นที่ (4.3764 กิโลเมตร) มากที่สุด รองลงมา คือ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรยสราญ ตามลำดับ ส่วนดัชนีรูปร่างของสวนสาธารณะทั้ง 3 แห่ง มีรูปร่างเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมมีค่าอยู่ในช่วง 1.18 ถึง 1.28 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก และผลการวิเคราะห์สัดส่วนของสวนสาธารณะด้วยซอฟต์แวร์ i-Tree Canopy ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมีสัดส่วนของพื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ พื้นที่น่าพื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้ พื้นที่เปิดที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ และพื้นที่อาคารสิ่งปลูกสร้างเฉลี่ยร้อยละ 47.0, 17.0, 20.0, 11.7 และ 4.3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้คือสัดส่วนที่มีมากที่สุด และมีส่วนพื้นที่น้ำอยู่ในสวนสาธารณะทั้ง 3 แห่ง

ผลกระทบของสวนสาธารณะต่อระดับ LST และ NDVI

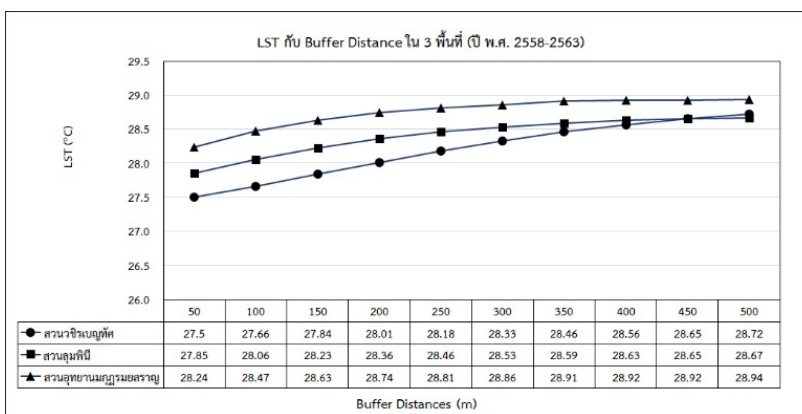
ผลการวิเคราะห์ค่า LST และ NDVI ด้วยซอฟต์แวร์ Google Earth Engine ปี พ.ศ. 2558-2563 ในช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคม (5 เดือน) แสดงดังรูปที่ 2 สำหรับผลกระทบของสวนสาธารณะต่อระดับ LST พบว่า สวนวชิรเบญจทัศ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรยสราญ มีค่าเฉลี่ย LST เท่ากับ 27.34, 27.62 และ 27.86 °C ตามลำดับ โดยสวนอุทยานมกุฏมรยสราญ ซึ่งเป็นสวนที่มีขนาดเล็กที่สุดมีอุณหภูมิสูงที่สุด แต่ขณะเดียวกันก็มีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวหรือปกคลุมด้วยต้นไม้และพื้นที่น้ำมากที่สุด ค่าเฉลี่ย LST ต่ำที่สุดคือสวนวชิรเบญจทัศ ซึ่งเป็นสวนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและมีพื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้มากที่สุด ส่วนการวิเคราะห์ค่า NDVI ของสวนทั้ง 3 แห่ง พบว่า สวนวชิรเบญจทัศ มีค่า NDVI อยู่ในช่วง 0.52-0.58 ค่าสูงสุดในปี พ.ศ. 2558 และ 2561 มีค่าเฉลี่ย 0.55 สวนลุมพินี อยู่ในช่วง 0.51-0.56 ค่าสูงสุดในปี พ.ศ. 2561 มีค่าเฉลี่ย 0.53 สวนอุทยานมกุฏมรยสราญ อยู่ในช่วง 0.33-0.46 ค่าสูงสุดในปี พ.ศ. 2561 และ 2563 มีค่าเฉลี่ย 0.42

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า LST ในช่วงระยะเวลา 6 ปี พบว่า สวนอุทยานมกุฏมรณราชฤศมี มีค่า LST สูง ในปี พ.ศ. 2562 ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากในช่วงปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทย มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าค่าปกติ ประมาณ 1.1 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเป็นอันดับ 1 ของประเทศไทยในรอบ 69 ปี (พ.ศ. 2494-2562) ซึ่งเป็นปีที่ได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์ ENSO โดยเฉพาะ ปี พ.ศ. 2558 ถึง 2559 และ พ.ศ. 2541 ซึ่งเป็นปีที่เกิด

ปรากฏการณ์เอลนีโญรุนแรง โดยปรากฏการณ์ เอลนีโญกำลังอ่อนได้เริ่มพัฒนาตัวมาตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2561 และปรากฏต่อเนื่องมาจนถึงในช่วงครึ่งแรกของปี พ.ศ. 2562 ทำให้บริเวณประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าค่าปกติตลอดทั้งปี โดยเฉพาะฤดูร้อนในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม และส่งผลให้ ภาควากลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า ค่าปกติ 1.07 °C และ 1.00 °C ตามลำดับ [7]



รูปที่ 2 ระดับ LST และ NDVI พื้นที่สีเขียวทั้ง 3 แห่ง (ปี พ.ศ. 2558-2563)



รูปที่ 3 ค่า LST กับระยะบัฟเฟอร์ ของพื้นที่สีเขียวทั้ง 3 แห่ง (ปี พ.ศ. 2558-2563)

ผลกระทบของ LST ในแต่ละระยะบัฟเฟอร์

ผลการศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ พื้นที่สีเขียวทั้ง 3 แห่ง มีค่าต่ำกว่าระดับอุณหภูมิอากาศ เฉลี่ยภายนอกสวนในทุกระยะทางประมาณ 1.0-1.4 °C โดยที่ระยะบัฟเฟอร์ 500 เมตร ค่าเฉลี่ย LST ของสวน จิเบญจพัฑ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรณราชฤศมี มีค่าเฉลี่ย LST เท่ากับ 28.72, 28.67 และ 28.94 °C ตามลำดับ เมื่อดูจากกราฟที่ได้จากรูปที่ 3 ที่ระยะบัฟเฟอร์ ต่าง ๆ พบว่า ค่า LST จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระยะห่างจาก

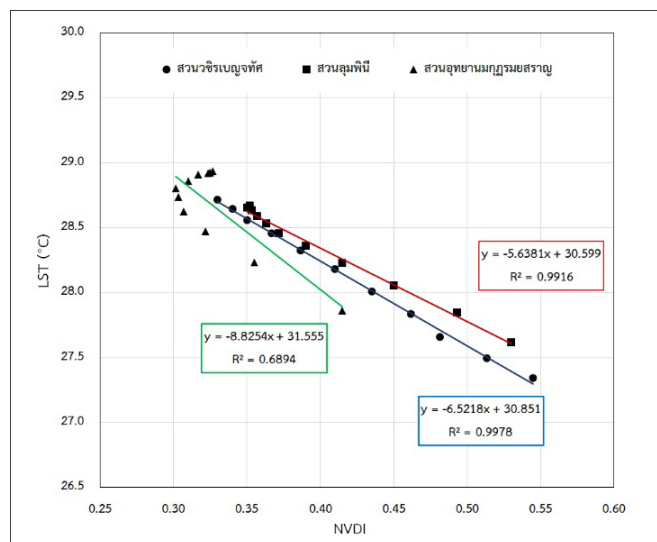
สวนสาธารณะและมีแนวโน้มคงที่ที่ระยะ 400 400 350 เมตร ตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่สีเขียวทั้ง 3 แห่ง มีที่ตั้งอยู่เขตย่านใจกลางเมือง พื้นที่โดยรอบมีลักษณะเป็น สิ่งปลูกสร้างและที่อยู่อาศัย มีการจราจรหนาแน่นเป็น แหล่งที่มีการระบายความร้อนออกมาสู่บรรยากาศได้เป็น อย่างดี ส่งผลให้ LST มีค่าสูงขึ้นเมื่อมีระยะห่างเพิ่มมากขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI และ LST

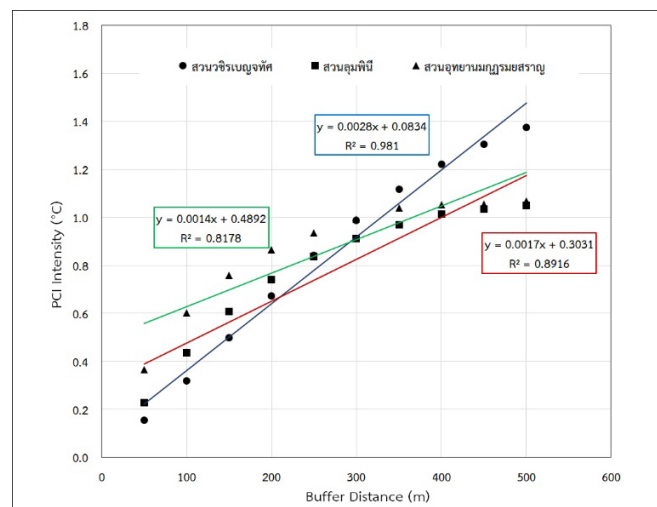
การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร

แบบ Correlation Coefficient (r) ระหว่างค่า LST กับ NDVI เพื่อศึกษาปัจจัยความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิในพื้นที่ซึ่งพบความสัมพันธ์เชิงลบมากที่สุดที่สวนวชิรเบญจทัศ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรณราช โดยมีความสัมพันธ์ R^2 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เท่ากับ 0.689 และ 0.9916 ,0.9978 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4 อธิบายได้ว่าเมื่อพืชพรรณที่มีอยู่ในสวนสาธารณะมีความสมบูรณ์จะมีอิทธิพลต่อการลดลงของอุณหภูมิพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับการศึกษาของ Narathip และคณะ [29] ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมดินกับอุณหภูมิพื้นผิว ซึ่งพบว่าการสัมพันธ์ (r) ระหว่างของ

ปัจจัยทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทางลบ 0.8610 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 อธิบายได้ว่าเมื่อสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมดินเพิ่มขึ้นจะมีอิทธิพลต่อการลดลงของอุณหภูมิพื้นผิว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ashwani และคณะ [30] ที่ใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat-8 ศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวในเมืองพาราณสี ประเทศอินเดีย พบว่า NDVI มีความสัมพันธ์ต่อ LST ในทางลบ (-0.9798) และค่า NDVI จะบอกถึงความสมบูรณ์ของพืชพรรณที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิวเมื่อพืชพรรณมีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง LSI กับ NDVI ของพื้นที่สีเขียวทั้ง 3 แห่ง (ปี พ.ศ. 2558-2563)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง PCI กับระยะบัฟเฟอร์ของพื้นที่สีเขียวทั้ง 3 แห่ง (ปี พ.ศ. 2558-2563)

การแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวต่อบริเวณโดยรอบ

สามารถคำนวณได้จากผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยจากพื้นที่ภายใน และพื้นที่ภายนอกสวนสาธารณะ [31] โดยสวนทั้ง 3 แห่ง เป็นสวนที่ตั้งอยู่เขตย่านใจกลางเมืองซึ่งมีการจราจรหนาแน่น เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย และมีสิ่งปลูกสร้างอยู่โดยรอบ ดังนี้ 1) สวนวชิรเบญจทัศ หรือสวนรถไฟ ตั้งอยู่ในเขตจตุจักร ซึ่งเป็นย่านใจกลางเมืองซึ่งมีการจราจรหนาแน่น ติดกับถนนสายหลัก เช่น ถนนพหลโยธิน ถนนวิภาวดีรังสิต และอยู่ใกล้กับสถานีกลางบางซื่อ สถานีขนส่งผู้โดยสารกรุงเทพ รวมถึงตลาดนัดจตุจักร ค่าความเข้มข้นของ PCI เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างช่วงพื้นที่โดยรอบ 50 ถึง 400 เมตร จาก 0.16-1.22 °C แสดงถึงการแพร่กระจายความเย็นจากพื้นที่สีเขียวที่ทำให้พื้นที่โดยรอบมีอุณหภูมิลดลงเป็นระยะทาง 50-400 เมตร จากนั้นค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงระยะ 500 เมตร ค่า PCI เท่ากับ 1.37 °C และมีค่าเฉลี่ย 0.85 °C 2) สวนลุมพินี เขตปทุมวัน มีถนนล้อมรอบทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ถนนสารสิน ถนนราชดำริ ถนนพระรามสี่ และถนนวิสุทธิ รวมทั้งสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (MRT) เป็นย่านที่มีตึกสูงอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีผลต่อการระบายอากาศในพื้นที่ เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของ PCI ของสวนลุมพินี พบว่าที่ระยะบัพเฟอร์ 50-400 เมตร ค่าความเข้มข้นของ PCI เพิ่มขึ้นจาก 0.23 °C เป็น 1.01 °C จากนั้นความเข้มข้นของ PCI มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่าง 400 - 500 เมตร จาก 1.02 °C เป็น 1.05 °C มีค่าเฉลี่ยของ PCI เท่ากับ 0.78 °C และ 3) สวนอุทยานมกุฏมรณราชธานี ตั้งอยู่ในเขตศูนย์ราชการจังหวัดนนทบุรี ด้านหน้าติดกับถนนรัตนธิเบศร์ ใกล้สี่แยกแคราย และสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน (MRT) โดยรอบมีสิ่งปลูกสร้างและอาคารขนาดใหญ่ ค่าความเข้มข้นของ PCI ที่ระยะบัพเฟอร์ 50-350 เมตร และเพิ่มขึ้นจาก 0.38 °C เป็น 1.05 °C จากนั้นค่า PCI มีการเปลี่ยนแปลง น้อยมากและมีแนวโน้มคงที่จนถึงระยะ 500 เมตร โดย PCI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.88 °C

จากค่าความเข้มข้นของ PCI ในแต่ละระยะบัพเฟอร์ของสวนสาธารณะทั้ง 3 แห่ง โดยการกระจายความเย็นของสวนสาธารณะ พบว่าขอบเขตผลการทำความเย็นจะอยู่ที่ระยะ 350-500 เมตร จากเขตรอบสวนสาธารณะ ส่วนความเข้มข้นของ PCI ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยหรือมีแนวโน้มคงที่นี้

อาจเกิดจากการที่มีแหล่งกำเนิดความเย็น เช่น พื้นที่สีเขียวขนาดเล็ก สวนหย่อม แหล่งน้ำแทรกอยู่ตามระยะบัพเฟอร์ รวมถึงปัจจัยภายนอกอื่น ๆ โดยรอบสวนสาธารณะแทรกตัวอยู่ ส่งผลให้ PCI จากสวนสาธารณะถูกลดความสามารถในการแพร่กระจายความเย็นออกไป ถ้าหากต้องการลดอุณหภูมิภายในเมือง การเพิ่มพื้นที่สีเขียวและเพิ่มแหล่งกำเนิดความเย็นภายนอกเขตพื้นที่สีเขียว สามารถช่วยเสริมการแพร่กระจายความเย็นจากสวนสาธารณะออกไปได้มากขึ้น เช่นเดียวกับ Park และคณะ [32] ที่พบว่าพื้นที่สีเขียวขนาดเล็กที่มีการกระจายตัวอยู่ตามพื้นที่ในเมือง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแพร่กระจายความเย็นได้มากกว่าพื้นที่สีเขียวเพียงพื้นที่เดียว

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพและสัดส่วนของพื้นที่สีเขียวกับค่า PC

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันถูกนำมาใช้เพื่อสำรวจความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางกายภาพและสัดส่วนของสวนสาธารณะในเมืองที่มีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเย็นไปยังพื้นที่รอบนอก ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งผลปรากฏว่าขนาดพื้นที่ของสวนสาธารณะในเขตเมืองมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ PCI ($r = 0.821$) และ PCA ($r = 0.998$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ($p\text{-value} < 0.01$) บ่งชี้ว่าอิทธิพลความเย็น และระยะทางการแพร่กระจายความเย็นเพิ่มขึ้นตามขนาดของพื้นที่สวนสาธารณะในเมือง ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มขนาดสวนสาธารณะในเมืองอาจเป็นวิธีที่สำคัญในการเพิ่มความเข้มข้นของ PCI และลดผลกระทบ UHI [32-33] เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Srivanit และ lamtrakul [34] ได้ศึกษาการเกิดเกาะความร้อนของพื้นที่สีเขียวในเมืองเชียงใหม่ โดยใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงฤดูร้อน พบว่าสัดส่วนพื้นที่สีเขียวที่ครอบคลุมทั่วพื้นที่เมืองให้ความสัมพันธ์เชิงลบกับ LST และส่งผลต่อการเกิดเกาะความร้อนให้กับเมืองได้ดีกว่า แต่ลักษณะทางกายภาพของสวนสาธารณะ ได้แก่ PA และ PP มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ PCG ($r = -0.581$ และ $r = -0.760$ ตามลำดับ) และ PCE ($r = -0.626$ และ $r = -0.796$ ตามลำดับ) ซึ่ง PA และ PP ไม่ใช่ปัจจัยหลักต่อความสามารถในการทำความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของสวนสาธารณะทั้ง 3 แห่งนี้ ส่วนค่า PSI ที่บ่งชี้ถึงรูปร่างของสวนสาธารณะในเมืองมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมากกับความเข้มข้นของ PCI ($r = 0.991$)

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสวนสาธารณะกับอิทธิพลต่อการแพร่กระจายความเย็น

Characteristics	PCI	PCA	PCG	PCE
PA	0.821*	0.998*	-0.581**	-0.760*
PP	0.787*	0.992*	-0.626*	-0.796*
PSI	0.991	0.780	0.124**	-0.119*
Canopy	0.857**	1.000	-0.526	-0.716*
Water	0.646**	0.946*	-0.771*	-0.902*
Previous	0.869**	1.000	-0.506	-0.699*
NDVI	0.556*	0.904	-0.838**	-0.945*

** Significance at the 0.01 level; * significance at the 0.05 level

ซึ่งหมายความว่า หากสวนสาธารณะมีรูปร่างซับซ้อนน้อยเท่าใดความเข้มข้นของ PCI ก็ยิ่งเพิ่มขึ้น [25] เนื่องจากสวนสาธารณะที่มีรูปร่างซับซ้อนมากจะมีที่ว่างให้แนวขอบของสวนสาธารณะติดต่อกับพื้นที่โดยรอบ จึงเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกับพื้นที่ใกล้เคียงแต่มีผลต่อระยะการแพร่กระจายอุณหภูมิจึงส่งผลต่อการลดความเข้มข้นของ PCI [35]

เมื่อศึกษาสัดส่วนและองค์ประกอบที่เป็นพื้นที่ผิวแดดอ่อนของสวนสาธารณะที่มีอิทธิพลต่อการสร้างความเย็น เช่น พื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ พื้นที่น้ำ และพื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้ พบว่า สัดส่วนของพื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ PCI และ PCA โดยพื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้มีความสัมพันธ์กับค่า PCI มากที่สุด ($r = 0.869$) ลำดับต่อมาคือ พื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ ($r = 0.857$) และพื้นที่น้ำ ($r = 0.646$) โดยที่พื้นที่น้ำที่มีสัดส่วนในพื้นที่สวนสาธารณะประมาณร้อยละ 17 ยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ PCI ($r = 0.646$) และ PCA ($r = 0.946$) เนื่องจากในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิของน้ำในพื้นที่สวนสาธารณะที่สูงขึ้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานกลายเป็นไอน้ำลอยตัวขึ้นสู่บรรยากาศ และมีส่วนอย่างมากต่อการระบายความร้อนภายในสวนสาธารณะและกระจายความเย็นไปยังพื้นที่รอบนอก แต่ Water ไม่ใช่ปัจจัยหลักที่มีผลต่อ PCG และ PCE ส่วนค่า NDVI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของ PCI ($r = 0.556$) และ PCA ($r = 0.904$) เช่นเดียวกัน โดย NDVI จะบอกถึงคุณสมบัติของพืชพรรณ ถ้าพื้นที่สีเขียวมีความสมบูรณ์มีพื้นที่ร่มเงาและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นมีส่วนช่วยให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงและยังช่วยลดอุณหภูมิอากาศผ่าน

กระบวนการคายระเหยน้ำของพืชและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายความเย็นในพื้นที่โดยรอบ

สรุปผล

การศึกษาอิทธิพลการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวต่อการบรรเทาปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเขตกรุงเทพมหานคร และจังหวัดนนทบุรี โดยการประยุกต์ใช้การรับรู้จากระยะไกลซอฟต์แวร์ Google Earth Engine ในการประมวลผลข้อมูลจากพื้นที่สีเขียว ทั้ง 3 แห่ง พบว่าสวนจิตรเบญจทัศ สวนลุมพินี และสวนอุทยานมกุฏมรยสราญมีค่าเฉลี่ย LST เท่ากับ 28.72, 28.67 และ 28.94 °C ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิภายในพื้นที่สีเขียวมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิจากพื้นที่รอบนอกประมาณ 1.0 - 1.4 °C จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า LST และ NDVI มีความสัมพันธ์เชิงลบ ($R^2 = 0.8929$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01) ซึ่งบ่งชี้ว่าพื้นที่สีเขียวมีความสมบูรณ์เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวลดลงได้ การทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PCI กับลักษณะทางกายภาพของสวนสาธารณะ ซึ่งพบว่าขนาดที่แตกต่างกันของพื้นที่สีเขียวมีผลต่อความแตกต่างในการแพร่กระจายความเย็น จากผลการศึกษาสวนจิตรเบญจทัศ มีการแพร่กระจายความเย็นมากที่สุด เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกพื้นที่สีเขียวมากที่สุด สังเกตได้ว่าพื้นที่สีเขียวที่มีขนาดใหญ่และรูปร่างของพื้นที่สีเขียวที่มีความซับซ้อนน้อยมีความสัมพันธ์ต่อการแพร่กระจายความเย็นภายในพื้นที่สีเขียวได้ดีกว่า แต่พื้นที่สีเขียวที่มีความซับซ้อนมาก หรือมีที่ว่างให้แนวขอบเชื่อมต่อกับพื้นที่โดยรอบจะมีผลต่อประสิทธิภาพและการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่า ทั้งนี้ ระดับของการแพร่กระจายความเย็นนอกจากจะมีความสัมพันธ์กับ

สัดส่วนของพื้นที่เปิดที่น้ำซึมผ่านได้ ($r = 0.869$) พื้นที่ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ ($r = 0.857$) และพื้นที่น้ำ ($r = 0.646$) ที่มีอยู่ในสวนสาธารณะทั้ง 3 แห่งแล้ว จากผลการศึกษาค่า NDVI ที่บ่งชี้ถึงคุณสมบัติของพืชพรรณที่มีอยู่ในสวนสาธารณะที่มีอิทธิพลต่อการลดลงของอุณหภูมิพื้นผิวได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการเพิ่มระดับ NDVI เป็นทางเลือกหนึ่งที่เป็นไปได้มากที่สุดและเหมาะสมกับการเพิ่มศักยภาพของสวนสาธารณะในเขตเมืองขนาดใหญ่ เช่น กรุงเทพมหานคร และจังหวัดนนทบุรี ที่มีข้อจำกัดในเรื่องการเพิ่มขนาดของพื้นที่สีเขียว นอกจากนี้การที่มีแหล่งกำเนิดความเย็นแทรกอยู่โดยรอบสวนสาธารณะยังช่วยในการแพร่กระจายความเย็นไปสู่พื้นที่โดยรอบได้เช่นกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการวิเคราะห์ข้อมูล LST, NDVI และสัดส่วนของพื้นที่สีเขียว สำหรับการประเมินศักยภาพพื้นที่สีเขียวที่มีอยู่เดิม และกระบวนการที่สามารถเพิ่มการแพร่กระจายความเย็นของพื้นที่สีเขียวไปยังพื้นที่โดยรอบ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่ทำหน้าที่ในการจัดการพื้นที่สีเขียว นำข้อมูลไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและออกแบบสวนสาธารณะ หรือการพัฒนาพื้นที่ว่างเปล่าเพื่อช่วยลดอุณหภูมิของพื้นที่ในเมือง และผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ 650908000007 การศึกษาพื้นที่สีเขียวในเมืองสำหรับลดผลกระทบจากโดมความร้อนและมลพิษอากาศ (รหัสโครงการ 161426) ที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (Fundamental Fund; FF) และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณนายเอกชัย กกแก้ว นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และขอแนะนำเกี่ยวกับซอฟต์แวร์ Google Earth Engine มาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al. The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the

- intergovernmental panel on climate change. J Comput Geom. 2013;18(2):95-123.
2. Brysse K, Oreskes N, O'Reilly J, Oppenheimer M. Climate change prediction: Erring on the side of least drama? Glob. Environ Chang. 2013;23(1):327-37.
3. United Nations Department of Economics and Social Affairs. World Urbanization Prospects-The 2014 Revision. vol. 41, New York: Population Division; 2015.
4. Bass B, Baskaran B. Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas. Canada: National Research Council; 2003.
5. Traiphunvanich N, Vongpradubchai S, Rattanadecho P. [Study of heat transfer throughout the inverse temperature phenomena]. JARST. 2021;20(2):70-87. Thai.
6. Memon RA, Leung DY, Chunho L. A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island. J Environ Sci. 2008;20:120-8.
7. The Thai Meteorological Department. Volatility and Climate Change 2020. Climate Center, Development Bureau of Meteorological. 2021. Thai.
8. Santamouris M. Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. Sci Total Environ. 2015;512:582-98.
9. Morabito M, Crisci A, Guerri G, Messeri A, Congedo L, Munafo M. Surface urban heat islands in Italian metropolitan cities: Tree cover and impervious surface influences. Sci Total Environ. 2021;751:142334.
10. Oliveira S, Andrade H, Vaz T. The cooling effect of green space as a contribution to the

- mitigation of urban heat: A case study on Lisbon. *Build Environ*. 2011;46(11):2186-94.
11. Hamada S, Takeshi O. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban For Urban Gree*. 2010;9(1):15-24.
 12. Ca VT, Asaeda T, Abu EM. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energ Buildings*. 1998;29(1):83-92.
 13. Nantarat P, Charoentrakulpeeti W, Wattanapinyo A. [The efficiency of urban heat island mitigation by cooling effects from greenspace in Chiang Mai Municipality]. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*. 2021;18(1):131-52. Thai.
 14. Zhu W, Sun J, Yang C, Liu M, Xu X, Ji C. How to measure the urban park cooling island? A perspective of absolute and relative indicators using remote sensing and buffer analysis. *Remote Sens-Basel*. 2021;13:3154.
 15. Kubota T, Lee HS, Trihamdani AR, Phuong TTT, Tanaka T, Matsuo K. Impacts of land use changes from the Hanoi Master Plan 2030 on urban heat islands: Part 1. Cooling effects of proposed green strategies. *Sustain Cities Soc*. 2017;32:295-317.
 16. Charoentrakulpeeti W. [Impact of land cover on atmospheric temperature in Bangkok]. *NIDA J Environ Manage*. 2012;8(1):1-18. Thai.
 17. Xiao XD, Dong L, Yan H, Yang N, Xiong Y. The influence of the spatial characteristics of urban green space on the urban heat island effect in Suzhou Industrial Park. *Sustain Cities Soc*. 2018;40:428-39.
 18. Omodior O, Eze P, Anderson KR. Using i-tree canopy vegetation cover subtype classification to predict peri-domestic tick presence. *Ticks Tick-Borne Dis*. 2021;12(3):101684.
 19. Ermida SL, Soares P, Mantas V, Götttsche FM, Trigo IF. Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the landsat series. *Remote Sens-Basel*. 2020;12(9):1471.
 20. Pironkova Z, Whaley R, Lan K. Time series analysis of Landsat NDVI composites with Google Earth Engine and R: User guide. Science and Research Branch Ministry of Natural Resources and Forestry. 2018;39:39.
 21. Du C, Ren H, Qin Q, Meng J, Zhao S. A practical split-window algorithm for estimating land surface temperature from landsat 8 data. *Remote Sens-Basel*. 2015;7:647-65.
 22. Avdan U, Jovanovska G. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *J Sensors*. 2016;1480307.
 23. Skoković D, Sobrino JA, Jimenez-Munoz JC, Soria G, Julien Y, Mattar C, et al. Calibration and validation of land surface temperature for Landsat8-TIRS sensor. *Land product validation and evolution*. 2014.
 24. Lawrence RL, Ripple WJ. Comparisons among vegetation indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape: Mount St. Helens, Washington. *Remote Sens Environ*. 1998;64(1):91-102.
 25. Cao X, Onishi A, Chen J, Imura H. Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape Urban Plan*. 2010;96(4):224-31.
 26. Peng J, Dan Y, Qiao R, Liu Y, Dong J, Wu J. How to quantify the cooling effect of urban parks? Linking maximum and accumulation

- perspectives. *Remote Sens Environ.* 2021;252: 112-35.
27. Cheng X, Wei B, Chen G, Li J, Song C. Influence of park size and its surrounding urban landscape patterns on the park cooling effect. *J Urban Plan Dev.* 2015; 141(3):A4014002.
28. Li H, Wang G, Tian G, Jombach S. Mapping and analyzing the park cooling effect on urban heat island in an expanding city: A case study in Zhengzhou City, China. *Land.* 2020;9(2):57.
29. Phengphit N, Jaisa-ard W, Uchanapai C. [Application of remote sensing for studying influence between green areas and land surface temperature, a case study of Nakhon Sawan Municipality Area]. *Thai Science and Technology Journal.* 2020; 28(8):1359-71. Thai.
30. Agnihotri AK, Ohri A, Mishra S. Impact of green spaces on the urban microclimate through Landsat 8 and TIRS data, in Varanasi, India. *International Journal of Environment and Sustainability.* 2018; 7(2):72-80.
31. Shashua-Bar L, Hoffman ME. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energ Buildings.* 2000;31(3):221-35.
32. Park J, Kim JH, Lee DK, Park CY, Jeong SG. The influence of small green space type and structure at the street level on urban heat island mitigation. *Urban For Urban Gree.* 2017;21:203-12.
33. Ren Z, He X, Zheng H, Zhang D, Yu X, Shen G, et al. Estimation of the relationship between urban park characteristics and park cool island intensity by remote sensing data and field measurement. *Forests.* 2013;4(4):868-86.
34. Srivanit M, Iamtrakul P. Spatial patterns of greenspace cool islands and their relationship to cooling effectiveness in the tropical city of Chiang Mai, Thailand. *Environ Monit Assess.* 2019;191(9):1-16.
35. Xu X, Yue W. A study on thermal environment effect of urban park landscape. *Acta Ecologica Sinica.* 2008;28:170.



การทำนายความหวานผลเมล่อนแบบรวดเร็วโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับแบบจำลองอัลกอริทึม

Rapid Prediction of Melon Sweetness Using Image Processing Techniques and Algorithmic Models

นพพร รัตนช่วง*

Nopporn Rattanachoung*

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140
Department of Physics, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, THAILAND

*Corresponding author e-mail: faasnor@ku.ac.th

ARTICLE INFO

Article history:

Received: March 2, 2023

Revised: April 19, 2023

Accepted: April 24, 2023

Available online: April 28, 2023

DOI: 10.14456/jarst.2023.11

Keywords: Image processing, melon fruit, Python language, Random Forest (RF), eXtreme Gradient Boosting (XGB)

ABSTRACT

Rapid prediction of melon sweetness using image processing techniques and algorithmic models is studied. The sweetness of melon is usually greater than 12.5 Brix, which can be measured with a digital sweet meter where most consumers do not know such a problem. This work proposed an image processing technology combined with an algorithmic model to determine the sweetness of the melon. The melon sweetness measurement method collects 100 samples of full-leaf melon photographs from 4 sides, top, bottom, left and right, consisting of weight, circumference, stalk size, and small circle axis size. The size of the core to the edge of the large circle net is height, light intensity, and relative humidity, color temperature and intensity using image processing techniques. All of this data is learned using Random Forest (RF) and eXtreme Gradient Boosting (XGB) techniques, one of the machine learning algorithms used to predict melon sweetness. The test results showed that the R-squared value of model learning in the XGB algorithm was 99%, while that of the RF algorithm was 95%. It could be concluded that the XGB algorithm was effective in model learning-better than the RF algorithm, with the weight of the melon being the most prominent. The melon color value was the least significant in interpreting the melon sweetness value. For the actual test, a

model of the XGB algorithm was used to predict the sweetness value of 50 melons. The prediction accuracy is up to 95%, utilized for checking melon results.

บทคัดย่อ

การทำนายความหวานผลเมล่อนแบบรวดเร็ว โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับแบบจำลองอัลกอริทึม ค่าความหวานของเมล่อนปกติจะมากกว่า 12.5 Brix สามารถตรวจวัดได้จากเครื่องวัดความหวานแบบดิจิตอล ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่ทราบปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้เสนอเทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับแบบจำลองอัลกอริทึมเพื่อหาค่าความหวานของเมล่อน วิธีการตรวจวัดความหวานของเมล่อนจะดำเนินการเก็บข้อมูลภาพถ่ายผลเมล่อนเต็มใบ 4 ด้าน คือ ด้านบน ด้านล่าง ด้านซ้ายและด้านขวา ทั้งหมด 100 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ค่าน้ำหนัก เส้นรอบวง ขนาดก้าน ขนาดแกนกลาง วงกลมเล็ก ขนาดแกนกลางถึงขอบตาข่ายวงกลมใหญ่ ความสูง ความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความชื้นสี โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ข้อมูลทั้งหมดนี้จะถูกนำมาเรียนรู้ด้วยเทคนิค Random Forest (RF) และ eXtreme Gradient Boosting (XGB) เป็นอัลกอริทึมอันหนึ่งในกระบวนการเรียนรู้เครื่องจักรที่ถูกเลือกใช้ในการทำนายค่าความหวานของเมล่อน ผลการทดสอบพบว่าค่า R-squared ของการเรียนรู้โมเดลในอัลกอริทึม XGB คือ 99% ในขณะที่อัลกอริทึม RF คือ 95% จึงสรุปได้ว่าอัลกอริทึม XGB มีประสิทธิภาพในการเรียนรู้โมเดลได้ดีกว่าอัลกอริทึม RF โดยค่าน้ำหนักของเมล่อนมีข้อเด่นชัดสำคัญที่สุด และค่าสีของเมล่อนมีข้อเด่นชัดสำคัญน้อยที่สุดในการแปลผลกับค่าความหวานของเมล่อน สำหรับการทดสอบจริงได้นำแบบจำลองของอัลกอริทึม XGB มาทำนายค่าความหวานของเมล่อนจำนวน 50 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าความแม่นยำในการทำนายมากถึง 95% สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบผลเมล่อน

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ ผลเมล่อน ภาษาไพทอน แบบจำลองอัลกอริทึม RF แบบจำลองอัลกอริทึม XGB

บทนำ

เมล่อนเป็นพืชในตระกูลแตงที่นิยมปลูกเพื่อการค้าชนิดหนึ่งที่มีราคาต่อผลสูง เนื่องจากเป็นแตงที่มีรสหอมหวาน มีคุณค่าทางโภชนาการ ประกอบด้วยวิตามินเอและวิตามินซีสูง มีถิ่นกำเนิดในต่างประเทศ ในแถบทวีปแอฟริกาใช้รับประทานผลสุกมีกลิ่นหอม รสหวาน เจริญได้ดีในสภาพร้อนแห้ง แสงแดดจัด ปัจจุบันมีการผลิตออกมามากหลายสายพันธุ์ที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพภูมิประเทศของประเทศไทย [1] การผลิตเมล่อนที่มีคุณภาพสูงจำเป็นต้องมีการดูแลเอาใจใส่ในการเพาะปลูกและการจัดการแปลงผลผลิต นอกจากนี้เมล่อนอุดมไปด้วยวิตามินอี ที่มีชื่อเสียงมากในวงการบำรุงผิวพรรณ มันให้ความชุ่มชื้น ลดการอักเสบของผิว รวมทั้งช่วยผลิตเซลล์ผิว ทำให้ผิวเนียน เรียบขาว กระจ่างใส นอกจากนี้ยังมีวิตามินซี ที่ถือว่าเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยธรรมชาติที่ทรงประสิทธิภาพ ช่วยลดการเกิดความเสื่อมของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายและมีประสิทธิภาพสูงในการเสริมสร้างคอลลาเจน [1] โดยเฉพาะคอลลาเจนไตรเปปไทด์และที่สำคัญผู้บริโภคยังไม่ทราบค่าความหวานของผลเมล่อนที่เลือกซื้อก่อนหน้านี้ไปบริโภค

จากคุณประโยชน์ข้างต้นผู้วิจัยจึงต้องการทำนายความหวานของผลเมล่อน โดยเลือกพันธุ์เมล่อนที่ต้องการพร้อมทั้งนำผลเมล่อนมาศึกษาโดยใช้วิธีการตรวจสอบและทำนายความหวานผลเมล่อนแบบรวดเร็ว โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ [2, 3] ร่วมกับแบบจำลองอัลกอริทึม ศึกษาลักษณะทางกายภาพภายนอกของเมล่อน เก็บข้อมูลซึ่งประกอบด้วย ค่าน้ำหนัก (x1) เส้นรอบวง (x2) ขนาดก้าน (x3) ขนาดแกนกลางวงกลมเล็ก (x4) ขนาดแกนกลางถึงขอบตาข่ายวงกลมใหญ่ (x5) ความสูง (x6) ความเข้มแสง (x7) ความชื้นสัมพัทธ์ (x8) อุณหภูมิ (x9) และความชื้นสี (x10) เก็บข้อมูลภาพถ่ายผลเมล่อนเต็มใบ ด้านบน ด้านล่าง ด้านซ้ายและด้านขวา ทั้งนี้ดำเนินการวัดค่าความหวานของผลเมล่อน โดยใช้เครื่องวัดความหวาน (Brix) แบบดิจิตอล จำนวนด้านละ 4 ตำแหน่ง ทำการ

ประมวลผลภาพถ่ายผลไม้โดยนำภาพถ่ายของผลไม้มาประมวลผลภาพโดยใช้ภาษาไพทอนด้วยวิธีภาพถูกทำให้เป็นความเข้ม/จางของสีเทาที่มีพิสัย (Grayscale) แล้วตัดเอาเฉพาะส่วนตรงกลางขนาด 200x200 PIXEL เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความเข้มของสีและคำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มของสี จะได้ข้อมูลความเข้มสีจำนวนทั้งหมด 40,000 ค่า สามารถคำนวณค่าของสีได้ ในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยนำการเรียนรู้เครื่องจักร [4] (Machine Learning) เป็นการสร้างชุดข้อมูล (Data Set) ได้เก็บตัวอย่างของชุดข้อมูลจำนวน 100 ชุด ประกอบด้วยข้อมูลขาเข้า 10 อย่าง และข้อมูลขาออก 1 อย่าง นำชุดข้อมูลมาสร้างค่าสถิติของชุดข้อมูลและนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขาเข้าทั้งหมดและข้อมูลขาออก เพื่อนำไปสู่การเลือกอัลกอริทึม [5] ดำเนินการทดลองการทำงานของโค้ด Seaborn Heatmap โดยใช้โปรแกรม PyCharm ด้วยภาษาไพทอนพร้อมนำไปทดสอบตัวอย่าง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบผลแม่นยำแบบรวดเร็วที่มีประสิทธิภาพต่อไป

เทคนิคการเรียนรู้เครื่องจักร [6] มีตัวชี้วัดที่ใช้วัดความถูกต้องของแบบจำลองหลายอย่าง สำหรับตัวชี้วัดที่ใช้ในแบบจำลอง Regression [7] ด้วยวิธีการต่อไปนี้

1. ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean Squared Error, MSE) เป็นการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยค่าที่ได้ยิ่งมีค่าน้อยก็ยิ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ใช้มีความแม่นยำมาก โดยค่า MSE จะมีวิธีคำนวณได้จากการนำค่าความคลาดเคลื่อนมายกกำลัง จากนั้นนำไปหาค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ (2.1)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2 \quad (2.1)$$

โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้

Y_t คือ ค่าจริงที่ t ใด ๆ

$\hat{Y}_t$ คือ ค่าทำนายที่ t ใด ๆ

2. ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) เป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนแบบมาตรฐาน ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยค่าที่ได้ยิ่งมีค่าน้อยก็ยิ่งแสดงว่า

แบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก โดยค่า RMSE จะมีวิธีการคำนวณคือการนำค่า MSE ที่คำนวณได้ แล้วมาหารากที่สอง ดังสมการที่ (2.2)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \quad (2.2)$$

3. ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R-Squared) เป็นค่าที่ใช้พิจารณาว่าแบบจำลองที่ใช้มีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด โดยมีค่า 0-1 ซึ่งค่า R-Squared ยิ่งเข้าใกล้ 1 ยิ่งดี โดยทั่วไปควรมีค่า R-Squared มากกว่า 0.6 จะถือว่าแบบจำลองที่ใช้เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพ ดังสมการที่ (2.3)

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \right) \quad (2.3)$$

โดยที่ $\bar{Y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของ Y_i

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือ

1.1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล รุ่น CS 2000 ยี่ห้อ OHAUS ดังรูปที่ 1 เก็บข้อมูลน้ำหนักของผลไม้



รูปที่ 1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล รุ่น CS 2000 ยี่ห้อ OHAUS

1.2 เครื่องวัดความยาวอย่างละเอียด เวอร์เนียร์แคลิเปอร์ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูง ดังรูปที่ 2 เก็บข้อมูลปริมาตรของผลไม้เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาตร



รูปที่ 2 เครื่องวัดความยาวอย่างละเอียดเวอร์เนียร์ แคลิเปอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo ความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร

1.3 เครื่องวัดความหวาน (Brix) แบบดิจิตอล Handheld Sugar Meter Model RF019 Measuring Range: Brix ช่วง 0.0–32.0% ดังรูปที่ 3 ใช้เก็บข้อมูลความหวานของผลเมล่อน



รูปที่ 3 เครื่องวัดความหวาน (Brix) แบบดิจิตอลแบบ Handheld Sugar Meter Model RF019 Measuring Range : Brix ช่วง 0.0–32.0%

1.4 ชุดอุปกรณ์และเครื่องมือซึ่งประกอบด้วยฐานรองรับซึ่งเป็นแท่นโต๊ะแม่เหล็กที่มีส่วนต่าง ๆ ประกอบด้วย แกนเหล็ก ที่ยึดจับโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์ปรับความละเอียดของระยะที่ต้องการทดลอง ดังรูปที่ 4 ใช้เก็บข้อมูลภาพผลเมล่อน



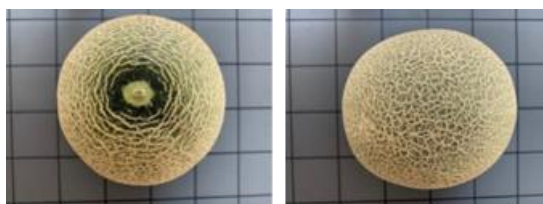
รูปที่ 4 แสดงชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ ทำการทดลองที่ระยะความสูง 220.85 มิลลิเมตร

1.5 เครื่องมือวัด Weatherstation ยี่ห้อ PHYWE ใช้วัดและเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มแสง ดังรูปที่ 5



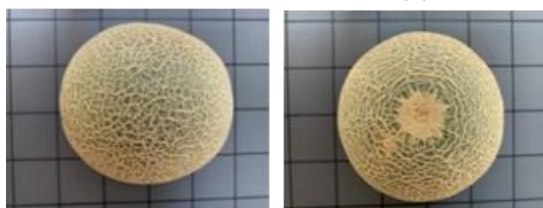
รูปที่ 5 เครื่องวัด Weatherstation ยี่ห้อ PHYWE ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มแสง

1.6 ผลเมล่อนญี่ปุ่นสี่เหลี่ยมที่ใช้สำหรับการตรวจสอบความหวานของผลเมล่อนลูกที่ 1



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

รูปที่ 6 แสดงภาพถ่ายเต็มลูกของผลเมล่อนลูกที่ 1 (ก) ด้านบน (ข) ด้านซ้าย (ค) ด้านขวา และ (ง) ด้านล่าง



รูปที่ 7 แสดงชุดถ่ายภาพเมล่อน ที่ระยะความสูง 220.80 มิลลิเมตร

2. การดำเนินการวิจัย

2.1 วิธีการประมวลผลภาพ

เขียนโค้ดแปลงภาพเป็นตัวเลขโดยใช้รูปที่เก็บได้จากการเก็บข้อมูลมาทำเป็นภาพขาวดำ และครอบภาพตรงกลางขนาด 200x200 พิกเซลมาทำการแปลงตัวเลขเฉลี่ยด้วยภาษาไพทอน

2.2 การเรียนรู้เครื่องจักร

2.2.1 ชุดข้อมูล ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างของชุดข้อมูลจำนวน 100 ชุด ประกอบด้วยค่าน้ำหนัก (x1) เส้นรอบวง (x2) ขนาดก้าน (x3) ขนาดแกนกลางวงกลมเล็ก (x4) ขนาดแกนกลางถึงขอบตาข่ายวงกลมใหญ่ (x5) ความสูง (x6) ความเข้มแสง (x7) ความชื้นสัมพัทธ์ (x8) อุณหภูมิ (x9) และความชื้นสี (x10) ข้อมูลขาเข้า 10 อย่าง และค่าความหวานของผลเมล่อน (y1) ข้อมูลขาออก 1 อย่าง

2.2.2 นำชุดข้อมูลเหล่านี้มาสร้างค่าสถิติของชุดข้อมูล นำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขาเข้าทั้งหมด และข้อมูลขาออก โดยใช้แผนผังแถบสีของข้อมูล (Heatmap)

2.2.3 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุด ในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยเลือกอัลกอริทึมไว้ 2 อย่าง ได้แก่ อัลกอริทึม XGB และอัลกอริทึม RF เพื่อค้นหาค่าของพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของอัลกอริทึม

- อัลกอริทึม eXtreme Gradient Boosting (XGB) เป็นอัลกอริทึมที่แนวคิดการเรียนรู้ให้สำเร็จโดยการสร้าง [8] และรวมผู้เรียนหลายๆ คนเข้าด้วยกันเป็นรูปแบบการเรียนรู้แบบบูรณาการผ่านการวนซ้ำอย่างต่อเนื่อง และความแม่นยำขึ้นด้วยการเพิ่มขึ้นของเวลาการทำซ้ำ [9]

- อัลกอริทึม Random Forest (RF) เป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้ตามแผนผังการตัดสินใจ โดยใช้เทคโนโลยีบูตสเตรปเพื่อแยกตัวอย่างแบบสุ่มจากตัวอย่างดั้งเดิม เพื่อสร้างแผนผังการตัดสินใจเดี่ยว ที่แต่ละโหมดของแผนผังการตัดสินใจจะใช้ซับซ้อน ย่อยของพีเจอร์แบบสุ่มเพื่อเลือกจุดจัดเรียง [10]

- การเปรียบเทียบอัลกอริทึม ในการเปรียบเทียบอัลกอริทึมจะตัดสินจากค่า Training R-squared ที่ได้จากผลการทำงานของโค้ดอัลกอริทึม XGB และอัลกอริทึม RF

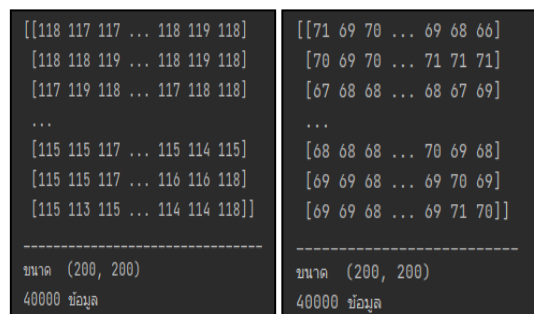
2.3 ความสำคัญของคุณลักษณะ

ในการประเมินผลกระทบของคุณลักษณะอินพุตและความแม่นยำของการทำนายสำหรับอัลกอริทึม XGB และอัลกอริทึม RF

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. การประมวลผลภาพถ่ายเมล่อน

การประมวลผลภาพถ่ายเมล่อน โดยนำภาพถ่ายของเมล่อนมาประมวลผลภาพโดยใช้ภาษาไพทอนด้วยวิธีภาพถูกทำให้เป็นความเข้ม/จางของสีเทาที่มีพิสัย (Grayscale) แล้วตัดเอาเฉพาะส่วนตรงกลางขนาด 200x200 PIXEL เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความเข้มของสี และจากการประมวลผลภาพถ่ายของเมล่อนจะได้ข้อมูลความเข้มสีจำนวนทั้งหมด 40,000 ค่าและสามารถคำนวณค่าของสีได้



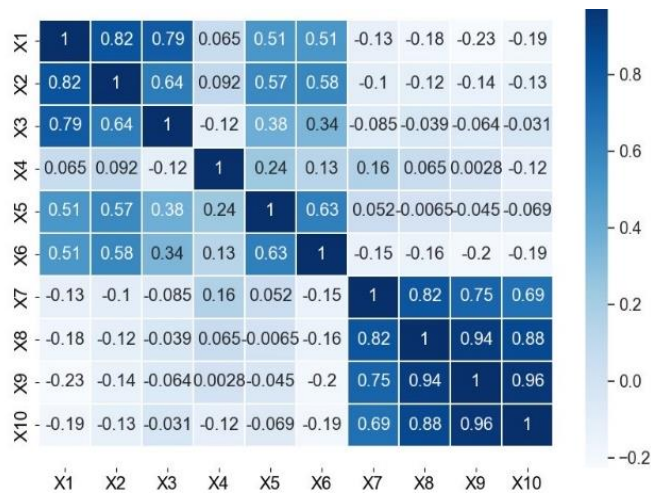
รูปที่ 8 (ก) ผลการประมวลผลเมล่อนตัวอย่างที่ 17 ความเข้มของสีเท่ากับ 67.040225, (ข) ผลการประมวลผลเมล่อนตัวอย่างที่ 24 ความเข้มของสีเท่ากับ 68.692450

จากรูปที่ 8 ผลการประมวลผลเมล่อนตัวอย่างสีของผลเมล่อนที่ 17 มีค่าความเข้มที่คำนวณได้อยู่ที่ 67.04 ในขณะที่ตัวอย่างที่ 24 มีค่าความเข้มที่คำนวณได้อยู่ที่ 68.69 เห็นได้ชัดเจนว่าตัวเลขไม่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าความเข้มสีของเมล่อนไม่มีผลต่อความหวาน

2. การเรียนรู้เครื่องจักร

2.1 ชุดข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างของชุดข้อมูลจำนวน 100 ชุด ข้อมูลขาเข้า 10 อย่าง และ ข้อมูลขาออก 1 อย่าง นำชุดข้อมูลเหล่านี้มาสร้างค่าสถิติของชุดข้อมูลได้ ดังตารางที่ 1 นำมาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลขาเข้าทั้งหมด และข้อมูลขาออก โดยใช้แผนผังแถบสีของข้อมูล (Heatmap) โดยทดลองการทำงานของโค้ด Seaborn heatmap โดยใช้โปรแกรม PyCharm ด้วยภาษาไพทอน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้าในแต่ละคู่ในรูปแบบสีและตัวเลข

จากรูปที่ 9 จะกำหนดจุดสนใจที่ข้อมูลระหว่างข้อมูลนำเข้า และข้อมูลออกว่าข้อมูลไหนมีค่ามากจะสามารถเลือกมาใช้สร้าง Model โดยข้อมูลขาออกคือ DTX ผลที่ได้คือค่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้าทั้งหมด และข้อมูลขาออกอยู่ในลักษณะที่สามารถนำไปใช้งานได้

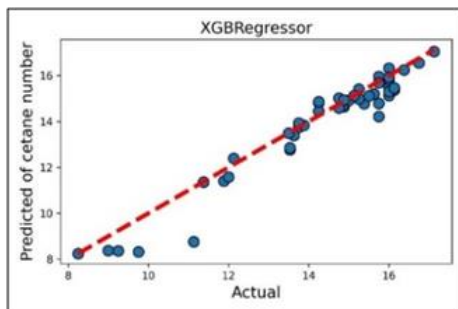
2.2 พารามิเตอร์ที่ดีที่สุด

การทดลองการทำงานของโค้ดพารามิเตอร์ที่ดี

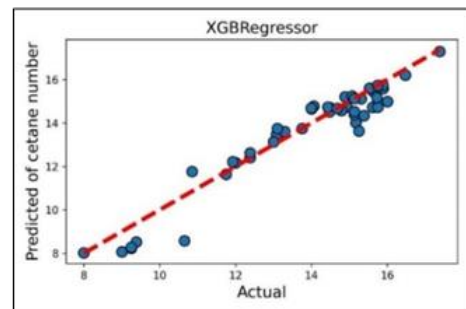
ที่สุดของอัลกอริทึม XGB และอัลกอริทึม RF โดยใช้โปรแกรม PyCharm ด้วยภาษาไพทอน ดังตารางที่ 2 จะนำค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้จากการรันพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด (Hyperparameter) ไปใช้กับอัลกอริทึม XGB และอัลกอริทึม RF

2.2.1 ข้อมูลอัลกอริทึม XGB

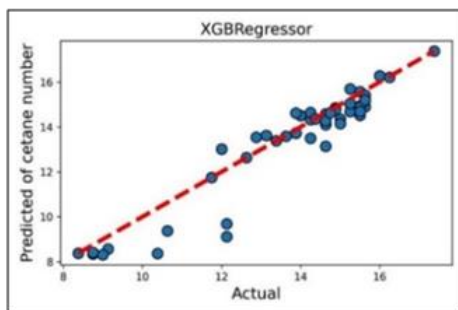
ข้อมูลผลการทำงานของโค้ดอัลกอริทึม XGB Regressor แสดงดังรูปที่ 10 และ ตารางที่ 3



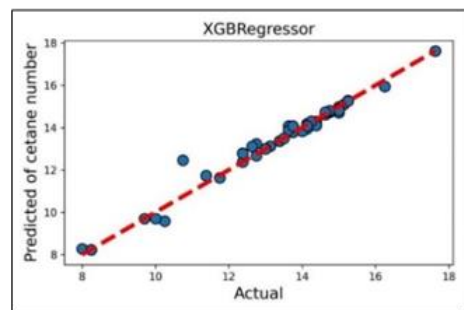
(ก) ด้านบน



(ข) ด้านล่าง



(ค) ด้านซ้าย



(ง) ด้านขวา

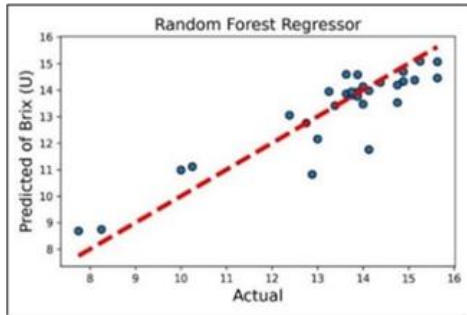
รูปที่ 10 ข้อมูลผลการทำงานของโค้ดอัลกอริทึม XGB Regressor ที่ตำแหน่ง (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง (ค) ด้านซ้าย และ (ง) ด้านขวา

2.2.2 ข้อมูลอัลกอริทึม RF

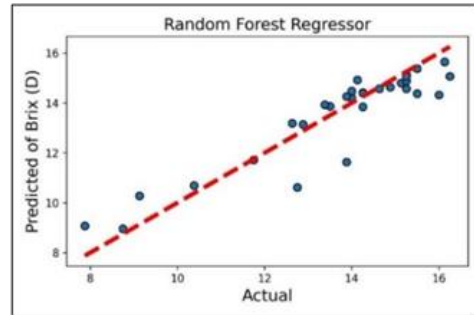
ข้อมูลผลการทำงานของโค้ดอัลกอริทึม RF แสดงดังรูปที่ 11 และ ตารางที่ 4

2.2.3 การเปรียบเทียบอัลกอริทึม

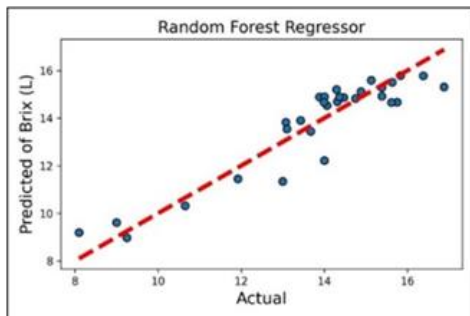
ในการเปรียบเทียบอัลกอริทึมจะตัดสินจากค่า Training R-squared ที่ได้จากผลการทำงานของโค้ดอัลกอริทึม XGB และอัลกอริทึม RF โดยใช้โปรแกรม PyCharm ด้วยภาษาไพทอน ดังรูปที่ 12 และ ตารางที่ 5



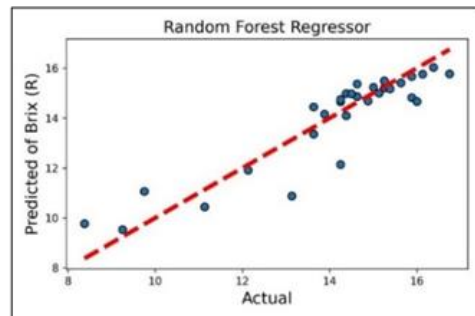
(ก) ด้านบน



(ข) ด้านล่าง

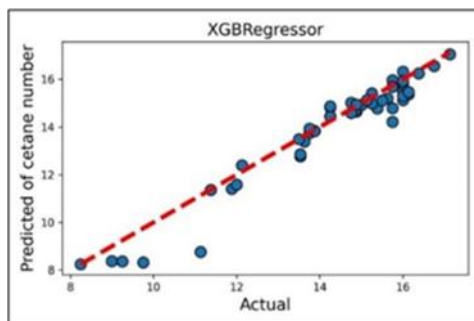


(ค) ด้านซ้าย

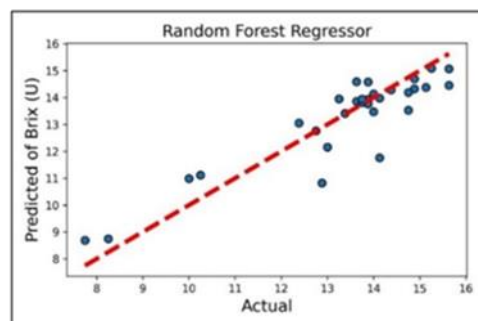


(ง) ด้านขวา

รูปที่ 11 ข้อมูลผลการทำงานของโค้ดอัลกอริทึม RF ที่ตำแหน่ง (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง (ค) ด้านซ้าย และ (ง) ด้านขวา



(ก)



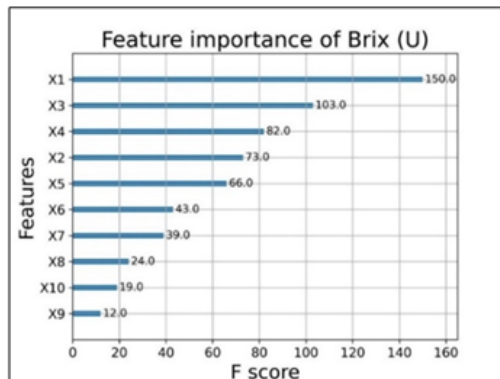
(ข)

รูปที่ 12 ผลการทำงานของโค้ดอัลกอริทึม (ก) XGB และ (ข) อัลกอริทึม RF

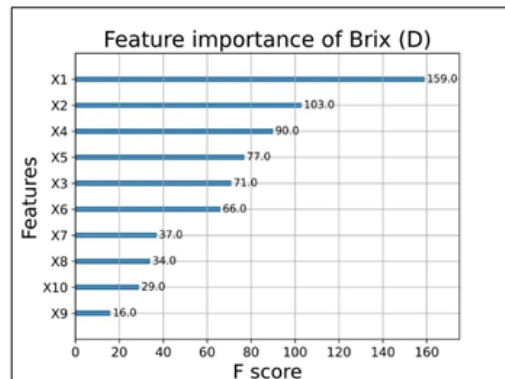
จากรูปที่ 12 (ก) มีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างน้อย แต่ในขณะที่ (ข) มีการกระจายตัวของข้อมูลมากกว่า หากพิจารณาจากรูปภาพอัลกอริทึม XGB จะเป็นอัลกอริทึมที่ดีที่สุด

3. ความสำคัญของคุณลักษณะ

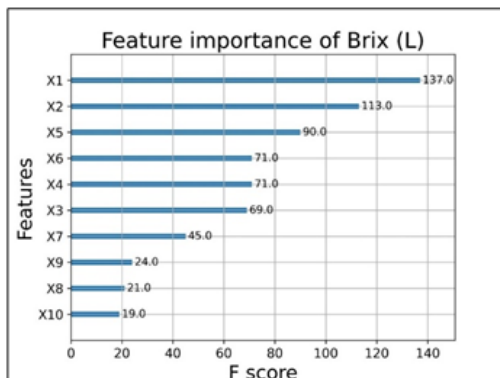
จากผลสรุปของอัลกอริทึม XGB เป็นอัลกอริทึมที่ดีที่สุดจึงได้นำอัลกอริทึม XGB มาใช้ในการเขียนโค้ดความสำคัญของคุณลักษณะ ดังรูปที่ 13



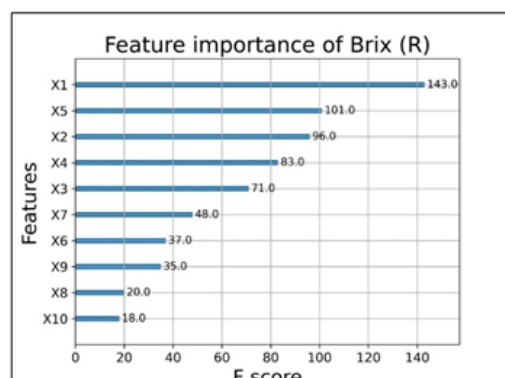
(ก) ด้านบน



(ข) ด้านล่าง



(ค) ด้านซ้าย

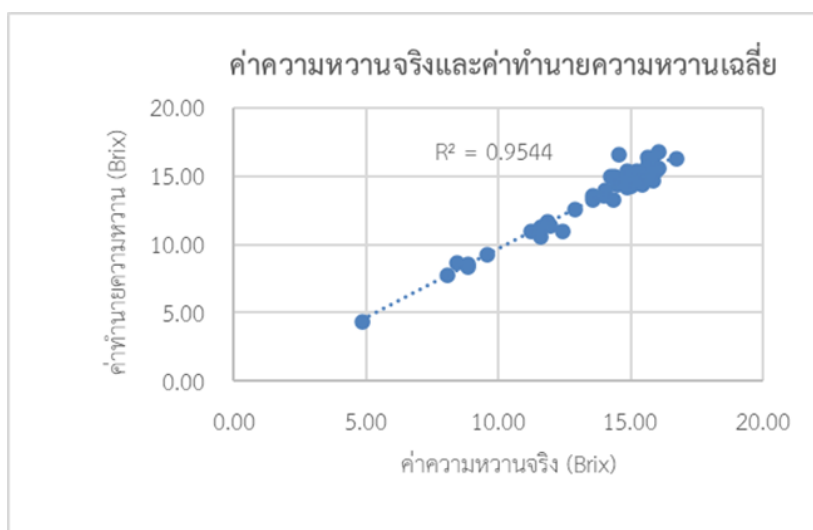


(ง) ด้านขวา

รูปที่ 13 คะแนนความสัมพันธ์ F-score ของข้อมูลขาเข้าและค่าความหวานของผลเมลอน (ก) ด้านบน (ข) ด้านล่าง (ค) ด้านซ้าย และ (ง) ด้านขวา

จากรูปที่ 13 คะแนนความสัมพันธ์ F-score ของข้อมูลขาเข้าและค่าความหวานด้านบน ด้านล่าง ด้านซ้าย และด้านขวาของผลเมลอน พบว่าน้ำหนักมี

คะแนนเฉลี่ยมากที่สุด 147.25 Brix รองลงมาคือเส้นรอบวงเฉลี่ย 96.25 Brix และค่าความเข้มข้นของผลเมลอนเฉลี่ยน้อยที่สุด 21.25 Brix



รูปที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหวานจริงกับค่าทำนายความหวานเฉลี่ย

4. ผลการทำนายค่าความหวานของเมล่อน

ผลการทดสอบพบว่า ค่า R-squared ของการเรียนรู้โมเดล [10] ในอัลกอริทึม XGB คือ 99% ในขณะที่อัลกอริทึม RF คือ 95% จึงสรุปได้ว่าอัลกอริทึม XGB มีประสิทธิภาพในการเรียนรู้โมเดลได้ดีกว่าอัลกอริทึม RF โดยค่าน้ำหนักของเมล่อนมีข้อเด่นชัดสำคัญที่สุด และค่าสีของเมล่อนมีข้อเด่นชัดสำคัญน้อยที่สุด ในการแปลผลกับ

ค่าความหวานของเมล่อน สำหรับการทดสอบจริงได้นำแบบจำลองของอัลกอริทึม XGB มาทำนายค่าความหวานของเมล่อนจำนวน 50 ตัวอย่าง เมื่อเทียบกับค่าความหวานจริง ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงระหว่าง 0.14–28.36 % และมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.90 % จึงถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ โดยเกณฑ์พิจารณาค่า R-Squared ระหว่างค่าจริงและค่าทำนายเท่ากับ 95.44

ตารางที่ 1 ค่าสถิติของชุดข้อมูล

ค่าสถิติการกระจาย ของข้อมูล	ค่าน้ำหนัก (กรัม)	เส้นรอบวง (มิลลิเมตร)	ขนาดก้าน (มิลลิเมตร)	ขนาดแกนกลาง (วงกลมเล็ก) (มิลลิเมตร)	ขนาดแกนกลางถึง ขอบตาข่าย (วงกลมใหญ่) (มิลลิเมตร)
ค่าต่ำสุด	856	112.10	3.65	13.10	15.75
ค่าสูงสุด	2570	165.65	11.10	30.15	36.25
ค่าเฉลี่ย	1612.92	137.00	6.74	20.44	26.66
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	355.07	37.05	1.87	4.68	4.56

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดระหว่างอัลกอริทึม XGB และอัลกอริทึม RF

Parameter	XGB		RF	
	ขอบเขต	ค่าที่ดีที่สุด	ขอบเขต	ขอบเขต
eta	0.05-0.5	0.4	eta	0.05-0.5
max_depth	4-10	6	max_depth	4-10
subsample	0.5-1	1	subsample	0.5-1
colsample_bytree	0.5-1	1	colsample_bytree	0.5-1
eval_metric	rmse	rmse	eval_metric	rmse
seed	42	42	seed	42
n_estimators	10-1001	120	n_estimators	10-1001
max_features	-	-	max_features	-
min_samples_split	-	-	min_samples_split	-

ตารางที่ 3 ผลของอัลกอริทึมที่ใช้ XGB

ML Methods	RF			
	ด้านบน	ด้านล่าง	ด้านซ้าย	ด้านขวา
Training R-squared	0.99	0.99	0.99	0.99
Test R-squared	0.92	0.91	0.86	0.97
MSE	0.39	0.43	0.68	0.11
RMSE of test	0.62	0.65	0.82	0.33
RMSE of train	0.00	0.00	0.00	0.00
Mean accuracy	0.85	0.77	0.86	0.91

ตารางที่ 4 ผลของอัลกอริทึมที่ใช้ RF

ML Methods	RF			
	ด้านบน	ด้านล่าง	ด้านซ้าย	ด้านขวา
Training R-squared	0.95	0.95	0.95	0.95
Test R-squared	0.81	0.81	0.81	0.81
MSE	0.69	0.69	0.69	0.69
RMSE of test	0.62	0.62	0.62	0.62
RMSE of train	0.59	0.59	0.59	0.59
Mean accuracy	0.61	0.61	0.61	0.61

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบอัลกอริทึมที่ใช้กับความหวานของผลเมล่อน

ML Methods	XGB	RF
Training R-squared	0.99	0.95
Test R-squared	0.92	0.81
MSE	0.40	0.69
RMSE of test	0.61	0.62
RMSE of train	0.00	0.59
Mean accuracy	0.85	0.61

จากตารางที่ 5 ผลการทำงานของโค้ด Model ค่า Training R-squared ของอัลกอริทึม XGB มีค่าเท่ากับ 99% ขณะที่ค่า Training R-squared ของอัลกอริทึม RF มีค่าเท่ากับ 95% แสดงว่าอัลกอริทึม XGB เป็นอัลกอริทึมที่ดีที่สุด

ทำนายที่แม่นยำมากขึ้นและควรเก็บข้อมูลผลการทดลองในห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐานเพิ่มขึ้นเพื่อควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ให้สมบูรณ์ มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เพื่อให้การตรวจสอบผลเมล่อนมีประสิทธิภาพมากที่สุด

สรุปผล

การตรวจสอบและทำนายความหวานผลเมล่อนแบบรวดเร็วโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับแบบจำลองอัลกอริทึม เพื่อหาค่าความหวานของเมล่อน ซึ่งค่าความหวานของผลเมล่อนถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ผลการทำงานของโค้ด Model ค่า Training R-squared ของอัลกอริทึม XGB มีค่าเท่ากับ 99% ขณะที่ค่า Training R-squared ของอัลกอริทึม RF มีค่าเท่ากับ 95% แสดงว่าอัลกอริทึม XGB เป็นอัลกอริทึมที่ดีที่สุด โดยเกณฑ์พิจารณาค่า R-Squared ระหว่างค่าจริงและค่าทำนายเท่ากับ 95.44% ทั้งนี้สามารถพัฒนาและนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบผลเมล่อนแบบรวดเร็วให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจะต้องดำเนินการดังนี้ชุดข้อมูลต้องได้รับการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้มีผลการ

เอกสารอ้างอิง

1. Allkaset. Melon [Internet]. [Cited 2022 Jan 11]. Availability from: <https://shorturl.asia/nZwJa>
2. Eiamopas K. Digital image processing. introduction and principles. Kasetsart Engineering Journal (Thailand). 1992;6(18): 30-42. Thai.
3. Utanon W, Phongsuphap S, Sawangarom W, Singkleewan N. Non-destructive Image Processing Technique and Rule - based Classification in Estimating the Quality of Fruit. J Inform. 2020;19:129-38. Thai.

4. Visitsora-at P. Basic Metrics for Measuring the Performance of Machine Learning Models. [Internet]. [Cited 2019 Oct 29]. Availability from: <https://shorturl.asia/nrKXT>.
5. Van der Walt S, Schönberger JL, Nunez-Iglesias J, Boulogne F, Warner JD, Yager N, et al. Scikit-image: image processing in Python. *PeerJ*. 2014;2:453.
6. Lyer LS. AI enabled applications towards intelligent transportation. *Transport Eng*. 2021;5(1):100083.
7. Golberg M, Cho H. Introduction to Regression Analysis. 2010.
8. He T, Li S, Wu S, Li K. Small-signal Stability analysis for power system frequency regulation with renewable energy participation. *Math Probl Eng*. 2021;2021:5556062.
9. Yang Y, Zhang X, Yang L. Data-driven power system small-signal stability assessment and correction control model based on XGBoost. *Energy Reports*. 2022;8:710-17.
10. Zhu L, Zhou X, Zhang C. Rapid identification of high-quality marine shale gas reservoirs based on the oversampling method and random forest algorithm. *Artificial Intelligence in Geosciences*. 2021;2:76-81.



**Institute of Research and Development
Rajamangala University of Technology Thanyaburi**

39 M.1 Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand
Tel. (02) 549-4492 Fax. (02) 577-5038, (02) 549-4680

Website : <https://ird.rmutt.ac.th>



THAIJO