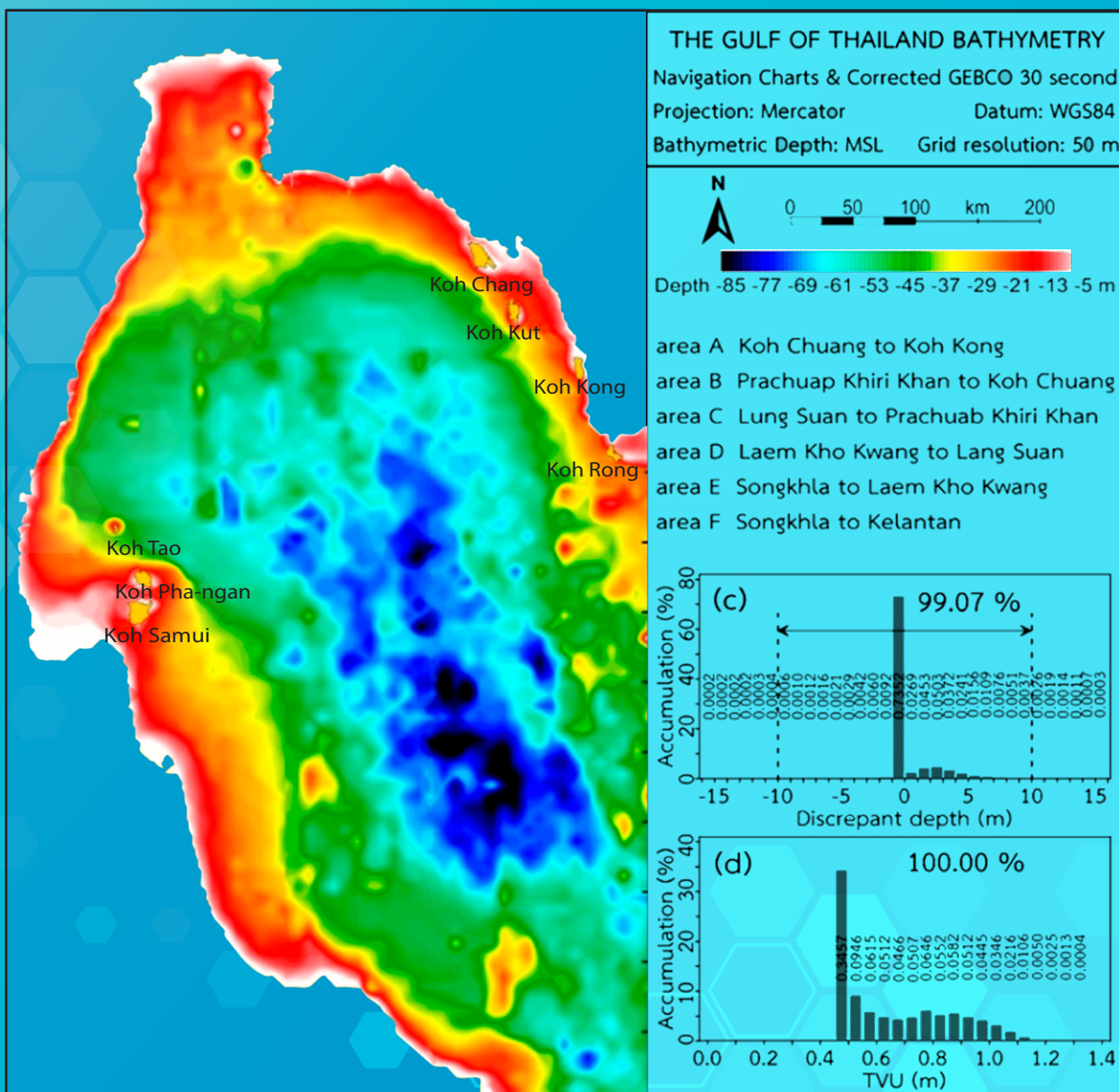




ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports

Name	ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports	
Owner	Thaksin University	
Advisory Board	Assoc. Prof. Dr. Wichai Chumni (President of Thaksin University)	
	Assoc. Prof. Kasem Asawatreratanakul (Vice President for Academic Affairs and International Affairs)	
	Assoc. Prof. Dr. Nathapong Chitniratna (Vice President for Research and Academic Services)	
	Assoc. Prof. Dr. Nathapong Chitniratna (Director of the Research and Development Institute)	
	Assoc. Prof. Dr. Nikom Choosiri	(Thaksin University)
	Asst. Prof. Dr. Prasong Kessaratikoon	(Thaksin University)
Editor		
Editorial Board	Prof. Dr. Charan Chantalakhana	(Kasetsart University)
	Prof. Dr. Visut Baimai	(Mahidol University)
	Prof. Dr. Suthat Yoksan	(Srinakharinwirot University)
	Prof. Dr. Apichart Suksamrarn	(Ramkhamhaeng University)
	Prof. Dr. Surin Setamanit	(Chulalongkorn University)
	Prof. Dr. Soottawat Benjakul	(Prince of Songkla University)
	Prof. Dr. Saowapa Angsupanich	(Prince of Songkla University)
	Assoc. Prof. Dr. Jatuporn Kaew-On	(Thaksin University)
	Assoc. Prof. Dr. Kanchit Malaivongs	(Office of the Royal Society)
	Assoc. Prof. Dr. Kanokphorn Sangkharak	(Thaksin University)
	Assoc. Prof. Dr. Sappasith Klomklao	(Thaksin University)
	Asst. Prof. Pattarawalai Talungchit	(Mahidol University)
	Asst. Prof. Dr. Kornvika Kongkul	(Thaksin University)
	Dr. Sirirat Sinprajakpol	(Thaksin University)
	Dr. Khwanchit Suwannoppharat	(Thaksin University)
Journal Management	Miss Ornkamom Kraiwong	(Thaksin University)
	Miss Phimmada Maneewong	(Thaksin University)
	Miss Ranee Sunsang	(Thaksin University)
	Miss Kanyanat Liadrak	(Thaksin University)

Objectives	1. To publicize research work and articles in the field of 1.1 Physics and Astronomy 1.2 Agricultural and Biological Sciences 1.3 Chemistry 1.4 Computer Science 1.5 Engineering of staff and researchers of Thaksin University and other organizations 2. To publicize information related to research 3. To exchange research knowledge and concepts
Publication Frequency	Published 3 times a year in January – April, May – August and September – December
Book format	B5 size (17.6x25 cm.) Art cover with 250 grams. four-color 80-gram paper, 1 color, 100 pages for main content
Publication	Online
Membership	The application for membership can be processed into ways: Journal Authors Researchers, academicians, or students who want to submit the article(s) must pay for reviewers' compensation, 2,000 Baht/ 70 US Dollars per article if the article is accepted. via Government Savings Bank account. Account Name: TSUJ Account Number: 0-2032824189-6 Papayom Branch After completing the payment, the membership applicant must attach the file of payment slip online at https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal or contact the journal coordinators at the following address: Research and Development Institute, Thaksin University, Phatthalung Campus 222 Moo. 2, Bann Prao Sub-district, Papayom District, Phatthalung, Thailand, 93210 Tel. 0 7460 9600 ext. 7242 or 08 1540 7304 E-mail address: tsujournal@tsu.ac.th or research.tsu@gmail.com Line: rdi.tsu, Twitter : @RDI_TSU, Facebook : ศวพ. ม.ทักษิณ
Contact Us	Thaksin University Journal Office, Research and Development Institute, Thaksin University, Phatthalung Campus 222 Moo. 2, Baan Prao Sub-district, Papayom District, Phatthalung, Thailand, 93210 Tel. 0 7460 9600 ext. 7242 or 08 1540 7304 E-mail address: tsujournal@tsu.ac.th or aseanjstr@tsu.ac.th Line: rdi.tsu, Twitter : @RDI_TSU, Facebook : ศวพ. ม.ทักษิณ
Print Place	Artwork & Media Tel. 08 9925 8455

Editorial

The present volume of Thaksin University Journal (TSUJ) Vol. 24 No. 2 (May–August 2021) is the second issue of three issues published in 2021. This issue is published 12 worth reading research articles. All of these interesting research articles were reviewed and answered by the experts from various universities and institutions in Thailand. All of these 12 interesting articles are multidisciplinary of science and technology of research articles in aquatic science, animal science, science and technology, applied nuclear physics, applied biology, fishery science and aquatic resources, industrial engineering, agriculture and technology, applied chemistry, fishery and natural resources, computer engineering, and civil engineering. We sincerely hope that some of the research papers will help guide and motivate active researchers to produce and create more valuable research shortly.

We would like to inform our valuable customers again that the (TSUJ) Vol. 24 No. 2 would be the last volume of TSUJ as announced in the (TSUJ) Vol. 24 No. 1. The new international platform of the Asian Journal of Scientific and Technological Reports (AJSTR) would be organized and replaced at the end of this year 2021 with the first complete volume (AJSTR Vol. 24 No. 3 (September – December 2021)). The new international platform of AJSTR has already been organized and ready to serve energetic readers and customers with the international rules. For this reason, all selected and accepted research articles will be only written and organized in English. Furthermore, the new international editorial board of AJSTR has been simultaneously also set up and started to administrate and manage all business of the journal. From now on, the AJSTR and a new editorial team are ready to organize, manage, publish, and deliver all good quality articles which were written in well-organized English to the world of academic society.

As editor of the TSUJ since 2017, the TUSJ editorial team and I are delighted and honored to be in part of a wonderful service to all customers and those interested in academic work. During this duty, we have been through the difficulties of creating quality work with great assistance and support from Thaksin University through the Research and Development Institute Thaksin University (RDITSU) and all valuable researchers, our great reviewers and loyal regular customers. We would like to thank everyone for their kind helps and supports for making our mission be accomplished and successful. Now it is a good time to adjust and change the responsibilities of this great work. The new editor and editorial board have already started to take care of the journal business. We again would like to say goodbye and hope to work with you again in some academic events and activities.

Finally, I would like to encourage the new international platform of AJSTR to carry out successful academic affairs and be recognized by the academic community as everyone expected. Hence, the present and last volume of TSUJ, that is, the TSUJ Vol. 24 No. 2 (May–August 2021), has been already issued to serve and uploaded on the ThaiJo platform of management within August 2021. This last document will be a memory and remembrance for all eternity. In the end, we expect our academic networks to help improve and upgrade the AJSTR quality up to the international level in 2023, as already announced. Thank you very much in advance for kindly helping AJSTR (former TSUJ) improve and index at the international level soon.

Besides, we would like to thank Asst. Prof. Pachoenchoke Jintasaranee and Asst. Prof. Dr. Chantima Piyapong for the wonderful cover page.

Asst. Prof. Dr. Prasong Kessaratikoon
Journal Editor

สารบัญ

บทความวิจัย (Research Articles)

1. การวิเคราะห์ความละเอียดข้อมูลความลึกบริเวณอ่าวไทย
Bathymetric Resolution Analysis of the Gulf of Thailand
เพชฌุ โชค จินตเสรีณี Pachoenchoke Jintasaeranee จันทิมา ปิยะพงษ์ Chantima Piyapong.....1
2. ความคิดเห็นเกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรขุนของเกษตรกรรายย่อยในอำเภอเมืองนครศรีธรรมราช
จังหวัดนครศรีธรรมราช
Opinions on Raising Finishing Pigs of Smallholder Farmers at Mueang Nakhon Si Thammarat District in Nakhon Si Thammarat Province
สมพร นพเกื้อ Somphon Noppakeua เย็นยี่ง จงจิตต์ Yenying Chongchit.....10
3. การวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการรวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์: กรณีศึกษา ตำบลบ้านกอก
อำเภอเชียงใน จังหวัดอุบลราชธานี
Site Suitability Analysis for Electronic Waste Collection: A Case Study in Ban Kok Sub-district, Khueang Nai District, Ubon Ratchathani Province
กฤตวิษณุ สุขอึ้ง Krittawit Suk-ueng เกศรา เรืองกิจฉายา Ketsara Ruangkitchaya
กุลวรรณ ไสร์จักษ์ Kunlawan Sorach อนูวัฒน์ ยินดีสุข Anuwat Yindesuk
ธีรวรรณ บุญโทแสง Teerawan Boontoseang.....18
4. นิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในพืชสมุนไพร และพืชอาหารสัตว์บริเวณภูเขาหินแกรนิต เกาะพะงัน
จังหวัดสุราษฎร์ธานี
Natural Radionuclides in Medicinal Plants and Forages from a Granite Mountain area, Phangan Island, Surathani Province.
พวงทิพย์ แก้วทับทิม Pungtip Kaewtubtim อุดร ชัยช่วย Udon Youngchuay
มูบารัก เล็กเกลี้ยง Mubarak Lakkiang.....31
5. การแยกและการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเอนไซม์ไลเปสโดยแบคทีเรียจากดินที่ปนเปื้อนน้ำมัน
Isolation and Factors Affecting Lipase Production by Bacteria from Oil-Contaminated Soils
ปริยานุช ทองภู Preeyanuch Thongpoo.....38
6. ผลของหญ้าเนเปียร์หมักผสมนมหมักกรดในสูตรอาหารเลี้ยงปลานิลในกระชัง
Effect of Fermented Napier Grass Mixed with Acid Fermented Milk Diet on Nile Tilapia in Cage Culture
ชนากร เหมะสถิต Tanakorn Haemasaton นิธินันท์ มั่งมี Nithinun Mungmee.....49

7. การจัดการคลังเวชภัณฑ์ประเภทน้ำเกลือด้วยเทคนิคการจำลองสถานการณ์ Saline Inventory Management with Simulation Techniques จารุพงษ์ บรรเทา Jarupong Banthao วิจัย บุญญานุสิทธิ์ Wijai Boonyanusith นวลพรรณ บุราณศรี Nuanpan Buransri ปนัดดา ไสภชาติ Panadda Sophatai พจนา ทานกระโทก Pojjana Thankrathok.....	58
8. การใช้มันเทศเป็นแหล่งสารสีในอาหารปลากัด Utilization of Sweet Potato as Pigment Source in Siamese Fighting Fish (<i>Betta splendens</i>) Feed ศุภลักษณ์ เกตุตากแดด Supalug Kattakdad กฤติมา เสาวกูด Krittima Saowakoon สุริยา อุดด้วง Suriya Udduang.....	70
9. สมบัติของยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นโดยพลังงานจากไมโครเวฟ เป็นสารตัวเติม Properties of Natural Rubber with Molasses Carbon Powder Activated Using Microwave Radiation as a Filler วราภรณ์ ไสประดิษฐ์ Waraporn Sopradit อติศักดิ์ จตุรพิริย์ Adisak Jaturapiree เอกราชนัย ไชยชนะ Ekrachan Chaichana ธนัญญา เสาวภาคย์ Thanunya Saowapark.....	80
10. ของเหลวไอออนิก 1-บิวทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียมโบรไมด์ ([Bmim][Br]) ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวทำละลาย และตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาสีเขียวของการควบแน่นเบนโซอินแบบตรงกันข้าม Ionic Liquid 1-Butyl-3-methylimidazolium Bromide ([Bmim][Br]) Acted as Both Solvent and Catalyst for a Green Reaction of Cross Benzoin Condensation บารมี พ่วงพิศ Baramee Phungpis กนกกาญจน์ วรวิทย์ Kanokkan Worawut พจนิษฐ์ แก้วคำแสน Potchanee Keawkumsan.....	91
11. การปรับปรุงความเร็วการคูณเมทริกซ์ด้วยเมทริกซ์โดยใช้เทคนิคการปูกระเบื้องแบบ 2 มิติ และชุดคำสั่ง AVX512 สำหรับสถาปัตยกรรมมัลติคอร์ An Improvement of the Matrix-Matrix Multiplication Speed using 2D-Tiling and AVX512 Intrinsics for Multi-Core Architectures หนู-ชิน อุ Nwe Zin Oo ปัญญยศ ไชยกาฬ Panyayot Chaikan.....	104
บทความวิชาการ (Academic Articles)	
12. การหาตัวคูณค่าคงที่เพื่อช่วยเป็นเครื่องมือในการประมาณราคางานผนังของบ้านพักอาศัย 2 ชั้น Develop an Estimating Factor to Help Estimating Masonry Wall Area of Two Stories Houses สุนันท์ มนต์แก้ว Sunun Monkaew ชูเกียรติ ชูสกุล Chookiat Choosakul.....	115



การวิเคราะห์ความละเอียดข้อมูลความลึกบริเวณอ่าวไทย

Bathymetric Resolution Analysis of the Gulf of Thailand

แพชณ โชค จินตเสรีณี¹ และจันทิมา ปิยะพงษ์^{2*}

Pachoenchoke Jintasaeranee¹ and Chantima Piyapong^{2*}

บทคัดย่อ

ข้อมูลความลึกพื้นทะเลชนิด GEBCO30 ความละเอียด 0.5 ไมล์ทะเล บริเวณอ่าวไทย ถูกปรับแก้ความถูกต้องเปรียบเทียบกับข้อมูลที่อ่านได้จากแผนที่เดินเรือ จำนวนรวม 47 ราว ที่ถูกสำรวจและเผยแพร่ระหว่าง พ.ศ. 2534–2548 การปรับแก้ความถูกต้องข้อมูลความลึกพื้นทะเลและการปรับปรุงความละเอียดแผนที่จาก 926 เมตร เป็น 200 เมตร และ 50 เมตร ทำโดยใช้ชุดคำสั่งในโปรแกรม The Generic Mapping Tools (GMT) ผลการศึกษาแสดงว่าข้อมูล GEBCO30 ในอ่าวไทย ที่ถูกปรับแก้ความถูกต้องแล้วที่มีความละเอียด 50 เมตร มีจำนวน 27,704,202 ข้อมูล และความลึกอยู่ในช่วง (-97.99) – (2.51) เมตร ข้อมูลร้อยละ 99.07 แสดงความคลาดเคลื่อนรวมเชิงพื้นที่ที่ระดับความน่าเชื่อถือร้อยละ 95 อยู่ในช่วง ± 10 เมตร ข้อมูลทั้งหมดแสดงความคลาดเคลื่อนรวมตามความลึกที่ระดับความน่าเชื่อถือร้อยละ 95 อยู่ในช่วง ± 1.3685 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.1945 ร้อยละของความลึกน้ำ ซึ่งสูงกว่าข้อมูลที่ถูกปรับแก้ความถูกต้องแล้วที่มีความละเอียด 926 และ 200 เมตร ตามลำดับ ข้อมูลความลึกพื้นทะเล GEBCO30 ที่ได้ปรับแก้ความถูกต้องและถูกปรับปรุงความละเอียดเป็น 50 เมตร นี้มีความน่าเชื่อถือตามมาตรฐานอุทกศาสตร์สากลและข้อมูลทั้งหมดมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่าร้อยละ 1 ของความลึกน้ำ

คำสำคัญ: อ่าวไทย การหั่งความลึก แผนที่เดินเรือ ความละเอียดแผนที่พื้นทะเล

Abstract

The GEBCO30 bathymetric data resolution 0.5 nautical miles in the Gulf of Thailand were corrected by comparison with the digitized Navigation Charts data from 47 charts in total that were surveyed and published between 1991 and 2005. The correction of bathymetric data and modification of map resolution from 926 meters to 200 and 50 meters were done by using scripts of the Generic Mapping Tools (GMT) programming. The result showed that the corrected GEBCO30 data in the Gulf of Thailand resolution 50 meters had 27,704,202 data and depth ranges (-97.99) – (2.51) meters. 99.07% of the data showed the discrepant depths with total horizontal uncertainty within 95% confidence level of ± 10 meters. All of the

¹ ผศ., ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

² ผศ. ดร., ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

¹ Asst. Prof., Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, 20131, Thailand

² Asst. Prof. Dr., Department of Biology, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, 20131, Thailand

* Corresponding author: Email address: chantimap@buu.ac.th

(Received: April 28, 2020; Revised: December 30, 2020; Accepted: January 4, 2021)

data showed the discrepant depths with total vertical uncertainty within 95% confidence level of ± 1.3685 meters and the value of Standard Deviation (SD) of 0.1945 that was better than the resolution 926 and 200 meters, respectively. The corrected GEBCO30 bathymetric data and adjusted resolution to 50 meters had the confidence following the standard of the International Hydrographic Organization, and all data also showed SD less than 1% of water depth.

Keywords: The Gulf of Thailand, Depth Sounding, Navigation Charts, Bathymetric Resolution

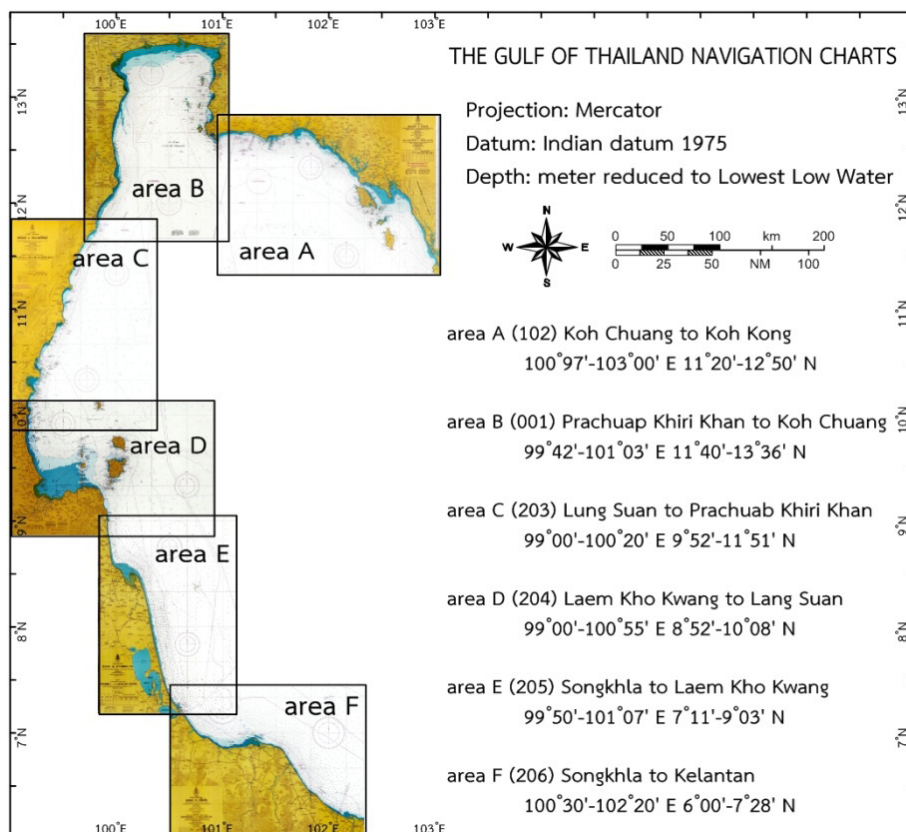
บทนำ

การศึกษาการไหลเวียนมวลน้ำผิวหน้าของอ่าวไทยโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [1] การจัดชั้นของมวลน้ำในอ่าวไทยจากข้อมูลทางกายภาพ [2] และการไหลเวียนของมวลน้ำชั้นล่างของอ่าวไทยโดยใช้ตัวติดตามกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ พบว่ามวลน้ำมีการผสมผสานและไหลเวียนอยู่ภายในอ่าวไทย โดยมีการแลกเปลี่ยนกับอ่าวไทยตอนล่างและทะเลจีนใต้น้อยมาก [3] การศึกษาการเกิดคลื่นพายุซัดฝั่งโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [4] และการกระจายมวลสารในอ่าวไทย [5-6] พบว่าการศึกษาเหล่านี้ต้องการข้อมูลความลึกที่มีความถูกต้องสูงเป็นข้อมูลที่สำคัญนำเข้าไปในแบบจำลอง ข้อมูลความลึกบริเวณปากแม่น้ำชายฝั่งและในทะเล มีการตรวจวัดในภาคสนามด้วยวิธีหยั่งความลึกน้ำ ที่มีจุดหยั่งความลึกน้ำใกล้กันแต่บริเวณห่างฝั่งพบว่าจุดหยั่งความลึกน้ำมีระยะห่างกันมากกว่า 1 กิโลเมตร ทำให้ค่าความลึกที่แสดงในแผนที่เดินเรือ (Navigation Charts, NC) มีความละเอียดข้อมูลเชิงพื้นที่ในบริเวณชายฝั่งสูงกว่าบริเวณห่างฝั่ง ในขณะที่แผนที่พื้นมหาสมุทรทั่วไปความละเอียด 0.5 ไมล์ทะเล หรือประมาณ 926 เมตร (The General Bathymetric Chart of the Oceans 30 Arc-second, GEBCO30) [7] แสดงความลึกที่มีความละเอียดข้อมูลเชิงพื้นที่ที่บริเวณห่างฝั่งมากกว่า NC แต่กลับมีความละเอียดข้อมูลบริเวณชายฝั่งน้อยกว่า อีกทั้งยังพบรายงานความคลาดเคลื่อนข้อมูลความลึกบริเวณชายฝั่งเพียงบางแห่งเท่านั้นและไม่พบการรายงานความคลาดเคลื่อนข้อมูลความลึก GEBCO30 ในบริเวณอ่าวไทย [8-9] ต่อมามีการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนข้อมูลความลึก GEBCO30 บริเวณอ่าวไทยตอนใน โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลความลึก NC เผยแพร่ระหว่างปี พ.ศ. 2478-2536 กับข้อมูลความลึก GEBCO30 พบว่าความลึก GEBCO30 ร้อยละ 71.47 คลาดเคลื่อนจาก NC น้อยกว่า 2 เมตร ส่วนบริเวณปากแม่น้ำและพื้นที่ส่วนใหญ่บริเวณตอนใต้และด้านทิศตะวันออกของอ่าวไทยตอนบนพบว่าข้อมูลความลึก GEBCO30 ตื้นกว่า NC ประมาณ 2-6 เมตร [10] ภายหลังมีการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนและมีการปรับแก้ความถูกต้องข้อมูลความลึก GEBCO30 อีกครั้งโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลความลึก NC เผยแพร่ระหว่างปี พ.ศ. 2535-2548 แล้วตรวจสอบความคลาดเคลื่อนรวมเชิงพื้นที่ที่ระดับความน่าเชื่อถือร้อยละ 95 (Total Horizontal Uncertainty within 95% Confidence Level, THU 95%CL) ความคลาดเคลื่อนรวมตามความลึกที่ระดับความน่าเชื่อถือร้อยละ 95 (Total Vertical Uncertainty within 95% Confidence Level, TVU 95%CL) ตามมาตรฐานอุทกศาสตร์สากล [11] และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นร้อยละของความลึกน้ำ (Standard Deviation in % of Water Depth, SD %WD) [12-13] พบว่าข้อมูลร้อยละ 58.26, 99.82 และร้อยละ 99.84 ตามลำดับ อยู่ในช่วงที่ได้รับความน่าเชื่อถือ และเมื่อปรับปรุงความละเอียดข้อมูลชุดนี้ เป็น 0.05 ไมล์ทะเล (92.6 เมตร) แล้วพบว่าข้อมูลร้อยละ 58.60, 99.82 และร้อยละ 99.93 ตามลำดับ และมีความน่าเชื่อถือมากกว่าข้อมูลชุดเดียวกันที่มีความละเอียด 0.5 ไมล์ทะเล [14] ส่วนบริเวณอ่าวไทยพบว่ามีการปรับแก้ความถูกต้องข้อมูลความลึก GEBCO30 เปรียบเทียบกับข้อมูล NC เผยแพร่ระหว่างปี พ.ศ. 2493-2537 พบว่า

ข้อมูล GEBCO30 ที่ปรับแก้ความถูกต้องแล้วมีความน่าเชื่อถือ [11] เฉลี่ยร้อยละ 98.31 และมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลน้อยกว่า 0.1 เมตร ยกเว้นบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันตกที่มีค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลความลึกน้อยกว่า 1.0 เมตร และพบว่าอ่าวไทยฝั่งตะวันตกคั่นกว่าบริเวณอื่น [15] งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนและปรับแก้ความถูกต้องข้อมูลความลึก GEBCO30 เปรียบเทียบกับข้อมูล NC ที่เผยแพร่ออกมาใหม่ แล้วปรับปรุงความละเอียดข้อมูลความลึก GEBCO30 ชุดนี้ให้มีความละเอียดมากขึ้นและมีความน่าเชื่อถือตามมาตรฐานอุทกศาสตร์สากล [11] ที่สามารถนำไปใช้ในการศึกษาลักษณะกายภาพพื้นทะเลที่น่าสนใจ เช่น รอยเลื่อนระนองและรอยเลื่อนคลองมะริด ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการวางแผนวิจัย และสำรวจในอ่าวไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

แผนที่เดินเรือในอ่าวไทยที่ใช้ในการศึกษานี้มีจำนวนทั้งสิ้น 47 ระวาง เผยแพร่ระหว่างปี พ.ศ. 2534-2548 โดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ 6 พื้นที่ ระหว่าง area A-F (ภาพที่ 1) ความลึกในแผนที่แสดงในหน่วยเมตรหักลงหาระดับน้ำลงต่ำที่สุด ใช้เส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ และระบบพิกัด Indian Datum 1975 (InD75) และข้อมูล GEBCO30 ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้เผยแพร่เมื่อ ค.ศ. 2010 [7] ข้อมูลความลึกแสดงในหน่วยเมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลางใช้เส้นโครงแผนที่แบบเมอร์เคเตอร์ ระบบพิกัด WGS84 [16]



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาในอ่าวไทยในการศึกษานี้

ทำการปรับแก้ข้อมูลความลึกแผนที่เดินเรือเชิงตัวเลข (Digitized Navigation Charts, DNC) ความละเอียด 0.5 ไมล์ทะเล จากค่าระบบพิกัด InD75 ให้เป็น WGS84 โดยใช้ค่าแก้ค่าลบที่รับจากดาวเทียมและปรับแก้ความลึกให้แสดงในหน่วยเมตรจากระดับทะเลปานกลางด้วยค่าเฉลี่ยระดับทะเลปานกลางเหนือเส้นแผนที่ที่แสดงไว้ในแผนที่เดินเรือแต่ละระวาง ข้อมูล DNC ถูกกำหนดให้กริดเหนือผิวน้ำมีค่าความลึกเป็นศูนย์และกริดใต้ผิวน้ำมีความลึกเป็นค่าลบ ทำการอ่านข้อมูล GEBCO30 โดยกำหนดพื้นที่ให้เท่ากับพื้นที่ศึกษาแต่ละพื้นที่ด้วยชุดคำสั่งที่เขียนด้วยโปรแกรม Generic Mapping Tools (GMT) [17] แล้วปรับแก้ข้อมูลให้อ่านได้เช่นเดียวกับข้อมูล DNC

ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนข้อมูลความลึก GEBCO30 (Discrepant Depth) เชิงพื้นที่ในแต่ละพื้นที่ศึกษา ทำโดยแปลงข้อมูล DNC และ GEBCO30 เชิงตัวเลขเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อลบข้อมูล DNC เชิงพื้นที่ด้วยข้อมูล GEBCO30 เชิงพื้นที่แบบเมตริกซ์ตามสมการที่ 1 การปรับแก้ความถูกต้องข้อมูล GEBCO30 (Corrected GEBCO30) เชิงพื้นที่ทำโดยหักลบข้อมูล GEBCO30 เชิงพื้นที่ด้วยความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่แบบเมตริกซ์ตามสมการที่ 2 แล้วทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนรวมเชิงพื้นที่ที่ระดับความน่าเชื่อถือร้อยละ 95 (THU 95%CL) แล้วปรับแก้ความถูกต้องข้อมูลความลึก Corrected GEBCO30 ด้วยวิธีการเดียวกันซ้ำอีกครั้ง หลังจากนั้นตรวจสอบความคลาดเคลื่อนรวมตามความลึกที่ระดับความน่าเชื่อถือร้อยละ 95 (TVU 95%CL) ตามมาตรฐาน [11] กำหนดให้พื้นที่ที่มีความลึกน้ำน้อยกว่า 100 เมตร ข้อมูลความลึกที่มีความน่าเชื่อถือร้อยละ 95 ต้องมีค่า THU 95%CL ไม่มากกว่า 5 เมตร+ร้อยละ 5 ของความลึกน้ำ และต้องมีค่า TVU 95%CL $\leq \pm\sqrt{a^2+(b \times d)^2}$ เมื่อ a คือ ค่าสัดส่วนคงที่ของความคลาดเคลื่อนที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามความลึก (มีค่า 0.5), b คือ สัมประสิทธิ์แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงตามความลึก (มีค่า 0.013), d คือ ความลึกในหน่วยเมตร และค่า $b \times d$ แสดงค่าสัดส่วนคงที่ของความคลาดเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงตามความลึก ดังนั้นจากข้อมูลความลึกโดยการหยั่งน้ำพบว่าข้อมูล Corrected GEBCO30 ยอมรับได้ตามมาตรฐานนี้ ในพื้นที่ศึกษา area A-area F ควรมีค่า THU 95%CL ในช่วง $\pm 7.94, 7.91, 8.32, 8.23, 7.32$ และ ± 7.93 เมตร ตามลำดับ และควรมีค่า TVU 95%CL อยู่ในช่วง $\pm 0.913, 0.908, 0.997, 0.977, 0.784$ และ 0.910 เมตร ตามลำดับ

$$(x_i y_j)_{\text{Discrepant depth (m)}} = (x_i y_j)_{\text{DNC}} - (x_i y_j)_{\text{GEBCO30}} \quad (1)$$

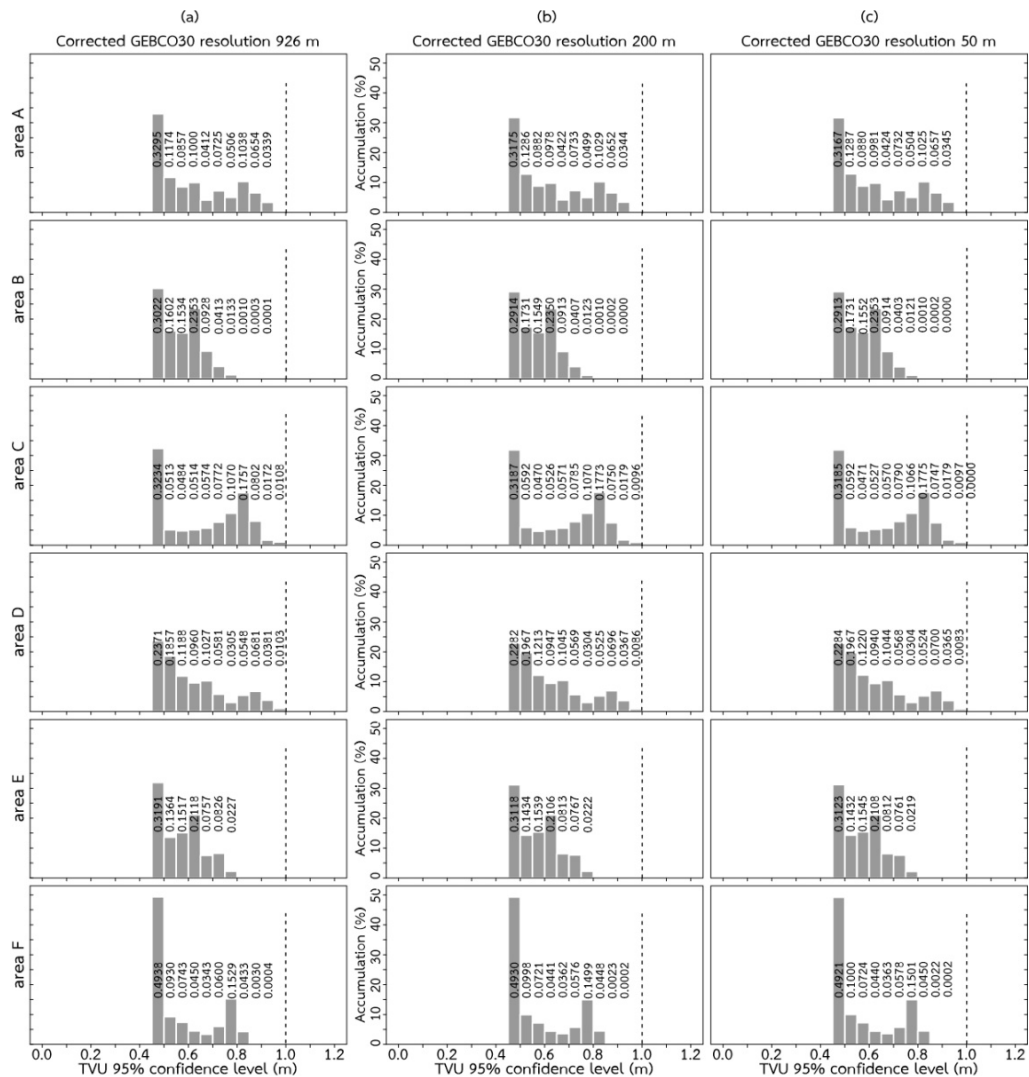
$$(x_i y_j)_{\text{GEBCO30}} - (x_i y_j)_{\text{Discrepant depth (m)}} = (x_i y_j)_{\text{Corrected GEBCO30}} \quad (2)$$

ปรับปรุงความละเอียด (Resampling) ข้อมูล Corrected GEBCO30 แต่ละพื้นที่จากความละเอียด 926 เมตร ให้มีความละเอียด 200 เมตร และ 50 เมตร ตามลำดับ และตรวจสอบ THU 95%CL, TVU 95%CL และค่า SD %WD ซึ่งคิดเป็น 0.51 เท่าของ TVU 95%CL [11] เปรียบเทียบกับข้อมูลความลึกที่ตรวจวัดด้วยเครื่องมือหยั่งความลึกชนิดใช้คลื่นสะท้อนแบบหลายลำคลื่น (Multibeam Echo-sounder) ที่ยอมรับได้พบว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือเมื่อมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าร้อยละ 1 ของความลึกน้ำ ($SD \leq 1\%$ of Water Depth) [12-13]

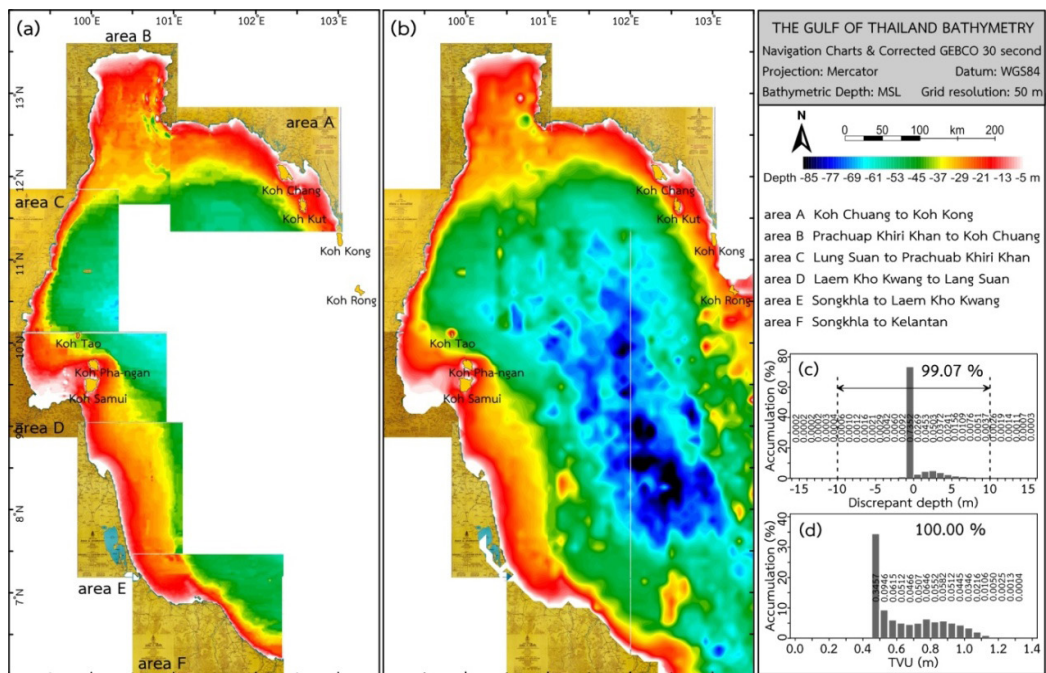
ผลการวิจัย

ข้อมูลความลึกพบว่าข้อมูลความลึก GEBCO30 ความละเอียด 926 เมตร มีค่า THU 95%CL อยู่ในช่วง ± 8 เมตร ในพื้นที่ศึกษา area A–area F ร้อยละ 92.80, 96.96, 88.00, 86.50, 95.85 และ 99.18 ตามลำดับ ข้อมูลความลึก Corrected GEBCO30 ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ทั้งความละเอียด 926, 200 และ 50 เมตร มีข้อมูลความลึกมากถึงร้อยละ 100 มีค่า THU 95%CL อยู่ในช่วง ± 8 เมตร และมีค่า TVU 95%CL อยู่ในช่วง ± 1 เมตร (ภาพที่ 2) ตามมาตรฐาน [11] และพบว่าข้อมูล Corrected GEBCO30 ความละเอียด 926 เมตร ในพื้นที่ศึกษา area A–area F มีความลึกไม่แตกต่างจากข้อมูล DNC แต่พบว่าข้อมูล Corrected GEBCO30 ความละเอียด 200 เมตร มีความลึกแตกต่างจากข้อมูล DNC ช่วง $(-0.26)–(0.46)$ เมตร โดยพบว่าที่ area B มีความลึก (-58.03) เมตร ในขณะที่ DNC มีความลึก (-58.29) เมตร และที่ area A มีความลึก (-59.24) เมตร ในขณะที่ DNC มีความลึก (-58.78) เมตร และข้อมูล Corrected GEBCO30 ความละเอียด 50 เมตร มีความลึกแตกต่างจากข้อมูล DNC ช่วง $(0)–(1.34)$ เมตร โดยพบว่าที่ area B มีความลึก (-59.63) เมตร ในขณะที่ DNC มีความลึก (-58.29) เมตร

เมื่อนำข้อมูล Corrected GEBCO30 ทุกพื้นที่ที่ศึกษามารวมกับข้อมูล GEBCO30 บริเวณอ่าวไทย ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนและปรับแก้ความถูกต้องข้อมูลความลึก (Corrected GEBCO30 in the Gulf of Thailand, Corrected GEBCO30 GoT) พบว่าข้อมูลชุดนี้ ความละเอียด 926 เมตร มีข้อมูลจำนวน 526,092 ข้อมูล มีความลึกช่วง $(-98.00)–(0.00)$ เมตร โดยข้อมูลทั้งหมดมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง TVU 95%CL ระหว่าง ± 1.3686 เมตร และ SD มีค่า 0.1946 ข้อมูลที่ปรับปรุงความละเอียดเป็น 200 เมตร พบว่ามีจำนวน 1,734,221 ข้อมูล มีความลึกช่วง $(-97.88)–(1.66)$ เมตร ข้อมูลร้อยละ 99.07 มีความคลาดเคลื่อนช่วง THU 95%CL ระหว่าง ± 10 เมตร ข้อมูล Corrected GEBCO30 GoT ทั้งหมดอยู่ในช่วง TVU 95%CL ระหว่าง ± 1.6021 เมตร และ SD มีค่า 0.1942 และข้อมูลที่ปรับปรุงความละเอียดเป็น 50 เมตร พบว่ามีจำนวน 27,704,202 ข้อมูล มีความลึกช่วง $(-97.99)–(2.51)$ เมตร โดยข้อมูลที่ถูกรับปรุงความละเอียดนี้ร้อยละ 99.07 อยู่ในช่วง THU 95%CL ระหว่าง ± 10 เมตร ข้อมูลทั้งหมดอยู่ในช่วง TVU 95%CL ระหว่าง ± 1.3685 เมตร และมีค่า SD เป็น 0.1945 (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 Histogram Plots แสดงความคลาดเคลื่อนข้อมูลความลึก Corrected GEBCO30 บริเวณ area A-area F ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ควรรอยู่ในช่วง ± 1 เมตร (a) ความละเอียด 926 เมตร (b) 200 เมตร และ (c) 50 เมตร



ภาพที่ 3 ภาพสีผสมแสดงความลึกของอ่าวไทย ความละเอียด 50 เมตร (a) ข้อมูล Corrected GEBCO30 พื้นที่ศึกษา area A–area F (b) ข้อมูล Corrected GEBCO30 ทุกพื้นที่ที่ศึกษารวมกับข้อมูล GEBCO30 (c และ d) Histogram Plots แสดงความคลาดเคลื่อนข้อมูลความลึกที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน [11]

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่าร้อยละความคลาดเคลื่อนข้อมูล GEBCO30 ความละเอียด 926 เมตร ที่ยอมรับได้ตาม [11] เมื่อเปรียบเทียบกับ DNC แล้วมีความแตกต่างกันแต่ละพื้นที่ โดยพบว่าความคลาดเคลื่อนข้อมูล GEBCO30 ชุดนี้ใน area F ขอมรับได้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 99.18 และน้อยที่สุดใน area C ร้อยละ 88.00 มีค่า THU 95%CL อยู่ในช่วง ± 8 เมตร เมื่อปรับแก้ความถูกต้องข้อมูล GEBCO30 ความละเอียด 926 เมตร และปรับปรุงความละเอียดเป็น 200 เมตร และ 50 เมตร ในทุกพื้นที่ที่พบว่าความคลาดเคลื่อนข้อมูลความลึกที่ปรับแก้ความถูกต้องและปรับปรุงความละเอียดแล้วทั้งหมดยอมรับได้ตาม [11] แสดงให้เห็นว่าข้อมูล GEBCO30 มีความคลาดเคลื่อนจากความลึกที่ตรวจวัดโดยวิธีหยั่งความลึกน้ำ โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งเช่นเดียวกับรายงานความคลาดเคลื่อนข้อมูล GEBCO30 [8-9] เมื่อมีการปรับแก้ความถูกต้องข้อมูล GEBCO30 แต่ละพื้นที่ที่ศึกษาในอ่าวไทยโดยเปรียบเทียบกับข้อมูล DNC ซ้ำอีกครั้งและปรับปรุงความละเอียดแล้วทำให้ข้อมูล Corrected GEBCO30 ทุกพื้นที่ที่มีข้อมูลความลึกที่มีความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง THU 95%CL ระหว่าง ± 8 เมตร และช่วง TVU 95%CL ระหว่าง ± 1 เมตร มากกว่าที่รายงานโดย [15]

ข้อมูล Corrected GEBCO30 GoT ความละเอียด 926 เมตร มีจำนวนมากกว่า [15] รายงานไว้จำนวน 289,651 ข้อมูล และพบว่าข้อมูลชุดนี้ที่ได้ปรับปรุงความละเอียดเป็น 200 เมตร และ 50 เมตรแล้วมีจำนวนมากกว่าข้อมูลชุดเดียวกันที่มีความละเอียด 926 เมตร โดยคิดเป็น 3.30 และ 52.66 เท่า ข้อมูลที่ปรับปรุงรายละเอียด 50 เมตร ร้อยละ 99.07 มีความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในช่วง THU 95%CL ระหว่าง ± 10 เมตร

ข้อมูลทั้งหมดอยู่ในช่วง TVU 95%CL ระหว่าง ± 1.3685 เมตร และมีค่า SD %WD เป็น 0.1945 ซึ่งสูงกว่าข้อมูลที่ถูกรับแก้ความถูกต้องแล้วที่มีความละเอียด 926 และ 200 เมตร และข้อมูลความลึก Corrected GEBCO30 GoT ที่ได้รับแก้ความถูกต้องและปรับปรุงความละเอียดเป็น 50 เมตร นี้มีความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน [11] และข้อมูลทั้งหมดมีค่า SD ต่ำกว่าร้อยละ 1 ของความลึกน้ำ [12-13] และเนื่องจากแผนที่เดินเรือที่ใช้ในการศึกษานี้ซึ่งมีการแก้ไขความถูกต้องและเผยแพร่ระหว่างปี พ.ศ. 2534-2548 โดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ และข้อมูล GEBCO30 บริเวณอ่าวไทยที่นำมาใช้ในการศึกษานี้เผยแพร่ในปี ค.ศ. 2010 [7] ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้เผยแพร่มาในช่วงเวลาหนึ่งแล้ว หากความลึกมีการเปลี่ยนแปลงอาจทำให้ข้อมูลจากการศึกษานี้มีความแตกต่างกับข้อมูลที่เป็นปัจจุบันกว่านี้

สรุปผลการวิจัย

การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนรวมเชิงพื้นที่ที่ระดับความน่าเชื่อถือร้อยละ 95 และปรับแก้ความถูกต้องข้อมูล GEBCO30 ที่เผยแพร่เมื่อ ค.ศ. 2010 ในบริเวณอ่าวไทยรวม 6 พื้นที่ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่อ่านได้จากแผนที่เดินเรือ (Digitized Navigation Charts, DNC) จำนวนรวม 47 ระวัง ที่ถูกสำรวจและเผยแพร่ระหว่าง พ.ศ. 2534-2548 และตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนรวมตามความลึกที่ระดับความน่าเชื่อถือร้อยละ 95 ตามมาตรฐานอุทกศาสตร์สากล ผลการศึกษาพบว่าข้อมูล GEBCO30 บริเวณอ่าวไทยที่ถูกรับแก้ความถูกต้องและปรับปรุงความละเอียดเป็น 50 เมตร มีจำนวน 27,704,202 ข้อมูล มีความลึกช่วง $(-97.99)-(2.51)$ เมตร ข้อมูลร้อยละ 99.07 มี THU 95%CL ระหว่าง ± 10 เมตร ข้อมูลทั้งหมดอยู่ในช่วง TVU 95%CL ระหว่าง ± 1.3685 เมตร และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็นร้อยละของความลึกน้ำ 0.1945 ซึ่งสูงกว่าข้อมูลที่ถูกรับแก้ความถูกต้องแล้วที่มีความละเอียด 926 และ 200 เมตร และข้อมูลความลึกที่ได้ปรับแก้ความถูกต้องและปรับปรุงความละเอียดเป็น 50 เมตร นี้มีความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานอุทกศาสตร์สากล และข้อมูลทั้งหมดมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่าร้อยละ 1 ของความลึกน้ำ เปรียบเทียบกับข้อมูลความลึกที่ตรวจวัดด้วยเครื่องมือยังความลึกชนิดใช้คลื่นสะท้อนแบบหลายลำคลื่น เพื่อให้ผู้สนใจนำไปใช้ในแบบจำลองการไหลเวียนและการผสมผสานของมวลน้ำในอ่าวและใช้อธิบายลักษณะพื้นทะเลที่น่าสนใจบริเวณอ่าวไทย เช่น รอยเลื่อนระนองและรอยเลื่อนคลองมะรุค เพื่อการตัดสินใจวางแผนสำรวจและวิจัยในอ่าวไทยต่อไป

References

- [1] Buranapratheprat, A., & Bunpapong, M. (1998). A two-dimension hydrodynamic model for the Gulf of Thailand. In *The IOC/WESTPAC Fourth International Scientific Symposium*, 469–478. February 2-7, 1998, Okinawa: Japan.
- [2] Yanagi, T., Sachoemar, S.I., Takao, T., & Fujiwara, S. (2001). Seasonal variation of stratification in the Gulf of Thailand. *Journal of Oceanography*, 57, 461–470.
- [3] Jintasaeranee, P. (1998). *Circulation of deep water masses in the Gulf of Thailand using natural Radium-226 and Radium-228 radiotracers*. Graduate Thesis. Chulalongkorn University. (in Thai).

- [4] Phaksopa, J., & Sojisuporn, P. (2006). Storm surge in the Gulf of Thailand generated by Typhoon Linda in 1997 using Princeton Ocean Model (POM). *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 40, 260–268.
- [5] Cheevaporn, V., & Menasveta, P. (2003). Water pollution and habitat degradation in the Gulf of Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, 47, 43–51.
- [6] Wattayakorn, G. (2012). Petroleum pollution in the Gulf of Thailand: A historical review. *Coastal Marine Science*, 35(1), 234–245.
- [7] General Bathymetric Chart of the Oceans (2010). *The GEBCO_08 Grid. version 20100927* (On line). Retrieved 25 October 2010 from https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/documents/gebco_08.pdf.
- [8] Marks, K.M., & Smith, W.H.F. (2005). 2,500 m isobath from satellite bathymetry: Accuracy assessment in light of IHO S-44 standards. *International Hydrographic Review*, 6(2), 1–11.
- [9] Sandwell, D.T., Smith, W.H.F., Gille, S., Kappel, E., Jayne, S., Soofi, K., Coakley, B., & Geli, L. (2006). Bathymetry from space: Rationale and requirements for a new, high-resolution altimetric mission. *C.R. Geoscience*, 338, 1049–1062.
- [10] Jintasaeranee, P. (2012). Accuracy of the general bathymetry (GEBCO 30 arc-second) in the Upper Gulf of Thailand. *Burapha Science Journal*, 17(1), 69–76. (in Thai).
- [11] International Hydrographic Bureau (2008). *IHO standards for hydrographic surveys, 5th Edition, February 2008*. Monaco: International Hydrographic Bureau.
- [12] Beyer, A., Schenke, H.W., Klenke, M., & Niederjasper, F. (2003). High resolution bathymetry of the eastern slope of the Porcupine Seabight. *Marine Geology*, 198, 27– 54.
- [13] Beyer, A., Rathlau, R., & Schenke, H.W. (2005). Multibeam bathymetry of the Hakon Mosby mud volcano. *Marine Geophysical Researches*, 26, 61–75.
- [14] Jintasaeranee, P. (2018). A high resolution bathymetric data for the inner Gulf of Thailand. *Burapha Science Journal*, 23(3), 1559–1570. (in Thai).
- [15] Jintasaeranee, P., & Buranapratheprat, A. (2017). A correction of the general bathymetric data in the Gulf of Thailand. *Burapha Science Journal*, 22(2), 118–134. (in Thai).
- [16] Smith, W.H.F., & Sandwell, D.T. (2004). Conventional bathymetry, bathymetry from space, and geodetic altimetry. *Oceanography*, 17(1), 8–23.
- [17] Wessel, P., & Smith, W.H.F. (1998). New improved version of generic mapping tools release. *EOS Transactions American Geophysical Union*, 79(47), 579.

ความคิดเห็นเกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรขุนของเกษตรกรรายย่อย ในอำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช

Opinions on Raising Finishing Pigs of Smallholder Farmers at Mueang Nakhon Si Thammarat District in Nakhon Si Thammarat Province

สมพร นพเกื้อ^{1*} และเย็นย้ง จงจิตต์²

Somphon Noppakeua^{1*} and Yenying Chongchit²

บทคัดย่อ

วิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1. ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรและสภาพการเลี้ยงสุกรขุน 2. ความคิดเห็นในการเลี้ยงสุกรขุนของเกษตรกรรายย่อยในอำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช ประชากรในการวิจัยได้แก่ เกษตรกรรายย่อยที่เลี้ยงสุกรในอำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จำนวน 172 ราย โดยใช้สูตร $n = \frac{N}{1+Ne^2}$ ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 120 ราย โดยใช้แบบสอบถามที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพและความเชื่อมั่นเป็นเครื่องมือ ผลการวิจัยพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ร้อยละ 55 เป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 58 ปี จบการศึกษาระดับประถมศึกษา มีอาชีพเลี้ยงสุกรเป็นอาชีพหลัก มีรายได้จากการเลี้ยงสุกรขุนเฉลี่ย 23,588 บาทต่อเดือน มีรายจ่ายเฉลี่ย 11,599 บาทต่อเดือน ระดับความคิดเห็นของเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรขุนเรียงลำดับจากมากไปน้อย พบว่า ด้านพื้นที่การเลี้ยงสุกร มีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X} = 4.67$) รองลงมาเป็นด้านการจำหน่ายและผลตอบแทน ($\bar{X} = 4.35$) ด้านสภาพการเลี้ยงสุกรขุนในปัจจุบัน ($\bar{X} = 4.17$) ด้านความยั่งยืนของการเลี้ยงสุกรขุน ($\bar{X} = 3.71$) ด้านการจัดการอาหารและสุขภาพ ($\bar{X} = 3.08$) ด้านอุปกรณ์การเลี้ยงสุกร ($\bar{X} = 2.87$) ด้านเงินทุน ($\bar{X} = 2.09$) และด้านการบริการจากเจ้าหน้าที่รัฐมีคะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุด ($\bar{X} = 1.42$) จากผลการศึกษา ด้านพื้นที่การเลี้ยงสุกรเกษตรกรมีความคิดเห็นมากที่สุด เนื่องจากมีสาธารณูปโภคที่ดีและมีแหล่งน้ำที่มีคุณภาพเพียงพอต่อการเลี้ยงสุกร ด้านการจำหน่ายและผลตอบแทนจากการเลี้ยงสุกรขุนเกษตรกรมีความคิดเห็นมาก เนื่องจากเป็นอาชีพหลักและสามารถสร้างรายได้ให้กับครัวเรือน โดยมีด้านเงินทุนที่มีระดับความคิดเห็นน้อยเนื่องจากเกษตรกรยังขาดแคลนเงินทุนในการขยายการเลี้ยงสุกรขุน และด้านการบริการจากเจ้าหน้าที่รัฐที่จะต้องปรับปรุง ผลสรุปงานวิจัยนี้จะได้นำไปใช้เป็นแนวทางปรับปรุงการส่งเสริมการเลี้ยงสุกรขุนของหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องต่อไป

คำสำคัญ: ความคิดเห็น การเลี้ยงสุกรขุน เกษตรกรรายย่อย

¹ อ., สาขาวิชาสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ 86160

² อ., สาขาวิชาพื้นฐานทั่วไป สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ 86160

¹ Lecturer, Animal Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, Chumphon, 86160, Thailand

² Lecturer, General Studies, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon Campus, Chumphon, 86160, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: knsompho@hotmail.com. Tel.: 089-472-8539

(Received: July 23, 2020; Revised: December 16, 2020; Accepted: January 4, 2021)

Abstract

The research aimed to study: 1) general information of smallholder farmers and finishing pig raising conditions, 2) opinions of the farmers on raising finishing pigs at Mueang District, Nakhon Si Thammarat Province. The research population was a group of 172 finishing pig farmers at Mueang District, Nakhon Si Thammarat Province. The sample of 120 were selected using a multistage sampling formula in which reliability and validity assessed questionnaires were used. The results showed that 55% of the samples are female farmers approximately aged 58 years old, with primary education, raising pigs as the main career with an average monthly income at 23,588 Baht and average monthly farming expense at 11,599 Baht. The opinions in descending order were farming area ($\bar{X} = 4.67$), distribution and returns ($\bar{X} = 4.35$), current raising conditions ($\bar{X} = 4.17$), sustainability ($\bar{X} = 3.71$), feed management and sanitation ($\bar{X} = 3.08$), farming equipment ($\bar{X} = 2.87$), funding ($\bar{X} = 2.09$), and government service ($\bar{X} = 1.42$). These indicate that farming areas have highly positive opinion because of adequate utility and good quality of drinking water resources and relatively high on the distribution and returns as it is a major household income. The funding has a low score because of inadequate funding and the government service needs an improvement. In conclusion, this research will be used as a further guideline for government and private sectors to promote the raised of finishing pigs.

Keywords: Opinions, Raising Finishing Pigs, Smallholder Farmers

บทนำ

บริบทสภาพเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม มีการปลูกพืชเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะในพื้นที่ของภาคใต้ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ทางทรัพยากรธรรมชาติมีสภาพพื้นที่อากาศและน้ำที่สมบูรณ์ ประกอบกับวิถีชีวิตและความเป็นอยู่อันเนื่องมาจากวัฒนธรรม การดำรงชีวิต การบริโภคของคนไทยทางภาคใต้มีความเรียบง่าย และการเลี้ยงสัตว์เป็นอาชีพหนึ่งที่ได้รับการนิยมนและเป็นอาชีพที่สร้างรายได้ให้กับครอบครัวเป็นอย่างมาก หนึ่งในนั้นคือการเลี้ยงสุกรเนื่องจากปัจจุบันคนไทยมีพฤติกรรมการบริโภคแหล่งโปรตีนจากเนื้อสุกรเป็นส่วนใหญ่ ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีความต้องการบริโภคเนื้อสุกรสูงขึ้น 1.49 ล้านตัน การเลี้ยงสุกร การบริโภค และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องมากมาย ทำให้ในช่วงการผลิตสุกรไม่เพียงพอต่อความต้องการส่งผลให้ราคาจำหน่ายเนื้อสุกรในตลาดค่อนข้างสูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านของราคาจำหน่ายเนื้อสุกรสูงมาก สิ่งเหล่านี้จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกษตรกรหันมาลงทุนและเลี้ยงสุกรมากขึ้น ตั้งแต่เลี้ยงเป็นรายย่อยในระดับครัวเรือน ไปจนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ปัญหาที่พบในการเลี้ยงสุกรคือ ลูกสุกรมีราคาแพง ราคาอาหารข้น วัสดุอุปกรณ์การเลี้ยงสุกรมีราคาเพิ่มขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง เกษตรกรยังขาดความรู้การจัดการฟาร์มสมัยใหม่ ขาดแรงงาน โรคระบาด ประเทศไทยมีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกร 168,529 ราย และมีจำนวนสุกรมากถึง 12,228,255 ตัว ภาคกลางเป็นพื้นที่ที่เลี้ยงสุกรมากที่สุดจำนวน 6,060,448 ตัว รองลงมาเป็นภาคเหนือ 2,407,869 ตัว ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2,231,063 ตัว และภาคใต้ 1,528,875 ตัว แหล่งที่ผลิตสุกรขุนมากที่สุดคือ ราชบุรี ชลบุรี ลพบุรี กำแพงเพชร

และพัสดุ ตามลำดับ ส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรายย่อยถึงร้อยละ 93.57 เลี้ยงสุกร 1-50 ตัว และมีเพียงร้อยละ 0.14 เท่านั้นที่เลี้ยงสุกรมากกว่า 5,000 ตัว ในส่วนของภาคใต้แหล่งที่มีการเลี้ยงสุกรขุนมากที่สุดคือ พัทลุง 465,473 ตัว นครศรีธรรมราช 330,029 ตัว สุราษฎร์ธานี 197,577 ตัว และสงขลา 188,216 ตัว ตามลำดับ และมีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรมากถึง 20,347 ราย [1] เมื่อเกษตรกรเลี้ยงสุกรเพิ่มขึ้นที่ผ่านมามักพบปัญหาหลักคือมีปริมาณสุกรขุนออกสู่ตลาดเพิ่มขึ้นจนล้นตลาดเกิดปัญหาสุกรมีชีวิตราคาตกต่ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อเกษตรกรรายย่อยที่เลี้ยงสุกรขุนประสบปัญหาขาดทุนเนื่องจากความไม่มีเสถียรภาพทางราคา ทำให้ต้องเลิกประกอบอาชีพการเลี้ยงสุกรไป

จากรายงานจำนวนสุกรในจังหวัดนครศรีธรรมราชที่กล่าวไปข้างต้น มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรจำนวน 6,234 ราย จาก 23 อำเภอ อำเภอที่มีสุกรมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ อำเภอลิขิต อำเภอท่าศาลา อำเภอเมืองนครศรีธรรมราช อำเภอร่อนพิบูลย์ และอำเภอทุ่งสง ตามลำดับ โดยอำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ทำการศึกษานี้มีจำนวนสุกร 17,109 ตัว มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรขุนจำนวน 172 ครัวเรือน ซึ่งอยู่ในอันดับที่ 3 ทำการศึกษาเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรขุนรายย่อยจำนวน 120 ราย แบ่งออกเป็น 13 ตำบล คือ ตำบลท่าไร่ ตำบลปากนคร ตำบลนาทราย ตำบลกำแพงเซา ตำบลไชยมนตรี ตำบลมะม่วงสองต้น ตำบลนาเคียน ตำบลท่าวีว ตำบลโพธิ์เสด็จ ตำบลบางจาก ตำบลปากพูน ตำบลท่าซัก และตำบลท่าเรือ [2] บริบทและการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมผู้บริโภค การประกอบอาชีพโดยเฉพาะในพื้นที่ จังหวัดนครศรีธรรมราชที่มีเกษตรกรจำนวนมาก หากที่ผ่านมามีปัญหาที่เกษตรกรมักพบจากการเลี้ยงสุกรขุน ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาและเพื่อรับทราบระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรขุนของเกษตรกรรายย่อยด้านต่างๆ ในการประกอบอาชีพ มีระดับความคิดเห็นมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการศึกษานี้จะได้นำข้อเสนอแนะจากเกษตรกรไปใช้เป็นแนวทางปรับปรุงแก้ไขการส่งเสริมการเลี้ยงสุกรขุนของหน่วยงานภาครัฐ และภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องต่อไป

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ โดยประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือ เกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรขุนรายย่อยในอำเภอเมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 13 ตำบล ประกอบด้วย ตำบลท่าไร่ ตำบลปากนคร ตำบลนาทราย ตำบลกำแพงเซา ตำบลไชยมนตรี ตำบลมะม่วงสองต้น ตำบลนาเคียน ตำบลท่าวีว ตำบลโพธิ์เสด็จ ตำบลบางจาก ตำบลปากพูน ตำบลท่าซัก และตำบลท่าเรือ มีจำนวน 172 ราย และใช้สูตรการคำนวณตัวอย่างของ (Yamane, 1967) [3] ได้จำนวน 120 ราย โดยวิธีการรวบรวมกลุ่มตัวอย่างโดยการสุ่มตัวอย่างแบบลำดับขั้นหลายขั้นตอน เพื่อให้ได้จำนวนตัวอย่างครบตามจำนวน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่แบบสอบถามที่มีโครงสร้างลักษณะคำถามที่เป็นแบบปลายปิด และคำถามปลายเปิด โดยแบ่งแบบสอบถามออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย 1) ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรและสภาพการเลี้ยงสุกรขุน 2) ความคิดเห็นเกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรขุนของเกษตรกร โดยมีการตรวจสอบคุณภาพและค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือและหาค่าสัมประสิทธิ์ Cronbach's Reliability Coefficient Alpha ได้ค่าความเชื่อมั่น 0.75 โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป [4] สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การกำหนดคะแนนในการวิเคราะห์ความคิดเห็นเกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรขุนของเกษตรกร มีดังนี้

มากที่สุด	เท่ากับ 5 คะแนน	ค่าคะแนนเฉลี่ย 4.51-5.00 มากที่สุด
มาก	เท่ากับ 4 คะแนน	ค่าคะแนนเฉลี่ย 3.51-4.50 มาก
ปานกลาง	เท่ากับ 3 คะแนน	ค่าคะแนนเฉลี่ย 2.51-3.50 ปานกลาง
น้อย	เท่ากับ 2 คะแนน	ค่าคะแนนเฉลี่ย 1.51-2.50 น้อย
น้อยที่สุด	เท่ากับ 1 คะแนน	ค่าคะแนนเฉลี่ย 1.00-1.50 น้อยที่สุด [5]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรและสภาพการเลี้ยงสุกรขุน

การศึกษาพบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรขุนร้อยละ 55.0 เป็นเพศหญิง มีอายุเฉลี่ย 58 ปี นับถือศาสนาพุทธ ร้อยละ 50.8 จบชั้นประถมศึกษา มีสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 5 คน มีแรงงานที่ใช้เลี้ยงสุกรเฉลี่ย 2 คน เป็นเพศชาย 1 คน และเพศหญิง 1 คน เกษตรกรร้อยละ 52.5 เลี้ยงสุกรขุนเป็นอาชีพหลัก ซึ่งต่างจากบุศราและคณะ [6] ได้ทำการศึกษาการเลี้ยงสุกรเกษตรกรพันธะสัญญากับโอกาสการพัฒนาของเกษตรกรรายย่อยในอำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราชที่พบว่า มีอาชีพทำนาทำสวนเป็นหลัก และเลี้ยงสุกรเป็นอาชีพรอง มีที่ดินถือครองเฉลี่ย 8.28 ไร่ เกษตรกร 3 ใน 4 ใช้เงินทุนส่วนตัวและกู้ยืมรายได้จากการเลี้ยงสุกรขุนเฉลี่ย 23,588 บาทต่อเดือน มีรายจ่ายจากการเลี้ยงสุกรขุนเฉลี่ย 11,599 บาทต่อเดือน ในกรณีจ้างแรงงานมีค่าจ้างเฉลี่ย 10,900 บาทต่อเดือน และร้อยละ 46.7 รับรู้ข้อมูลข่าวสารการเลี้ยงสุกรจากเพื่อนบ้าน

เกษตรกรมีประสบการณ์การเลี้ยงสุกรขุนเฉลี่ย 17.5 ปี เกษตรกรส่วนใหญ่เลี้ยงสุกร 3 สายพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับ ปรีชาติ และคณะ ได้ศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยงสุกรขุนของฟาร์มขนาดเล็กและขนาดย่อมในจังหวัดพัทลุงส่วนใหญ่นิยมเลี้ยงสุกรพันธุ์ผสม 3 สายพันธุ์ [7] ร้อยละ 86.7 เลี้ยงสุกรแม่พันธุ์เพื่อผลิตลูกสุกรใช้ในการขุน ร้อยละ 10.0 เลี้ยงสุกรโดยการซื้อลูกสุกรจากเพื่อนบ้าน และร้อยละ 3.3 ซื้อลูกสุกรจากฟาร์มเอกชนขนาดเล็ก เกษตรกรมากกว่าครึ่งร้อยละ 60.8 เลี้ยงสุกรขุนเป็นระยะเวลา 3-4 เดือนครึ่ง ร้อยละ 39.2 เลี้ยงสุกรมากกว่า 4 เดือนครึ่ง และร้อยละ 90.8 เลี้ยงบนพื้นขี้มันอย่างหนา เกษตรกรร้อยละ 60.0 ใช้อาหารสำเร็จรูปชนิดอัดเม็ดเนื่องจากหาซื้อได้ง่ายและสะดวก ร้อยละ 27.5 ใช้อาหารสำเร็จรูปชนิดอัดเม็ดร่วมกับพืชในท้องถิ่น เช่น หอยกกล้วย ผักตบชวา และร้อยละ 12.5 ใช้อาหารชนิดผสมด้วยตนเอง แหล่งน้ำสำหรับใช้เลี้ยงสุกรร้อยละ 60.0 ใช้น้ำบ่อ ส่วนใหญ่ร้อยละ 85.8 ให้น้ำสุกรแบบจิบน้ำ เกษตรกรร้อยละ 91.7 ขายสุกรขุนโดยขายเหมาเป็นรุ่นอายุ โดยขนส่งสุกรขุนในช่วงเช้า การรวบรวมมูลสุกรเกือบทั้งหมดทำโดยการตักมูลออกตามระยะเวลา มีการใช้น้ำสัปดาห์ละ 49.2 นิดพื้นที่บริเวณโรงเรือนเพียงอย่างเดียว ร้อยละ 28.3 ผสมน้ำให้สุกรขุนกินร่วมกับใช้ฉีดพ่นบริเวณโรงเรือน ร้อยละ 19.2 ไม่ใช้และร้อยละ 3.3 ผสมน้ำให้สุกรขุนกินเพียงอย่างเดียว การจัดการมูลและสุกรตายระหว่างเลี้ยง ในกรณีที่เกษตรกรเลี้ยงแม่พันธุ์เพื่อผลิตลูกสุกรใช้ในการขุน ช่วงเกิดจนถึงอนุบาล หากลูกสุกรตายร้อยละ 82.5 จะทำการฝังกลบ และร้อยละ 8.3 มีการนำไปใส่ถังหมักเพื่อทำเป็นปุ๋ย ส่วนสุกรขุนหากตายเกษตรกรส่วนใหญ่จะทำการฝังกลบโรคและการป้องกันโรคของเกษตรกร โดยเกษตรกรเกือบทั้งหมดร้อยละ 97.5 มีการทำวัคซีนป้องกันโรคเมื่อสุกรเจ็บป่วยเกษตรกรร้อยละ 99.2 ศึกษาและรักษาสุกรด้วยตนเอง

ตารางที่ 1 ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรขุนของเกษตรกร

ด้าน	($\bar{X}$)	(S.D.)	การแปลผล
1. ด้านพื้นที่การเลี้ยงสุกร			
1.1 มีสาธารณูปโภคที่ดี เช่น ถนน น้ำประปา ไฟฟ้า	4.71	0.66	มากที่สุด
1.2 แหล่งน้ำที่มีคุณภาพและเพียงพอต่อการเลี้ยงสุกร	4.64	0.73	มากที่สุด
รวม	4.67	0.69	มากที่สุด
2. ด้านการจำหน่ายและผลตอบแทน			
2.1 มีรายได้จากการจำหน่ายสุกรขุนในปัจจุบัน	4.59	0.55	มากที่สุด
2.2 มีแหล่งจำหน่ายสุกรได้สะดวก	4.51	0.68	มากที่สุด
2.3 การเลี้ยงสุกรขุนสามารถสร้างหลักประกันรายได้	3.97	0.66	มาก
รวม	4.35	0.63	มาก
3. ด้านสภาพการเลี้ยงสุกรขุนในปัจจุบัน			
3.1 มีความพึงพอใจในพันธุ์สุกร	4.41	0.52	มาก
3.2 สุกรขุนเป็นสัตว์ที่เลี้ยงง่าย	4.39	0.55	มาก
3.3 มีความพอใจในสภาพการเลี้ยงสุกรขุน	4.32	0.85	มาก
3.4 การเลี้ยงสุกรขุนมีส่วนช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำเกษตร	3.56	1.32	มาก
รวม	4.17	0.81	มาก
4. ด้านความยั่งยืนของการเลี้ยงสุกรขุน			
4.1 ต้องการจะเลี้ยงสุกรขุนต่อไป	4.58	0.85	มากที่สุด
4.2 เลี้ยงสุกรขุนแล้วมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น	3.68	0.70	มาก
4.3 ลูกหลานมีความสนใจในการประกอบอาชีพการเลี้ยงสุกรขุนต่อไป	2.88	1.70	ปานกลาง
รวม	3.71	1.08	มาก
5. ด้านการจัดการอาหารและการสุขาภิบาล			
5.1 การให้อาหารสุกรเพียงพอต่อความต้องการ	4.74	0.47	มากที่สุด
5.2 การทำความสะอาดโรงเรือน	4.32	0.86	มาก
5.3 การป้องกันและควบคุมโรคติดต่อ	4.31	0.81	มาก
5.4 การเลี้ยงสุกรก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศมากน้อยเพียงใด	1.82	0.72	น้อย
5.5 การเลี้ยงสุกรส่งผลกระทบต่อเพื่อนบ้านหรือชุมชนมากน้อยเพียงใด	1.78	0.71	น้อย
5.6 การเลี้ยงสุกรก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อมแหล่งน้ำมากน้อยเพียงใด	1.54	0.59	น้อย
รวม	3.08	0.69	ปานกลาง

ตารางที่ 1 ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรขุนของเกษตรกร (ต่อ)

ด้าน	($\bar{X}$)	(S.D.)	การแปลผล
6. ด้านอุปกรณ์การเลี้ยง			
6.1 สามารถหาซื้ออุปกรณ์การเลี้ยงได้ง่าย	2.89	0.69	ปานกลาง
6.2 อุปกรณ์การเลี้ยงมีราคาที่เหมาะสม มีคุณภาพดี	2.85	0.66	ปานกลาง
รวม	2.87	0.67	ปานกลาง
7. ด้านเงินทุน			
7.1 การสนับสนุนเงินทุนจากภาครัฐ โดยให้กู้ยืมในระยะยาว แต่ดอกเบี้ยต่ำ	2.09	1.12	น้อย
รวม	2.09	1.12	น้อย
8. ด้านการบริการจากเจ้าหน้าที่รัฐ			
8.1 ให้บริการด้านสุขภาพของสุกร	1.52	0.88	น้อย
8.2 ให้ความรู้ คำแนะนำด้านการเลี้ยง	1.40	0.71	น้อยที่สุด
8.3 แนะนำเรื่องราคาและการจำหน่าย	1.36	0.57	น้อยที่สุด
รวม	1.43	0.72	น้อยที่สุด
โดยภาพรวม	3.30	0.80	ปานกลาง

จากตารางที่ 1 ผลการศึกษาระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรในภาพรวมโดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อยรายด้านพบว่า ด้านพื้นที่การเลี้ยงสุกรในภาพรวมมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.67, S.D. = 0.69) เมื่อพิจารณารายประเด็นพบว่า มีสาธารณูปโภคที่ดี เช่น ถนน น้ำประปา ไฟฟ้า มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.71, S.D. = 0.66) ด้านการจำหน่ายและผลตอบแทนในภาพรวมมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.35, S.D. = 0.63) เมื่อพิจารณารายประเด็นพบว่า การมีรายได้จากการจำหน่ายสุกรขุนในปัจจุบันมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.59, S.D. = 0.55) ด้านสภาพการเลี้ยงสุกรขุนในปัจจุบันในภาพรวมมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.17, S.D. = 0.81) เมื่อพิจารณารายประเด็นพบว่า ความพึงพอใจในพันธุ์สุกรมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.41, S.D. = 0.52) ด้านความยั่งยืนของการเลี้ยงสุกรขุนในภาพรวมมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 3.71, S.D. = 1.08) เมื่อพิจารณารายประเด็นพบว่า ต้องการจะเลี้ยงสุกรขุนต่อไปมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.58, S.D. = 0.85) ด้านการจัดการอาหารและการสุขภาพในภาพรวมมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 3.08, S.D. = 0.69) เมื่อพิจารณารายประเด็นพบว่า การให้อาหารสุกรเพียงพอต่อความต้องการมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.74, S.D. = 0.47) และน้อยที่สุดคือการเลี้ยงสุกรก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อม แหล่งน้ำมากน้อยเพียงใดมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 1.54, S.D. = 0.59) ด้านอุปกรณ์การเลี้ยงสุกรในภาพรวมมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 2.87, S.D. = 0.67) เมื่อพิจารณารายประเด็นพบว่า สามารถหาซื้ออุปกรณ์การเลี้ยงได้ง่ายมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 2.89, S.D. = 0.69) ด้านเงินทุนในประเด็นการสนับสนุนเงินทุนจากภาครัฐ โดยให้กู้ยืมในระยะยาวแต่ดอกเบี้ยต่ำมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 2.09, S.D. = 1.12) ด้านการบริการจากเจ้าหน้าที่รัฐ ในภาพรวมมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 1.43, S.D. = 0.72) โดยพิจารณารายประเด็นให้บริการด้านสุขภาพของสุกรมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X}$ = 1.52, S.D. = 0.88) โดยจากผลงานวิจัยนี้ยังพบว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรขุนยังคงมีความคิดเห็นในระดับปานกลาง โดยมองด้านพื้นที่การเลี้ยงสุกรมีสาธารณูปโภคที่ดี แหล่งน้ำมีคุณภาพเพียงพอ ด้านการจำหน่ายและผลตอบแทน ความยั่งยืน

ของการเลี้ยงสุกรขุน ที่สามารถสร้างรายได้ให้กับครัวเรือนของตนเองอย่างต่อเนื่อง การจัดการอาหารและการสุขาภิบาลและด้านอุปกรณ์การเลี้ยงสุกร แต่มีความคิดเห็นในระดับน้อย ทางด้านเงินทุนเนื่องจากเกษตรกรมองว่ายังขาดแคลนเงินทุนและการสนับสนุนเงินทุนจากภาครัฐในการขยายการเลี้ยงสุกรขุน และด้านการบริการจากเจ้าหน้าที่รัฐมีความคิดเห็นระดับน้อยที่สุดซึ่งหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องปรับปรุงการให้บริการ ซึ่งสอดคล้องกับ บุศรา [6] ได้ทำการศึกษาการเลี้ยงสุกรเกษตรกรพันธะสัญญากับโอกาสการพัฒนาของเกษตรกรรายย่อยในอำเภอบ้านหมี่ อำเภอนองม่วง จังหวัดลพบุรีที่พบว่า การบริการจากภาครัฐยังไม่สามารถตอบสนองให้เกษตรกรมีองค์ความรู้

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยเรื่อง ความคิดเห็นเกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรขุนของเกษตรกรรายย่อยในอำเภอมืองนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรร้อยละ 55 เป็นเพศหญิง อายุเฉลี่ย 58 ปี ร้อยละ 50.8 จบชั้นประถมศึกษา ใต้แรงงานในการเลี้ยงสุกรเฉลี่ย 2 คน ร้อยละ 52.5 เลี้ยงเป็นอาชีพหลัก มีที่ดินถือครองเฉลี่ย 8.28 ไร่ ร้อยละ 75.8 ใช้เงินทุนส่วนตัวและกู้ยืมรายได้จากการเลี้ยงสุกรขุนเฉลี่ย 23,588 บาทต่อเดือน มีรายจ่ายจากการเลี้ยงสุกรขุนเฉลี่ย 11,599 บาทต่อเดือน และรับรู้ข้อมูลข่าวสารการเลี้ยงสุกรจากเพื่อนบ้าน มีประสบการณ์เลี้ยงสุกรขุนเฉลี่ย 17.5 ปี ด้านความคิดเห็นเกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรขุนของเกษตรกรรายย่อย ผลการศึกษาระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรในภาพรวมโดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย พบว่าด้านพื้นที่การเลี้ยงสุกรมีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X} = 4.67$, S.D. = 0.69) รองลงมาเป็นด้านการจำหน่ายและผลตอบแทน ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.63) ด้านสภาพการเลี้ยงสุกรขุนในปัจจุบัน ($\bar{X} = 4.17$, S.D. = 0.81) ด้านความยั่งยืนของการเลี้ยงสุกรขุน ($\bar{X} = 3.71$, S.D. = 1.08) ด้านการจัดการอาหารและสุขาภิบาล ($\bar{X} = 3.08$, S.D. = 0.69) ด้านอุปกรณ์การเลี้ยงสุกร ($\bar{X} = 2.87$, S.D. = 0.67) ด้านเงินทุน ($\bar{X} = 2.09$, S.D. = 1.12) และด้านการบริการจากเจ้าหน้าที่รัฐมีคะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุด ($\bar{X} = 1.43$, S.D. = 0.72) ระดับความคิดเห็นโดยรวมทุกด้านของเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรขุนอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 3.30$, S.D. = 0.80)

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยทำให้ทราบข้อมูลเบื้องต้นที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนส่งเสริมการเลี้ยงสุกรขุนของจังหวัดนครศรีธรรมราชดังนี้

1. สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด ปศุสัตว์อำเภอ บริษัทเอกชน ควรมีการส่งเสริม การบริการ ให้คำแนะนำความรู้ที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการเลี้ยงสุกรขุนในพื้นที่ให้เพิ่มมากขึ้น
2. ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหรือหน่วยงานภาครัฐ ควรให้ความช่วยเหลือด้านการจัดหาแหล่งเงินทุนในการขยายการเลี้ยงสุกรให้แก่เกษตรกร

References

- [1] Department of Livestock Development. (2020). *Farmers raising livestock data in Thailand*. (Online). Retrieved 15 November 2020, from <http://www.dld.go.th/webnew/index.php/th/ service-ict/ report-thailandlivestock/reportservey2560/1165-2560-1-country>.

-
- [2] Nakhon Si Thammarat Provincial Livestock Office. (2017). *Small farmers raising livestock report in Nakhonsitammarat*. (paper copy)
- [3] Yamane, T. (1967). *Statistics: An introductory analysis*. (2nd Edition). New York: Harper and Row Publisher.
- [4] Sornsil, U. (2014). Considerations when created rating scale for research. *Education Journal*, 1(4), 4–6.
- [5] Vanichbancha, K. (2000). *Using SPSS for Windows in data analysis*. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai).
- [6] Limnirunkul, B., Gypmantasiri P., Muangsuk C., & Kramol, P. (2006). Contract farming with opportunities for the development of smallholder farmers. *Multiple Cropping Center Seminar 2006*. 97–108.
- [7] Maneemai, P., Charoenkijjarukorn, P., Khamawanit, T., Manojai, C., & Itsaradamkerng, K. (2015). Costs and returns of small and medium scale fattening swine production: A case study of individual and contract farming in Phatthalung Province. *Modern Management Journal*, 13(1), 93–105.

การวิเคราะห์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการรวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์:
กรณีศึกษา ตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี
Site Suitability Analysis for Electronic Waste Collection:
A Case Study in Ban Kok Sub-district, Khueang Nai District,
Ubon Ratchathani Province

กฤตวิทย์ สุขอึ้ง^{1*}, เกศรา เรืองกิจฉายา², กุลวรรณ โสรัจจ์ อนุวัฒน์ ยินดีสุข³ และ วีรวรรณ บุญโทแสง³
Krittawit Suk-ueng^{1*}, Ketsara Ruangkitchaya², Kunlawan Sorach³, Anuwat Yindesuk³
and Teerawan Boontoseang³

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพื้นที่รวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมในตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมเชิงพื้นที่ 6 ปัจจัย ได้แก่ ระยะห่างจากชุมชน ความลาดชัน แบบจำลองความสูงเชิงเลข ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ระยะห่างจากถนน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นใน โปรแกรม QGIS Version 2.18.5 โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 7 ท่าน ตรวจสอบปัจจัยสิ่งแวดล้อมเชิงพื้นที่ที่มีความสำคัญ และกำหนดค่าความสำคัญของแต่ละปัจจัย ในแบบสอบถามเพื่อเลือกพื้นที่รวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสม รวมทั้งตรวจสอบพื้นที่ที่เหมาะสม ที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น โดยการสำรวจภาคสนาม จากผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ที่เหมาะสม สำหรับการรวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์แบ่งความเหมาะสมเป็น 4 ประเภท ได้แก่ พื้นที่เหมาะสมมาก พื้นที่เหมาะสมปานกลาง พื้นที่เหมาะสมน้อย และพื้นที่ไม่เหมาะสม ซึ่งมีพื้นที่ 13.26 %, 58.10 %, 21.77 % และ 6.87 % ตามลำดับ

คำสำคัญ: กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น ขยะอิเล็กทรอนิกส์ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Abstract

The study aimed to study selection of electronic waste collection site based on 6 environmental factors including distance from community, slope, digital elevation model, distance from water resources, distance from road and land use integrated with analytic hierarchy process (AHP) model in QGIS Version

¹ อ., คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย 57100

² นักศึกษาระดับปริญญาตรี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย 57100

³ อ., คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34000

¹ Lecturer, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100, Thailand

² Undergraduate Student, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100, Thailand

³ Lecturer, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani, 34000, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: nsukung@gmail.com

(Received: August 12, 2020; Revised: November 24, 2020; Accepted: January 4, 2021)

2.18.5. AHP model was designed based on questionnaire, made by 7 experts, to examine important environmental criteria and assign importance values of each criteria for selecting suitable electronic waste collection site. In addition, suitable electronic waste collection sites derived from AHP were verified by field survey. The results showed that percentage of very suitable, moderate suitable, less suitable and unsuitable sites for electronic waste collection were 13.26 %, 58.10 %, 21.77% and 6.87 %, respectively.

Keywords: AHP, Electronic Waste, GIS

บทนำ

การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการตัดสินใจ (Decision-making Process) สามารถช่วยวิเคราะห์พื้นที่ที่มีศักยภาพและมีความเหมาะสมโดยเฉพาะประยุกต์ใช้ในด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุข [1] โดยเฉพาะปัญหาด้านการจัดการขยะซึ่งการคัดเลือกพื้นที่สำหรับการจัดการขยะโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับกระบวนการตัดสินใจและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (ปัจจัยเชิงพื้นที่ ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ และปัจจัยด้านสังคม) มีส่วนสำคัญในการช่วยตัดสินใจเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการจัดการขยะ [2-4] โดยเฉพาะการใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analysis Hierarchy Process: AHP) ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดโดยไม่มีควมลำเอียง และมีการเลือกปัจจัยเชิงพื้นที่แตกต่างกันไปตามลักษณะทางภูมิศาสตร์ของแต่ละพื้นที่ซึ่งต้องมีการสอบถามผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อมและวิเคราะห์เปรียบเทียบองค์ประกอบที่ใช้ในการตัดสินใจทีละคู่ (Pairwise) เพื่อเลือกพื้นที่ที่เหมาะสม [5-8] โดยเฉพาะการเลือกพื้นที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมและสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย เช่น การใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในพื้นที่ลุ่มน้ำของทะเลสาบ Beysehir ในประเทศตุรกี [9] เป็นต้น

ขยะอิเล็กทรอนิกส์เป็นขยะอันตรายซึ่งมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นทุกปีตามระดับความเจริญทางเศรษฐกิจ [10] ปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นเป็น 3 เท่าของขยะมูลฝอยในชุมชน โดยเฉพาะที่มาจากผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีต่างๆ ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงและตกค้างอยู่ตลอดเวลา เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ทำให้มีการใช้งานและถูกทิ้งเป็นขยะเนื่องจากยังไม่มีระบบการจัดทิ้งถูกหลักวิชาการรวมถึงกฎหมายโดยตรงที่เกี่ยวกับซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อย่างไรก็ตาม ภายใต้แผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศ พ.ศ. 2559–2564 ได้จัดระเบียบให้มีการจัดการกับขยะอันตรายโดยมีการส่งเสริมให้จังหวัดจัดหาพื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อเป็นศูนย์รวบรวมขยะอันตราย ส่งเสริมการคัดแยกขยะอันตรายจากชุมชน โดยเก็บรวบรวมในภาชนะรองรับขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และส่งไปกำจัดในสถานที่กำจัดอย่างถูกต้องอย่างน้อยจังหวัดละ 1 แห่ง ซึ่งแหล่งชุมชนคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์กระจายอยู่ทั่วประเทศกว่า 100 แห่งในพื้นที่ 17 จังหวัด โดยชุมชนที่ประกอบอาชีพคัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์สูงสุด ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ จังหวัดบุรีรัมย์ และจังหวัดอุบลราชธานี [11-12]

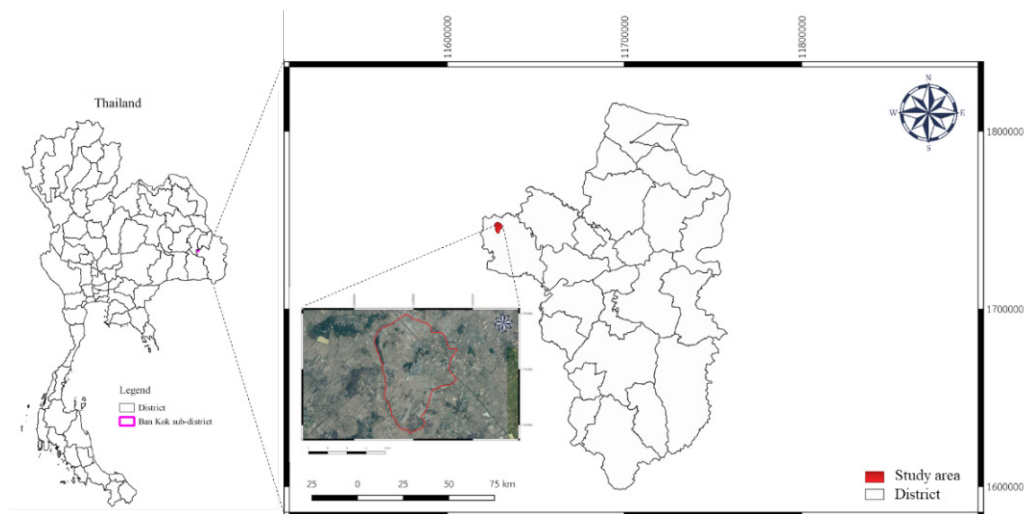
จังหวัดอุบลราชธานีได้มีกิจกรรมตามกลยุทธ์และมาตรการตามแผนปฏิบัติการ “ประเทศไทยไร้ขยะ” ตามแนวทาง “ประชารัฐ” ระยะ 1 ปี (พ.ศ. 2559–2560) โดยส่งเสริมให้จังหวัดอุบลราชธานีเลือกพื้นที่รวบรวมขยะอันตรายที่เหมาะสมตามแบบกรมควบคุมมลพิษ [13] โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ตำบลบ้านกอก อำเภอน้ำขุ่น จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นแหล่งรับซื้อและแหล่งรวบรวมขยะอันตรายที่ใหญ่ที่สุดของ

จังหวัดอุบลราชธานี และพบรถรับซื้อขยะจากอำเภออื่น ๆ นำมาขายให้กับทางสถานประกอบการเทศบาลตำบลบ้านกอก มีจำนวนหมู่บ้านที่อยู่ในเขตเทศบาลจำนวน 6 หมู่บ้าน ได้แก่ หมู่ที่ 1 บ้านนาแก้ว หมู่ที่ 2 บ้านนาแก้ว หมู่ที่ 3 บ้านนาแก้ว หมู่ที่ 4 บ้านกอก หมู่ที่ 5 บ้านกอก และ หมู่ที่ 6 บ้านกอก ประชากรที่อาศัยอยู่ในเขตเทศบาลบ้านกอกประกอบด้วย 6 รวมประชากรทั้งสิ้น 3,947 คน โดยประกอบอาชีพรับซื้อและคัดแยกขยะที่ขึ้นทะเบียน 93 คน อย่างไรก็ตาม เทศบาลตำบลบ้านกอกยังไม่มีพื้นที่รวบรวมขยะอันตราย โดยเฉพาะขยะอิเล็กทรอนิกส์ [14] ดังนั้นจึงใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นโดยกำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกพื้นที่ 6 ปัจจัย ได้แก่ ระยะห่างจากชุมชน ความลาดเอียง แบบจำลองความสูงเชิงเลขระยะห่างจากแหล่งน้ำ ระยะห่างจากถนน และ การใช้ประโยชน์ที่ดิน [15] เพื่อให้ได้พื้นที่รวบรวมขยะอันตรายที่เหมาะสมในพื้นที่ตำบลบ้านกอก และสามารถนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในการเลือกพื้นที่รวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ในพื้นที่อื่นต่อไป

ระเบียบวิธีวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี อยู่ในตำแหน่งระหว่าง 1743000-1749000 องศาเหนือ และตำแหน่งระหว่าง 11625600-11632000 องศาตะวันออก (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาในตำบลบ้านกอก อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี [16,17]

2. การประเมินหาพื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อรวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์

การประเมินหาพื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อรวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ [15,18 - 21] มีดังนี้

2.1 ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 ของกรมสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Geological Survey: USGS) ซึ่งถ่ายภาพเมื่อวันที่ 4 เมษายน พ.ศ.2562 ร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของสถานพัฒนาที่ดินจังหวัดอุบลราชธานี เพื่อจัดทำแผนที่ปัจจัยที่ใช้ในการหาพื้นที่รวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ตำบลบ้านกอก ได้แก่ ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (หนองคำซึ่งอยู่ทางทิศ

ตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา) ระยะห่างจากชุมชน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่วนแบบจำลองความสูงเชิงเลขของกรมแผนที่ทหารใช้ทำแผนที่ความลาดเอียง โดยนำข้อมูลของแต่ละปัจจัยมาทำพื้นที่กันชนเพื่อกำหนดระยะห่างในแต่ละช่วงและแปลงค่าในแต่ละพิิกเซลล์ของแต่ละเกณฑ์รองของปัจจัยการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ภาพที่ 3) ให้เป็นตัวแปรทวิ คือ 0 (ไม่เหมาะสม) หรือ 1 (เหมาะสม) โดยให้ค่าการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนาข้าวเป็น 1 เพราะโดยรอบชุมชนบ้านกอกส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว และค่าการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นเป็น 0 (ภาพที่ 4)

2.2 การวิเคราะห์การตัดสินใจตามกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

1) สร้างแบบสอบถามเพื่อเปรียบเทียบปัจจัยระดับความสำคัญที่ละคู่โดยมีค่าความสำคัญตั้งแต่ 1 (สำคัญเท่ากัน) ถึง 9 (สำคัญมากที่สุด) (ตารางที่ 1) โดยสอบถามผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งแวดล้อม จำนวน 7 ท่าน จากนั้นนำค่าน้ำหนักที่ได้จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านมาหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต

ตารางที่ 1 แบบสอบถามเพื่อเปรียบเทียบปัจจัยระดับความสำคัญที่ละคู่

ปัจจัย	เปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัย			ปัจจัย
	สำคัญมากกว่า	สำคัญเท่ากัน	สำคัญน้อยกว่า	
	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	
ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (A)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	ระยะห่างจากถนน (B)
ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (A)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	ระยะห่างจากชุมชน (C)
ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (A)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	ความลาดเอียง (D)
ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (A)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	การใช้ประโยชน์ที่ดิน (E)
ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (A)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	แบบจำลองความสูงเชิงเลข (F)
ระยะห่างจากถนน (B)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	ระยะห่างจากชุมชน (C)
ระยะห่างจากถนน (B)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	ความลาดเอียง (D)
ระยะห่างจากถนน (B)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	การใช้ประโยชน์ที่ดิน (E)
ระยะห่างจากถนน (B)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	แบบจำลองความสูงเชิงเลข (F)
ระยะห่างจากชุมชน (C)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	ความลาดเอียง (D)
ระยะห่างจากชุมชน (C)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	การใช้ประโยชน์ที่ดิน (E)
ระยะห่างจากชุมชน (C)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	แบบจำลองความสูงเชิงเลข (F)
ความลาดเอียง (D)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	การใช้ประโยชน์ที่ดิน (E)
ความลาดเอียง (D)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	แบบจำลองความสูงเชิงเลข (F)
การใช้ประโยชน์ที่ดิน (E)	9 8 7 6 5 4 3 2	1	2 3 4 5 6 7 8 9	แบบจำลองความสูงเชิงเลข (F)

2) นำค่าน้ำหนักที่ได้จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านภายหลังจากหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต แล้วมาใส่ในตารางเมทริกซ์เปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญทีละคู่ (Pairwise Comparison Matrix) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญทีละคู่ที่ได้จากค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ผู้เชี่ยวชาญให้ในแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	A	B	C	D	E	F
A	1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
B	$1/a_{11}$	1	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}
C	$1/a_{11}$	$1/a_{21}$	1	a_{31}	a_{32}	a_{33}
D	$1/a_{11}$	$1/a_{22}$	$1/a_{31}$	1	a_{41}	a_{42}
E	$1/a_{11}$	$1/a_{23}$	$1/a_{32}$	$1/a_{41}$	1	a_{51}
F	$1/a_{11}$	$1/a_{24}$	$1/a_{33}$	$1/a_{42}$	$1/a_{51}$	1

หมายเหตุ: ให้ผู้เชี่ยวชาญใส่ค่าถ่วงน้ำหนักเปรียบเทียบความสำคัญทีละคู่เฉพาะช่องสีขาวยุ่เท่านั้น ส่วนผู้วิเคราะห์ จะแปลงค่าที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญแล้วนำมาใส่ในช่องสีส้มอ่อน

3) นำข้อมูลจากตารางที่ 2 มาทำให้เป็นบรรทัดฐานข้อมูล (Normalized) เพื่อคำนวณ ผลรวมของค่าน้ำหนักความสำคัญ (Eigenvector) (ตารางที่ 6)

4) การตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผลโดยการตรวจสอบความสอดคล้องของ ผลการเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละคู่ ดังนี้

4.1) การคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้องแสดงตามสมการที่ 1 (Consistency Index)

$$C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n-1) \quad (1)$$

เมื่อ $\lambda_{\max}$ คือ ค่าที่คำนวณได้จากการนำเอาผลรวมของค่าปัจจัยที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญในแต่ละแถวมา คูณผลรวมค่าเฉลี่ยในแนวนอนในแต่ละแถว (ตารางที่ 5) แล้วนำเอาผลลัพธ์ที่ได้มารวมกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะ เท่ากับจำนวนเกณฑ์ทั้งหมดที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ โดยถ้าการวินิจฉัยในเกณฑ์นั้นมีความสอดคล้องกันอย่าง สมบูรณ์จะทำให้ค่า $\lambda_{\max}$ เท่ากับ n ; n คือ จำนวนของปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบ

4.2) หาค่าสัดส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: C.R.) (สมการที่ 2) เพื่อตรวจสอบความสมเหตุสมผลในการเปรียบเทียบปัจจัยแต่ละคู่ในตารางเมทริกซ์ (ตารางที่ 2) โดยถ้า $C.R. < 0.1$ แสดงว่าค่าปัจจัยมีความสอดคล้อง แต่ถ้า $C.R. > 0.1$ แสดงว่าค่าปัจจัยไม่มีความสอดคล้อง

$$C.R. = C.I. / R.I. \quad (2)$$

เมื่อ C.R. คือ สัดส่วนความสอดคล้อง; C.I. คือ ดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index); R.I. คือ ดัชนีความสอดคล้องที่สร้างโดยสุ่ม (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีความสอดคล้องที่สร้างโดยสุ่มตามขนาดของเมทริกซ์

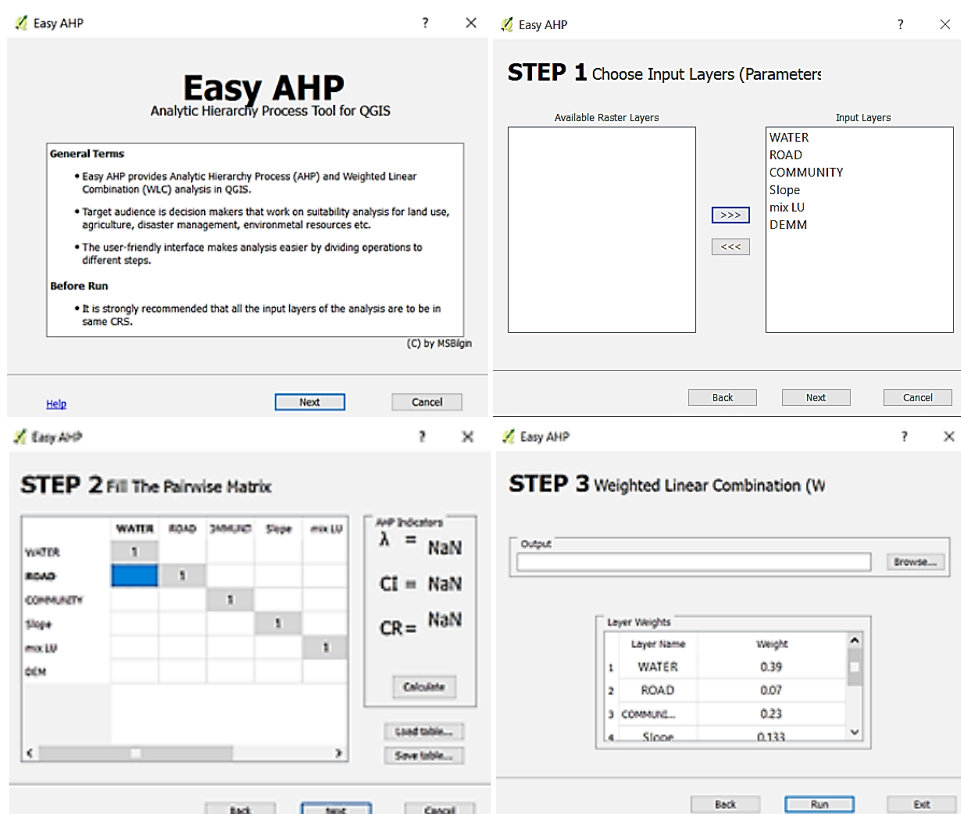
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R.I	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

5) ใช้สมการเชิงเส้นถ่วงน้ำหนัก (Weight Linear Combination: WLC) (สมการที่ 3) เพื่อนำผลที่ได้จากค่าคะแนนนี้ไปคำนวณกับค่าปัจจัยที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญเพื่หาลำดับศักยภาพของพื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อรวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นรวมค่าคะแนนของแต่ละทางเลือกที่ได้ และเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยโดยทางเลือกที่ดีที่สุดซึ่งเป็นทางเลือกที่มีผลรวมของค่าคะแนนมากที่สุด (สมการที่ 3)

$$\sum_{i=1}^N W_i X_i = W_{1,1} X_{1,1} + W_{1,2} X_{1,2} + \dots + W_n X_n \quad (3)$$

โดย คือ ผลคะแนนรวม; W_i คือ ค่าคะแนนถ่วงน้ำหนักจากผู้เชี่ยวชาญ; X_i คือ ข้อมูลค่าคะแนนที่ได้แต่ละข้อของแต่ละปัจจัย

6) นำเข้าข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 ร่วมกับการวิเคราะห์การตัดสินใจตามกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นในฟังก์ชัน Easy AHP ในโปรแกรม QGIS version 2.18.5 โดยเริ่มจากนำเข้าไฟล์ราสเตอร์ของปัจจัยเชิงพื้นที่ทั้ง 6 ปัจจัย จากนั้นนำเข้าตารางเมทริกซ์เปรียบเทียบปัจจัยระดับความสำคัญที่ระบุ แล้วจะปรากฏผลรวมค่าคะแนนตามสมการที่ 3 (ภาพที่ 2) จากนั้นฟังก์ชัน Easy AHP (ภาพที่ 2) จะประมวลผลโดยนำผลรวมค่าคะแนนมาคูณกับค่าของปัจจัยเชิงพื้นที่แต่ละปัจจัยในแต่ละพิกเซล ทำให้แต่ละพิกเซลของแต่ละปัจจัยมีค่าเพียง 1 ค่า และทำการรวมค่าคะแนนในพิกเซลเดียวกันของทุกปัจจัย จากนั้นทำการจัดกลุ่มข้อมูลใหม่เพื่อจำแนกพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการรวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ เหมาะสมมาก เหมาะสมปานกลาง เหมาะสมน้อย และไม่เหมาะสม

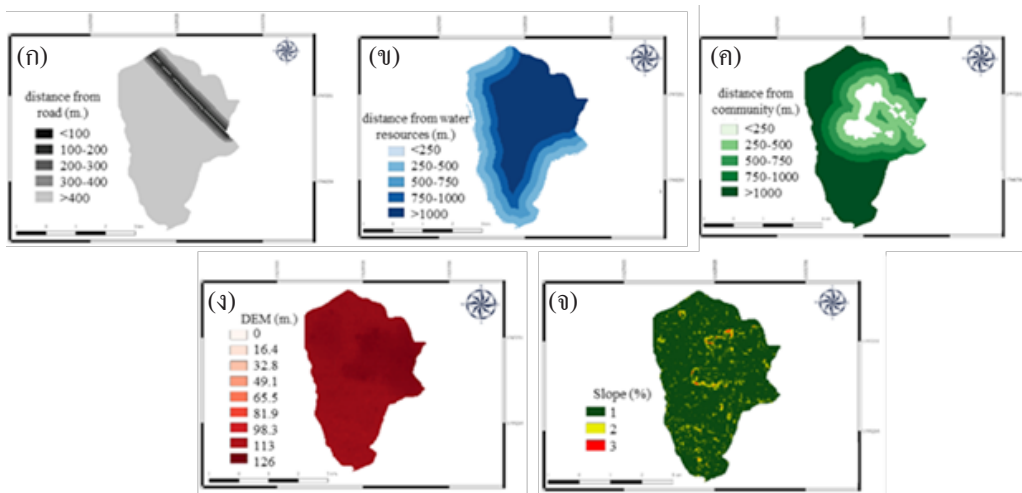


ภาพที่ 2 ขั้นตอนการวิเคราะห์การตัดสินใจตามกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นในฟังก์ชัน Easy AHP

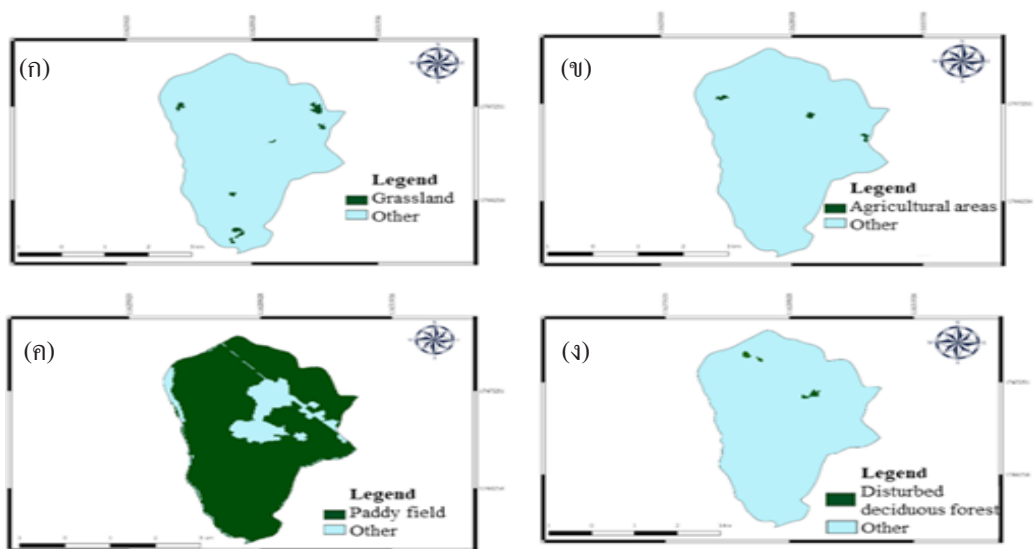
ผลการวิจัย

1. การจัดทำแผนที่ปัจจัยที่ใช้ในการหาพื้นที่รวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์

แผนที่ปัจจัยที่ใช้ในการหาพื้นที่รวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ตำบลบ้านกอก ได้แก่ ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ระยะห่างจากชุมชน แบบจำลองความสูงเชิงเลข และความลาดเอียงแสดงดังภาพที่ 3 และการใช้ประโยชน์ที่ดินแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ระยะห่างจากถนน (ก) ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (ข) ระยะห่างจากชุมชน (ค) แบบจำลองความสูงเชิงเลข (ง) และความลาดเอียง (จ) ในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 4 หุ่นหญ้า (ก) พื้นที่เกษตร (ข) นาข้าว (ค) และป่าผลัดใบรกรกรพื้นที่ (ง)

2. ระดับค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการเลือกพื้นที่รวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

ระดับคะแนนเฉลี่ยได้จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 ท่าน จากหน่วยงานพัฒนาที่ดิน ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรชำนาญการจำนวน 3 ท่าน ผู้อำนวยการกลุ่มสำรวจเพื่อทำแผนที่จำนวน 1 ท่าน และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จำนวน 3 ท่าน (ตารางที่ 4) โดยระดับคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการสอบถามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีความสอดคล้องกัน เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า 0.001 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ($\lambda_{\max} = 35.676/6 = 5.946$, C.I. = $(5.946-6)/(6-1) = -0.011$, R.I. = 1.24, C.R. = C.I./R.I. = $0.001/1.24 = -0.009$) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยของผู้เชี่ยวชาญ

ปัจจัยหลัก	ค่าเฉลี่ย	ปัจจัยหลัก	ค่าเฉลี่ย
ระยะห่างจากแหล่งน้ำกับระยะห่างจากถนน	6.859	ระยะห่างจากถนนกับแบบจำลองความสูงเชิงเลข	2.571
ระยะห่างจากแหล่งน้ำกับระยะห่างจากชุมชน	3.271	ระยะห่างจากชุมชนกับความลาดเอียง	3.917
ระยะห่างจากแหล่งน้ำกับความลาดเอียง	2.758	ระยะห่างจากชุมชนกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน	2.575
ระยะห่างจากแหล่งน้ำกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน	3.880	ระยะห่างจากชุมชนกับแบบจำลองความสูงเชิงเลข	4.260
ระยะห่างจากแหล่งน้ำกับแบบจำลองความสูงเชิงเลข	4.261	ความลาดเอียงกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน	2.299
ระยะห่างจากถนนกับระยะห่างจากชุมชน	0.349	ความลาดเอียงกับแบบจำลองความสูงเชิงเลข	3.489
ระยะห่างจากถนนกับความลาดเอียง	0.668	การใช้ประโยชน์ที่ดินกับแบบจำลองความสูงเชิงเลข	5.805
ระยะห่างจากถนนกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน	0.327		

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณค่า $\lambda_{\max}$ ซึ่งได้จากผลรวมแนวตั้ง (ถ่าน้ำหนักความสำคัญ) และผลรวมแนวนอนของแต่ละปัจจัยที่ได้จากตารางที่ 7

ผลรวมแนวตั้ง	ผลรวมแนวนอน	$\lambda_{\max}$
0.391	2.308	0.090
0.069	15.668	1.081
0.230	5.498	1.265
0.133	9.065	1.206
0.133	10.253	1.363
0.044	21.386	0.941
รวม		5.946

ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบค่าน้ำหนักความสำคัญโดยการเปรียบเทียบความสำคัญเชิงคู่ระหว่างปัจจัยหลัก โดยใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยหลักจากผู้เชี่ยวชาญ คือ ลำดับที่ 1 (A) เกณฑ์หลักด้านระยะห่างจากแหล่งน้ำมีค่าน้ำหนัก 0.391 ลำดับที่ 2 (C) เกณฑ์หลักด้านระยะห่างจากชุมชนมีค่าน้ำหนัก 0.230 ลำดับที่ 3 (D) เกณฑ์หลักด้านความลาดเอียงมีค่าน้ำหนัก 0.133 ลำดับที่ 4 (E) เกณฑ์หลักด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินมีค่าน้ำหนัก 0.133 ลำดับที่ 5 (B) เกณฑ์หลักด้านระยะห่างจากถนนมีค่าน้ำหนัก 0.069 และ ลำดับที่ 6 (F) เกณฑ์หลักด้านแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีค่าน้ำหนัก 0.044 (ตารางที่ 6 และ ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 คำนวณน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่ได้จากตารางที่ 1 มาทำการปรับค่าให้เป็น 1 (Normalized)

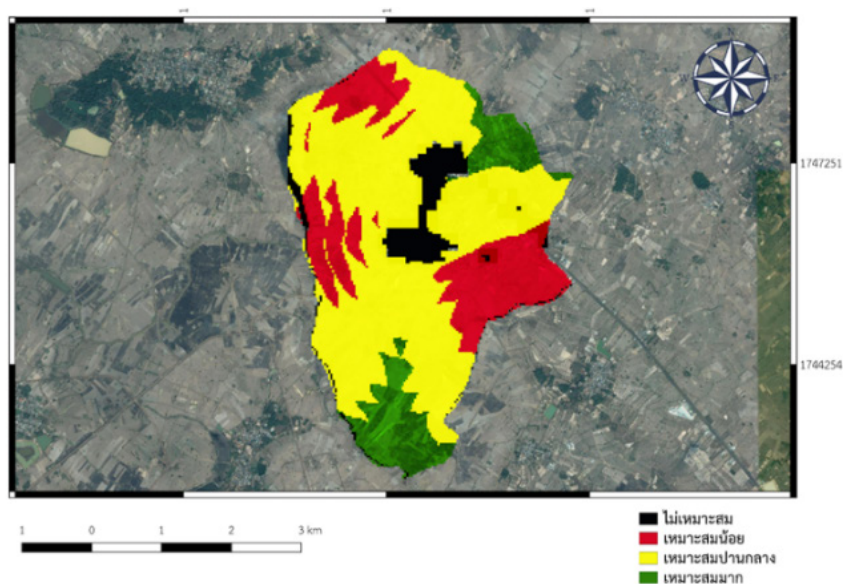
ปัจจัยหลัก	A	B	C	D	E	F	น้ำหนักความสำคัญ
A	0.433	0.438	0.595	0.304	0.378	0.199	0.391
B	0.063	0.064	0.063	0.074	0.032	0.120	0.069
C	0.133	0.183	0.182	0.432	0.251	0.199	0.230
D	0.157	0.096	0.046	0.110	0.224	0.163	0.133
E	0.112	0.195	0.071	0.048	0.098	0.271	0.133
F	0.102	0.025	0.043	0.032	0.017	0.047	0.044
รวม	1	1	1	1	1	1	

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบความสำคัญเชิงคู่ (Pairwise Comparison) ระหว่างปัจจัยหลัก (Main Criteria) โดยใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยหลักจากผู้เชี่ยวชาญ

ปัจจัยหลัก	A	B	C	D	E	F	น้ำหนักความสำคัญ
A	1.000	6.859	3.271	2.758	3.880	4.261	0.391
B	0.146	1.000	0.349	0.668	0.327	2.571	0.069
C	0.306	2.865	1.000	3.917	2.575	4.260	0.230
D	0.363	1.497	0.255	1.000	2.299	3.489	0.133
E	0.258	3.058	0.338	0.435	1.000	5.805	0.133
F	0.235	0.389	0.235	0.287	0.172	1.000	0.044
คะแนนรวม	2.308	15.668	5.498	9.065	10.253	21.386	

3. การวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

จากการนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่รวมกับค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยเชิงพื้นที่แต่ละปัจจัย (ตารางที่ 7) ได้แก่ ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ระยะห่างจากชุมชน ระยะห่างจากถนน ความลาดเอียง การใช้ประโยชน์ที่ดิน และแบบจำลองความสูงเชิงเลข (ตารางที่ 4) เข้าไปในฟังก์ชัน Easy AHP ของโปรแกรม QGIS Version 2.18.5 เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีความเหมาะสมเพื่อเป็นพื้นที่รวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีความเหมาะสมปานกลาง ส่วนพื้นที่ที่มีความเหมาะสมมากเป็นพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนาข้าวซึ่งอยู่ทางทิศเหนือของพื้นที่ศึกษาและพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภททุ่งหญ้าซึ่งอยู่ทางทิศใต้ของพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 พื้นที่ที่มีความเหมาะสมเพื่อเป็นพื้นที่รวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ในพื้นที่ศึกษา

วิจารณ์ และสรุปผลการวิจัย

จากการใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นในการเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อรวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ในตำบลบ้านกอก อำเภอเชิงฉะ ใน จังหวัดอุบลราชธานี พบว่าความเหมาะสมของพื้นที่แบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ พื้นที่ที่เหมาะสมมาก (13.26 %) พื้นที่ที่เหมาะสมปานกลาง (58.10 %) พื้นที่ที่เหมาะสมน้อย (21.77 %) และพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม (6.87 %) โดยส่วนใหญ่ในพื้นที่ศึกษาที่มีความเหมาะสมของพื้นที่ปานกลางโดยกระจายอยู่รอบพื้นที่ศึกษาเนื่องจากการให้ค่าถ่วงน้ำหนักจากผู้เชี่ยวชาญร่วมกับซ้อนทับกันของข้อมูล รองลงมาคือ พื้นที่ที่เหมาะสมน้อยเนื่องจากบริเวณดังกล่าวอยู่ใกล้ชุมชน แหล่งน้ำ และถนนสายหลักจึงทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีความเหมาะสมน้อย และพื้นที่ที่ไม่มีความเหมาะสมเป็นแหล่งชุมชนและเป็นบริเวณแหล่งน้ำจึงทำให้พื้นที่ดังกล่าวไม่สามารถเป็นพื้นที่รวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ โดยพื้นที่ที่มีความเหมาะสมมากอยู่บริเวณทางทิศเหนือซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนาข้าว และทางทิศใต้จะเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภททุ่งหญ้าซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมที่สุดในพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 4) หากพิจารณาการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 2 ประเภท พบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนาข้าวจะพบว่าเป็นไปได้น้อยกว่าประเภททุ่งหญ้าเพราะพื้นที่นาข้าวบริเวณนั้นอาจมีการขึ้นทะเบียนกับกรมส่งเสริมเกษตร หากเลือกบริเวณพื้นที่ข้างต้นอาจเกิดปัญหาการยกเลิกขึ้นทะเบียนเกษตร แต่หากเปรียบเทียบกับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภททุ่งหญ้ามักมีความเหมาะสมมากกว่าประเภทนาข้าวเนื่องจากเป็นที่สาธารณะประโยชน์ซึ่งทางราชการได้จัดให้หรือสงวนไว้เพื่อให้ประชาชนได้ใช้ประโยชน์ร่วมกันตามสภาพแห่งพื้นที่นั้นจะช่วยลดความขัดแย้งในการใช้ประโยชน์พื้นที่ รวมทั้งพื้นที่ทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ศึกษาที่มีความลาดชันอยู่ในช่วงระหว่าง 1-3 % ซึ่งเหมาะสมมากที่สุดในการเป็นพื้นที่รวบรวมขยะอิเล็กทรอนิกส์ [9, 22] ในตำบลบ้านกอก อำเภอเชิงฉะ ใน จังหวัดอุบลราชธานี นอกจากนี้ ในพื้นที่ศึกษาควรมีการคัดเลือกพื้นที่เพื่อจัดตั้งศูนย์กำจัดของเสียอันตรายจากชุมชนเพื่อจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดขึ้นอย่างถูกต้องโดยไม่เคลื่อนย้ายออกนอกพื้นที่ [2-3]

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2561 เรื่อง การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการประเมินการแพร่กระจายของโลหะหนักเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่คัดแยกขยะอิเล็กทรอนิกส์ ในชุมชนบ้านนาแก้วและชุมชนบ้านกอก อำเภอเชิงฉะ ใน จังหวัดอุบลราชธานี

References

- [1] Geo-Informatics and Space Technology Development Agency. (2009). *Space technology and geoinformatics*. Bangkok: Amarin Printing and Publishing.
- [2] Wijakprasert, A., & Khaimook, K. (2011). GIS for solid waste management of the local administration. *RMUTP Research Journal*, 5(2), 78–91.
- [3] Kaew-in, W. (2012). *Secure landfill site selection for hazardous waste disposal in southern of Thailand using geographic information system*. Master of Science. Prince of Songkla University.

- [4] Iamchuen, N. (2016). The solid waster management by using geospatial information technologies case study of Samuthprakarn province. In *The 7th Hatyai National and International Conference*. 710–722. June 23, 2016, Convention center in Business Administration building. Songkla: Hatyai University.
- [5] Saaty, T.L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. New York: McGraw-Hill International Book Co.
- [6] Vudhivanich, V. (2003). *Decision making by analytic hierachy process*. Nakhon Pathom: Department of Irrigation Engineering.
- [7] Saravisutra, A. (2016). Multi-criteria decision making: comparison between SAW, AHP and TOPSIS concept and methods. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 8(2), 180–192.
- [8] Güler, D., & Yomrahoglu, T. (2017). Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, 76(678), 1–13.
- [9] Sehnaz, S., Erhan, S., Bilgehan, N., & Remizi, K. (2010). Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the lake Beysehir catchment area. *Journal of Waste Management*, 30, 2037–2046.
- [10] Wasanadamrongdee, S. (2015). The situation of electronic waste problems. *Environmental Journal*, 19(3), 1-18
- [11] Pollution Control Department. (2016). *Thailand state of pollution report 2016*. Ministry of Natural Resources and Environment. Bangkok: Hua Yai Co., Ltd.
- [12] Withaya-anumas, S. (2017). Electronic waste management in Thailand. *TDRI Report*. 133, 1-24.
- [13] Regional Environmental Office 12. (2016). *Solid waste action plan of Ubon Ratchathani province* (Online). Retrieved July 2, 2018, from <http://ubonlocal.go.th/public/dispatch/ data/ Index/ menu//page/8>.
- [14] Charoen-mukyanand, S. (2018). *Examining the source of waste purchasing, don't use toxic waste, landfill that's nearly full* (Online). Retrieved July 12, 2018, from <https://www.77 kaoded.com/ news/suchai/107834>.
- [15] Torabi-Kaveh, M., Babazadeh, R., Mohammadi, S.D., & Zeresefat, M. (2016) Landfill site selection using combination of GIS and fuzzy AHP, a case study: Iranshahr, Iran. *Waste Management & Research: The Journal of a Sustainable Circular Economy*, 34(5), 438–448.
- [16] Land Development Regional Office 4. (2017). *Boundary of Ban Kok subdistrict (shapefile)*. Ubon Ratchathani: Ban Kok Sub-district Administration Organization.
- [17] Google Inc. (2018). *Google maps* (Online). Retrieved August 25, 2018, from <https://www. google. co.th/maps/>

- [18] Tansiri-khongkhon, W. (1999). *AHP: The most popular decision making process in the world*. Bangkok: Graphic and Printing Center.
- [19] Tansiri-khongkhon, W. (2014). *AHP: Advanced decision for organization progress and public well-being*. Bangkok: Amarin Printing and Publishing.
- [20] Piyawutsakul, N. (2013). *Evaluation of residences for development as home stay in agro-tourism area: a case study of agro-tourism area, moo. 3 Khlong Khuean subdistrict, Khlong Khuean district, Chachoengsao province*. Senior Project, Chulalongkorn University.
- [21] Sekulovic, D.J., & Jakovljevic, G.L. (2016). Landfill site selection using GIS technology and the analytic hierarchy process. *Journal of Military Technical Courier*, 64(3), 769–783.
- [22] Department of Lands. (2018). *Public benefit* (Online). Retrieved November 25, 2018, from [http://www.dol.go.th/Pages/Public benefit.aspx](http://www.dol.go.th/Pages/Public%20benefit.aspx).

นิวไคลด์กัมมันตรังสีธรรมชาติในพืชสมุนไพร และพืชอาหารสัตว์ บริเวณภูเขาหินแกรนิต เกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Natural Radionuclides in Medicinal Plants and Forages from a Granite Mountain area, Phangan Island, Surathani Province.

พวงทิพย์ แก้วทับทิม^{1*} อุตร ยังช่วย² และ มูบารัค เล็กเกลี้ยง³

Pungtip Kaewtubtim^{1*} Udorn Youngchuay² and Mubarak Lakkiang³

บทคัดย่อ

นิวไคลด์กัมมันตรังสีเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งมีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น สำหรับนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากธรรมชาติพบมากในหินแกรนิต งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ หากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี (^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K) ในตัวอย่างพืชสมุนไพร และพืชอาหารสัตว์ ที่อำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี และเพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างพืชชนิดต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยพืชที่นำมาทำสมุนไพร และพืชที่เป็นห่วงโซ่อาหาร รวม 20 ชนิด วิเคราะห์รังสีในตัวอย่างพืชโดยใช้ระบบการวิเคราะห์แกมมาสเปกโตรเมตรี ด้วยหัววัด เจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) พบว่า กัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K มีค่าอยู่ในช่วง 6.75 ± 0.16 ถึง 61.55 ± 0.48 , 1.76 ± 0.15 ถึง 34.24 ± 0.25 และ 330.74 ± 0.37 ถึง 1337.54 ± 0.64 Bq/kg ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E) ในพืชทุกชนิดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ (UNSCEAR, 2000) ที่กำหนด

คำสำคัญ: นิวไคลด์กัมมันตรังสี พืชสมุนไพร อำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Abstract

The radioactive nuclides were a cancer causing agent. They have a source of origin from nature and man-made. The natural radioactive elements were found in granite rock. The purpose of this research were analyze the activity of radioactive nuclides (^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K) in herbs and forage plant samples from Koh Phangan District, Surat Thani Province and to analyze the Annual external effective dose rate (E).

¹ ผศ.ดร., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี 94000

² นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) นครนายก 26120

³ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี 94000

¹ Asst. Prof. Dr., Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Province 94000, Thailand

² Nuclear Scientist, Institute of Nuclear Technology (TINT), Nakhon Nayok Province, 26120, Thailand

³ Master's degree student, Department of Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani Province 94000, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: pungtip.k@psu.ac.th

(Received: August 28, 2020; Revised: December 30, 2020; Accepted: January 5, 2021)

A total of 20 species of plants, including medicinal plants and food chains plant were randomly sampled. The plant samples were analyzed by the gamma spectrometry system with high-purity germanium (HPGe) detector. It was found that the radioactive nuclides of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K were ranged from 6.75 ± 0.16 to 61.55 ± 0.48 , 1.76 ± 0.15 to 34.24 ± 0.25 and 330.74 ± 0.37 to 1337.54 ± 0.64 Bq/kg, respectively. In addition, the Annual external effective dose rate (E) in all plants were lower than required (UNSCEAR, 2000).

Keywords: Radioactive Nuclides, Medicinal Plants, Phangan District, Suratthani Province

บทนำ

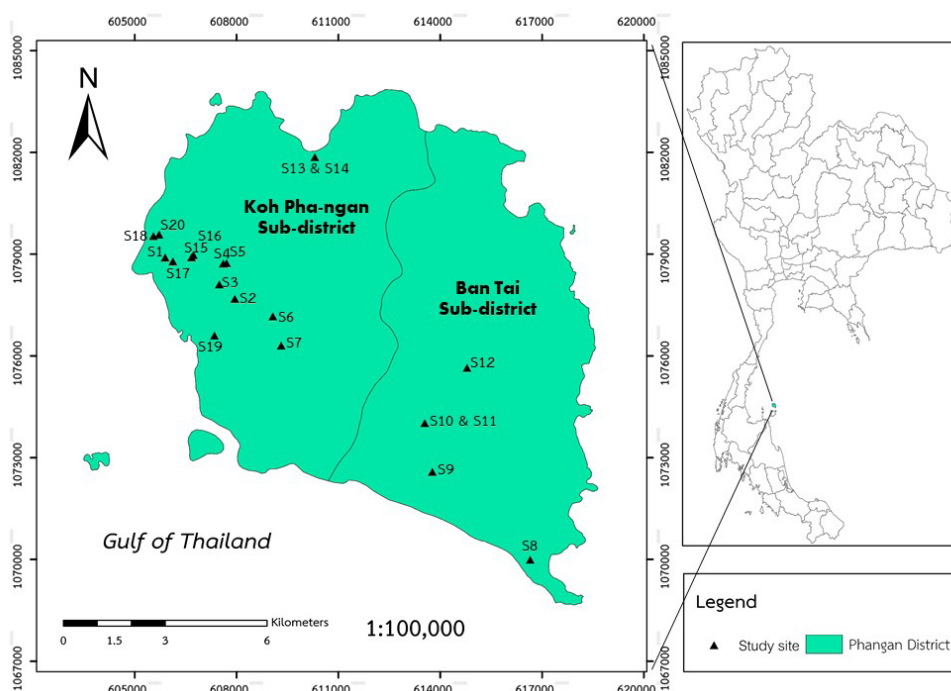
นิวไคลด์กัมมันตรังสี (Radioactive Material) เป็นสารหรือธาตุที่มีนิวเคลียสของอะตอมไม่เสถียร จึงปลดปล่อยรังสีออกมา เพื่อปรับตัวให้มีเสถียรภาพ นิวไคลด์กัมมันตรังสีสามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการสัมผัส การหายใจ การดื่ม และการกินเป็นต้น โดยเฉพาะการกิน เป็นอาหาร เป็นยาสมุนไพร และผ่านทางห่วงโซ่อาหาร นอกจากนี้การอาศัยอยู่ในบ้านเรือนยังสามารถที่จะได้สารกัมมันตรังสีจากวัสดุก่อสร้างสูง โดยเฉพาะบ้านเรือนที่ไม่เปิดให้อากาศถ่ายเท [1] จึงทำให้การใช้ชีวิตในปัจจุบันมีความเสี่ยงต่อการได้รับรังสีมากยิ่งขึ้น การได้รับสะสมในเวลานาน ๆ หรือได้รับรังสีในปริมาณมาก มีผลต่อสิ่งมีชีวิตโดยทำให้อะตอมหรือโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์มีการแตกตัวเป็นไอออน และทำให้มีการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่อเนื่องกันจนกระทั่งโครงสร้างของเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยผลทำให้เกิดความผิดปกติในร่างกายขึ้น จึงอาจส่งผลทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ หรือร้ายแรงถึงขั้นส่งผลต่อชีวิตได้ [2] จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาปริมาณความเป็นอันตรายของรังสีเพื่อเป็นตัวชี้วัดระดับความเป็นอันตรายจากการได้รับนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากธรรมชาติต่อการใช้ชีวิตประจำวัน โดยการวิเคราะห์ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E) [3] นิวไคลด์กัมมันตรังสีส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ ดิน ทราย หิน รวมไปถึงในอากาศ โดยปริมาณของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้จะมีปริมาณมาก หรือน้อยขึ้นกับลักษณะทางธรณีวิทยาในบริเวณนั้น โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นหินแกรนิตจะพบว่าปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีสะสมอยู่สูง [4] เช่นพื้นที่อำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีลักษณะภูมิประเทศโดยส่วนใหญ่เป็นภูเขา ลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นเทือกเขาหินแกรนิตทั้งเกาะ ด้วยเหตุนี้ทำให้ปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามธรรมชาติในตัวอย่างดิน บริเวณเกาะพะงันมีปริมาณสูงกว่าค่าเฉลี่ยของจังหวัดชุมพร ซึ่งเป็นจังหวัดที่อยู่ติดกัน ค่าเฉลี่ยของประเทศไทย และค่าเฉลี่ยของทั่วโลก [5] จึงเป็นไปได้ว่าปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในพืชสมุนไพร และพืชที่เป็นอาหารของสัตว์ซึ่งจะเป็นห่วงโซ่อาหารของคน บริเวณเกาะพะงันอาจจะมีปริมาณสูงด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจเก็บตัวอย่างพืชสมุนไพร และพืชที่เป็นอาหารสัตว์ซึ่งจะเป็นห่วงโซ่อาหารของคน ที่บริเวณพื้นที่เกาะพะงัน จังหวัดจังหวัดสุราษฎร์ธานี มาวิเคราะห์

วิธีดำเนินการ

1. การเก็บ และเตรียมตัวอย่าง

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง 2 ประเภทได้แก่พืชสมุนไพร 19 ชนิดประกอบไปด้วย *Euphorbia heterophylla* L. (หญ้ายาง) *Ageratum conyzoides* L. (สาบแรังสาบกา) *Stachyarrheta jamaicensis* L. (หญ้าพันงูเขียว) *Coccinia grandis* L. (ตำลึง) *Hyptis suaveolens* L. (แมงลัก) *Wedelia trilobata* L.

(กระดุมทองเลื้อย) *Alysicarpus vaginalis* L. (ถั่วลิสงนา) *Mikania cordata* Burm.f. (ขี้ไก่ย่าน) *Centrosema pubescens* Benth. (ถั่วลายหรือเซนโตซีมา) *Nephrolepis cordifolia*. (เฟิร์นใบมะขาม) *Calopogonium caeruleum* Benth. (ชีรูลีเทียม) *Tridax procumbens* L. (ตีนตุ๊กแก) *Phaseolus lathyroides* L. (ถั่วฝัก) *Melochia corchorifolia* L. (เล้ง) *Eclipta prostrate* L. (กะเม็ง) *Rhynchelytrum repens* Willd. (หญ้าดอกชมพู) *Ipomoea pes-caprae* L. (ผักบุ้งทะเล) *Alternanthera sessilis* L. (ผักเป็ดแดง) และ *Hippeastrum johnsonii* Bury. (ว่านสีทศ) และพืชที่เป็นอาหารของสัตว์ ซึ่งจะเป็นห่วงโซ่อาหารของคน จำนวน 1 ชนิด ได้แก่ *Digitaria ciliaris* Retz. (หญ้าปล้องข้าวนก) ครอบคลุมอำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี บันทึกจุดเก็บตัวอย่างที่แน่นอนด้วยเครื่องบอกพิกัดดาวเทียม (Global Positioning System, GPS) ดังภาพที่ 1 จากนั้นนำตัวอย่างพืชทั้งราก ลำต้น และ ใบมาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำไปบดให้เป็นผง จากนั้นนำมาร้อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 120 ไมโครเมตร และบรรจุในภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร สูง 10.2 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาดเท่ากับภาชนะบรรจุสารมาตรฐานพืช IAEA-330 และความสูงของตัวอย่างในกระปุกเท่ากับ ความสูงของสารมาตรฐาน จากนั้นวางตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 1 เดือนเพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุลทางรังสี



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

2. การตรวจวัด และวิเคราะห์

นำตัวอย่างพืชที่เตรียมไว้ไปวัดรังสีแกมมาด้วยหัววัดเจอร์มานีเยมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ประสิทธิภาพหัววัด 70 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 18,000 วินาที ที่สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก โดยใช้สารมาตรฐานพืช IAEA-330 จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ สำหรับวิเคราะห์

ค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra โดยวัดที่พลังงาน 609.31 ซึ่งเป็นพลังงานของ ^{214}Bi สำหรับ ^{232}Th วัดที่พลังงาน 2614.53 ซึ่งเป็นพลังงานของ ^{208}Tl และ ^{40}K วัดที่พลังงาน 1460.75 keV [5] ดังสมการที่ (1)

$$C_r = \frac{A}{(E \times T \times P \times W)} \quad (1)$$

เมื่อ C_r คือ ค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ในตัวอย่างพืช (Bq/kg)
 A คือ อัตรานับสุทธิ (Peak Area/Counting Time)
 E คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (cps/Bq)
 T คือ เวลาที่นับวัด (s)
 P คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ที่มีรังสีแกมมาออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสี (%yield)
 W คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ทำการที่วัดรังสี (kg)
 วิเคราะห์ปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E) [3] ดังสมการ (2)

$$E \left(\frac{\text{mSv}}{\text{y}} \right) = (0.461C^{226}\text{Ra} + 0.604C^{232}\text{Th} + 0.0417C^{40}\text{K} \left(\frac{\text{nGy}}{\text{hr}} \right)) \times 8760(\text{hr}) \times 0.2 \times 0.7 \left(\frac{\text{Sv}}{\text{Gy}} \right) \times 10^{-6} \quad (2)$$

ผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างพืช ซึ่งเป็นพืชที่เข้าสู่ร่างกายทั้งการผ่านการกินโดยตรง และผ่านทางห่วงโซ่อาหาร บริเวณเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่ากัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในพืช 20 ตัวอย่างบริเวณพื้นที่เกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี และงานวิจัยอื่น ๆ

Samples	Location of sample	specific activities (Bq/kg)		
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	This study	23.54 ± 0.30	6.53 ± 0.17	438.17 ± 0.40
<i>Ageratum conyzoides</i> L.		58.20 ± 0.47	17.47 ± 0.20	1006.03 ± 0.57
<i>Stachyarrheta jamaicensis</i> L.		27.51 ± 0.32	19.77 ± 0.21	837.21 ± 0.52
<i>Coccinia grandis</i> L.		24.51 ± 0.31	13.06 ± 0.19	920.85 ± 0.55
<i>Hyptis suaveolens</i> L.		22.01 ± 0.29	34.24 ± 0.25 ^a	699.08 ± 0.49
<i>Wedelia trilobata</i> L.		61.55 ± 0.48 ^a	6.88 ± 0.17	747.43 ± 0.50
<i>Alysicarpus vaginalis</i> L.		17.13 ± 0.26	14.30 ± 0.19	332.27 ± 0.37
<i>Mikania cordata</i> Burm.f.		11.52 ± 0.21	7.59 ± 0.17	994.52 ± 0.56
<i>Centrosema pubescens</i> Benth.		14.92 ± 0.24	8.65 ± 0.18	483.45 ± 0.42
<i>Digitaria ciliaris</i> Retz.		58.49 ± 0.47	30.18 ± 0.24	1216.29 ± 0.62
<i>Nephrolepis cordifolia</i> L.		33.70 ± 0.36	14.83 ± 0.20	664.55 ± 0.48

ตารางที่ 1 ค่ากัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในพืช 20 ตัวอย่างบริเวณพื้นที่
เกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี และงานวิจัยอื่น ๆ (ต่อ)

Samples	Location of sample	specific activities (Bq/kg)		
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
<i>Calopogonium caeruleum</i> Benth.		21.78 ± 0.29	12.88 ± 0.19	861.76 ± 0.53
<i>Tridax procumbens</i> L.		27.23 ± 0.32	26.47 ± 0.23	357.60 ± 0.38
<i>Phaseolus lathyroides</i> L.		13.22 ± 0.22	14.12 ± 0.19	812.65 ± 0.52
<i>Melochia corchorifolia</i> L.		20.54 ± 0.28	6.35 ± 0.17	388.29 ± 0.39
<i>Eclipta prostrata</i> L.		12.20 ± 0.22	2.47 ± 0.15	1159.51 ± 0.60
<i>Rhynchelytrum repens</i> Willd.		12.59 ± 0.22	4.77 ± 0.16	405.18 ± 0.39
<i>Ipomoea pes-caprae</i> L.		6.75 ± 0.16^b	2.65 ± 0.15	1337.54 ± 0.64^a
<i>Alternanthera sessilis</i> L.		7.66 ± 0.17	1.76 ± 0.15^b	330.74 ± 0.37^b
<i>Hippeastrum johnsonii</i> Bury.		24.56 ± 0.31	16.06 ± 0.20	1371.30 ± 0.65
Range	This study	6.75 - 61.55	1.76 - 34.24	330.74 - 1337.54
<i>Clitoria ternatea</i> L. [3]		2.82 ± 0.20	0.28 ± 0.17	633.82 ± 58.17
<i>Andrographis paniculate</i> [3]	Thailand	7.54 ± 0.61	1.71 ± 0.14	950.77 ± 89.44
<i>Alpina Galangal</i> [6]		0.9 ± 0.7	0.9 ± 0.9	785 ± 5.76
<i>Jew's Mallow</i> [7]	Egypt	0.501 ± 0.03	0.136 ± 0.02	11.436 ± 0.42
<i>Wheat Grains</i> [8]	India	0.7 ± 0.1	1.1 ± 0.02	102.9 ± 9.8

หมายเหตุ : a หมายถึง ค่ามากที่สุด, b หมายถึง ค่าน้อยสุด

จากตารางที่ 1 จะได้ว่าค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างพืชบริเวณเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า พืชที่มีค่า ^{226}Ra สูงสุดคือ กระจับปี่ (Wedelia trilobata. L.) มีค่า 61.55 ± 0.48 Bq/kg ค่า ^{232}Th สูงสุด แมงลัก (Hyptis suaveolens L.) มีค่า 34.24 ± 0.25 Bq/kg และค่า ^{40}K สูงสุดคือ ผักบุ้งทะเล (Ipomoea pes-caprae L.) มีค่า 1337.54 ± 0.64 Bq/kg ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พืชในงานวิจัยนี้มีค่าเฉลี่ยของ ^{226}Ra และ ^{232}Th สูงกว่าพืชบางชนิด เช่น *Clitoria ternatea* L., *Andrographis paniculate*, *Alpina Galangal*, *Jew's Mallow* และ *Wheat Grains*. จากงานวิจัยของประเทศไทย และงานวิจัยบางส่วนของทั่วโลก [3, 6 - 8] เนื่องจากบริเวณเกาะพะงัน มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นหินแกรนิต ทำให้มีค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในดินสูง [5] จึงส่งผลให้ค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในพืชสูงด้วย อย่างไรก็ตามปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีในพืช ยังต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ เช่น น้ำที่ใช้รดพืช การใส่ปุ๋ยให้แก่พืช ค่า pH ของดิน และ Anthropogenic Radionuclides เป็นต้น ส่วนค่าเฉลี่ยของ ^{40}K พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกับงานวิจัยพืชในประเทศไทย [3] แต่สูงกว่าพืชจากงานวิจัยบางส่วนในต่างประเทศ [7, 8] นอกจากนี้ได้คำนวณปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E) ดังที่แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E) ในพืช บริเวณเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

Sample	E (mSv/y)	Sample	E (mSv/y)
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	0.04	<i>Nephrolepis cordifolia</i> L.	0.06
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	0.10	<i>Calopogonium caeruleum</i> Benth.	0.07
<i>Stachyarrheta jamaicensis</i> L.	0.07	<i>Tridax procumbens</i> L.	0.05
<i>Coccinia grandis</i> L.	0.07	<i>Phaseolus lathyroides</i> L.	0.06
<i>Hyptis suaveolens</i> L.	0.07	<i>Melochia corchorifolia</i> L.	0.04
<i>Wedelia trilobata</i> L.	0.08	<i>Eclipta prostrata</i> L.	0.07
<i>Alysicarpus vaginalis</i> L.	0.04	<i>Rhynchelytrum repens</i> Willd.	0.03
<i>Mikania cordata</i> Burm.f.	0.06	<i>Ipomoea pes-caprae</i> L.	0.07
<i>Centrosema pubescens</i> Benth.	0.04	<i>Alternanthera sessilis</i> L.	0.02
<i>Digitaria ciliaris</i> Retz.	0.12	<i>Hippeastrum johnsonii</i> Bury.	0.10
Average		0.06	
UNSCEAR (2000) [8]		0.48	

จากตารางที่ 2 ค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E) มีค่าระหว่าง 0.02–0.12 mSv/y เฉลี่ย 0.06 mSv/y ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน 0.48 mSv/y (UNSCEAR, 2000)

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพนิวไคลด์กัมมันตรังสี ^{226}Ra , ^{232}Th และ ^{40}K ในตัวอย่างพืช 20 ชนิด ซึ่งเก็บที่อำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่า ^{226}Ra อยู่ในช่วง 6.75 ± 0.16 ถึง 61.55 ± 0.48 Bq/kg โดยต้นกระดุมทองเหลือง (*Wedelia Trilobata* L.) มีค่าสูงสุด สำหรับ ^{232}Th มีค่าอยู่ในช่วง 1.76 ± 0.15 ถึง 34.24 ± 0.25 Bq/kg โดยต้นแมงลักคา (*Hyptis suaveolens* L.) มีค่าสูงสุด และ ^{40}K มีค่าอยู่ในช่วง 330.74 ± 0.37 ถึง 1337.54 ± 0.64 Bq/kg โดยต้นผักบุ้งทะเล (*Ipomoea Pes-caprae* L.) มีค่าค่าสูงสุด นอกจากนี้ผลการศึกษาค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกร่างกายประจำปี (E) พบว่าพืชทุกชนิดมีต่ำกว่าเกณฑ์ (UNSCEAR, 2000) ที่กำหนด ผลจากการศึกษาสรุปได้ว่าพืชที่ใช้วิเคราะห์มีปริมาณสารกัมมันตรังสีอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนวิจัยวิทยาเขตปัตตานี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้อุปกรณ์เครื่องมือสำหรับตรวจวัดรังสี ขอขอบคุณแผนกวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์การทดลอง ขอขอบคุณ Angel Hut Resort อำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานีที่เอื้อเฟื้อที่พักตลอดการไปเก็บตัวอย่าง ขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์การทดลอง
ขอขอบคุณเจ้าของ Angel Hut Resort อำเภอเกาะพะงัน จังหวัดสุราษฎร์ธานีที่เอื้อเฟื้อที่พักตลอดการไป
เก็บตัวอย่าง

References

- [1] Srisuwan, T. (2006). Radon: the hidden hazard in buildings, *Journal of Architecture/ Planning Studies*, 4(2), 23–37.
- [2] Nualchavee, R. (2002). *Nuclear Science*. Bangkok: Kasetsart University.
- [3] Saenboonruang, K., Phonchanthuek, E. & Prasandee, K. (2018). Determination using gamma spectroscopy of natural radionuclide activity concentrations and annual committed effective doses in selected Thai medicinal plants, *Chiang Mai Journal of Science*, 45(2), 821–831.
- [4] Department of Mineral Resources. (2550). *Department of Mineral Resources, Suratthani Province, Thailand*. Bangkok: Department of Mineral Resources.
- [5] Lakkiang, M., Keawtaptim, P., Youngchaui, U., Bordeepong, S., Phansuke, P., & Changkian, S. (2019). Determination of Radionuclide (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) in soil at Phangan District, Suratthani Province, In *The 29th Thaksin University National Academic Conference: Research and Innovation for Sustainability Development*, 278–284. May 9–10, 2019, Siam Oriental Hotel, Hat Yai. Songkhla: Thaksin University.
- [6] Kritsanuwat, R., Chanyotha, S., Kranrod, C., & Pengvanich, P. (2017). Transfer factor of K from soil to *Alpinia Galangal* plant grown in northern Thailand, *Journal of Physics: Conference Series*, 860, 1–9.
- [7] Abdou, N.Y., Hegazy, R.A., & Eissa, H.S. (2017). Measurement of gamma activity from clay soil and the leaves of Jew's-mallow plant enhanced by fertilizers, *World Applied Sciences Journal*, 35(1), 128–136.
- [8] Pulhani, V.A., Dafauti, S., Hegde, A.G., Sharma, R.M., & Mishra, U.C. (2005). Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil, *Journal of Environmental Radioactivity*, 79, 331–346.
- [9] The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). *Sources, effects and risk of ionizing radiation*. UNSCEAR, New York: United Nations.

การแยกและการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเอนไซม์ไลเปส โดยแบคทีเรียจากดินที่ปนเปื้อนน้ำมัน

Isolation and Factors Affecting Lipase Production by Bacteria from Oil-Contaminated Soils

ปรียานุช ทองภู¹

Preeyanuch Thongpoo¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสจากตัวอย่างดินที่ปนเปื้อนน้ำมันพืช หรือน้ำมันเชื้อเพลิง และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเอนไซม์ไลเปส โดยคัดเลือกแบคทีเรียที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Tributyrin Agar ที่มีน้ำมันปาล์มร้อยละ 1 และสร้างโซนใสได้กว้าง แล้วนำมาทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส พบว่า แบคทีเรียโอโซเลต PKRU-9 มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสมากที่สุด โดยแบคทีเรียโอโซเลต PKRU-9 สามารถสร้างเอนไซม์ไลเปสได้ดีที่สุดเมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Basal Medium ที่มี Yeast Extract ร้อยละ 0.5 เป็นแหล่งไนโตรเจน และมีน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 1.0 เป็นแหล่งคาร์บอน โดยการเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 35°C และความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที และมีการสร้างเอนไซม์ไลเปสมากที่สุดเมื่อเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 54 ชั่วโมง การศึกษาการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนไขมันของเชื้อแบคทีเรีย PKRU-9 โดยการนำไปเลี้ยงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เติมน้ำมันปาล์มร้อยละ 1 และในน้ำเสียจากบ่อบำบัดที่ปนเปื้อนไขมัน พบว่า เชื้อแบคทีเรีย PKRU-9 สามารถลดค่า BOD₅ ได้สูงสุด ร้อยละ 74 และ 90 ตามลำดับ โดยค่า BOD ลดลงมากที่สุดในวันที่ 3 ของการเลี้ยงเชื้อ แสดงว่าเชื้อแบคทีเรีย PKRU-9 มีศักยภาพในการนำไปใช้บำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีการปนเปื้อนของไขมันได้

คำสำคัญ: แบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ไลเปส กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส การบำบัดน้ำเสียชุมชน

Abstract

This research aimed to isolate lipase-producing bacteria from soil samples contaminated with vegetable oil or petrol, and study factors affecting its lipase production. The bacteria that could be grown on tributyrin agar supplemented with 1% palm oil and produced a wide clear zone were selected. These selected bacterial isolates were tested for lipase activity; among them, the isolate PKRU-9 had the highest lipase activity. The maximum lipase production was obtained when PKRU-9 was cultured in a basal

¹ อ.ดร. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ (เอกชีววิทยา) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ภูเก็ต 83000

¹ Lecturer, Dr., Program of Science (Biology), Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University, Phuket, 83000, Thailand.

*Corresponding author: E-mail address: preeyanuch@pkru.ac.th

(Received: November 1, 2020; Revised: December 7, 2020; Accepted: January 4, 2021)

medium containing 0.5% yeast extract as a nitrogen source and 0.5% soybean oil as a carbon source at 35°C, 200 rpm. The highest lipase production was obtained at 54h of incubation. Treatment of wastewater contaminated with the lipid of PKRU-9 was studied by culturing the bacterium in a synthetic wastewater medium containing 1% palm oil, and in wastewater contaminated with fat. The PKRU-9 was able to decrease the value of BOD₅ by 74% and 90%, respectively. The highest reduction of BOD₅ was found on day 3 of cultivation. These results suggested that the PKRU-9 has the potential to be used for treating municipal wastewater contaminated with fat.

Keywords: Lipase Producing Bacteria, Lipase Activity, Municipal Wastewater Treatment

Introduction

Lipases (triacylglycerol acylhydrolase, E.C. 3.1.1.3) are a group of hydrolase enzymes that catalyze the hydrolysis of ester bonds in triacylglycerols to release fatty acids and glycerol. Hydrolytic reactions of lipase occurred at the lipid-water interface due to the poor solubility of its natural substrates in water [1]. Lipases are found universally in plants, animals, and microorganisms. Among these, bacterial lipases are commercially significant due to the simplicity of their cultivation and advancement in bulk production. Lipases have diverse potentials applications in the detergent, food, and pharmaceutical industry, and the production of biodiesel [2-3]. Lipase-producing microorganisms have been discovered in various sources such as agro-industrial wastes, vegetable oil processing wastes, dairy product industries, and oil-contaminated soils [2,4-5]. Bacterial lipases are mainly inducible enzymes, typically produced in the presence of a lipid source such as oils, triacylglycerols, fatty acids, tweens, bile salts, and glycerol [1]. Some natural oils reported improving the production of lipase are olive oil, coconut oil, vegetable oil, and petroleum oil [2].

Wastewater is one of the major environmental problems in Thailand, primarily due to the disposal of untreated wastewater from cities and industrial plants to water sources. Lipid is an important component in household waste that causes significant environmental contamination. It can form oil films on water surfaces, prevents the absorption of oxygen into water, and contributes to the death of many aquatic lives [6]. Moreover, fat in lipid-rich wastewater will decrease the performance of the wastewater treatment system by interrupting the activity of aerobic bacteria in the wastewater treatment process. Hydrolysis of fat-contaminated wastewater using bacteria is one of the alternative strategies for treating lipid-rich wastewater before being discharged into freshwater. Therefore, in this study, the production of lipase from bacterial isolate PKRU-9, which was isolated from oil-contaminated soil was reported. Then, factors affecting lipase production were demonstrated and the treatment of lipid-containing wastewater was also evaluated.

Research Methodology

1. Soil Samples

Soil samples contaminated with cooking oil or petrol were collected from 11 different sites. These samples were collected from dishwashing areas at Phuket Rajabhat University and a restaurant in Phuket (2 samples, S1-S2), mangrove sediment soils contaminated with cooking oil and petrol-spilled in Phuket (4 samples, S3-S6), and soil samples contaminated with petrol-spilled from garages located in Phuket and Surat Thani provinces (5 samples, S7-S11). These soil samples were collected at 10 cm-depth and stored at 4 °C for further screening of lipolytic bacteria.

2. Screening of Lipase Producing Bacteria

Five grams of each soil sample was enriched twice in 50 mL of screening medium (1.5% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 1% peptone, and 0.5% NaCl) [7] supplemented with 1% palm oil as a sole carbon source and cultured at 35°C, 220 rpm for 3 days. The appropriate dilution of enrichment culture from each soil sample was plated on tributyrin agar (0.5% peptic digest of animal tissue, 0.3% yeast extract, and 1.5% agar) supplemented with 1% palm oil, and then incubated at 35°C for 2 days. Lipase production isolates were detected by the presence of clear zones around colonies. The diameters of the clear zone and the colony were measured by Vernier caliper. The enzyme activity index was calculated based on a diameter ratio of the clear zone to the colony. Bacterial isolates showing high enzyme activity index were chosen for lipase activity assay.

3. Lipase Activity Assay

The chosen bacterial isolates were cultured in liquid medium (0.5% peptone, 0.3% beef extract, 0.1% CaCl_2 , 1% gum arabic, and 2% palm oil, pH 7.0) at 35°C and 220 rpm for 2 days. The culture supernatants were harvested by centrifugation at 4,724 g, 4 °C, 15 min for further use as crude lipase. The appropriate amount of crude lipase was assayed for lipase activity against 0.4 mM *p*-nitrophenyl palmitate (*p*NPP) (dissolved in propanol-2-ol) in 50 mM Tris-HCL buffer, pH 8.0 at 37°C, 15 min (adapted from Dheeman *et al.* (2011) [8]). The reaction was terminated by adding 1.0 M Na_2CO_3 . The absorbance of *p*-nitrophenol (*p*NP) released from the reaction was measured at 410 nm by using a Spectrophotometer (Thermo Scientific, USA), and compared with a standard curve of *p*NP. One unit of lipase activity is defined as the amount of enzyme which released 1 μmol of *p*NP per min under the assay conditions. All enzyme assays were carried out in triplicate. Protein concentration was determined by the dye-binding assay (Protein Assay Reagent Kit; Bio-Rad, USA) [9] and compared with a standard curve of bovine serum albumin. Specific activity was calculated based on the ratio of lipase activity to protein concentration.

4. Factors Affecting Lipase Production

The starter culture of the selected bacterial isolate was prepared in Luria-Bertani medium (1% tryptone, 0.5% yeast extract, and 0.5% NaCl) at 35°C, 200 rpm, for 16 h. Effect of culture conditions on lipase production was studied in a basal medium (0.2% glucose, 0.5% tryptone, 0.01% $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, and 0.1% K_2HPO_4) and cultured at 35°C, 200 rpm for 48 h. Seven vegetable oils including palm oil, olive oil, sunflower seed oil, soybean oil, coconut oil, sesame oil, and canola oil, were chosen to study the effect of carbon source at a 2% concentration. Then, 7 nitrogen sources including peptone, tryptone, yeast extract,

glycine, urea, ammonium sulfate, and ammonium chloride were chosen to study the effect of nitrogen source at a 0.5% concentration. Afterward, the optimal concentrations of the selected carbon and nitrogen sources were studied. These optimal conditions were used to study the optimum rotational speed for lipase production. Finally, cell dry weight and lipase activity were determined periodically up to 96 h for evaluating the effect of the cultivation time. All of the above experiments were performed in triplicate.

5. Wastewater Treatment

Two types of lipid-containing wastewaters, which were synthetic wastewater medium (1% palm oil, 0.06% peptone, 0.04% beef extract, 0.01% urea, 0.01% Na_2HPO_4 , 0.003% NaCl, 0.0014% CaCl_2 , 0.0014% KCl, and 0.001% MgSO_4), and wastewater contaminated with fat from a wastewater treatment system in Phuket, were used to study bacterial ability in hydrolyzing lipid-rich wastewater. One percent of the starter culture was inoculated into these wastewaters and cultured at 35°C and 150 rpm for 120 h, adapted from Matsumiya *et al.* (2007) and Rungreang & Pattanapitpaisal (2011) [10-11]. The culture medium was taken at 0, 24, 48, 72, 96, and 120 h for the estimation of biochemical oxygen demand (BOD_5) as described by Mongkolthanaruk and Dharmsthiti (2002) [6]. Each experiment was carried out in triplicate.

Results and Discussion

1. Selection of Lipase Producing Bacteria

Enrichment culture of 11 soil samples (S1-S11) were screened for lipase producing bacteria on tributyrin agar supplemented with 1% palm oil. Based on clear zone production, 47 bacterial isolates were considered as lipase producing bacteria (data not shown). Among them, 9 bacterial isolates with a high enzyme activity index were chosen for lipase activity assay (Table 1).

Table 1 The chosen lipase producing bacteria from soil samples contaminated with oil or petrol-spilled

Isolate Number	Sampling site	Zone of hydrolysis (mm)	Zone of the colony (mm)	Enzyme activity index
PKRU-3	S1	3.10	1.2	2.58
PKRU-9	S1	3.20	1.3	2.46
PKRU-17	S3	3.40	1.78	1.91
PKRU-19	S4	7.10	2.01	3.53
PKRU-24	S6	3.20	1.58	2.03
PKRU-31	S8	3.78	0.9	4.20
PKRU-34	S9	7.58	2.4	3.16
PKRU-40	S10	5.60	2.1	2.67
PKRU-44	S11	2.60	0.9	2.89

Lipase producing bacteria were found in soil samples of all sampling sites with different enzyme activity index. Therefore, cooking oil and petrol-contaminated soils provide a suitable environment for inducing lipase production. The low value of the enzyme activity index obtained in this study is due to the complex fatty acid compositions of palm oil.

2. Lipase Activity Screening

Crude lipases from 9 chosen bacterial isolates were tested for lipase activity against the *p*NPP substrate. Among them, PKRU-9 showed the highest lipase activity (Fig. 1). Therefore, PKRU-9 was selected to study its optimal conditions for lipase production and its ability to hydrolyze wastewater containing lipid. The PKRU-9 was a gram-positive bacterium with a short rod shape. It exhibited circular form, entire margin, convex elevation, yellow color, and small size when grown on a nutrient agar plate (data not shown).

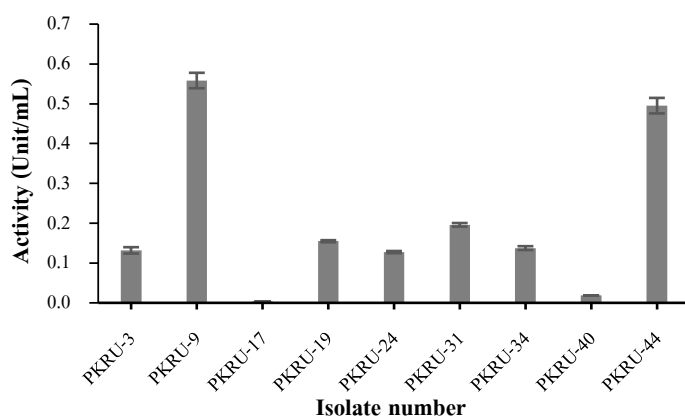


Figure 1 Lipase activity of 9 chosen bacterial isolates after cultivated for 2 days at 35°C, 200 rpm in a liquid medium. Values are means (n = 3) and the error bars represent $\pm$ standard deviation of the mean.

3. Effect of Culture Condition for Lipase Production

3.1 Effect of Carbon and Nitrogen Sources

Seven vegetable oils were used as carbon sources in basal medium to determine the maximum lipase activity from PKRU-9 isolate. The specific activity values revealed soybean oil as the best carbon source for lipase production from PKRU-9 (Fig.2a). Olive oil has been reported as one of the best inducers for bacterial lipase production [2]. In this study, olive oil induced lipase production during the first 24h as a high amount as soybean oil. However, after 24h, lipase production in culture medium supplemented with olive oil decreased, while it increased in the medium supplemented with soybean oil. As a result, soybean oil was selected to study the effect of nitrogen source. Among the 7 nitrogen sources tested, PKRU-9 utilized 0.5% yeast extract as the best nitrogen source for lipase production (Fig. 2b). The organic nitrogen sources such as yeast extract, tryptone, and peptone were better used to induce lipase production than the inorganic nitrogen sources. Moreover, yeast extract and peptone have generally been used for lipase production. Consequently, yeast extract was selected as a nitrogen source for the following experiments.

3.2 Effect of Carbon and Nitrogen Source Concentration

The concentration of yeast extract was varied from 0.2 to 0.6% in a basal medium containing 2% soybean oil. It was found that 0.5% yeast extract was the optimal concentration for lipase production (Fig. 3a). Therefore, 0.5% yeast extract was selected to examine the optimal concentration of soybean oil between 0.5 and 2.5%. There was almost no difference in specific activity when 1.0% to 2.0% soybean oil were used (Fig. 3b). However, the value seemed to decrease when the concentrations of soybean oil were 2.0% and 2.5%. As a result, 1.0% soybean oil was selected as the optimal concentration for lipase production of PKRU-9. Previously, the optimal condition of lipase production by *Pseudomonas* sp. HCU2-1 was reported as the basal medium containing 2% wastewater from palm oil and 0.5% peptone [3]. However, in this study, yeast extract induced lipase production from PKRU-9 better than peptone.

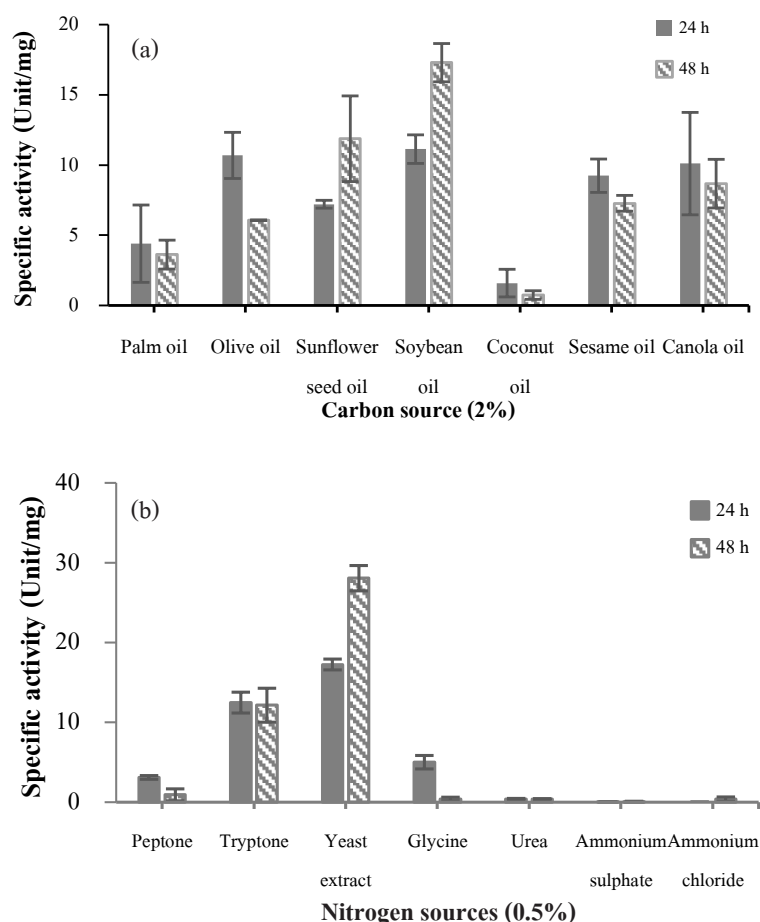


Figure 2 Effect of carbon (a) and nitrogen (b) sources on lipase production by PKRU-9 in a basal medium at 35°C, 200 rpm for 24 and 48h. Values are means (n = 3) and the error bars represent $\pm$ standard deviation of the mean.

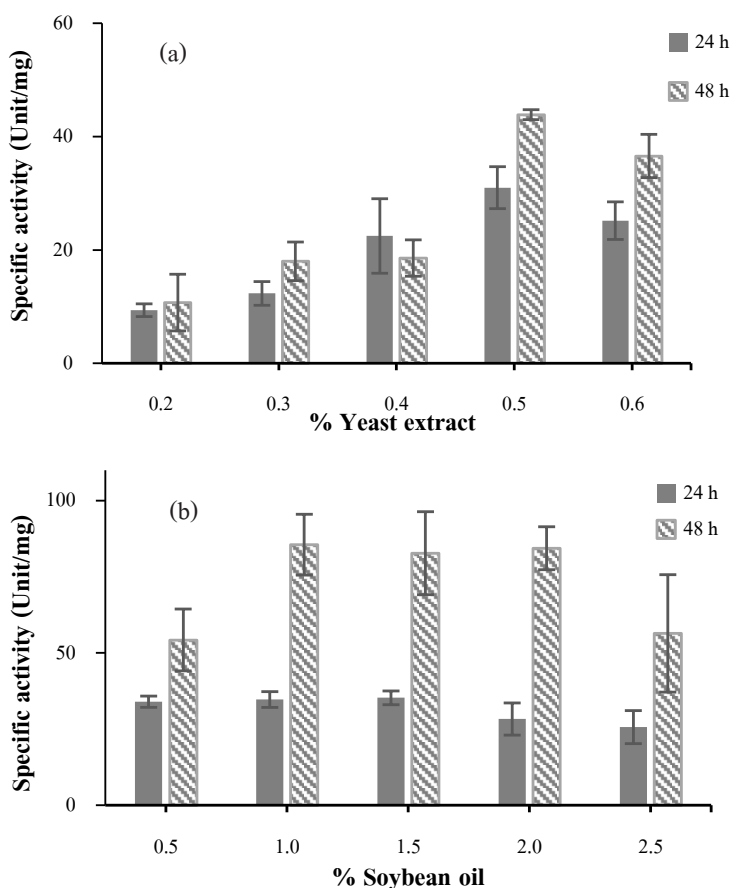


Figure 3 Effect of yeast extract (a) and soybean oil (b) concentrations on lipase production by PKRU-9 in a basal medium at 35°C, 200 rpm for 24 and 48h. Values are means (n = 3) and the error bars represent $\pm$ standard deviation of the mean.

3.3 Effect of Rotational Speed

PKRU-9 was cultured in a basal medium containing 0.5% yeast extract and 1.0% soybean oil at 35°C with varying rotational speed from 100 to 250 rpm. The optimal rotational speed for lipase production was 200 rpm (Fig. 4). Speed higher than 200 rpm resulted in a decrease production of lipase since higher rotational speed increases shear forces leading to a negative impact on cell growth and lipase production [12].

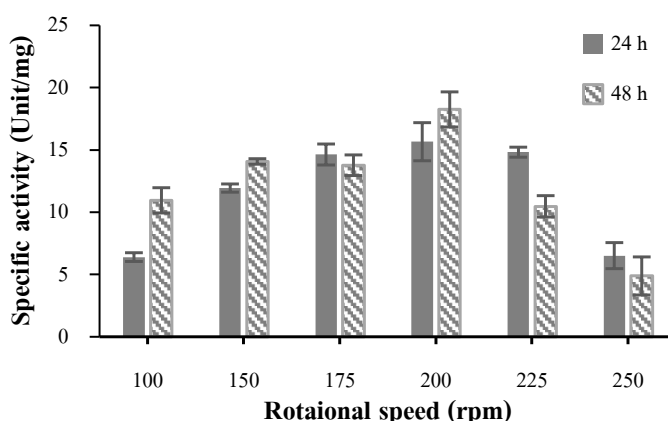


Figure 4 Effect of rotational speed on lipase production by PKRU-9 in a basal medium containing 0.5% yeast extract and 1.0% soybean oil at 35°C, 200 rpm for 24 and 48h. Values are means (n = 3) and the error bars represent $\pm$ standard deviation of the mean.

3.4 Effect of Cultivation Period

PKRU-9 was cultured in its optimal conditions for 96 h. Lipase production increased simultaneously as cell growth, and still increasing until the cell was in the stationary phase (Fig. 5). The highest lipase production was at 54h of cultivation, in which the cell was in the late stationary phase. Then, the rate of lipase production gradually decreased when the cell entering the dead phase. The results are in agreement with previous studies of bacterial lipase, which revealed maximum lipase production during the stationary phase [13-15]

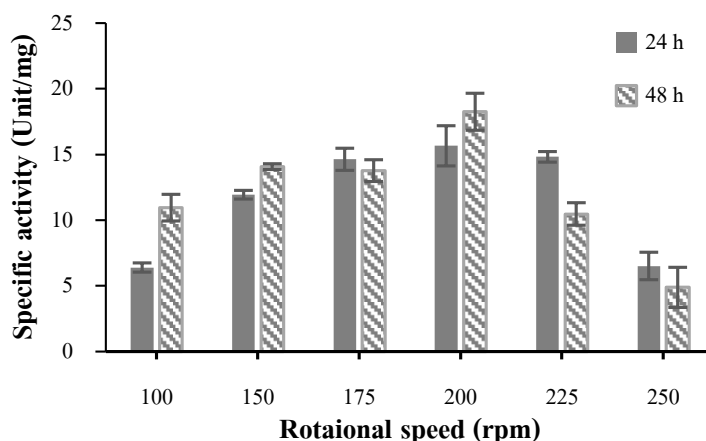


Figure 5 Effect of cultivation period on the growth (line graph) and lipase activity (bar graph) of PKRU-9 in a basal medium containing 0.5% yeast extract and 1.0% soybean oil at 35°C, 200 rpm.

Values are means (n = 3) and the error bars represent $\pm$ standard deviation of the mean.

3.5 Wastewater Treatment

The ability of PKRU-9 in the hydrolysis of lipid-containing wastewaters was estimated by the BOD_5 values. PKRU-9 was able to decrease the BOD_5 values to 74% and 90% of its starting BOD_5 in synthetic wastewater medium, and wastewater contaminated with fat, respectively (Fig. 6). The lowest BOD_5 value was obtained on day 3 of treatment in both types of wastewaters. The BOD_5 value slightly increased in the synthetic wastewater medium after 3 days however, remained constant in wastewater contaminated with fat. This might be because PKRU-9 entered the death phase during days 4 and 5 of cultivation. The rate of BOD_5 decreasing in wastewater contaminated with fat was higher than that of synthetic wastewater due to the higher value of starting BOD_5 in synthetic wastewater. The application of lipase in wastewater treatment was also done with the immobilized bacterial lipases [11]. They found that the BOD_5 values of the immobilized lipase in synthetic wastewater and wastewater from the meat factory were decreased around 51 to 64%. However, in this study, PKRU-9 was used directly to treat the wastewater. Therefore, it can decrease the BOD_5 value higher than the immobilized lipase.

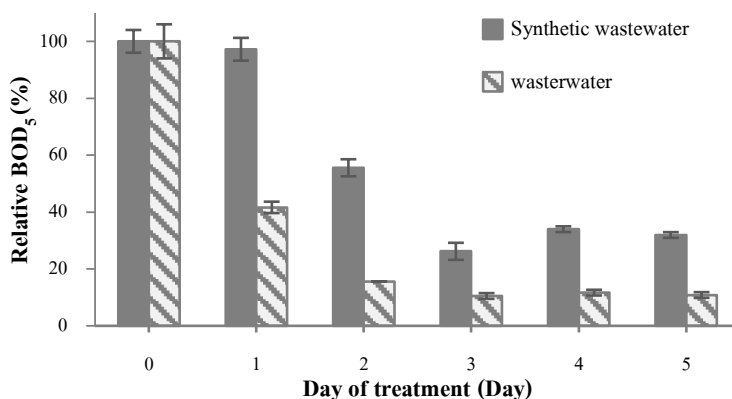


Figure 6 Relative BOD_5 values after cultivated the PKRU-9 in synthetic wastewater medium, and wastewater for 5 days at 35°C, 200 rpm. Values are means ($n = 3$) and the error bars represent $\pm$ standard deviation of the mean.

Conclusion

A lipase-producing bacterium, PKRU-9, isolated from oil-contaminated soil showed the highest lipase activity among the other selected isolates. The maximum lipase production from PKRU-9 was obtained in a basal medium containing 0.5% yeast extract and 0.5% soybean oil, and cultured at 35°C, 200 rpm. The PKRU-9 can be used to treat lipid-rich wastewater as a whole cell, which is more convenient than using its enzyme. Further studies such as engineering the lipase gene for improved enzyme function, are important to enhance the effectiveness of PKRU-9 in municipal wastewater treatment.

References

- [1] Gupta, R., Gupta, N., & Rathi, P. (2004). Bacterial lipases: An overview of production, purification and biochemical properties. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 64(6), 763–781.
- [2] Bharathi, D., Rajalakshmi, G., & Komathi, S. (2019). Optimization and production of lipase enzyme from bacterial strains isolated from petrol spilled soil. *Journal of King Saud University - Science*, 31(4), 898–901.
- [3] Supakdamrongkul, P., Prasong, P., & Gitram, K. (2015). Utilization of vegetable oil production waste for lipase production from *Pseudomonas* sp. HCU2-1 and enzyme characterization. *Huachiew Chalermprakiet Science and Technology Journal*, 1(1), 42–59.
- [4] Ilesanmi, O. I., Adekunle, A. E., Omolaiye, J. A., Olorode, E. M., & Ogunkanmi, A. L. (2020). Isolation, optimization and molecular characterization of lipase producing bacteria from contaminated soil. *Scientific African*, 8, e00279.
- [5] Salihu, A., Alam, M. Z., AbdulKarim, M. I., & Salleh, H. M. (2012). Lipase production: An insight in the utilization of renewable agricultural residues. *Resources, Conservation and Recycling*, 58, 36–44.
- [6] Mongkolthanaruk, W., & Dharmsthiti, S. (2002). Biodegradation of lipid-rich wastewater by a mixed bacterial consortium. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 50(2), 101–105.
- [7] Chitpirom, K., & Sangaroon, P. (2012). Detection of lipolytic bacteria from environmental samples. *Thai Journal of Public Health*, 42(3), 3–18.
- [8] Dheeman, D. S., Henahan, G. T. M., & Frías, J. M. (2011). Purification and properties of *Amycolatopsis mediterranei* DSM 43304 lipase and its potential in flavour ester synthesis. *Bioresource Technology*, 102(3), 3373–3379.
- [9] Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1), 248–254.
- [10] Matsumiya, Y., Wakita, D., Kimura, A., Sanpa, S., & Kubo, M. (2007). Isolation and characterization of a lipid-degrading bacterium and its application to lipid-containing wastewater treatment. *Journal of bioscience and bioengineering*, 103(4), 325–330.
- [11] Rungreang, O., & Pattanapitpaisal, P. (2011). Treatment of lipid-contaminated wastewater by immobilised bacterial cell and immobilised lipase. In *The 4th PSU Phuket research conference*, 9. November 16-18, 2011, Prince of Songkla University, Phuket campus.
- [12] Liu, C. -H., Chen, C. -Y., Wang, Y. -W., & Chang, J. -S. (2011). Fermentation strategies for the production of lipase by an indigenous isolate *Burkholderia* sp. C20. *Biochemical Engineering Journal*, 58- 59, 96–102.
- [13] Kamaladevi, B., Prabhavathi, P., Sankareswaran, M., Anbalagan, S., Radhakrishnan, N., & Prabhu, D. (2014). Screening and medium optimization of lipase producing bacteria from saltpan. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 2(2), 72–77.

- [14] Ertuğrul, S., Dönmez, G., & Takaç, S. (2007). Isolation of lipase producing *Bacillus* sp. from olive mill wastewater and improving its enzyme activity. *Journal of hazardous materials*, 149(3), 720–724.
- [15] Gökbulut, A. A., & Arslanoğlu, A. (2013). Purification and biochemical characterization of an extracellular lipase from psychrotolerant *Pseudomonas fluorescens* KE38. *Turkish Journal of Biology*, 37(5), 538–546.

ผลของหญ้าเนเปียร์หมักผสมนมหมักกรด ในสูตรอาหารเลี้ยงปลาไนในกระชัง

Effect of Fermented Napier Grass Mixed with Acid Fermented Milk Diet on Nile Tilapia in Cage Culture

ธนากร เหมะสถล^{1*} และนิธินันท์ มั่งมี^{2*}

Tanakorn Haemasaton^{1*} and Nithinun Mungmee^{2*}

บทคัดย่อ

อาหารสัตว์น้ำเป็นปัจจัยพื้นฐานต่อการเจริญเติบโต และวัตถุดิบมีผลด้านต้นทุนการผลิตอาหาร การใช้หญ้าเนเปียร์หมักผสมนมหมักกรดในสูตรอาหารเลี้ยงปลาไน (*Oreochromis niloticus*) พบว่า การเจริญเติบโต ด้านน้ำหนักเพิ่มขึ้น น้ำหนักเพิ่มขึ้นต่อวัน และ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปลากลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารหญ้าเนเปียร์หมักผสมนมหมักกรดที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยดีที่สุด เท่ากับ 55.12 ± 3.90 กรัม ส่วนอัตราการรอดตาย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้น จากการทดลองจึงสรุปได้ว่า สามารถใช้หญ้าเนเปียร์หมักและนมหมักกรดในระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารเลี้ยงปลาไน

คำสำคัญ : ปลาไน หญ้าเนเปียร์หมัก นมหมักกรด

Abstract

Aquatic animal feed is a key to the growth of aquatic animals, and the raw materials affect production costs. The use of fermented Napier grass mixed with acid fermented milk for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). After it was found that the weights of the fishes were increased, the daily weight gain and specific growth rates were significantly different ($p < 0.05$). Among treatments the fish fed with the fermented napier grass at the level of 10 percent had the highest body weight of 55.12 ± 3.90 grams. The survival rates and feed conversion rate were non-significantly different ($p > 0.05$). Therefore, it could be concluded that the acid fermented milk diet mixed with fermented napier grass at the level of 10 percent could be used for producing the feeds for Nile tilapia.

Keywords: Nile Tilapia, Fermented Napier Grass, Acid Fermented Milk

¹ ผศ., สาขาวิชาสัตสการประมงและทรัพยากรทางน้ำ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ชุมพร 86160

² นักวิชาการเงินและบัญชีชำนาญการพิเศษ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ชุมพร 86160

¹ Asst. Prof., Fishery Science and Aquatic Resources, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumphon, 86160, Thailand

² Finance and Accounting Analyst, Senior Professional Level, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumphon, 86160, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: Tanakorn.ha@kmitl.ac.th

(Received: July 20, 2020; Revised: January 14, 2021; Accepted: January 15, 2021)

บทนำ

ปลานิล (Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*) เป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งเป็นที่นิยม และต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ แนวโน้มความต้องการบริโภคปลานิลขยายตัวเพิ่มขึ้นทั้งนี้ เนื่องจากเป็นปลาที่เลี้ยงง่ายเจริญเติบโตเร็ว มีความทนทานและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตดีและขยายพันธุ์ได้ตลอดปี ในการเลี้ยงสัตว์น้ำพบว่าอาหารปลาเป็นปัจจัยหลักในด้านต้นทุนการผลิตซึ่งมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ [1] ประกอบกับปลานิลจัดอยู่ในกลุ่มปลากินพืช จึงมีนักวิจัยคิดใช้วัตถุดิบที่มาจากพืชต่างๆ มาเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหาร มีจุดประสงค์ด้านการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย เช่น การใช้กากมะเขือเทศ [2] เป็นต้น หญ้าเนเปียร์ (*Pennisetum purpureum*) จัดเป็นหญ้าในเขตร้อนมีลักษณะใบหนา ปลูกง่าย ให้ผลผลิตดี มีเชื้อใยสูง ใบและลำต้น มีโปรตีน 13-17 เปอร์เซ็นต์, คาร์โบไฮเดรต 11 - 12 เปอร์เซ็นต์ จัดเป็นเป็นหญ้าที่มีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างสูง [3-4] และสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบมาผลิตอาหารให้ปลากินพืชเพื่อลดต้นทุน [5] และ มัสยา [6] รายงานว่าการใช้หญ้าเนเปียร์หมักเลี้ยงปลาสดใช้ต้นทุนต่ำ 15-20 เปอร์เซ็นต์ ได้ปลาขนาด 4-6 ตัวต่อกิโกรัม ระยะเวลาการเลี้ยง 14-16 เดือน ขณะที่เลี้ยงด้วยอาหารเม็ดสำเร็จรูปมีต้นทุนอยู่ที่ 70-80 เปอร์เซ็นต์

นํ้านมดิบเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบไปด้วย สารอาหารที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตเกลือแร่ และวิตามิน และการผลิตนํ้านมดิบในปัจจุบัน ยังประสบปัญหาการผลิตนํ้านมที่ไม่ได้มาตรฐาน มีการปนเปื้อนจุลินทรีย์เกิน 500,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร [7] มาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ เช่นการหมัก และในการหมักนมจะเกิดจุลินทรีย์โปรไบโอติก ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์พบในลำไส้สามารถผลิตเอนไซม์ย่อยสารอาหารบางประเภทที่ระบบการย่อยไม่สามารถย่อยได้จากการศึกษาพบว่าการใช้โปรไบโอติกเสริมอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตทำให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีขึ้นนอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค กระตุ้นภูมิคุ้มกัน และเพิ่มอัตราการให้แก่วัตถุ [8] ซึ่งในการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อผลิตสูตรอาหารเลี้ยงปลานิล ซึ่งทำให้ปลามีการเจริญเติบโตดี อัตราการรอดตายสูง

ดังนั้น การใช้ประโยชน์จากหญ้าเนเปียร์หมัก และนํ้านมดิบที่มีคุณภาพต่ำมาทำนมหมักกรด เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในสูตรอาหารเลี้ยงปลานิล เป็นการใช่วัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวางแผนการทดลอง

การศึกษาใช้วิธีวางแผนการทดลองแบบ สุ่มตลอด (Completely Randomized Design ; CRD โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง (Treatment) มี 4 ซ้ำ (Replication) รวมเป็น 16 หน่วยการทดลอง (Experimental)

- ชุดการทดลองที่ 1 สูตรอาหารหญ้าเนเปียร์หมัก 0 % ผสมนมหมักกรด 10 % (ชุดควบคุม)
- ชุดการทดลองที่ 2 สูตรอาหารหญ้าเนเปียร์หมัก 5 % ผสมนมหมักกรด 10 %
- ชุดการทดลองที่ 3 สูตรอาหารหญ้าเนเปียร์หมัก 10 % ผสมนมหมักกรด 10 %
- ชุดการทดลองที่ 4 สูตรอาหารหญ้าเนเปียร์หมัก 15 % ผสมนมหมักกรด 10 %

การเตรียมสัตว์ทดลอง

ปลานิลน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 6.32 - 6.48 กรัม โดยเลี้ยงปลานิล ในกระชังมุ้งเขียวขนาด 2×2×1.2 เมตร จำนวน 16 กระชัง ปล่อยปลาในอัตรา 20 ตัวต่อกระชัง ในบ่อดิน เลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน โดยจะทำการถ่ายน้ำในบ่อดินออก 30 เปอร์เซ็นต์ ทุก 15 วัน และเติมน้ำเข้าบ่อ เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการการเลี้ยงสัตว์น้ำ ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง เวลา 08.00 น. และ 16.00 น. โดยให้ปริมาณอาหารปลาเกินจนอิ่ม

การเตรียมหญ้าเนเปียร์หมัก

นำหญ้าเนเปียร์ มาหั่น หรือสับให้ละเอียด บรรจุในถังพลาสติกกลม ขนาดความจุ 100 ลิตร ใส่กากน้ำตาลประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ผสมให้เข้ากัน เติมน้ำลงไปจนถึงประมาณ 18-20 ลิตร แล้วคนให้เข้ากัน ปิดฝาถังทิ้งไว้ ประมาณ 21 วัน และนำไปใช้ [9]

การเตรียมนมหมักกรด

ตวงนมดิบ จำนวน 1 ลิตร หรือ 1 กิโลกรัม เทนมดิบที่ตวงไว้ใส่ลงในถุงพลาสติก (ควรใส่ถุงพลาสติก 2 ชั้น) ตูดครดน้ำส้มสายชูเข้มข้น ในปริมาณ 2-4 ช้อนโต๊ะ เติมกรดน้ำส้มสายชูเข้มข้นลงในถุงนมดิบที่เตรียมไว้มัดปากถุงให้นมดิบให้แน่นโดยใส่ปากถุงออกให้หมด เขย่าถุงเล็กน้อยให้น้ำและกรดกระจาย เป็นเนื้อเดียวกัน เก็บไว้นาน 5 วัน ในอุณหภูมิปกติจึงนำไปใช้ ซึ่งนมที่ผ่านขบวนการหมักมีลักษณะเป็นเนื้อมีสีขาวลอยอยู่ด้านบน และมีกลิ่นหอม [10]

การเตรียมอาหารทดลอง

อาหารที่ใช้ทดลองมี 4 ชุดการทดลอง มีค่าโปรตีนเท่ากับ 30.00-30.07 เปอร์เซ็นต์ และพลังงาน 270.06-277.28 Kcal/100 g. วัตถุดิบอาหารประกอบด้วย ปลาป่น ปลาขี้ขาว ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำอ่อน น้ำมันพืช ปริมาณ นมหมักกรด และหญ้าเนเปียร์บดละเอียด ตามสูตรที่กำหนด (ตารางที่ 1) ทำการผสม ส่วนประกอบของอาหารให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นก็นำอาหารแต่ละชุดการทดลอง มาทำการอัดเม็ด ด้วยเครื่องอัดเม็ดชนิดจม และนำอาหารที่อัดเม็ดแล้วไปลดความชื้นในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำอาหาร ไปเลี้ยงปลานิล ตามชุด การทดลอง

ตารางที่ 1 ปริมาณวัตถุดิบ และองค์ประกอบทางเคมีในสูตรอาหารปลานิล

วัตถุดิบ	ชุดการทดลองที่			
	1	2	3	4
ปลาป่น (59.10)	20.0	20.0	20.0	20.0
ปลาขี้ขาว (6.47)	8.0	6.6	3.9	4.5
ข้าวโพด (8.71)	9.0	8.0	8.0	5.0
หญ้าเนเปียร์หมัก (12.99)	0	5.0	10.0	15.0
กากถั่วเหลือง (43.40)	30.0	29.3	33.0	28.5
รำอ่อน (12.38)	29.9	28.0	22.0	23.9

ตารางที่ 1 ปริมาณวัตถุดิบ และองค์ประกอบทางเคมีในสูตรอาหารปลานิล (ต่อ)

วัตถุดิบ	ชุดการทดลองที่			
	1	2	3	4
นมหมักกรด (21)*	1.1	1.1	1.1	1.1
น้ำมันถั่วเหลือง	1.0	1.0	1.0	1.0
พรีมิกซ์ ^{1/}	1.0	1.0	1.0	1.0
รวมทั้งหมด (กรัม)	100	100	100	100
องค์ประกอบทางเคมี (%น้ำหนักแห้ง)				
โปรตีน	30.07	30.00	30.04	30.05
ไขมัน	7.95	7.51	6.32	6.53
เยื่อใย	5.13	4.79	4.38	4.20
เถ้า	10.15	9.84	9.37	9.27
ความชื้น	9.21	9.82	10.03	10.12
NFE	46.7	47.86	49.89	49.95
GE (Kcal/100g)	277.28	275.80	270.62	272.34

1/ Vitamin-mineral premix provides per kg of diet : vitamin A 15,000 IU; vitamin D3 3,000 IU; vitamin E 25 IU ; vitamin K30.5 g; vitamin B1 2.5 mg; vitamin B2 7 mg; vitamin B6 4.5 mg; vitamin B12 0.025 mg; vitamin C 1.5 g; pantothenic acid 35 mg; nicotinic acid 35 mg; choline chloride 0.25 g; biotin 0.025 mg; Cu1.6 mg; folic acid 0.5 mg; Mn 0.06 g; Se 0.15 mg; Fe 0.08 g; I 0.4 mg and Zn 0.045 g.

NFE คือ Nitrogen Free Extract , (% NFE = 100 - % เถ้า - % โปรตีน - % ไขมัน - % เยื่อใย)

GE คือ (Gross Energy) มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรี (Kcal) [11]

การเก็บผล และวิเคราะห์ข้อมูล

โดยเก็บข้อมูลทุก 15 วัน ชั่งน้ำหนัก , วัดความยาว และปริมาณอาหารที่กิน ตรวจวัดการเจริญเติบโตของปลา ตามวิธีการของ ซิระชัย และคณะ [12] ได้แก่ น้ำหนักที่เพิ่ม (WG), น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (ADG), อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (SGR), อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR), อัตราการรอดตาย (SR), ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FER) และ ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน (PER) การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ด้วยโปรแกรม SPSS System for Windows Version 26 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

จากการศึกษาผลของการเสริมหญ้าเนเปียร์หมักผสมนมหมักกรดต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารหญ้าเนเปียร์หมักผสมนมหมักกรดในระดับที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0 (ชุดควบคุม) 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 60 วัน (โปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปลากลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารหญ้าเนเปียร์หมักผสมนมหมักกรดที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักสุดท้าย, น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น, น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน, อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และความยาวเพิ่มขึ้นดีที่สุด เท่ากับ 61.44 ± 1.94 กรัม 55.12 ± 2.90 กรัม 0.92 ± 0.07 กรัม/วัน 3.79 ± 0.10 เปอร์เซ็นต์/วัน และ 7.53 ± 0.39 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2) แตกต่างกันอย่างสถิติ ($p < 0.05$) และสอดคล้องกับ วรวิทย์ และคณะ [5] ได้ทำการทดลองศึกษาการเจริญเติบโตของปลานิล ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมหญ้าหมักจากกระเพาะวัว 4 สูตร คือ อาหารผสมหญ้าหมัก 0 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตของปลานิล ที่ผสมหญ้าหมัก 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าสูตรอาหารอื่น และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และ สอดคล้องกับ Sangeetha and Rajendran [13] ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลาการ์ป น้ำหนักเริ่มต้น 50 กรัม (โปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์) ด้วยสูตรอาหารผสมหญ้าเนเปียร์ 10 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่ผสมหญ้าเนเปียร์) เลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า การเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเพิ่ม, ความยาว และ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ดีกว่าชุดควบคุม ซึ่งอาจเป็นเพราะว่า ปลาการ์ป เป็นปลากินพืช (Herbivorous) มีความสามารถในการย่อยวัตถุดิบที่มาจากพืชได้ดี ทั้งนี้ หญ้าเนเปียร์ ประกอบด้วยสารอาหารหลายชนิดที่สัตว์ต้องการ แต่มีองค์ประกอบของเยื่อใย (Fiber) ค่อนข้างสูง ในกระบวนการหมักหญ้าจะทำให้เกิดจุลินทรีย์ กลุ่มแลคติกแบคทีเรียมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ Ferulic Esterase ซึ่งไปมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยเยื่อใย [14] ซึ่งองค์ประกอบในการย่อยอาหาร ได้แก่ ฮอร์โมน (Hormone) เอนไซม์ (Enzymes) กรดเกลือ (HCl) น้ำดี (Bile) และการหลั่งหรือบีบรัดของระบบทางเดินอาหาร [15] และการทดลองครั้งนี้ ปลานิลที่ใช้ยังเป็นปลานขนาดเล็ก (น้ำหนัก 6.32 กรัม) ทำให้ความสามารถในการย่อยวัตถุดิบที่มาจากพืช ซึ่งส่วนใหญ่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ ได้น้อย จึงทำให้สามารถย่อยหญ้าเนเปียร์หมักในสูตรอาหารได้เพียง 10 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มหญ้าเนเปียร์หมัก 15 เปอร์เซ็นต์ ก็ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นของปลา ซึ่งสอดคล้องกับ รุ่งกานต์ [16] รายงานว่า ปลานิลมีกิจกรรมของเอนไซม์ย่อยโปรตีนและไขมันทำงานได้ดีในปลานขนาดเล็ก (5.7 g.) ส่วนในปลานขนาดใหญ่ (92.1 g.) จะมีเอนไซม์อะไมเลส ซึ่งย่อยพวกคาร์โบไฮเดรตได้ดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด อายุ และวัตถุดิบอาหาร เช่นเดียวกับ Gemechu [17] รายงานว่า ในผลิตภัณฑ์นมหมักมีจุลินทรีย์แลคติกแบคทีเรีย ที่เรียกว่า โปรไบโอติก เช่น กลุ่ม *Lactobacillus*, *Bacillus* และ *Streptococcus* เป็นต้น จัดเป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และไปช่วยลดจุลินทรีย์ก่อโรคในลำไส้ กระตุ้นภูมิคุ้มกัน และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหาร และการดูดซึมสารอาหารของสัตว์เพิ่มมากขึ้น มีบทบาทที่เป็นประโยชน์ในระบบทางเดินอาหารของปลาเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหาร ประสิทธิภาพการใช้โปรตีน [18-19] ปัจจุบันมีการนำจุลินทรีย์โปรไบโอติกมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มผลผลิต ทั้งในสัตว์บก และสัตว์น้ำ

อัตราการรอดตาย พบว่า การใช้หญ้าเนเปียร์หมักผสมนมหมักกรดในสูตรอาหารไม่มีผลต่ออัตราการรอดตายของปลานิล ซึ่งเป็นไปได้ว่าในการทดลองครั้งนี้ มีการใช้นมหมักกรดเป็นส่วนผสมในสูตร

อาหารที่เลี้ยง ซึ่งส่งผลให้ปลาไม่มีภูมิต้านทานโรคที่ดี จึงไม่มีผลต่ออัตราการรอดตายของปลา ซึ่ง Opiyo *et al.* [20] ได้ทำการทดลอง การใช้จุลินทรีย์โปรไบโอติก *Bacillus subtilis* และยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่ใส่จุลินทรีย์โปรไบโอติก) ในการเลี้ยงปลานิลเทศผู้ระยะ Fingerlings (40 g) เป็นระยะเวลา 7 เดือน เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปลานิลที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารผสมจุลินทรีย์ โปรไบโอติก ทั้ง 2 ชนิด มีการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักเพิ่ม, อัตราการรอดตาย, อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ดีกว่าชุดควบคุม แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกับ Dowidar *et al.* [21] ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล ด้วยสูตรอาหารผสมจุลินทรีย์โปรไบโอติก *Bacillus subtilis* (1×10^{11} cfu/g), *Saccharomyces Cerevisiae* (2.6×10^{11} cfu/g) และ ชุดควบคุม (ไม่ใส่จุลินทรีย์โปรไบโอติก) เลี้ยงปลานิล น้ำหนักเริ่มต้น 24 กรัม เลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า การเสริมโปรไบโอติก ในอาหารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต เพิ่มภูมิคุ้มกัน และ ความต้านทานโรคในปลานิลที่ดี แตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดควบคุม และสอดคล้องกับ Fakhri *et al.* [22] ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกเทศ ในถังขนาดความจุ 3000 ลิตร โดยสูตรอาหารผสมด้วยโปรไบโอติก (*Lactobacillus sp.* และ *Bacillus Subtilis*) ในอัตรา 10^5 เซลล์ต่ออาหาร 1 กรัม และเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่เสริมโปรไบโอติก) เลี้ยงเป็นเวลา 85 วัน สูตรอาหารมีโปรตีน 31-33 % เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลาดุกเทศที่เลี้ยงมี อัตราการรอดตาย , ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตสูง และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีกว่าชุดควบคุม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในการเลี้ยงสัตว์น้ำให้ประสพผลสำเร็จ Joshua [23] รายงานว่าอาหารที่ใช้เลี้ยงเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญของต้นทุนการผลิต และการเลือกวัตถุดิบประกอบสูตรอาหารควรคำนึงถึงสารอาหารที่สัตว์น้ำใช้ประโยชน์ได้ ส่งผลให้สัตว์น้ำมีอัตราการรอด และการเจริญเติบโตที่ดี

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ พบว่าการเสริมหยูเอนเปียร์หมักและนมหมักกรดในสูตรอาหาร ทุกชุดการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$, ตารางที่ 2) เนื่องจากปลาที่นำมาทดลองยังเป็นปลาที่มีขนาดเล็ก และระยะเวลาในการทดลองสั้น อาจยังไม่ส่งผลต่อค่า FCR ชัดเจนมากนัก แต่มีแนวโน้มในทางที่ดีว่าการใช้หยูเอนเปียร์หมักในสูตรอาหารเลี้ยงปลานิล สามารถทำให้ปลามีการเจริญเติบโตที่ดี อัตราการรอดตายสูง และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด อายุ และวัตถุดิบประกอบในสูตรอาหารที่เลี้ยง [16]

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารหยูเอนเปียร์หมักผสมนมหมักกรดในระดับต่างกัน ระยะเวลา 60 วัน

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับหยูเอนเปียร์หมักผสมนมหมักกรดในอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)				
	T1 (0%)	T2 (5%)	T3 (10%)	T4 (15%)	p-values
น้ำตัวเริ่มต้น(g/ตัว) ^{ns}	6.48 ± 0.26	6.41 ± 0.17	6.32 ± 0.04	6.32 ± 0.15	0.5045
น้ำหนักสุดท้าย (g/ตัว)	50.00 ± 4.76 ^b	54.15 ± 3.94 ^b	61.44 ± 1.94 ^a	52.43 ± 5.07 ^b	0.0167
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (g/ตัว)	43.51 ± 4.64 ^b	47.73 ± 3.60 ^b	55.12 ± 2.90 ^a	46.115 ± 5.17 ^b	0.0157
น้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน (g/ตัว/วัน)	0.73 ± 0.08 ^b	0.80 ± 0.06 ^b	0.92 ± 0.07 ^a	0.77 ± 0.09 ^b	0.0177

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารหญ้าเนเปียร์หมักผสมนมหมักกรดในระดับต่างกัน ระยะเวลา 60 วัน (ต่อ)

ลักษณะที่ศึกษา	ระดับหญ้าเนเปียร์หมักผสมนมหมักกรดในอาหารทดลอง (เปอร์เซ็นต์)				
	T1 (0%)	T2 (5%)	T3 (10%)	T4 (15%)	p-values
อัตราการเจริญเติบโต จำเพาะ (%/วัน)	3.40 ± 0.14 ^b	3.55 ± 0.14 ^b	3.79 ± 0.10 ^a	3.52 ± 0.19 ^b	0.0170
อัตราการเปลี่ยนอาหาร เป็นเนื้อ ^{ns}	1.22 ± 0.14	1.20 ± 0.05	1.21 ± 0.11	1.24 ± 0.08	0.9894
อัตราการรอดตาย (%) ^{ns}	90.00 ± 7.07	93.75 ± 4.79	96.25 ± 2.50	91.25 ± 6.29	0.4120
ประสิทธิภาพการใช้อาหาร (%) ^{ns}	0.75 ± 0.05	0.83 ± 0.04	0.84 ± 0.07	0.78 ± 0.04	0.0985
ประสิทธิภาพการใช้อำ โปรตีน (PER) ^{ns}	2.50 ± 0.15	2.78 ± 0.12	2.79 ± 0.25	2.59 ± 0.14	0.0947
ความยาวเริ่มต้น (cm.) ^{ns}	7.24 ± 0.09	7.08 ± 0.20	7.03 ± 0.11	7.23 ± 0.09	0.1029
ความยาวสุดท้าย (cm.)	13.56 ± 0.27 ^c	14.13 ± 0.25 ^{ab}	14.56 ± 0.30 ^a	13.93 ± 0.38 ^{bc}	0.0043
ความยาวที่เพิ่มขึ้น (cm.)	6.33 ± 0.30 ^c	7.05 ± 0.34 ^{ab}	7.53 ± 0.3 ^a	6.70 ± 0.44 ^{bc}	0.0043

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษร abc ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns คือ Non-significant แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าคุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง

ค่าคุณภาพน้ำที่ทำการเลี้ยงในระยะเวลา 60 วัน ดังนี้ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อยู่ระหว่าง 3.34–4.69 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าอุณหภูมิของน้ำ อยู่ระหว่าง 26.49–28.73 องศาเซลเซียส ค่าแอมโมเนีย 0 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าไนโตรเจนที่เท่ากับ 0 มิลลิกรัม/ลิตร และความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 7.10–7.40 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองใช้หญ้าเนเปียร์หมักผสมนมหมักกรด ในสูตรอาหารเลี้ยงปลานิลวัยอ่อน น้ำหนักเริ่มต้น 6.32 ± 0.04 กรัม เป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่ 3 สูตรอาหารหญ้าเนเปียร์หมักผสมนมหมักกรดที่ระดับ 10 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเลี้ยงปลานิล

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าหญ้าเนเปียร์สามารถเร่งการเจริญเติบโตของปลานิลขนาดเล็กได้ทั้งๆที่โดยธรรมชาติแล้วปลานิลขนาดเล็กย่อยอาหารจากพืชได้ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับปลานิลขนาดใหญ่ จึงแสดงให้เห็นศักยภาพที่จะใช้อาหารผสมหญ้าเนเปียร์หมักเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของปลานิลขนาดใหญ่จึงควรทำการทดลองให้หญ้าเนเปียร์หมักแก่ปลานิลระยะ 50 กรัมจนถึงขนาดตลาดต่อไป

References

- [1] Plaipetch, P. (2016). Nutritional management for culturing Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Science and Technology Journal*, 24(1), 13–39.
- [2] Simawan, J., Mongkolvai, P., & Sriphuthorn, K. (2016). The effect of utilization of tomato pomace in diets on growth performance and digestibility of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Khon Kaen Agriculture Journal*. 44, Supplement (1), 688–693.
- [3] Inthamnu, A. (2015). *Effects of enrichment with chopped fresh Napier, Napier silage, and Napier pellet on behavior and stress of sows in individual stalls*. Doctoral Dissertation. Suranaree University of Technology.
- [4] Liangco, N.C., Reyes, J.L., Gaffud, O.M., Pascua, E.M., Jamsawat, V., & Seatung, C. (2019). Study on chemical composition of super Napier grass silage treated with *Lactobacillus Buchneri* and *Lactobacillus Plantarum*. *Journal of Mycology & Mycological Sciences*, 2(2), 1–6.
- [5] Chukwannuan, W., Jitmanowan, S., & Tongsiri, S. (2017). Growth performances of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed with diet, *Journal of Fisheries Technology Research*. 11(2), 11–19.
- [6] Keidskul, M., & Lekchairas, T. (2013). Producing Napier Pak Chong 1, *Aquatic Journal*, 24(285), May, 110–114.
- [7] National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (ACFS). (2010). *Raw Cow Milk*. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- [8] Rotmongkoldee, M., Leelapat, W., & Thaimuangphol, W. (2017). Effect of probiotics on growth performance and survival rate in *Anabas testudineus*. *Science and Technology Journal. Ubon Ratchathani University (Special Issue)*, July, 82–89.
- [9] khiewtong, k. (2011). *Napier grass planting guide, Pakchong 1*. Nakhon Ratchasima: Nakhon Ratchasima Animal Food Research and Development Center.
- [10] Jaied, P., & Noppakeua, S. (2001). *Mooo milk. (Acid fermented milk)*. Publication (TRF Dairy Newsletter), Research and Development Network Coordination Office, Faculty of Veterinary Science Chulalongkorn University, Bangkok, 5(4), 12–14.
- [11] Sermwattanakul, A., Somsueb, P., Thongsri, N., & Wongsuwan, S. (2005). *Food and aquaculture production*. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives.

- [12] Pongjanyakul, T., Namueangrak, N., Songaresa, P., & Jongngam, C. (2010). *Alternation feeding of low protein and high dietary level of black ear catfish (Pangasius larnaudii Bocourt, 1866)*. Ubonratchathani: Ubonratchathani Inland Fisheries Research and Development Center.
- [13] Sangeetha, S., & Rajendran, K. (2019). Growth of grass carp *Ctenopharyngodon idella* fed on hybrid Napier grass (CO-3) mixed diet. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 9(4-A), 151–154.
- [14] Lounglawan, P. (2015). *Effect of Lactobacillus spp. on silage fermentation*. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology.
- [15] Keereelang, J., Mongkolthep, W., Chaipien, P., & Tongsiri, S. (2018). A study of the In Vitro digestibility in feed ingredients of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). In *The 5th Conference on Research and Creative Innovation*, 112–123, December 6-7, 2018, Tak: Rajamangala University of Technology Lanna.
- [16] Klahan, R., Areechon, N., Yoonpundh, R., & Engkagul, A. (2008). Digestive enzyme activity in various Sizes of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.). *Journal of fishery Technology research*, 2(2), 33–43.
- [17] Gemechu, T. (2015). Review on lactic acid bacteria function in milk fermentation and preservation. *African Journal of Food Science*, 9(4), 170–175.
- [18] Silalaiy, K. (2018). Probiotics: The advantage in livestock. *King Mongkut's Agriculture Journal*, 36(1), 152–160.
- [19] Allameh, S.K., Noaman, V., & Nahavandi, R. (2017). Effects of probiotic bacteria on fish performance. *Advanced Techniques in Clinical Microbiology*, 1(2:11), 1–5.
- [20] Opiyo, M. A., Jumbe, J., Ngugi, C. C., & Charo-Karisa, H. (2019). Different levels of probiotics affect growth, survival and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in low input ponds. *Scientific African*, 4 (2019), 2–7.
- [21] Dowidar, M. F., ElAzeem, S.A., Khater, A. M., Awad, S.M., & Metwally, S. A. (2018). Improvement of growth performance, immunity and disease resistance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, by using dietary probiotics supplementation. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 3(2), 35–46.
- [22] Fakhri, M., Ekawati, A. W., Arifin, N.B., Yuniarti, A., & Hariati, A.M. (2019). Effect of probiotics on survival rate and growth performance of *Clarias gariepinus*. *Nature Environment and Pollution Technology*, 18(1), 313–316.
- [23] Joshua, E.O., & Adogbeji, E.P. (2017). Factors affecting feed in take in cultured fish species: A review. *Animal Research International*, 14(2), 2697–2709.

การจัดการคลังเวชภัณฑ์ประเภทน้ำเกลือ ด้วยเทคนิคการจำลองสถานการณ์

Saline Inventory Management with Simulation Techniques

จารุพงษ์ บรรเทา¹ วิจัย บุญญานุสิทธิ์¹ นวลพรรณ นรานศรี^{1*} ปนัดดา โสภได้² และพจนา ทานกระโทก²

Jarupong Banthao¹ Wijai Boonyanusith¹ Nuanpan Buransri^{1*} Panadda Sophatai²

and Pojjana Thankrathok²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ระบบการบริหารจัดการคลังเวชภัณฑ์ชนิดน้ำเกลือ 4 ชนิด ในโรงพยาบาลชุมชนขนาดใหญ่ จำนวนมากกว่า 100 เตียง สำหรับการกำหนดนโยบายสั่งซื้อด้านปริมาณ และจุดตั้งเบิกน้ำเกลือที่เหมาะสม (Reorder Point) โดยกำหนดนโยบายการจัดการคลังภายใต้ความต้องการที่ไม่แน่นอน ร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล เพื่อพิจารณา นโยบายทั้งหมด 8 ทางเลือก คือ $s, Q_{\max}$ (1) s, Q_{avg} (2) $s, Q_{\min}$ (3) $T, Q_{\max}$ (4) T, Q_{avg} (5) $T, Q_{\min}$ (6) T, S (7) และ s, S (8) และใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ในการพิจารณา นโยบายที่เหมาะสมในการสั่งซื้อ น้ำเกลือ ผลการศึกษาด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์ สามารถระบุได้ว่า นโยบายที่มีปริมาณการเบิกและการใช้ที่เหมาะสมที่สุดโดยไม่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดการขาดแคลนและเกิดการจุกเก็บมากเกินไปจนก่อความเสียหาย $s, Q_{\max}$ โดยผลการเปรียบเทียบความต้องการกับปริมาณการเบิกน้ำเกลือ (ขวด) ชนิด A, B, C และ D กับนโยบายอื่น ๆ ในการศึกษา พบว่า นโยบาย $s, Q_{\max}$ ปริมาณน้ำเกลือแต่ละชนิดที่เบิกมาแล้วไม่ถูกใช้คิดเป็นร้อยละคงเหลือ เทียบกับความต้องการใช้เพียงร้อยละ 0.20 0.38 0.32 และ 0.37 ตามลำดับ ผลการศึกษานี้สามารถสนับสนุน การวางแผนการจัดการน้ำเกลือคลังในโรงพยาบาลได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การจัดการคลัง น้ำเกลือ การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล

¹ อ.ดร., สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000

² นักศึกษา สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000

¹ Lecturer, Dr., Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

² Undergraduate., Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

* Corresponding Author. E-mail address: nuanpan.bu@rmuti.ac.th Tel : 08 9212 6264

(Received: August 5, 2020; Revised: January 20, 2021; Accepted: January 5, 2021)

Abstract

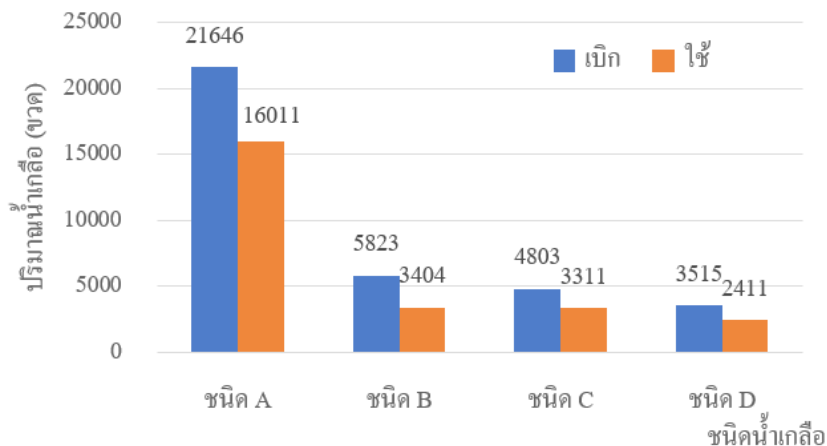
This research aims to study an inventory system for managing saline in four categories at a community hospital. The objective is to conduct an Economic Order Quantity (EOQ) and Reorder Point (ROP) to improve the saline inventory management system. Monte Carlo Simulation technique was applied to analyze saline inventory management policies under uncertain demands, namely; $s, Q_{\max}^{(1)}, s, Q_{\text{avg}}^{(2)}, s, Q_{\min}^{(3)}, T, Q_{\max}^{(4)}, T, Q_{\text{avg}}^{(5)}, T, Q_{\min}^{(6)}, T, S^{(7)}$, and $s, S^{(8)}$. An optimization technique was used to conduct the suitable policy of saline inventory management. The simulation results stated that the most appropriate policy without affecting shortage and overstocking was $s, Q_{\max}$ policy. Moreover, the comparison of each demand quantity (bottle) in each type of saline (A, B, C, and D) among the proposed policies indicated that the $s, Q_{\max}$ policy yielded the lowest overstocking value compared to each demand in each saline type equal to 0.20, 0.38, 0.32, and 0.37, respectively. This study can be applied to support the saline inventory management at the community hospital more appropriately.

Keywords: Inventory Management System, Saline, Monte Carlo Simulation

บทนำ

การพัฒนาการจัดการคลังของยาและเวชภัณฑ์เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาระบบบริการสาธารณสุขให้มีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการจัดการคลังยาและเวชภัณฑ์ประเภทน้ำเกลือโดยที่โรงพยาบาลกรณีศึกษาเป็นโรงพยาบาลระดับ F2 หรือโรงพยาบาลชุมชนขนาด 120 เตียงขึ้นไป มีฝ่ายเภสัชกรรมที่ต้องให้บริการด้านยาและเวชภัณฑ์ เช่น การจ่ายยา การให้คำปรึกษาด้านยา การผลิตยา เป็นต้น และยังมีคลังยาที่จ่ายยาให้กับแผนกต่าง ๆ ในโรงพยาบาลรวมถึงจ่ายยาให้กับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล นอกจากนี้ฝ่ายเภสัชกรรมยังมีหน้าที่บริหาร จัดการยาและเวชภัณฑ์ผ่านระบบการจัดการเวชภัณฑ์คลัง ซึ่งเป็นระบบที่สำคัญระบบหนึ่งในโรงพยาบาลที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ป่วยหรือผู้รับบริการที่มาใช้บริการในโรงพยาบาล

จากการศึกษาขั้นตอนการจัดการคลังเวชภัณฑ์ยาปัญหาเบื้องต้นพบว่าการบริหารจัดการน้ำเกลือยังไม่มีนโยบายในการควบคุมสินค้าคลัง และการเบิก - จ่าย น้ำเกลือที่เหมาะสม สำหรับใช้ในโรงพยาบาล เช่น ระบบการตรวจสอบคลังน้ำเกลือยังต้องอาศัยการตรวจสอบด้วยบุคคล การเบิกจ่ายน้ำเกลือยังไม่มี การคำนวณหาปริมาณและช่วงเวลาการเบิกจ่ายที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังพบการเบิกจ่ายน้ำเกลือเกินความต้องการดังภาพที่ 1 แสดงปริมาณการใช้น้ำเกลือ (ขวดต่อวัน) ทั้ง 4 ชนิด เฉลี่ยระหว่างเดือน มิถุนายน – ธันวาคม 2561 ซึ่งพบว่าปริมาณการเบิกน้ำเกลือทั้ง 4 ชนิด มากเกินกว่าความต้องการใช้ ทำให้ต้องมีการจัดเก็บรักษาน้ำเกลือในพื้นที่ที่มีจำกัด และยังส่งผลต่อต้นทุนน้ำเกลือคลังที่มีปริมาณสูงเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบคลังของน้ำเกลือให้เหมาะสมกับปริมาณความต้องการ เพื่อลดปัญหาการจัดเก็บที่เกิดขึ้น และควบคุมน้ำเกลือคลังให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



ภาพที่ 1 ปริมาณการเบิกและใช้น้ำเกลือ (มิถุนายน – ธันวาคม 2561)

จากปัญหาที่กล่าวมาสามารถนิยามปัญหาได้ว่าเป็นปัญหาการจัดการคงคลัง (Inventory Management Problem) โดยสามารถนิยามความหมายของนโยบายการจัดการสินค้าคงคลังได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

นโยบายสินค้าคงคลัง หมายถึง การกำหนดว่าจะสั่งซื้อหรือสั่งผลิตสินค้าเมื่อใด ปริมาณเท่าใด [1] เพื่อความสะดวกในการกำหนดนโยบายสินค้าคงคลัง ได้กำหนดสัญลักษณ์ ดังนี้

(1) S แทน ระดับ สินค้าคงคลังสูงสุด เป็นระดับสินค้าคงคลังที่อาจขึ้นไปถึงได้ (2) s แทน ระดับ สินค้าคงคลังที่จะต้องสั่งซื้อ หรือจุดสั่งซื้อใหม่ (3) Q แทน ปริมาณสินค้าที่จะต้องสั่งซื้อ แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ Q_{min} คือ ปริมาณการสั่งต่ำสุด, Q_{avg} คือ ปริมาณการสั่งเฉลี่ย, และ Q_{max} คือ ปริมาณการสั่งค่าสูงสุด (4) T แทน ระยะเวลาระหว่างการจัดหาสินค้า 2 ครั้งติดกัน หรือรอบการสั่ง และเขียนแทนนโยบายสินค้าคงคลังด้วย (*, **) โดย * หมายถึง จุดที่มีการจัดหาสินค้า หรือช่วงเวลาจะสั่งซื้อหรือสั่งผลิตสินค้าเมื่อใด (When) แทนด้วย s หรือ T และ ** หมายถึง จำนวนสินค้าที่ต้องสั่งซื้อหรือสั่งผลิตเท่าใด แทนด้วย Q หรือ S แบ่งเป็น นโยบาย (*, **) ต่าง ๆ ดังนี้

นโยบาย s, Q คือ นโยบายที่จะทำการสั่งเมื่อระดับสินค้าคงคลังลดลงมาถึงจุด s หน่วย หรือจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP - Re-Order point) จะทำการสั่งครั้งละ Q หน่วย โดยนโยบาย s, Q จะแบ่งออกเป็น 3 นโยบายย่อย คือ s, Q_{max} , s, Q_{avg} และ s, Q_{min}

นโยบาย T, Q คือ นโยบายที่มีการสั่งทุก ๆ T วัน จะทำการสั่งครั้งละ Q หน่วย โดยนโยบาย T, Q จะแบ่งออกเป็น 3 นโยบายย่อย คือ T, Q_{max} , T, Q_{avg} และ T, Q_{min}

นโยบาย T, S คือ นโยบายที่มีการสั่งทุก ๆ T วัน และสั่งให้เพิ่มขึ้นไปที่ระดับ S หน่วย (ระดับคงคลังสูงสุด)

นโยบาย s, S คือ นโยบายที่จะทำการสั่งเมื่อระดับคงคลังลดลงมาถึงจุด s หน่วย และสั่งให้เพิ่มขึ้นไปที่ระดับ S หน่วย (ระดับคงคลังสูงสุด)

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าในปี 2003 งานวิจัยของ Viboonsunti, Kumprakorb, และ Sirisa-ard [2] ได้ศึกษาระบบคงคลังของยาและเวชภัณฑ์โดยวิธี ABC Analysis เพื่อสามารถควบคุมปริมาณยา

บริการได้อย่างสม่ำเสมอ และหลังจากนั้นมีการนำประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล มาประยุกต์ใช้ในการจัดการสินค้าคงคลัง ในปี 2009 งานวิจัยของ Muensrichai [3] ได้ศึกษาเรื่องการหาปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบประเภทชิ้นส่วนรถยนต์ที่เหมาะสมภายใต้ความไม่แน่นอน ในปี 2012 Jintaketkam [4] เพื่อตรวจสอบว่านโยบายใดมีความเหมาะสมที่จะช่วยให้ต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังต่ำลง ผลการศึกษาพบว่านโยบาย (s, S) ที่สามารถช่วยลดต้นทุนสินค้าคงคลังต่ำลงได้ ต่อมา ในปี 2013 Pongkrasint [5] ศึกษาหา นโยบายการสั่งซื้อวัตถุดิบประเภทต่างๆที่เหมาะสม ทำการทดสอบนโยบายการสั่งซื้อวัตถุดิบแบบ (s, Q) โดยมีการกำหนดนโยบายทั้งสิ้น 3 นโยบาย ได้แก่ (s, Q_{max}), (s, Q_{min}), (s, Q_{avg}) ซึ่งพบว่าวัตถุดิบแต่ละประเภทยีนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสมที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้ค่าเฉลี่ยต้นทุนรวมของวัตถุดิบคงคลังลดลง และในปี 2014 งานวิจัยของ Phupha [6] ได้ศึกษาการกำหนดนโยบายปริมาณการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อวัตถุดิบคงคลังที่เหมาะสมสำหรับโรงงานผลิตอาหารแปรรูป หลังจากนั้นในปี 2016 Soiraya และ Sookseksan [1] ใช้นโยบายการจัดการวัตถุดิบคงคลังแบบต่างๆทั้งแบบ (s, Q), (s, S), (T, Q), (T, S) ร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล เพื่อหานโยบายการจัดการวัตถุดิบคงคลังที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมต่ำสุด ผลการศึกษาพบว่านโยบายที่เหมาะสมคือ นโยบายแบบ (s, S_{max}) และในปี 2020 Mohammed และ Workneh [7] ได้วิเคราะห์ระบบการจัดการสินค้าคงคลังเวชภัณฑ์ในโรงพยาบาลโดยวิธี ABC-VEN นำมาวิเคราะห์ระบบการจัดการสินค้าเพื่อสุขภาพ และนำเสนอเวชภัณฑ์กลุ่ม A และ V มาดำเนินการควบคุมสินค้าคงคลังอย่างเข้มงวดเพื่อควบคุมต้นทุนสินค้าคงคลังให้มีประสิทธิภาพ

จากงานวิจัยในอดีตยังมีการนำเทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลมาประยุกต์ใช้ในการบริหารคลังยาและเวชภัณฑ์ไม่มากนักและเทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลสามารถทำการทดลองซ้ำ ๆ ภายใตสภาวะแวดล้อมเดิมเมื่อมีความต้องการที่ไม่แน่นอน ขณะที่ในการทดลองจริงนั้นไม่สามารถทำได้ ซึ่งพบว่าข้อมูลความต้องการใช้น้ำเกลือในอดีต มีปริมาณการใช้ที่ไม่แน่นอนต่อวัน ดังนั้นเพื่อลดความเสี่ยงของการขาดแคลนนํ้าเกลือในคลัง การเพิ่มประสิทธิภาพจัดการคงคลังทั้งในด้านต้นทุนและการใช้งาน เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้เนื่องจากสามารถสร้างแบบจำลองได้โดยใช้ข้อมูลทางสถิติ และการสุ่มตัวเลขจากข้อมูลในอดีต โดยการกำหนดตัวแปรหรือปัจจัยต่าง ๆ เพื่อให้ได้ทางเลือกที่เหมาะสมในการควบคุมสินค้าคงคลังก่อนการนำไปใช้งานจริง

วิธีดำเนินการ

1. เก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วยข้อมูลเวลานำในการสั่งซื้อ, ข้อมูลการเบิกและการใช้น้ำเกลือ และข้อมูลปริมาณคงคลังเริ่มต้น ของน้ำเกลือทั้ง 4 ชนิด A, B, C และ D ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึงเดือนธันวาคม 2561 ซึ่งน้ำเกลือแต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบต่างกันที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเดครกซ์โทรส โดยใช้กบฏการผู้ป่วยที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับแพทย์ที่จะทำการสั่งจ่าย ข้อมูลความต้องการใช้น้ำเกลือในอดีตของน้ำเกลือทั้ง 4 ชนิด นำมาใช้สำหรับกำหนดปริมาณการสั่งซื้อ 3 ระดับ ประกอบด้วย ค่าสูงสุด (Q_{Max}), ค่าต่ำสุด (Q_{Min}), และ ค่าเฉลี่ย (Q_{Avg}) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กำหนดปริมาณการสั่งซื้อ 3 ระดับ จากข้อมูลความต้องการใช้น้ำเกลือ (ขวด/วัน) ในอดีตของน้ำเกลือทั้ง 4 ชนิด

ปริมาณการสั่งซื้อ (ขวด)	ชนิด A	ชนิด B	ชนิด C	ชนิด D
ค่าสูงสุด(Q_{Max})	94	21	26	17
ค่าต่ำสุด(Q_{Min})	52	12	7	7
ค่าเฉลี่ย (Q_{Avg})	75	16	15	11

2. ประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล เพื่อเปรียบเทียบนโยบายการจัดการคลังที่เหมาะสมจากปัญหาด้านการจัดการคลังน้ำเกลือจึงนำแนวทางการแก้ปัญหาโดยอาศัยตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดปริมาณการสั่งที่เหมาะสม (EOQ – Economics Order Quantity) และหาจุดสั่งซื้อที่เหมาะสมจากนโยบายการสั่งซื้อ 8 นโยบาย โดยมีขั้นตอนดังภาพที่ 2 และผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบนโยบายที่เหมาะสมที่สุด



2.1) สร้างช่วงตัวเลขสุ่ม และชุดตัวเลขสุ่ม สำหรับน้ำเกลือแต่ละชนิดจากข้อมูลความต้องการในอดีตที่รวบรวมได้เพื่อนำมาใช้สร้างสถานการณ์ความต้องการใช้น้ำเกลือ โดยสร้างช่วงตัวเลขสุ่มจากข้อมูลในอดีต และชุดตัวเลขสุ่ม (RN) จากสูตร Rand() ใน Microsoft Excel จำนวน 30 วัน นำชุดตัวเลขสุ่มซึ่งมีค่าระหว่าง 0 และ 1 มาหาปริมาณความต้องการจากการจำลองช่วงตัวเลขสุ่มจากข้อมูลในอดีต แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3 จากชุดข้อมูลสุ่มที่สร้างขึ้น 0.815 เมื่อพิจารณาช่วงข้อมูลสุ่มจากชุดข้อมูลในอดีต ช่วงตัวเลขสุ่มอยู่ระหว่างค่า 0.744 และ 0.865 ซึ่งพบว่าอยู่ที่ลำดับขั้นที่ 11 ซึ่งมีค่าปริมาณความต้องการใช้น้ำเกลืออยู่ที่ 83 ขวด ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุดของอันดับขั้นที่ 11 ที่เป็นจำนวนเต็ม

ช่วงข้อมูลสุ่ม

ลำดับ	อันดับการขึ้น	ความถี่	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	ช่วงตัวเลขสุ่ม
1	50.5-53.5	1	0.005	0.005	$R \leq 0.005$
2	53.6-56.5	4	0.019	0.024	$0.005 \leq R \leq 0.024$
3	56.6-59.5	1	0.005	0.029	$0.024 \leq R \leq 0.029$
4	59.6-62.5	8	0.037	0.066	$0.029 \leq R \leq 0.066$
5	62.6-65.5	13	0.061	0.127	$0.066 \leq R \leq 0.127$
6	65.6-68.5	13	0.061	0.188	$0.127 \leq R \leq 0.188$
7	68.6-71.5	23	0.107	0.295	$0.188 \leq R \leq 0.295$
8	71.6-74.5	30	0.140	0.435	$0.295 \leq R \leq 0.435$
9	74.6-77.5	32	0.150	0.585	$0.435 \leq R \leq 0.585$
10	77.6-80.5	34	0.159	0.744	$0.585 \leq R \leq 0.744$
11	80.6-83.5	26	0.121	0.865	$0.744 \leq R \leq 0.865$
12	83.6-86.5	14	0.065	0.930	$0.865 \leq R \leq 0.93$
13	86.6-89.5	6	0.028	0.958	$0.93 \leq R \leq 0.958$
14	89.6-92.5	4	0.019	0.977	$0.958 \leq R \leq 0.977$
15	92.6-95.5	5	0.023	1.000	$0.977 \leq R \leq 1$
Total		214	1		

ชุดข้อมูลสุ่ม

RN

0.141

0.974

0.799

0.509

0.815

0.132

0.074

0.652

0.912

ตัวอย่าง ชุดข้อมูลสุ่มจากสูตร Rand () = 0.815 ซึ่งอยู่ในลำดับขั้นที่ 11 ของช่วงข้อมูลสุ่ม ค่าปริมาณความต้องการเท่ากับ 83 เท่ากับค่าสูงสุดของอันดับขั้นที่ 11 เป็นจำนวนเต็ม

ภาพที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณความต้องการจากช่วงตัวเลขสุ่มและชุดตัวเลขสุ่ม

2.2) การคำนวณหาจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP) ของน้ำเกลือทั้ง 4 ชนิด หลักการคำนวณหาจุดสั่งซื้อ (ROP) จาก Kaoleong [8] ต้องทำการทดสอบการแจกแจงข้อมูลการใช้น้ำเกลือว่า มีการแจกแจงแบบปกติ หรือมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ นโยบายการสั่งซื้อแบบ $s, Q_{max}, s, Q_{avg}, s, Q_{min}$ และ s, S สมมติฐานการทดสอบการแจกแจงข้อมูลน้ำเกลือทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ($p < 0.01$) และ H_1 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ($p < 0.01$) และคำนวณหา ROP เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติตามสมการที่ (1)

$$ROP = d(LT) + z\sigma_d \quad (1)$$

เมื่อ d = ความต้องการยาและเวชภัณฑ์เฉลี่ยต่อวัน (Q_{avg}) LT = ระยะเวลาในการจัดหา σ_d = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการ และ Z = ค่าระดับความเชื่อมั่นที่จะมีน้ำเกลือเพียงพอต่อความต้องการ (ค่าความเชื่อมั่นที่ 99%)

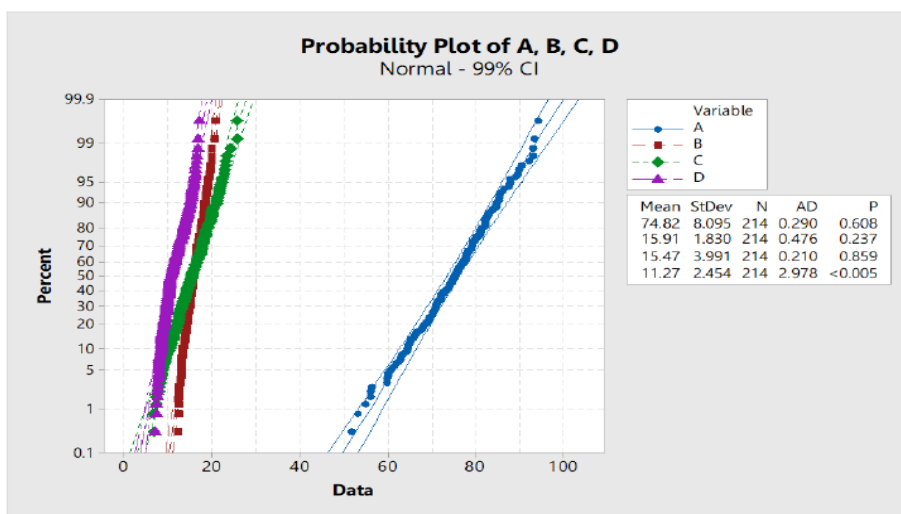
เมื่อความต้องการมีการแจกแจงแบบไม่ปกติหรือไม่คงที่จะสามารถคำนวณหาจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP) โดยใช้ทฤษฎีของ Lordahl and Bookbinder (1994) (อ้างอิงใน Muensrichai (2009)) [3] สูตรการหา ROP เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติคำนวณได้จาก สมการที่ (2) และ (3)

$$\text{ถ้า } (n+1) p < n \text{ แล้ว } ROP = X_y \text{ (ข้อมูลความต้องการลำดับที่ } y) \quad (2)$$

$$\text{ถ้า } (n+1) p > n \text{ แล้ว } ROP = (1-\omega)X_y + \omega X_{y+1} \quad (3)$$

เมื่อ ROP แทน ระดับของการสั่งซื้อใหม่ n แทนจำนวนข้อมูลในอดีต p แทน ค่าความเชื่อมั่น (กำหนดให้ค่าความเชื่อมั่นเป็น 99% : $p = 0.99$) และ ω แทนค่าจุดทศนิยมที่ได้จากการคำนวณสูตร $(n+1) p$ เช่น เมื่อปริมาณความต้องการในอดีตมีจำนวน 214 ตัวอย่าง ดังนั้น $(n+1)p = (214+1)*0.99 = 212.85$ ซึ่ง $(n+1) p < n$ ($212.85 < 214$) ดังนั้น $ROP = (1-\omega)X_y + \omega X_{y+1}$ เมื่อ $\omega = 0.85$ และ $X_y = 14$ ดังนั้น $ROP = (1-0.85)14 + (0.85* 14)+1 = 15$

การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลการใช้น้ำเกลือทั้ง 4 ชนิด A, B, C และ D จากโปรแกรม Minitab ดังภาพที่ 3 พบว่าน้ำเกลือชนิด A มีค่า p-value 0.608, น้ำเกลือชนิด B มีค่า p-value 0.237 และ น้ำเกลือชนิด C มีค่า p-value 0.859 ซึ่งทั้ง 3 ชนิดมีค่า p-value มากกว่า 0.005 ดังนั้นการแจกแจงข้อมูลน้ำเกลือ A, B และ C จึงสรุปได้ว่ายอมรับสมมติฐาน H_0 : แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ส่วนน้ำเกลือชนิด D มีค่า p-value น้อยกว่า 0.005 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แสดงว่าน้ำเกลือชนิด D ข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ



ภาพที่ 4 กราฟแสดงการแจกแจงของข้อมูลน้ำเกลือทั้ง 4 ชนิด

2.3) การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล นำตัวเลขสุ่มปริมาณการใช้น้ำเกลือ 4 ชนิดที่สร้างขึ้น มาทำการจำลองสถานการณ์โดยโปรแกรม Microsoft Excel โดยทดสอบกับนโยบาย $s, Q / T, Q / s, S$ และ T, S รวมทั้งหมด 8 นโยบาย ประกอบด้วย นโยบายการสั่งซื้อแบบ $s, Q_{\max}, s, Q_{\text{avg}}, s, Q_{\min}, T, Q_{\max}, T, Q_{\text{avg}}, T, Q_{\min}, T, S$ และ s, S สรุปได้ดังตารางที่ 2 นโยบาย โดยที่นโยบาย T, Q มีความถี่การสั่งซื้อทุกวัน ($T=1$)

ตารางที่ 2 สรุปการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล ของน้ำเกลือ A, B, C และ D

นโยบาย	จุดสั่ง (ROP)	ปริมาณการสั่ง (Q)
$s, Q_{\max}$	สั่งเมื่อคงคลังลดลงถึงจุด ROP	ปริมาณการสั่งคงที่ ปริมาณสูงสุด
s, Q_{avg}	สั่งเมื่อคงคลังลดลงถึงจุด ROP	ปริมาณการสั่งคงที่ ปริมาณเฉลี่ย
$s, Q_{\min}$	สั่งเมื่อคงคลังลดลงถึงจุด ROP	ปริมาณการสั่งคงที่ ปริมาณต่ำสุด
$T, Q_{\max}$	สั่งทุกวัน ($T=1$)	ปริมาณการสั่งคงที่ ปริมาณสูงสุด
T, Q_{avg}	สั่งทุกวัน ($T=1$)	ปริมาณการสั่งคงที่ ปริมาณเฉลี่ย
$T, Q_{\min}$	สั่งทุกวัน ($T=1$)	ปริมาณการสั่งคงที่ ปริมาณต่ำสุด
T, S	สั่งทุกวัน ($T=1$)	ปริมาณการสั่งไม่คงที่ เติบโตให้เท่ากับระดับ คงคลังสูงสุด
s, S	สั่งเมื่อคงคลังลดลงถึงจุด ROP	ปริมาณการสั่งไม่คงที่ เพื่อเติมเต็มให้เท่ากับระดับ คงคลังสูงสุด

การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลจะทำการสร้างตัวเลขปริมาณการใช้น้ำเกลือแต่ละประเภทในแต่ละรอบ และทำการทดสอบซ้ำเป็นจำนวน 10 รอบ และหาจำนวนการทำซ้ำที่เพียงพอเพื่อคำนวณหาปริมาณสินค้าคงคลัง, จุดที่น้ำเกลือไม่เพียงพอ และจุดที่ปริมาณน้ำเกลือบิกเกินความต้องการ โดยใช้นโยบายการสั่งซื้อ 8 ประเภท ในแต่ละชุดของประเภทน้ำเกลือ 4 ประเภท กับ 8 นโยบายการสั่งซื้อ หลังจากนั้น สรุปและเปรียบเทียบผลการจัดการคงคลังน้ำเกลือทั้งหมด ผลการจำลองสถานการณ์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเก็บน้ำเกลือในคงคลังที่มากเกินไปความต้องการ

ผลการวิจัย

1. ผลการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล

การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลโดยใช้ Microsoft Excel ตามขั้นตอนดังภาพที่ 2 โดยการคำนวณปริมาณความต้องการการสั่งซื้อรายวันจากตัวเลขสุ่มที่สร้างขึ้น ดังภาพที่ 3 หลังจากนั้น ทำการสั่งซื้อตามนโยบายที่กำหนด ตัวอย่างเช่น หากใช้นโยบายการสั่งซื้อแบบ $s, Q_{\max}$ ทำการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อทั้งหมด ปริมาณความต้องการรวม และสินค้าคงเหลือ หลังจากนั้นทำซ้ำทั้งหมด 10 รอบ หาค่าเฉลี่ยของปริมาณการสั่งซื้อทั้งหมด ปริมาณความต้องการรวม และสินค้าคงเหลือ วิธีการจำลองสถานการณ์นี้จะใช้จำลองสถานการณ์น้ำเกลือทั้ง 4 ชนิด คือ ชนิด A, B, C และ D และนโยบายการสั่งซื้อทั้ง 8 นโยบาย

2. เปรียบเทียบปริมาณการสั่งซื้อและปริมาณความต้องการ

ผลจากการจำลองสถานการณ์ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการเบิกน้ำเกลือและความต้องการใช้น้ำเกลือ (ขาด) ชนิด A, B, C และ D ในนโยบายต่าง ๆ กัน ในระยะเวลาทั้งหมด 7 เดือน แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่านโยบาย $s, Q_{\max}$ มีปริมาณน้ำเกลือแต่ละชนิดที่เบิกมาแล้วไม่ถูกใช้คิดเป็น % คงเหลือ ดังนี้ ชนิด A 0.20 % ชนิด B 0.38 % ชนิด C 0.32 % ชนิด D 0.37 % จากปริมาณคงเหลือแสดงให้เห็นว่านโยบาย $s, Q_{\max}$ มีปริมาณการเบิกและปริมาณความต้องการใกล้เคียงกัน ขณะที่นโยบาย s, Q_{avg} พบว่ามีปริมาณน้ำเกลือที่เบิกมาแล้วไม่เพียงพอต่อความต้องการ ชนิด A -1.56 % ชนิด C -5.81 % และชนิด D -2.58 % และมีปริมาณ

น้ำเกลือที่เบิกมาแล้วไม่ถูกใช้ ชนิด B 0.38 % ส่วนผลการจำลองสถานการณ์ของนโยบาย $s, Q_{\min}$ พบว่ามีปริมาณน้ำเกลือที่เบิกมาแล้วไม่เพียงพอต่อความต้องการ ชนิด A -31.91 % ชนิด B -24.47 % ชนิด C -56.04 % และชนิด D -37.71 %

ตารางที่ 3 แสดงผลการจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบความต้องการกับปริมาณการเบิกน้ำเกลือ ชนิด A, B, C และ D

น้ำเกลือ	นโยบาย	$s, Q_{\max}$	s, Q_{avg}	$s, Q_{\min}$	$T, Q_{\max}$	T, Q_{avg}	$T, Q_{\min}$	T,S	s,S
ชนิด A	Demand (ขวด)	16342	16342	16342	16342	16324	16342	16346	16341
	เบิก (ขวด)	16375	16087	11128	20116	16050	11128	16346	16341
	เหลือ (ขวด)	33*	-255**	-5214**	3774*	-274**	-5214**	0*	0*
	% คงเหลือ	0.20 %	-1.56 %	-31.91 %	23.09 %	-1.68 %	-31.91 %	0.00 %	0.00 %
ชนิด B	Demand (ขวด)	3400	3400	3400	3408	3408	3408	3400	3404
	เบิก (ขวด)	3413	3413	2568	4494	3424	2568	3400	3404
	เหลือ (ขวด)	13*	13*	-832**	1086*	16*	-840**	0*	0*
	% คงเหลือ	0.38 %	0.38 %	-24.47 %	31.87 %	0.47 %	-24.65 %	0.00 %	0.00 %
ชนิด C	Demand (ขวด)	3408	3408	3408	3421	3421	3417	3408	3417
	เบิก (ขวด)	3419	3210	1498	3510	3210	1498	3408	3417
	เหลือ (ขวด)	11*	-198**	-1910**	89*	-211**	-1919**	0*	0*
	% คงเหลือ	0.32 %	-5.81 %	-56.04 %	2.60 %	-6.17 %	-56.16 %	0.00 %	0.00 %
ชนิด D	Demand (ขวด)	2405	2405	2405	2414	2414	2414	2409	2417
	เบิก (ขวด)	2414	2343	1498	3638	2354	1498	2409	2417
	เหลือ (ขวด)	9*	-62**	-907**	1224*	-60**	-916**	0*	0*
	% คงเหลือ	0.37 %	-2.58 %	-37.71 %	50.70 %	-2.49 %	-37.95 %	0.00 %	0.00 %

* เมื่อ จำนวนน้ำเกลือคงเหลือ (ขวด) เทียบกับความต้องการมีค่าเป็น + แสดงว่าจำนวนที่เบิกเกินความต้องการ
** เมื่อ จำนวนน้ำเกลือคงเหลือ (ขวด) เทียบกับความต้องการมีค่าเป็น - แสดงว่าจำนวนที่เบิกไม่เพียงพอต่อความต้องการ

ในส่วนของนโยบาย T, Q ผลการจำลองสถานการณ์ของนโยบาย $T, Q_{\max}$ พบว่ามีปริมาณน้ำเกลือที่เบิกมาแล้วไม่ถูกใช้คิดเป็น % คงเหลือ ชนิด A 23.09 % ชนิด B 31.87 % ชนิด C 2.60 % และชนิด D 50.70 % ส่วนผลการจำลองสถานการณ์ของนโยบาย T, Q_{avg} พบว่ามีปริมาณน้ำเกลือที่เบิกมาแล้วไม่เพียงพอต่อความต้องการ ชนิด A -1.68 % ชนิด C -6.17 % และชนิด D -2.49 % และยังมีปริมาณน้ำเกลือที่เบิกมาแล้วไม่ได้ใช้ ชนิด B 0.47 % ส่วนผลการจำลองสถานการณ์ของนโยบาย $T, Q_{\min}$ พบว่ามีปริมาณน้ำเกลือที่เบิกมาแล้วไม่เพียงพอต่อความต้องการ ชนิด A -31.91 % ชนิด B -24.65 % ชนิด C -56.16 % ชนิด D -37.95 % และขณะที่ผลการจำลองสถานการณ์ของนโยบาย T, S พบว่านโยบาย T, S เป็นนโยบายที่มีการสั่งน้ำเกลือ

ทุกวัน วันละ X ขวด (ปริมาณการสั่งไม่คงที่) เพื่อให้มีน้ำเกลือมีปริมาณคงคลังเริ่มต้นสูงสุด ทำให้นโยบาย T, S ไม่มีคงคลังคงเหลือ และผลการจำลองสถานการณ์ของนโยบาย s, S พบว่า นโยบาย s, S เป็นนโยบายที่มีการสั่ง เมื่อน้ำเกลือในคงคลังลดลงถึงจุด ROP และทำการสั่งน้ำเกลือมาเติมเต็มให้มีปริมาณน้ำเกลือในคงคลังเริ่มต้นสูงสุด ทำให้นโยบาย s, S ไม่มีคงคลังคงเหลือ

จากการดำเนินงานวิจัย เมื่อนำนโยบาย $s, Q_{\max}, s, Q_{\text{avg}}, s, Q_{\min}, T, Q_{\max}, T, Q_{\text{avg}}, T, Q_{\min}, T, S$ และ s, S มาทำการจำลองสถานการณ์โดยใช้ทฤษฎีการจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล พบว่า นโยบายที่ดีที่สุดคือ นโยบาย $s, Q_{\max}$ เนื่องจากนโยบาย $s, Q_{\max}$ มีปริมาณการเบิกน้ำเกลือเพียงพอต่อความต้องการ และมีปริมาณการเบิกใกล้เคียงกับปริมาณความต้องการ

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ระบบการบริหารจัดการคงคลังเวชภัณฑ์ชนิดน้ำเกลือ 4 ชนิด ในโรงพยาบาลชุมชนขนาดใหญ่ จำนวนมากกว่า 100 เตียง สำหรับการกำหนดนโยบายสั่งซื้อด้านปริมาณ และจุดสั่งเบิกน้ำเกลือที่เหมาะสม (Reorder Point) โดยกำหนดนโยบายการจัดการคงคลังภายใต้ความต้องการที่ไม่แน่นอน ร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบ 8 ทางเลือก คือ $s, Q_{\max}, s, Q_{\text{avg}}, s, Q_{\min}, T, Q_{\max}, T, Q_{\text{avg}}, T, Q_{\min}, T, S$ และ s, S และใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ในการพิจารณาเลือกนโยบายที่เหมาะสมในการสั่งซื้อน้ำเกลือ ผลการศึกษาด้วยวิธีการจำลองสถานการณ์ สามารถระบุได้ว่านโยบายที่มีปริมาณการเบิกและการใช้ที่เหมาะสมที่สุดโดยไม่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดการขาดแคลนและเกิดการจุกติดมากเกินไปคือ นโยบาย $s, Q_{\max}$ โดยผลการเปรียบเทียบความต้องการกับปริมาณการเบิกน้ำเกลือ (ขวด) ชนิด A, B, C และ D กับนโยบายอื่น ๆ ในการศึกษา พบว่า นโยบาย $s, Q_{\max}$ มีปริมาณน้ำเกลือแต่ละชนิดที่เบิกมาแล้วไม่ถูกใช้คิดเป็นร้อยละคงเหลือเทียบกับความต้องการใช้เพียงร้อยละ 0.20 0.38 0.32 และ 0.37 ตามลำดับยิ่งไปกว่านั้น ผลการศึกษาสามารถสนับสนุนการวางแผนการจัดการน้ำเกลือคงคลังในโรงพยาบาลได้อย่างเหมาะสมมากยิ่งขึ้นและส่งผลให้ต้นทุนการจัดการคลังสินค้าประเภทน้ำเกลือลดลงไปด้วยในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

- 1) การจำลองสถานการณ์โดยการอาศัยข้อมูลการใช้ น้ำเกลือย้อนหลังในการจำลองสถานการณ์ อาจจะไม่เหมาะกับการใช้งานในกรณีที่เกิดโรคระบาดตามฤดูกาล
- 2) เทคนิคการจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลเป็นการจำลองสถานการณ์โดยอาศัยข้อมูลการใช้ น้ำเกลือย้อนหลังหากมีข้อมูลในอดีตเพิ่มมากขึ้น ผลการจำลองสถานการณ์จะมีความแม่นยำมากขึ้น
- 3) เมื่อมีการนำแบบจำลองที่นำเสนอไปสู่การปฏิบัติ ควรนำผลที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลในทางปฏิบัติที่ได้
- 4) ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์ต่อการจัดการคงคลังเวชภัณฑ์

References

- [1] Soiraya, S., & Sookseksan, N. (2016). The appropriate inventory policy formulation by using Monte Carlo Simulation Technique: Case study in chemical cleaning products and chemical water treatment products manufacturer. *Engineering Journal Chiang Mai University*, 23(2), 47–59.
- [2] Viboonsunti, C., Kumprakorb, U., & Sirisa-ard, P. (2003). Stock management of drug inventory control in the Community Pharmacy Laboratory. *The Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, 27(3-4), 139–148.
- [3] Muensrichai, J. (2009). *The economic order quantity under uncertainties by Monte Carlo Simulation method*. Master of Industrial Management Engineering. King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
- [4] Jintaketkam, P. (2012). *The application of Monte Carlo Technique for optimizing order quantity policy: A case study in light bulb industry*. Master of Industrial Management Engineering. King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
- [5] Pongkrasint, P. (2013). *Optimal order quantity for rigid PVC film by using Mote Carlo Simulation technique*. Master of Industrial Management Engineering. King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
- [6] Phupha, W. (2014). An application of Monte Carlo Simulation for optimal order quantity : A case study of raw materials procurement in processed food industry. *Kasetsart Engineering Journal*, 27(88), 41–56.
- [7] Mohammed, S. A., & Workneh, B. D. (2020). Critical analysis of pharmaceuticals inventory management using the ABC-VEN Matrix in Dessie Referral Hospital, Ethiopia. *Integrated Pharmacy Research & Practice*, 9(1), 113–125.

การใช้มันเทศเป็นแหล่งสารสีในอาหารปลากัด

Utilization of Sweet Potato as Pigment Source in Siamese Fighting Fish (*Betta splendens*) Feed

ศุภลักษณ์ เกตุตากแดด^{1*} กฤติมา เสาวกุล² และสุริยา อุดด้วง¹

Supalug Kattakdad^{1*}, Krittima Saowakoon² and Suriya Udduang¹

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้มันเทศเป็นสารเร่งสีในอาหารปลากัด (*Betta splendens*) โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design แบ่งเป็น 4 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ประกอบด้วยชุดควบคุมไม่เสริมมันเทศ (Control), อาหารเสริมมันเทศสีส้ม 5 % (OrSP), อาหารเสริมมันเทศสีเหลือง 5 % (YeSP) และอาหารเสริมมันเทศสีม่วง 5 % (PuSP) อาหารทดลองมีโปรตีน 31.18-32.01 % ไขมัน 6.73 - 7.04 % และมีปริมาณแคโรทีนอยด์ใน Control, OrSP, YeSP และ PuSP เท่ากับ 15.63 42.61 38.79 และ 32.32 mg/kg ตามลำดับ โดยนำปลากัดเพศผู้ อายุประมาณ 2 เดือน มาปรับสภาพแวดล้อมก่อนทำการทดลอง หลังทดลอง 8 สัปดาห์ พบว่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ส่งผลต่อการแสดงออกของสีของปลา โดยค่าความสว่าง (L^*) ของปลาชุดควบคุมมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ($p \leq 0.05$) ค่าความเข้มสีแดง (a^*) ของปลาชุดการทดลอง OrSP และ YeSP มีค่าสูงกว่าปลาชุดควบคุมและปลาชุดการทดลอง PuSP ($p \leq 0.05$) ปลาชุดการทดลอง OrSP มีค่าความเข้มสีเหลือง (b^*) สูงที่สุด ($p \leq 0.05$) การสะสมแคโรทีนอยด์ในอวัยวะของปลาหลังได้รับอาหารทดลองมีการสะสมแคโรทีนอยด์สูงขึ้นทุกชุดการทดลอง โดยปลาชุดการทดลอง OrSP มีการสะสมแคโรทีนอยด์ในผิวหนังและเกล็ด ครีบหลัง ครีบหาง และครีบกันสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ: ปลากัด มันเทศ สารสี การเจริญเติบโต การแสดงออกของสี

¹ อ.ดร., คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สุรินทร์ 32000

² รศ.ดร., คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ สุรินทร์ 32000

¹ Lecturer, Dr., Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, 32000, Thailand

² Assoc. Prof. Dr., Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, 32000, Thailand

* Corresponding author: Tel.: 095-5342156 E-mail address: Supalug.ka@rmu.ac.th

(Received: October 8, 2020; Revised: February 10, 2021; Accepted: February 17, 2021)

Abstract

This study investigated the effect of different sweet potato varieties as dietary pigment sources on the coloration of Siamese Fighting Fish (*Betta splendens*). The experiment was conducted as a completely randomized design (CRD) with four treatments and three replicates. The experimental feed consisted of; control feed, 5% orange sweet potato (OrSP), 5% yellow sweet potato (YeSP) and 5% purple sweet potato (PuSP). The experimental feeds were formulated with 31.18-32.01 % crude protein, 6.73 - 7.04 % crude fat and total carotenoids in control, OrSP, YeSP and PuSP were 15.63, 42.61, 38.79 and 32.32 mg/kg, respectively. Two-month male fishes were obtained from a reliable commercial farm and acclimated to the rearing environment. After the 8 weeks rearing period, the results showed that the final average weight, final average length, average daily gain, weight gain, specific growth rate and feed conversion ratio (FCR) were not significantly different between treatment groups ($p > 0.05$). However, dietary supplementation with sweet potato affected the color expression and carotenoid accumulation by *Betta splendens*. The lightness (L^*) of fish fed with the control feed showed the highest value ($p \leq 0.05$). The redness (a^*) of fish fed with 5% OrSP and 5% YeSP was higher than in the other treatments ($p \leq 0.05$) and the yellowness (b^*) of fish fed with 5% OrSP showed higher values than in the other groups ($p \leq 0.05$). The results of carotenoid accumulation in each organ increased in all treatment groups. After 8 weeks, the fish fed with 5% OrSP showed the highest carotenoid accumulation in skin and scale, dorsal fin, anal fin and caudal fin as compared to the other groups ($p \leq 0.05$).

Keywords: *Betta splendens*, Sweet Potato, Pigment, Growth Performance, Color Expression

Introduction

Ornamental fish culture generates huge income for Thailand and in April 2018, the export value of ornamental aquatic animals via Suvarnabhumi airport was approximately 55 million baht. The Siamese fighting fish has the highest export volume of 1,654,577 units worth 14,629,993.24 baht [1]. The Siamese fighting fish (*Betta splendens* Regan, 1910) is a freshwater fish that is distributed in all regions of Thailand and is especially heavily cultured in the Nakhon Pathom province. The fish are easy to raise, can tolerate rapid diurnal temperature changes and live in habitats with low oxygen availability [2]. Therefore, it has continued to gain popularity. Siamese fighting fish are sexually dimorphic in both weight and size with males being heavier and bigger than females. Male' fins are long and colorful, while the female fish are usually smaller, shorter and the color is fierce than males [2, 3]. The size of the fish and their color expression are important factors in determining the purchase price of ornamental fish. Color expression in the skin, scales and fins, especially red coloration is caused by carotenoids and depends on many factors such as age, phenotype and interaction between age and phenotype [3] Nowadays, dietary pigments are added as a source of pigment stimulation in ornamental fish. Amongst the dietary additives are synthetic and natural

raw materials such as *Spirulina* sp. and *Chlorococcum* sp. in Siamese fighting fish feed, synthetic astaxanthin in blood parrot cichlid feed, synthetic carotenoids in Spine-cheek anemone fish feed and ripe papaya, carrot, sweet potato and tomato in Goldfish feed [3 - 8].

Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) is the seventh most important crop in the world. It has been consumed as a secondary plant food after rice, corn, potatoes and cassava and was found to have high nutritional value such as protein, carbohydrates, fiber, as well as iron and potassium, vitamins A and C. Later, it has been used in the animal feed industry [9] In addition to the above nutrients, sweet potatoes are a source of pigments which vary depending on the type of sweet potato such as carotenoid, flavonoid and chlorophyll. Carotenoids consist of carotene and xanthophyll derivatives. The flavonoids contain many types of pigments such as anthocyanin, flavone, catechin and flavonols. Yellow and orange sweet potato varieties are found to contain large amounts of carotene. While, red and purple sweet potatoes are found to be high in anthocyanin [10] Therefore, the objective of this study was to investigate the effect of different sweet potato varieties that may be suitable for stimulating color expression, carotenoids accumulation, growth performance, feed efficiency and survival rate of *Betta splendens*.

Materials and Methodology

Experimental Design and Treatments

Two-month old male fish were obtained from a reliable commercial farm and acclimatized to the rearing environment for a week prior to feeding the experimental feeds. Fish were randomly distributed, 1 fish to each clear plastic bottle. The experiment was designed as a Completely randomized design (CRD) with 4 treatments and 3 replicates (25 fishes per replication). The 4 treatments were T1: commercial feed (32.01 %protein, control), T2: commercial feed with 5% orange sweet potato (OrSP), T3: commercial feed with 5% yellow sweet potato (YeSP) and T4: commercial feed with 5% purple sweet potato (PuSP). The fish were fed until full 3 times/day and the duration of this experiment was 8 weeks.

Experimental Feed Preparation

Sweet potatoes were washed, cleaned and cut into small pieces measuring 0.3-0.5 cm, then dried in a hot air oven at 65 °C for 12 hr. After cooling, sweet potatoes were ground and keep at 4 °C until use in feed production. The commercial feed (30 % protein) was ground and mixed with sweet potatoes according to the experimental design. The experimental feeds were pelleted and dried in a hot air oven at 65 °C for 12 hr. The feeds were analyzed for chemical composition using proximate analysis [11] and total carotenoids (mg/kg) [13] with the results presented in Table 1.

Table 1 Proximate composition (%) and total carotenoid (mg/kg) of experimental feeds (as dry basis)

Composition (%)	Control Feed	OrSP 5%	YeSP 5%	PuSP 5%
Crude Protein	32.01 ± 0.08	31.25 ± 0.14	31.18 ± 0.02	31.30 ± 0.04
Fat	7.04 ± 0.03	6.73 ± 0.02	6.81 ± 0.02	6.85 ± 0.02
Ash	9.51 ± 0.02	9.68 ± 0.04	9.62 ± 0.02	9.54 ± 0.03
Fiber	4.47 ± 0.04	4.54 ± 0.01	4.58 ± 0.01	4.58 ± 0.03
Moisture	6.65 ± 0.02	6.60 ± 0.03	6.57 ± 0.01	6.58 ± 0.02
Total Carotenoid (mg/kg)	15.63 ± 0.03	42.61 ± 0.05	38.79 ± 0.04	32.32 ± 0.03

Data represent as mean ± SD.

Data Collection

Growth performance parameters were recorded and calculated according to the method of Goddard [12]. The experimental fish were weighed every two weeks until the end of experiment to determine growth performance, survival rate and feed utilization following: weight gain, average daily gain, specific growth rate, and feed conversion ratio. Color expression of fishes were assessed with the Color Reader Model, CR10 by CIE system (to measure values for lightness (L*), redness (a*) and yellowness (b*)). Carotenoid accumulation in scale and skin, dorsal fin, anal fin and caudal fin were conducted follow the method of Britton *et al.* [13]

Statistical Analysis

Mean values and standard deviations (S.D.) were calculated from the results. One-way analysis of variance (ANOVA) was applied for comparison of the mean values. Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) was used to compare means. Differences between means were considered to be significant at a level of $p \leq 0.05$, indicated by different indices in the results' table.

Results and Discussion

Growth Performance

Growth performance of *Betta splendens* fed with experimental feeds consisting of; control feed, 5% orange sweet potato (OrSP), 5% yellow sweet potato (YeSP) and 5% purple sweet potato (PuSP) for 8 weeks are shown in Table 2. The results show that final weight, final length, weight gain, average daily gain and specific growth rate were not significantly different between treatments ($p > 0.05$). Feed utilization in term of feed conversion ratio (FCR) were not significantly different between treatments ($p > 0.05$). Excellent survival, at 100 %, was observed in all dietary treatments. This may be due to the enhancement of colorants for the purpose of accelerating the skin color of fishes not significantly affecting the nutritional level of the feed. Therefore, all experimental feed formulae have the same nutritional levels. This is consistent with

the enhancement of colorants from other pigment sources in aquaculture feeds such as ripe papaya, carrot, orange sweet potato, purple sweet potato and beetroot in goldfish (*Carassius auratus*) feed [5, 8], astaxanthin in blood parrot cichlid feed [6], supplementation of *Phafia rhodozyma*, *Paracoccus* sp. and *Haematococcus pluviallis* in fancy carp [14] and supplementation with synthetic carotenoids in spine-cheek anemone fish (*Premnas biaculeatus*) and clownfish (*Amphiprion ocellaris*) [7, 15].

Table 2 Growth performance of *Betta splendens* fed with experimental feeds for 8 weeks

Performance	Control Feed (T1)	5%OrSP (T2)	5%YeSP (T3)	5%PuSP (T4)	p-value
Initial Weight (g/fish)	0.68 ± 0.02	0.70 ± 0.01	0.68 ± 0.01	0.66 ± 0.04	0.366
Initial Length (cm/fish)	5.68 ± 0.07	5.70 ± 0.08	5.66 ± 0.03	5.61 ± 0.03	0.336
Final Weight (g/fish)	1.25 ± 0.02	1.27 ± 0.01	1.26 ± 0.02	1.26 ± 0.03	0.604
Final Length (cm/fish)	6.37 ± 0.20	6.08 ± 0.27	6.37 ± 0.20	6.11 ± 0.29	0.351
Average Daily Gain (g/fish/day)	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.751
Weight Gain (g/fish)	1.52 ± 0.13	1.46 ± 0.08	1.52 ± 0.02	1.61 ± 0.17	0.503
Specific Growth Rate (%/day)	1.10 ± 0.07	1.07 ± 0.04	1.10 ± 0.01	1.14 ± 0.09	0.516
Feed Conversion Ratio (FCR)	1.94 ± 0.08	2.15 ± 0.16	2.09 ± 0.12	2.10 ± 0.09	0.205
Survival Rate (%)	100.00 ± 0.0	100.00 ± 0.0	100.00 ± 0.0	100.00 ± 0.0	

Data represent as mean ± SD. Different superscripts in the same row indicate significant differences at $p \leq 0.05$.

Color Expression

The result of color expression of fish is shown in Table 3. The initial of lightness (L^*), redness (a^*) and yellowness (b^*) were not significantly different between treatment groups ($p > 0.05$). However, variation in the color expression was detected in week 4 of the experiment and increased during the rearing period. By 8 weeks of the experiment, the fish fed with control feed had higher L^* than the other groups ($p \leq 0.05$). While, the fish fed with 5% OrSP and 5% YeSP showed a higher a^* than the other groups ($p \leq 0.05$). Further, the b^* of fishes fed 5% OrSP was higher than all treatment groups ($p \leq 0.05$). These results are in accordance with previous studies carried out with supplementation of ripe papaya in goldfish (*Carassius auratus*) feed. Ponza *et al.* (2018) [5] reported that the a^* and b^* of goldfish fed with ripe papaya was increased after 6 weeks of experiment diets and it was higher than the control group ($p \leq 0.05$), while the control group showed a higher L^* than the treatment group supplemented with ripe papaya ($p \leq 0.05$). According to the study of Sornsupharp (2018) [8], goldfish fed with pumpkin and purple sweet potato had chroma in goldfish skin higher than goldfish fed with a control feed ($p \leq 0.05$).

Table 3 Lightness, redness and yellowness on skin of *Betta splendens* fed with different experimental feeds

Rearing Period (weeks)	Parameters	Control Feed (T1)	5% OrSP (T2)	5% YeSP (T3)	5% PuSP (T4)	p-value
0	Lightness (L*)	24.41 ± 0.30	24.52 ± 0.22	24.74 ± 0.42	24.46 ± 0.46	0.714
	Redness (a*)	9.48 ± 0.16	9.32 ± 0.34	9.35 ± 0.12	9.42 ± 0.25	0.858
	Yellowness (b*)	3.60 ± 0.39	3.61 ± 0.17	3.65 ± 0.18	3.43 ± 0.30	0.778
4	Lightness (L*)	25.46 ± 0.42 ^b	25.75 ± 0.34 ^b	25.84 ± 0.28 ^b	24.23 ± 0.28 ^a	0.001
	Redness (a*)	10.20 ± 0.10 ^a	11.63 ± 0.27 ^c	11.13 ± 0.05 ^b	10.05 ± 0.10 ^a	< 0.001
	Yellowness (b*)	3.56 ± 0.27 ^b	4.72 ± 0.14 ^c	4.89 ± 0.05 ^c	3.17 ± 0.15 ^a	< 0.001
8	Lightness (L*)	25.95 ± 0.26 ^b	24.86 ± 0.20 ^a	24.76 ± 0.20 ^a	24.42 ± 0.48 ^a	< 0.001
	Redness (a*)	11.15 ± 0.07 ^a	12.96 ± 0.45 ^b	12.50 ± 0.17 ^b	11.24 ± 0.06 ^a	< 0.001
	Yellowness (b*)	4.32 ± 0.20 ^a	7.55 ± 0.47 ^c	5.41 ± 0.40 ^b	4.57 ± 0.27 ^a	< 0.001

Data represent as mean ± SD. Different superscripts in the same row indicate significant differences at $p \leq 0.05$.

Carotenoid Accumulation

The results of carotenoid accumulation show that total carotenoid (mg/kg) of fish at the start of the trial was not significantly different between treatments ($p > 0.05$). After 4 weeks of the rearing period, carotenoid accumulation in each organ was increased in all treatment groups. The fish fed with 5% OrSP showed the higher carotenoid accumulation in skin and scale, dorsal fin, anal fin and caudal fin than the other groups ($p \leq 0.05$). Carotenoid accumulation in skin and scale showed the highest value of 25.97 ± 0.22 mg/kg. After 8 weeks of experiments, the results for carotenoid accumulation in each organ increased in all treatment groups. The fish fed with 5% OrSP showed the higher carotenoid accumulation in skin and scale, dorsal fin, anal fin and caudal fin compared to the other groups ($p \leq 0.05$). The results showed highest values in skin and scale followed by anal fin, caudal fin and dorsal fin with values of 34.93 ± 0.29 , 29.95 ± 0.43 , 29.87 ± 0.39 and 26.53 ± 0.55 mg/kg respectively (Table 4). A similar result to this study has been reported by Thongprajukaew *et al.* (2012) [4], who observed that *Betta splendens* had the highest carotenoid accumulation in muscle (44-51%) followed by skin, caudal fin, anal fin, dorsal fin, pelvic fins and pectoral fins, respectively. The present results show that *Betta splendens* can use and accumulate the carotenoids in orange and yellow sweet potatoes. The carotenoids found in fruits and vegetables have orange, yellow, red and green pigments. This includes algae and photosynthetic microorganisms [16, 17]. While the purple sweet potato is high in anthocyanin pigment which gives red, purple and blue colors and the expression of red, violet or blue varies with pH and temperature. It is unstable and easy to change in

structure [10]. According to Clotfelter *et al.* (2007) [18], who reported that the red coloration of *Betta splendens* is due to carotenoids and the color concentration in the fins has a higher red phenotype than the blue phenotype. Additionally, fish color expression from exposure to carotenoids is often associated with other factors such as genetics, age (reproductive age) and sex. These factors control the color expression, color distribution and pigment density of fish [19, 4]. Wallbrunn (1957) [20] reported that the color on skin and scale of *Betta splendens* was controlled by an iridescence pigment gene, pigment density gene and the genes that define the melanin. However, each fish species is unique and has the ability to utilize carotenoids as well as accumulate in organs depending on the species digestion and absorption capacity [21]

Table 4 Carotenoid accumulation (mg/kg) in each organ of *Betta splendens* fed with different experimental feeds

Rearing Period (weeks)	Organs	Control Feed (T1)	5% OrSP (T2)	5% YeSP (T3)	5% PuSP (T4)	p-value
0	Skin and Scale	13.41 ± 0.18	13.53 ± 0.13	13.41 ± 0.12	13.45 ± 0.27	0.851
	Dorsal Fin	11.50 ± 0.23	11.44 ± 0.18	11.57 ± 0.04	11.49 ± 0.18	0.847
	Anal Fin	10.37 ± 0.20	10.36 ± 0.23	10.43 ± 0.20	10.38 ± 0.13	0.968
	Caudal Fin	9.02 ± 0.06	9.20 ± 0.06	9.29 ± 0.11	9.19 ± 0.05	0.367
4	Skin and Scale	15.78 ± 0.30 ^a	25.97 ± 0.22 ^d	21.27 ± 0.35 ^c	17.02 ± 0.29 ^b	< 0.001
	Dorsal Fin	14.05 ± 0.33 ^a	20.60 ± 0.44 ^d	16.90 ± 0.66 ^c	16.00 ± 0.19 ^b	< 0.001
	Anal Fin	12.59 ± 0.42 ^a	22.18 ± 0.38 ^c	16.60 ± 0.16 ^b	12.81 ± 0.17 ^a	< 0.001
	Caudal Fin	11.37 ± 0.05 ^a	21.93 ± 0.32 ^d	18.46 ± 0.45 ^c	12.47 ± 0.13 ^b	< 0.001
8	Skin and Scale	22.64 ± 0.68 ^a	34.93 ± 0.29 ^d	29.63 ± 0.96 ^c	24.71 ± 0.36 ^b	< 0.001
	Dorsal Fin	14.60 ± 0.32 ^a	26.53 ± 0.55 ^c	23.01 ± 0.70 ^b	22.37 ± 0.30 ^b	< 0.001
	Anal Fin	14.61 ± 0.27 ^a	29.95 ± 0.43 ^d	25.42 ± 0.47 ^c	19.41 ± 0.95 ^b	< 0.001
	Caudal Fin	13.52 ± 0.27 ^a	29.87 ± 0.39 ^d	25.43 ± 1.26 ^c	19.03 ± 0.43 ^b	< 0.001

Data represent as mean ± SD. Different superscripts in the same row indicate significant differences at $p \leq 0.05$.

Supplementation with sweet potato in ornamental fish feed can stimulate color expression and total carotenoids accumulation in fish. It also has antioxidant properties, is a source of vitamin A, iron, calcium and phosphorus, and can improve the immune system and resist bacteria which can cause disease [22]. In addition, the color enhancer for ornamental fish can also be used for living feed and other raw materials such as *Spirulina* sp., *Chlorella vulgaris*, *Haematococcus pluvialis*, fairy shrimp (*Beauchinella thandensis*) [23, 24] and synthetic pigments such as chlorophyll, carotenoid and astaxanthin [25, 7, 26].

Conclusion

Supplementation with orange, yellow and purple sweet potato in *Betta splendens* diets showed non-significant differences in growth performance, feed conversion ratio and survival rate but affected color expression and carotenoid accumulation. The fish fed with orange sweet potato had the highest yellowness and fish fed orange and yellow sweet potato had highest redness, while the fish fed with control feed, without sweet potato supplementation had higher lightness than the treatment groups. Regarding carotenoid accumulation, the fish fed with orange sweet potato showed the highest carotenoid accumulation in skin and scale, dorsal fin, anal fin and caudal fin.

Acknowledgment

The authors would like to express our thanks for the support from the Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin, Thailand.

References

- [1] Department of Fisheries. (2561). *Statistics of the import and export of aquatic animals at Suvarnabhumi Airport, April 2018*. (Online). Retrieved 10 September 2020, from [https:// www4.fisheries.go.th/local /file_document/20180709140410_1_file.pdf](https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20180709140410_1_file.pdf).
- [2] Jaroensutasinee, M. & Jaroensutasinee, K. (2001). Bubble nest habitat characteristics of wild Siamese fighting fish. *Journal of Fish Biology*, 58(5), 1311–1319.
- [3] Thongprajukaew, K. (2013). Biology of Siamese Fighting Fish (*Betta splendens* Regan, 1910). *KKU Science Journal*, 41(1), 1–15.
- [4] Thongprajukaew, K., Kovitvadhi, S., Kovitvadhi, U. & Rungruangsak-Torrissen, K. (2012). Pigment deposition and in vitro screening of natural pigment sources for enhancing pigmentation in male Siamese fighting fish (*Betta splendens* Regan, 1910). *Aquaculture Research*, 45(4), 1–11. DOI.10.1111 /are.12009.
- [5] Ponza, P., Muangtim, J. & Kandaeng, T. (2018). Effect of ripe papaya (*Carica papaya* L.) inclusion in feed for color enhancing in Goldfish (*Carassius auratus*). *Agricultural Science Journal*, 49(3) (Suppl.), 92–98.
- [6] Ratananikom, K., Kanokrungrung, A. & Sidabud, S. (2019). Using of astaxanthin to enhance skin color of blood parrot cichlid. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(1) (Suppl.), 1279–1286.
- [7] Somranrat, N & Jaritkhuan, S. (2019). Effects of different carotenoids on growth and pigmentation of spine-cheek anemone fish (*Premnas biaculeatus* Bloch, 1790). *Princess of Naradhiwas University Journal*, 11(1), 135–148.
- [8] Sornsupharp, B. (2018). Effect of natural carotenoid as sources of pigment in goldfish (*Carassius auratus*). *Journal of Fisheries Technology Research*, 12(1), 35–48.

- [9] Bovell-Benjamin, A. C. (2007). Sweet potato: A review of its past, present and future role in human nutrition. *Advances in Food and Nutrition Research*, 52, 1–59. DOI: 10.1016/S1043-4526(06)52001-7.
- [10] Lazze, M. C., Savio, M., Pizzala, R., Cazzalini, O., Perucca, P., Scovassi, A. I., Stivala, L. A., & Bianchi, L. (2004). Anthocyanins induce cell cycle perturbations and apoptosis in different human cell lines. *Carcinogenesis*, 25, 1427–1433.
- [11] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2005). Animal feed. In W. Horwitz, (Ed.). *Official Methods of Analysis of AOAC International*, (18th Ed.). Maryland, USA: AOAC International.
- [12] Goddard, S. (1996). *Feed management in intensive aquaculture*. New York: Chapman & Hall.
- [13] Britton, G., Liaaen-Jensen, S., & Pfander, H. (1995). *Carotenoids. Volume 1A: Isolation and analysis*. Basel, Switzerland: Birkhauser-Verlag.
- [14] Ninwichian, P., Chookird, D., & Phuwan, N. (2020). Effects of dietary supplementation with natural carotenoid sources on growth performance and skin coloration of fancy carp, *Cyprinus carpio* L. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(1), 167–181.
- [15] Seyed, S.M., Sharifpour, I., Ramin, M., & Jamili, S.H. (2013). Effect of dietary astaxanthin on survival, growth, pigmentation Clownfish, *Amphiprion ocellaris*, cuvier. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 3(3), 391–395.
- [16] Dhir, R., Harkess, R. L., & Bi, G. (2013). Physiological responses of ivy Geranium Beach and butterfly to heat stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 138(5), 344–349.
- [17] Klomsakul, P., Pumjumpa, D., Khunpratum, S., & Chalopagorn, P. (2012). Determination of antioxidant property from some medicinal plant extracts from Thailand. *African Journal of Biotechnology*, 11(45), 10322–10327.
- [18] Clotfelter, E. D., Ardia, D.R., & McGraw, K. G. (2007). Red fish, blue fish: trade-offs between pigmentation and immunity in *Betta splendens*. *Behavioral Ecology*, 18(6), 1139–1145.
- [19] Fujii, R. (2000). The regulation of motile activity in fish chromatophores. *Pigment Cell Research*, 13, 300–319.
- [20] Wallbrunn, H. M. (1957). Genetics of the Siamese fighting fish, *Betta splendens*. *Genetics*, 43(3), 281–289.
- [21] Ezhil, J., & Narayanan, M. (2013). Enhancement of pigmentation in blue Morph, *Pseudotropheus lombardoi* through feeding different carotenoids sources. *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 5, 655–659.
- [22] Vandana, P., & Madhav, S. (2012). Phytochemical constituents and pharmacological activities of *Ipomeea batatas* L. (Lam). A review. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, 2(1), 25–34.

- [23] Gouveia, L., Rema, P., Pereira, O., & Empis, J. (2003). Colouring ornamental fish (*Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*) with microalgal biomass. *Aquaculture Nutrition*, 9, 123–129.
- [24] Simawan, J., Rukaewma, N., & Sripthuthorn, K. (2016). Effects of fairy shrimp (*Branchinella thailandensis*) meal in diets on skin color, total carotenoids content and growth performance of gold fish (*Carassius auratus*). *Khon Kaen Agriculture Journal*, 44(1) (Suppl.), 682–687.
- [25] Sun, X., Chang, Y., Ye, Y., Ma, Z., Liang, Y., Li, T., Jiang, N., Xing, W., & Luo, L. (2012). The effect of dietary pigments on the coloration of Japanese ornamental carp (koi, *Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, 342, 62–68.
- [26] Baron, M., Davies, S., Alexander, L., Snellgrove, D., & Sloman, K. A. (2007). The effect of adult fairy shrimp *Streptocephalus dichotomus* as live feed. *Food Chemistry*, 100, 1435–1442.

สมบัติของยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้น โดยพลังงานจากไมโครเวฟเป็นสารตัวเติม

Properties of Natural Rubber with Molasses Carbon Powder Activated Using Microwave Radiation as a Filler

วารารณ โสประดิษฐ์¹ อติศักดิ์ จตุรพิริยะ¹ เอกราชันย์ ไชยชนะ² และธัญญา เสาวกาศย์^{2*}

Waraporn Sopradit¹, Adisak Jaturapiree², Ekrachan Chaichana² and Thanunya Saowapark^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (MB) ถูกนำมากระตุ้นด้วยสารเคมี คือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB:KOH คือ 1:4 โดยให้พลังงานความร้อนด้วยไมโครเวฟเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยความร้อนจากพลังงานไมโครเวฟ (MB KOH Wave) นั้นมีพื้นที่ผิวและมีปริมาตรรูพรุนรวมที่มากกว่าการใช้พลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (MB KOH) เมื่อนำผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ปริมาณ 10 phr พบว่ายางธรรมชาติที่มี MB KOH Wave เป็นสารตัวเติม มีสมบัติการคงรูป สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการบวมตัวในตัวทำละลายดีขึ้นอย่างชัดเจนและใกล้เคียงกับผงเขม่าดำ (CB)

คำสำคัญ: กากน้ำตาล ผงคาร์บอน ไมโครเวฟ สารตัวเติม ยางธรรมชาติ

Abstract

In this research, the preparation of carbon powder from molasses, a by-product of the sugar production process or agricultural wastes, was studied as filler in natural rubber. The carbon powder from molasses or molasses black (MB) was subsequently activated using 1:4 by weight (MB: KOH) using heating energy from microwave radiation and comparing with the electrically heating furnace. The result showed the surface area and total pore volume of MB activated by microwave radiation (MB KOH Wave)

¹ นักศึกษาปริญญาตรี, สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม 73000

² ผศ.ดร., ศูนย์วิจัยวัสดุธรรมชาติและผลิตภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม 73000

¹ Undergraduate Student, Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, 73000, Thailand

² Asst. Prof. Dr., Research Center of Natural Materials and Products, Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, 73000, Thailand

*Corresponding author: E-mail: thanunya@webmail.npru.ac.th

(Received: August 13, 2020; Revised: February 11, 2021; Accepted: February 19, 2021)

are clearly enhanced comparable with those activated using an electrically heating furnace. All of KOH-activated MB were used as filler in NR in the amount of 10 phr. It was found that MB KOH Wave filled NR obviously shows the improvement in cure characteristic, tensile properties, tear strength and swelling resistance of NR vulcanizate and is close with that of filled with carbon black (CB).

Keywords: Molasses, Carbon Powder, Microwave, Filler, Natural Rubber

บทนำ

สารตัวเติม (Filler) คือ สารที่เติมลงไปในช่วงเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้นหรือเพื่อลดต้นทุนการผลิต ปัจจุบันมีการส่วนที่เหลื้ใช้ทางการเกษตร การปศุสัตว์ ขยะจากชุมชน และของเสียบางประเภทจากอุตสาหกรรม สำหรับนำมาใช้ทดแทนสารตัวเติมในปัจจุบัน [1] กากน้ำตาล (Molasses) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลื้จากอุตสาหกรรมน้ำตาลและไม่สามารถนำกลับมาใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลได้อีก [2] เพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่กากน้ำตาลและทางเลือกในการนำกากน้ำตาลมาใช้ประโยชน์ พบว่าเมื่อนำมาให้ความร้อนผ่านความร้อนเปลี่ยนสภาพเป็นผงคาร์บอน โดยองค์ประกอบหลักของผงคาร์บอนที่เตรียมได้จากกากน้ำตาลนั้นคือ ธาตุคาร์บอน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกับผงเขม่าดำที่นิยมใช้เป็นสารตัวเติมเสริมแรงในยางธรรมชาติ การนำผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลมาเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ (Natural Rubber or NR) ก็เป็นหนึ่งในทางเลือกที่น่าสนใจ [3-4] แต่อย่างไรก็ตามผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลนั้นพบว่ามีขนาดอนุภาคใหญ่ พื้นที่ผิวจำเพาะต่ำ เพื่อให้ผงคาร์บอนดังกล่าวมีความเหมาะสม และ ช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลให้แก่ยางธรรมชาติได้ จึงต้องมีการปรับปรุงผงคาร์บอน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลโดยการกระตุ้นผงคาร์บอนโดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ควบคู่กับการใช้พลังงานจากไมโครเวฟ แทนการใช้เตาไฟฟ้าอุณหภูมิสูงเพื่อนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติเนื่องจากการใช้พลังงานจากไมโครเวฟนั้นมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนที่รวดเร็วทำให้ประหยัดเวลาและพลังงานในการกระตุ้นผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล [5-6]

วิธีการดำเนินการ

1. วัตถุดิบและสารเคมี

การเตรียมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมีวัตถุดิบและสารเคมีคือ กากน้ำตาลและโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH: AR Grade) และ การเตรียมยางคงรูปที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติมมีดังนี้ ยางธรรมชาติ (Natural Rubber: STR5L) ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) กรดสเตียริก (Stearic Acid) N-tertbutyl-2-benzothiazole Sulfonamide (TBBS) กำมะถัน (Sulphur: Commercial Grade) และ ผงเขม่าดำ (Carbon Black (CB): N550)

2. การเตรียมและวิเคราะห์ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นโดยพลังงานจากไมโครเวฟ

นำกากน้ำตาลไปทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดและนำมาเผาภายใต้สภาวะไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะได้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (MB) จากนั้นนำผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมากระตุ้นโดยใช้ KOH ในอัตราส่วน 1:4 โดยน้ำหนักโดยให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่สภาวะ 300 วัตต์ เป็นเวลา 20 นาที นำไปปรับให้ pH เป็นกลางและทำให้แห้ง จะได้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นโดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave)

และโดยศึกษาเปรียบเทียบกับผงคาร์บอนที่ผ่านการกระตุ้นโดยให้ความร้อนโดยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (MB KOH)

นำผงคาร์บอนมาวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน โดยใช้เครื่อง CHN Elemental Analyzer และ วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ภายในผงคาร์บอนที่ โดยใช้เครื่อง X- Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และวิเคราะห์พื้นที่ผิวและปริมาตร รูพรุนรวมของผงคาร์บอนด้วยเครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer ด้วยเทคนิคของ Brunauer Emmett and Teller (BET)

3. การเตรียมยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติม

โดยการผสมยางและสารเคมีตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 1 โดยแต่ละสูตรมี สารตัวเติม (Filler) ดังนี้ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (MB) ผงคาร์บอนที่ผ่านการกระตุ้นโดยให้ความร้อนโดยเตาไฟฟ้า (MB KOH) ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้น โดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) และผงเขม่าดำเกรด N550 (CB) ผสมโดยใช้ในเครื่องผสมเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (2 roll mill) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการผสม 9 นาที

ตารางที่ 1 สูตรการผสมยางคอมพาวด์

องค์ประกอบ	Part Per Hundred Rubber (phr)				
	Unfilled	MB	MB KOH	MB KOH Wave	CB
Natural Rubber	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Zinc Oxide	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Stearic Acid	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Filler	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0
TBBS	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
Sulphur	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

4. การทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเป็นสารตัวเติม

4.1 การทดสอบลักษณะการคงรูป

การทดสอบการคงรูปของยางคอมพาวด์โดยใช้เครื่อง Moving Die Rheometer และอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบคือ 150 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการคงรูปต่อไป

4.2 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tensile Properties and Tear Strength)

ทำการขึ้นรูปยางคอมพาวด์เป็นแผ่น โดยแม่พิมพ์แบบอัด ที่อุณหภูมิ 150 °C โดยใช้เวลารูปที่ได้จากการศึกษาลักษณะการคงรูป ทำการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Properties) ตามมาตรฐาน ASTM D412 (Die C) และ ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการฉีกขาดตามมาตรฐาน ASTM D624 (Die B) โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine อัตราเร็วในการดึงขึ้นทดสอบ 500 มิลลิเมตรต่อนาที

4.3 การทดสอบสมบัติความต้านต่อตัวทำละลาย (Swelling Resistance)

ทดสอบ โดยการ ใช้วิธีการ Equilibrium Swelling Measurement เป็นการทดสอบการบวมตัวของยางไนไตรล์ โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปนำมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมให้มีน้ำหนัก 0.5-0.7 กรัม นำไปแช่ในโทลูอีนเป็นเวลา 7 วันนำไปตั่งไว้ในที่มีดจากนั้นนำชิ้นงานทดสอบไปชั่งน้ำหนักและคำนวณหาอัตราส่วนการบวมตัวของชิ้นงานในตัวทำละลาย (Swelling Ratio) โดยใช้สมการ

$$Q = (W_s - W_u) / W_u$$

เมื่อ Q คือ อัตราส่วนการบวมตัวของชิ้นงานในตัวทำละลาย (Swelling Ratio)
 W_u, W_s คือ น้ำหนักก่อนแช่และหลังแช่ในโทลูอีน (g)

ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

สมบัติของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล

ผลของการวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจนของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล(MB) และ ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลที่กระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟ และ พลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (MB KOH Wave และ MB KOH) ด้วยเครื่อง CHN Elemental Analyzer แสดงดังตารางที่ 2 โดยจากการวิเคราะห์ผงคาร์บอนทุกชนิดพบว่า ปริมาณของคาร์บอนที่พบโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 40-60 % เนื่องจากปริมาณของคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในกากน้ำตาลนั้นมาจากส่วนของน้ำตาลที่ละลายอยู่ในกากน้ำตาลเป็นหลักซึ่งโดยปกติแล้วกากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาวหรือ Black-strap Molasses จะมีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณ 50-60 % [3-4] ทั้งนี้เมื่อทำการกระตุ้น ผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลด้วย KOH โดยพลังงานความร้อนทั้งสองชนิดพบว่าปริมาณคาร์บอนลดลง นั่นอาจเป็นเพราะคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในกากน้ำตาลนั้นเกิดการสลายตัวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับปริมาณ CHO ที่ลดลงจากการวิเคราะห์ด้วย XRF ดังแสดงในตารางที่ 3 แต่อย่างไรก็ตามในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าในผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลที่ผ่านและไม่ผ่านการกระตุ้นนั้น นอกจากจะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักแล้ว ยังมีธาตุอื่นๆ เป็นองค์ประกอบอีกด้วย

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล(MB) และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (MB KOH)

ธาตุ	Percent (%)		
	MB	MB KOH Wave	MB KOH
Carbon	59.70	56.62	42.33
Hydrogen	4.56	3.38	1.63
Nitrogen	8.58	1.28	0.63

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล (MB) และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (MB KOH)

ธาตุ	Percent (%)			ธาตุ	Percent (%)		
	MB	MB KOH Wave	MB KOH		MB	MB KOH Wave	MB KOH
CHO	90.5	85.993	82.806	NiO	0.001	-	-
SiO ₂	0.334	9.238	2.947	CuO	0.002	0.001	-
K ₂ O	4.475	3.380	9.786	SO ₃	1.572	-	0.311
CaO	1.1314	1.006	1.882	ZnO	0.001	0.008	-
MnO	0.007	0.005	0.01	P ₂ O ₅	-	-	0.523
Fe ₂ O ₃	0.032	0.033	0.047	Cl ₂	1.943	0.335	1.688

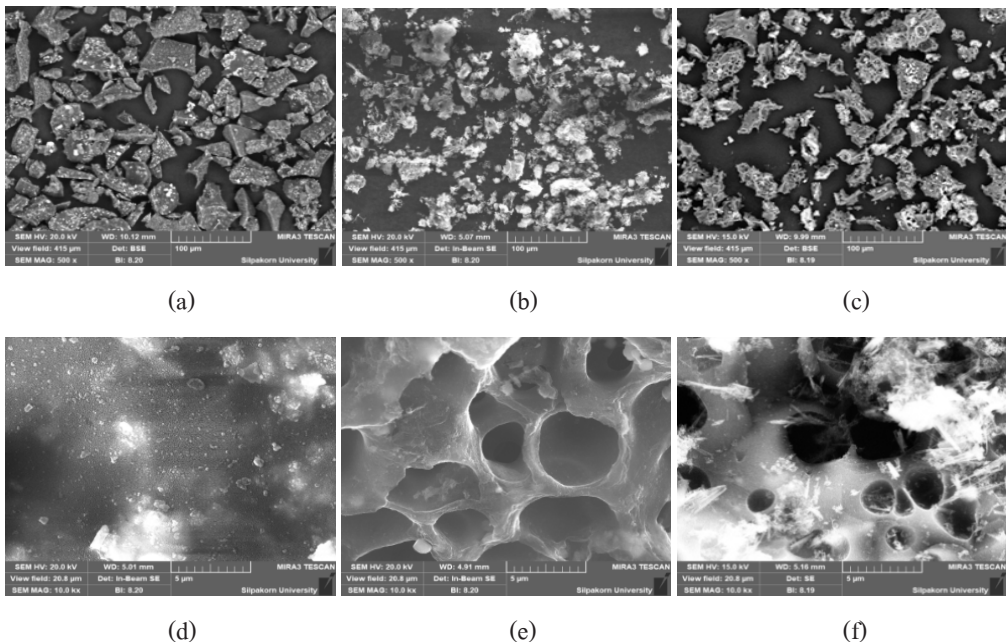
ผลจากการวิเคราะห์พื้นที่ผิว (BET Surface Area) และปริมาตรรูพรุนรวมของผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาลทุกชนิด ด้วยเครื่อง Surface Area and Porosity Analyzer (BET) ดังแสดงในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ทั้งสองสภาวะ โดยพบว่าการใช้ KOH ส่งผลให้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น เมื่อนำผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลมากระตุ้นด้วย KOH จะส่งผลให้อิออนของโพแทสเซียมไอออนจะแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของผงคาร์บอนและเมื่อให้ความร้อนจะส่งผลให้พื้นที่ผิวสูงขึ้น นอกจากนั้นการสลายตัวของ KOH เกิดเป็นโพแทสเซียมออกไซด์ (K₂O) โดยสามารถถูกรีดิวซ์ด้วยคาร์บอนกลายเป็นโลหะโพแทสเซียมได้ที่อุณหภูมิสูงโพแทสเซียมดังกล่าวจะแทรกเข้าไปในชั้นของอะตอมคาร์บอนทำให้เกิดรูพรุนได้มากขึ้น

การใช้พลังงานจากไมโครเวฟในการกระตุ้นนั้นส่งผลให้พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้พลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า เนื่องจากการใช้พลังงานไมโครเวฟนั้นเป็นการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุล ส่งผลให้สารเคมีที่ใช้กระตุ้น หรือ KOH เข้าไปแทรกตัวในโครงสร้างได้มากขึ้น และเกิดการสลายตัวของโครงสร้างซึ่งหลุดออกไปในรูปสารระเหย จึงเกิดความเป็นรูพรุนมากขึ้น [7-10]

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนรวมของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลและผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟและพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า

	MB	MB KOH Wave	MB KOH
Surface Area (m ² /g)	4.91	131.90	102.52
Total Pore Volume (cm ³ /g)	0.0060	23.55	0.39

เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด หรือ Scanning Electron Microscope (SEM) ของผงคาร์บอนแสดงดังภาพที่ 1 โดยจะเห็นว่าลักษณะผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟพบว่ามีรูปทรงที่ไม่แน่นอน และมีขนาดที่เล็กอย่างเห็นได้ชัดเจน นอกจากนั้นเห็นการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เมื่อพิจารณาที่กำลังขยายเพิ่มมากขึ้นจะเห็นว่า ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ มีลักษณะกลม โดยการใช้พลังงานจากไมโครเวฟในการกระตุ้นนั้นส่งผลให้รูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่มากกว่า การพลังงานจากเตาไฟฟ้าในการกระตุ้น



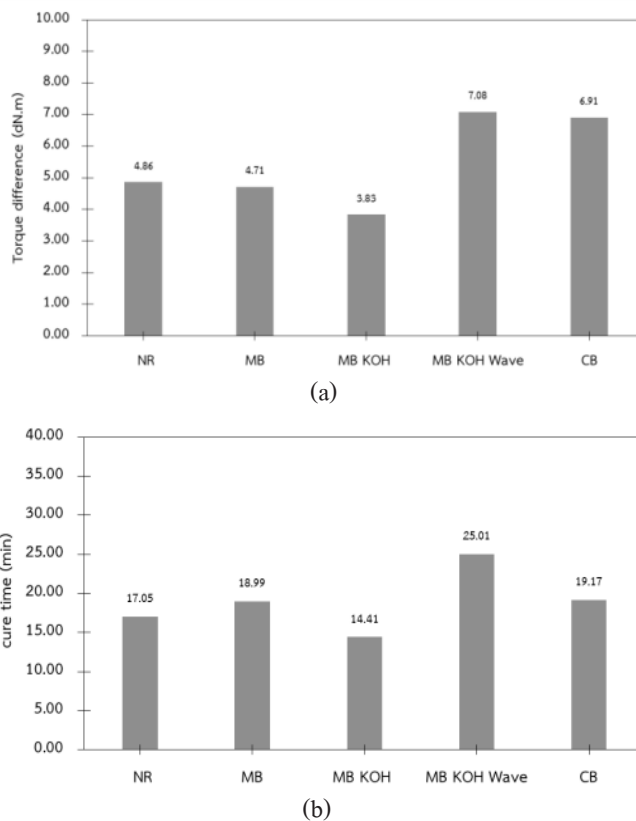
ภาพที่ 1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟ และ พลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (a) MB (b) MB KOH Wave (c) MB KOH ที่กำลังขยาย 500 เท่า และ (d) MB (e) MB KOH Wave (f) MB KOH ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

การทดสอบสมบัติของยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนที่ได้จากกากน้ำตาล (MB) และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (MB KOH)

การศึกษาลักษณะการคงรูป (Cure Characteristics)

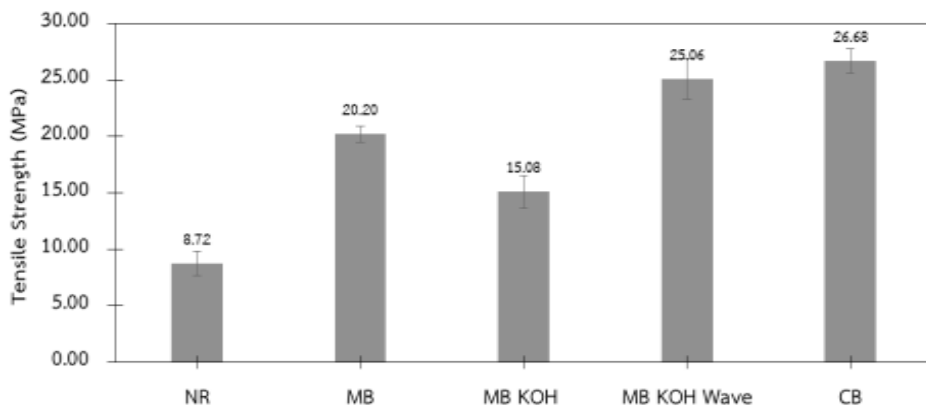
นำผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลและผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH ให้ความร้อนโดยพลังงานจากไมโครเวฟและเตาไฟฟ้าที่เตรียมได้มาใช้เป็นสารตัวเติมศึกษาสมบัติการคงรูปในยางธรรมชาติในปริมาณที่เท่ากัน คือ 10 phr โดยภาพที่ 2a แสดงผลของค่าของผลต่างแรงบิด (Torque Difference) ของยางคอมพาวด์ที่เติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล โดยค่าผลต่างแรงบิดบ่งบอกถึงค่ามอดูลัสที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารตัวเติม และการเกิดพันธะเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุล

ของยางที่เพิ่มขึ้นด้วย (Crosslink Density) ผลทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเคลื่อนที่ได้น้อยลงจึงทำให้ยางคงรูป มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติมสารตัวเติมลงไป มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเคลื่อนที่ได้น้อยลงจึงทำให้ยางคงรูปมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าของผลต่างแรงบิดของยางคอมพาวด์ที่เติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (MB) ลงในยางธรรมชาติที่สูงกว่ายางคอมพาวด์ที่ไม่ได้เติมสารตัวเติม (Unfilled) และเมื่อใช้ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่กระตุ้นด้วย KOH โดยใช้พลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) มีค่าผลต่างแรงบิดสูงกว่าการใส่ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลชนิดอื่นๆ อาจเพราะผงคาร์บอน MB KOH Wave สามารถเกิดอันตรกิริยากับยางธรรมชาติได้มากกว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลชนิดอื่น เนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็ก มีพื้นที่ผิวมากกว่าและมีรูพรุนขนาดใหญ่ที่เกิดชัดเจน ส่งผลให้มี Active Sites ในการเกิดอันตรกิริยาได้มาก [11] ภาพที่ 2b แสดงเวลาการคงรูป หรือ Cure Time (t_{c90}) ของยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลโดยพลังงานจากไมโครเวฟและเตาไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าเวลาคงรูปผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่กระตุ้นด้วย KOH โดยใช้พลังงานจากไมโครเวฟมีระยะเวลาในการคงรูปที่มากที่สุด นั่นอาจเป็นเพราะผงคาร์บอนดังกล่าวอาจมีหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้นบริเวณรูพรุนอาจดูดซับสารตัวเร่งปฏิกิริยาในการคงรูป ส่งผลให้เกิดการคงรูปที่ยากขึ้นเวลาที่ใช้จึงเพิ่มขึ้น [3]

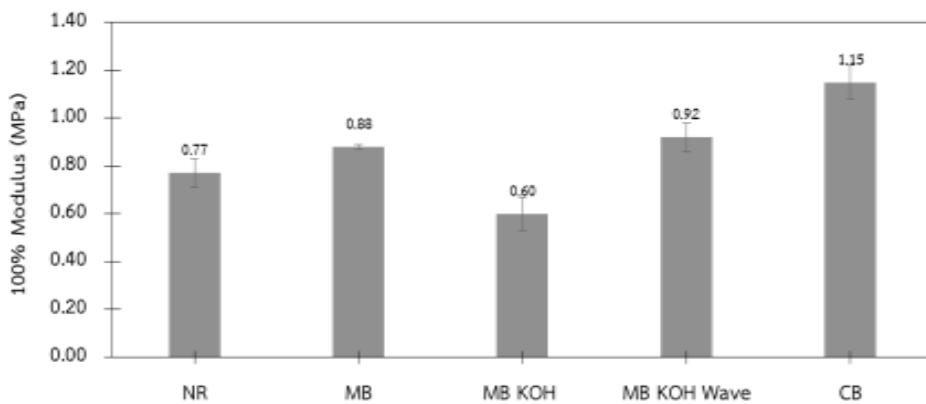


ภาพที่ 2 (a) ผลต่างแรงบิด (Torque Difference: $M_H - M_L$) และ (b) เวลาการคงรูป ของยางธรรมชาติมีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยใช้พลังงานจากไมโครเวฟ และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้าเป็นสารตัวเติม

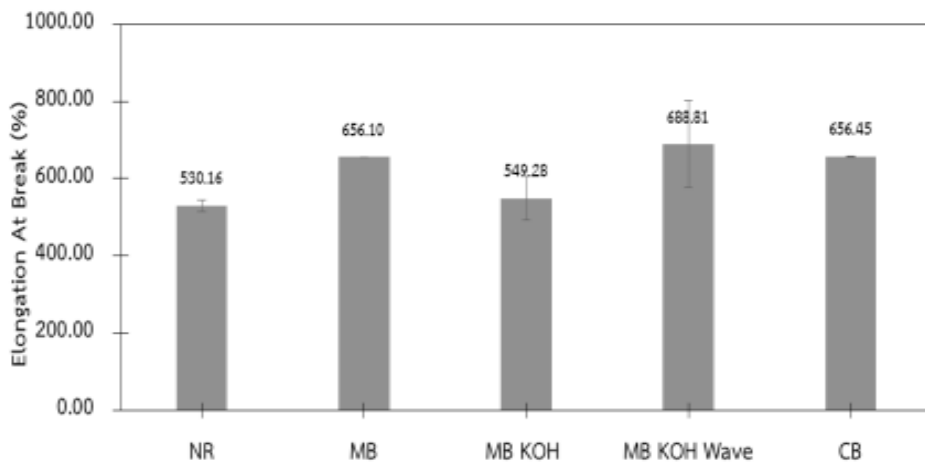
การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาดและความต้านต่อตัวทำละลาย ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟและเตาไฟฟ้าลงใน ยางธรรมชาติที่มีผลต่อความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) โมดูลัส ณ ระยะยืดตัว 100 % (Tensile Modulus at 100 % Elongation) และระยะยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation At Break) แสดงดังภาพที่ 3 จากผล การทดลองจะเห็นได้ว่าความต้านทานต่อแรงดึง และโมดูลัส ณ ระยะยืดตัว 100 % ของยางธรรมชาติที่เติมผง คาร์บอนจากกากน้ำตาลทุกชนิดในปริมาณ 10 phr มีค่าความต้านทานต่อแรงดึง และโมดูลัส ณ ระยะยืดตัว 100 % เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเติมผงคาร์บอนที่กระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) และมีค่าใกล้เคียงกับผงเขม่าดำ (CB) ในขณะที่ระยะยืดตัว ณ จุดขาดของยางธรรมชาติที่เติมผง คาร์บอนจากกากน้ำตาลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 550-690 %



(a)



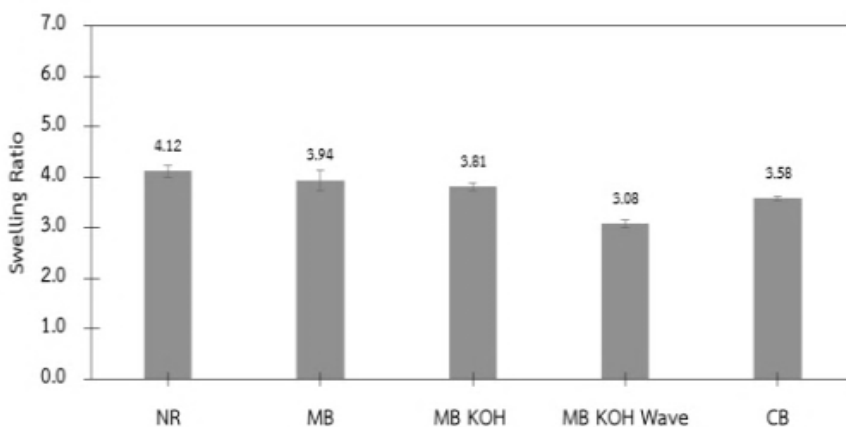
(b)



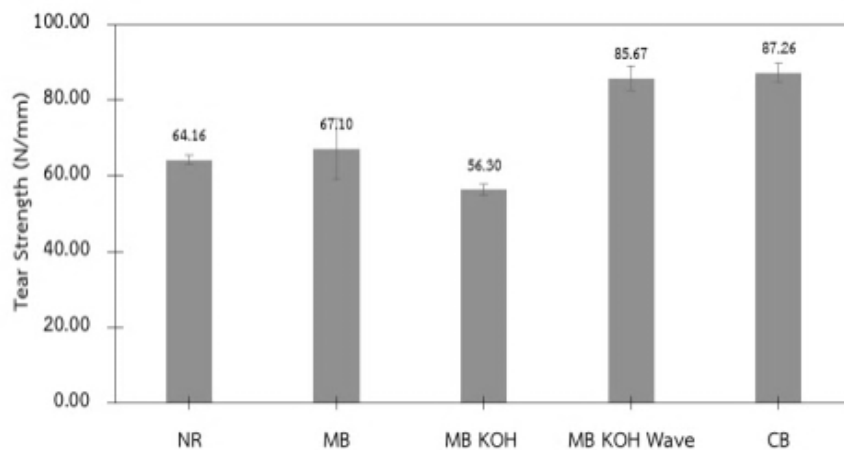
(c)

ภาพที่ 3 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (a) ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) (b) ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100 % (100 % Modulus) และ (c) ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) ของยางธรรมชาติมีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลและ ผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟ และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้าเป็นสารตัวเติม

ภาพที่ 4 แสดงการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดและการทดสอบการบวมตัวในตัวทำละลายของยางธรรมชาติที่เติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟ (MB KOH Wave) และ พลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า (MB KOH) พบว่าเมื่อเติมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่กระตุ้นโดยการให้พลังงานจากไมโครเวฟลงในยางธรรมชาติส่งผลให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดเพิ่มมากขึ้น และสามารถทนต่อการบวมตัวในตัวทำละลายได้ดี จากผลของการทดสอบการบวมตัวรายงานโดยใช้ค่า Swelling Ratio เมื่อค่า Swelling Ratio น้อยนั้นคือยางมีการบวมตัวที่น้อย หรือ สามารถทนต่อการบวมตัวในตัวทำละลายได้ดีนั่นเอง จากสมบัติของยางธรรมชาติที่เพิ่มมากขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับผงเขม่าดำ (CB) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการมีพื้นที่ผิวที่มากขึ้นของผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลและการเกิดรูพรุนที่ชัดเจนทำให้สามารถเกิดอันตรกิริยาได้มากขึ้นส่งผลให้มีสมบัติที่ดีขึ้น



(a)



(b)

ภาพที่ 4 (a) ความต้านทานต่อการฉีกขาด และ (b) ความต้านต่อตัวทำละลาย ของยางธรรมชาติมีผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล และผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยพลังงานจากไมโครเวฟ และพลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้าเป็นสารตัวเติม

สรุปผลการวิจัย

การเตรียมผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลเพื่อมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติในงานวิจัยนี้สามารถเตรียมได้จากการนำผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล (MB) มากระตุ้นด้วยสารเคมี คือ KOH ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก MB:KOH คือ 1:4 โดยให้พลังงานความร้อนด้วยไมโครเวฟ (MB KOH Wave) เปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า (MB KOH) จากการศึกษาพลังงานความร้อนที่ใช้ในการกระตุ้นพบว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาล พบว่าผงคาร์บอนจากกากน้ำตาลที่ผ่านการกระตุ้นด้วย KOH โดยให้ความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟนั้นมีพื้นที่ผิวและมีรูพรุนที่มากกว่าการใช้พลังงานความร้อนจากเตาไฟฟ้า เนื่องจากการใช้พลังงานไมโครเวฟนั้นเป็นการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุล ส่งผลให้สารเคมีที่ใช้กระตุ้น หรือ KOH เข้าไปแทรกตัวในโครงสร้างได้มากขึ้นและเกิดการสลายตัวของโครงสร้างซึ่งหลุดออกไปในรูปสารระเหย จึงเกิดความเป็นรูพรุนมากขึ้น เมื่อนำผงคาร์บอนต่างๆ ที่ได้ไปเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติพบว่ายางธรรมชาติที่มีผงคาร์บอนที่กระตุ้นด้วย KOH โดยให้ความร้อนจากพลังงานไมโครเวฟ มีสมบัติการคงรูป สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และ ความต้านทานต่อการบวมตัวในตัวทำละลายดีที่สุดใกล้เคียงกับผงเขม่าดำ (CB)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางด้านแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ X-ray Fluorescence (XRF) และ การทดสอบสมบัติการคงรูปของยางธรรมชาติ

References

- [1] Yangthong, H., Pichaiyut, S., Jumrat, S., Wisunthorn, S., & Nakason, C. (2018). Novel natural rubber composites with geopolymer filler. *Advances in Polymer Technology*, 37(7), 2651–2662.
- [2] Broderick, G.A., & Radloff, W.J. (2004). Effect of molasses supplementation on the production of lactating dairy cows fed diets based on alfalfa and corn silage. *Journal of Dairy Science*, 87, 2997–3009.
- [3] Saowapark, T., Plao-le, S., Chaichana, E., & Jaturapiree, A. (2017). Role of eco-friendly Molasses carbon powder as a filler in natural rubber vulcanizates. *Materials Today: Proceedings*, 4(5), 6450–6457.
- [4] Homkeing, S., & Saowapark, T. (2017). A study on properties of nitrile rubber filled with molasses carbon filler. *Thaksin University Journal*, 20(3), 193–200.
- [5] Foo, K. Y., & Hameed. B. (2009). Recent developments in the preparation and regeneration of activated carbons by Microwaves. *Elsevier Advances in Colloid and Interface Science*, 149, 19–27.
- [6] Qin, S.L., Zheng, T., Li, N., Wang, P., & Abulikemu, G. (2010) Modification of bamboo-based activated carbon using microwave radiation and its effects on the adsorption of methylene blue. *Applied Surface Science*, 256, 3309–3315.
- [7] Hidayu, A. R., & Muda, N. (2016). Preparation and characterization of impregnated activated carbon from palm kernel shell and coconut shell for CO₂ capture. *Procedia Engineering*, 148, 106–113.
- [8] Shaaban, A., Se, S. M., Ibrahim, I. M., & Ahsan, Q. (2015). Preparation of rubber wood sawdust based activated carbon and its use as a filler of polyurethane matrix composites for microwave absorption. *New Carbon Letter*, 30, 167–175.
- [9] Chotitham, L., Sumanatrakul, P., & Kongsune, P. (2016). Preparation, characterization and application for lead adsorption of Dendrocalamus Asper Backer bamboo activated carbon. *Thaksin University Journal*, 19(2), 43–51.
- [10] Assawasangrat, P., & Juengsamarn, T. (2016). Synthesis activated carbon from coffee residue by using microwave radiation. *Ladkrabang Engineering Journal*, 33(1), 36–41.
- [11] Das, A., Debnath, S. C., De, D., & Basu, D. K. (2004). Evaluation of physical properties and curing characteristics of silica filled ethylene–propylene–diene terpolymer in the presence of chloroprene rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, 93, 196–200.

ของเหลวไอออนิก 1-บิวทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียมโบรไมด์ ([Bmim][Br])
ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวทำละลายและตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับปฏิกิริยาสีเขียว
ของการควบแน่นเบนโซอินแบบตรงกันข้าม
**Ionic Liquid 1-Butyl-3-methylimidazolium Bromide ([Bmim][Br])
Acted as Both Solvent and Catalyst for a Green Reaction of Cross
Benzoin Condensation**

บารมี พ่วงพิศ^{1*} กนกกาญจน์ วรวุฒิ² และพจนีย์ แก้วคำแสน³

Baramee Phungpis^{1*}, Kanokkan Worawut² and Potchane Keawkumsan³

บทคัดย่อ

ปฏิกิริยาการควบแน่นเบนโซอินโดยใช้ของเหลวไอออนิก คือ 1-บิวทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียมโบรไมด์ ([Bmim][Br]) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเป็นตัวกลางในสภาวะเบสมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้ผลิตภัณฑ์ที่คาดหวัง คือ ครอส-เบนโซอิน **4a-i** ในร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ปานกลาง (60-70 %) รวมถึงเกิดผลิตภัณฑ์ในรูปแบบโฮโม-เบนโซอิน **5a-d** และ **6a** เป็นผลผลิตข้างเคียงในร้อยละของสารผลิตภัณฑ์ต่ำ (9-18 %)

คำสำคัญ: ควบแน่นเบนโซอินแบบตรงกันข้าม 1-บิวทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียมโบรไมด์ ของเหลวไอออนิก เบนโซอิน

Abstract

Cross benzoin condensation using room temperature ionic liquids, namely 1-butyl-3-methylimidazolium bromide ([Bmim][Br]), acted as catalyzed and a solvent under NaOH base condition to afford desired cross-benzoin products **4a-i** in satisfactory yields (60-70%). Homo-benzoin condensation **5a-d** and **6a** also were occurred as side reactions in 9-18% yields.

¹อ.ดร., สาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 47160

²อ., สาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 47160

³อ., สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 47160

¹Lecturer, Dr., Fishery Program, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan, Sakonkakhon Campus, Sakonkakhon, 47160, Thailand

²Lecturer, Fishery Program, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan, Sakonkakhon Campus, Sakonkakhon, 47160, Thailand

³Lecturer, Food Science and Technology Program, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan, Sakonkakhon Campus, Sakonkakhon, 47160, Thailand

*Corresponding author: e-mail address: barameephungpis@yahoo.com Tel.: 082-1563035

(Received: November 25, 2020; Revised: March 9, 2021; Accepted: March 17, 2021)

Keywords: Cross Benzoin Condensation, 1-Butyl-3-methylimidazolium Bromide, Ionic Liquids, Benzoin

Introduction

Reactions catalyzed by *N*-heterocyclic carbenes (NHCs) were known long before the first isolation and characterization of a stabilized carbene [1]. Thiamine, or vitamin B1, shown as its chloride salt, has been known as a catalyst for the benzoin reaction for over 50 years and was the first known NHC organocatalyst. The mode of action for thiamine in the benzoin reaction was elucidated by Breslow in 1958 that the thiazol-2-ylidene, presented after deprotonation of the precursor thiazolium salt, was the active catalyst [1]. The postulated catalytic cycle analogous to the previously known cyanide-catalyzed synthesis of benzoin is shown in Figure 1 [2].

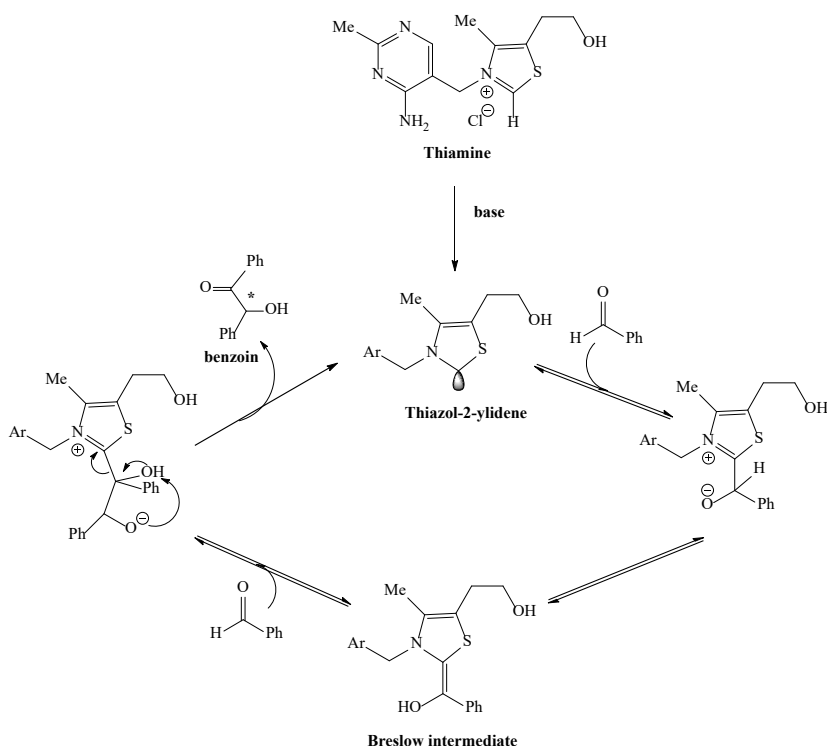


Figure 1. Catalytic cycle of the benzoin condensation proposed by R. Breslow

Cross benzoin condensation is one of the oldest C-C bond forming reactions between aldehydes and aldehydes in organic chemistry and has been developed for classical organic synthesis using cyanide ion including thiazolium and imidazolium catalyst as show in Figure 2.

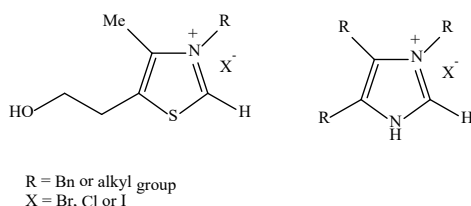
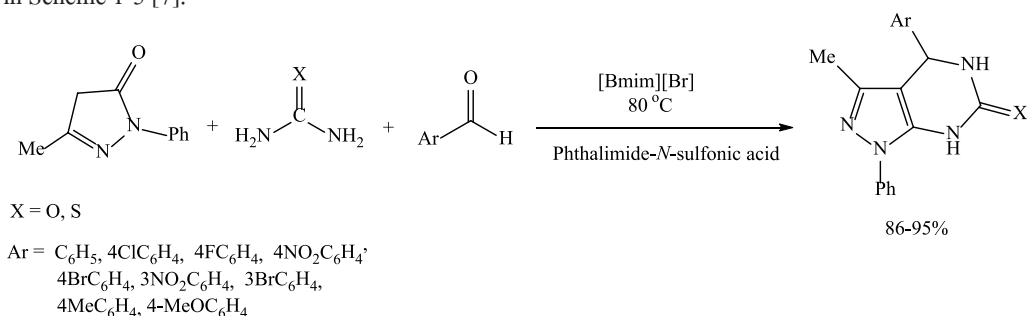
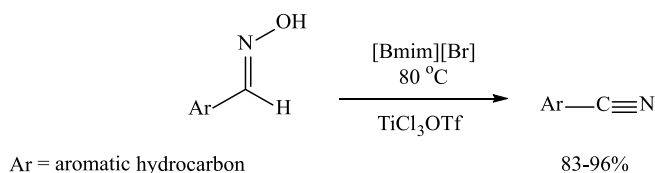


Figure 2. Structure of catalyzed thiazolium and imidazolium salts for the cross benzoin condensation

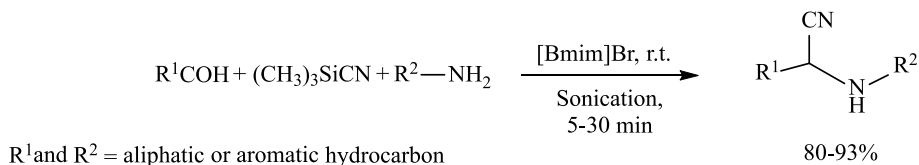
Recently, room temperature ionic liquids [RTILs], namely 1-butyl-3-methylimidazolium bromide [Bmim][Br] has attracted growing attention because of their unique features such as nonvolatility, thermal stability and variability with respect to the choice of organic cations, anions and side-chain attached to the organic cation. As neoteric solvents instead of conventional organic solvents. [Bmim][Br] has been used in many organic reactions to synthesis various important compounds such as 3-methyl-1,4-diphenyl-1,4,5,7-tetrahydro-pyrazolo[3,4-d]pyrimidine-6-ones/thiones [3], aryl nitrile [4], α -aminonitriles [5], of 2-methyl-4-phenylpyrano[3, 2-c] chromen-5(4*H*)-one and warfarin [6] and Stetter reaction as illustrated in Scheme 1-5 [7].



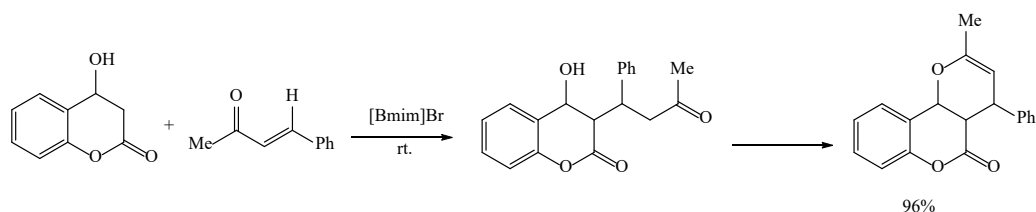
Scheme 1 Synthesis of 3-methyl-1,4-diphenyl-1,4,5,7-tetrahydro-pyrazolo[3,4-d]pyrimidine-6-ones/thiones



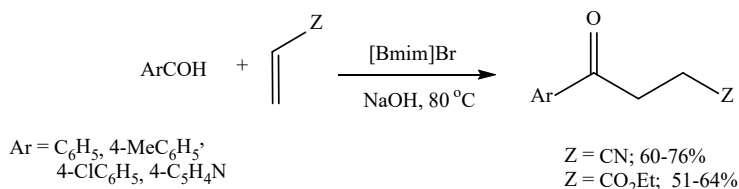
Scheme 2 Synthesis of aryl nitriles



Scheme 3 Synthesis of α -aminonitriles



Scheme 4 Synthesis of warfarin



Scheme 5 Stetter reaction [Bmim]Br as solvent and precatalyst

In our group, much attention has been paid for the synthesis and applications of 1-butyl-3-methylimidazolium bromide [Bmim]Br in organic synthesis. In our previous reports, Benzoin condensation [8] and Stetter reaction catalysed by *N,N*-dimethylbenzimidazolium iodide and NaOH were successfully performed in neutral ionic liquid [bmim][PF₆] [9] including Stetter reaction catalysed by *N,N*-dimethylbenzimidazolium iodide in [Bmim][OH] [10] and Stetter reaction catalysed and reaction medium by 1-Butyl-3-methylimidazolium bromide [7]. As part of our continuing interest in carrying out reaction in [Bmim]Br as green solvent and catalyst, our new approach reported herein involved the use of [Bmim]Br as reaction medium for Cross benzoin condensation.

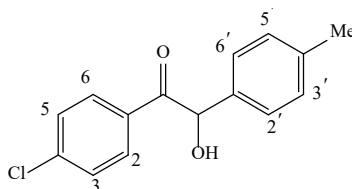
Materials and Methodology

Materials were used as received from commercial sources. Melting points were determined with a Sanyo Gallenkamp apparatus and compared with those of known samples. IR spectra were recorded on a Shimadzu spectrometer. The ¹H and ¹³C NMR spectra were recorded in CDCl₃ and obtained using a VARIAN MERCURY plus (400 MHz FT-NMR).

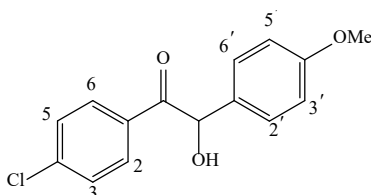
General Procedure for the Cross Benzoin Condensation

A mixture of [Bmim][Br] (**3**) (1.0 mmol) and NaOH (0.2 mmol) were added different of aromatic aldehydes in ratio 1:1 (1.0 mmol) at room temperature. The temperature was raised to 80 °C and the resulting mixture was stirred for 2.5–5.0 h. After completion of the reaction, as indicated by TLC (100% dichloromethane), the reaction mixture was extracted with EtOAc (3 × 80 mL). The combined organic extract was dried (anh. Na₂SO₄) and the solvent was removed under reduced pressure. The residue was purified using preparative thin layer chromatography on silica gel with dichloromethane as eluant. The purified cross-benzoin condensation products **4a-i**, homo-benzoin condensation products **5a-d** and **6a** with

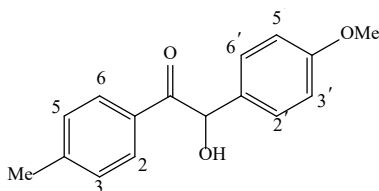
their physical data were listed below.



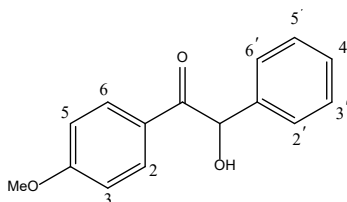
4-Chloro-4'-methylbenzoin (**4a**) was obtained as a yellow liquid; IR ν_{max} : 3440, 3024, 2985, 2943, 1668, 1609, 1584, 1451, 1238, 1165 and 1098 cm^{-1} ; ^1H NMR δ 7.85 (2H, d, $J = 8.0$ Hz, 2-*H* and 6-*H*), 7.28-7.34 (4H, m, 3-*H*, 5-*H*, 2'-*H* and 6'-*H*), 6.84 (2H, d, $J = 8.0$ Hz, 3'-*H* and 5'-*H*), 5.76 (1H, s, *CH*) and 2.43 (3H, s, CH_3); ^{13}C NMR δ 21.4, 75.9, 114.1, 126.2, 129.1, 129.5, 132.5, 135.3, 138.4, 164.6 and 196.4.



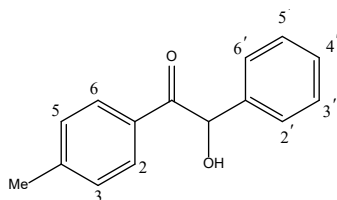
4-Chloro-4'-methoxybenzoin (**4b**) was obtained as a yellow liquid; IR ν_{max} : 3432, 3030, 2980, 2923, 1663, 1602, 1574, 1423, 1258, 1173 and 1082 cm^{-1} ; ^1H NMR δ 7.88 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 2-*H* and 6-*H*), 7.25-7.30 (4H, m, 3-*H*, 5-*H*, 2'-*H* and 6'-*H*), 6.87 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 3'-*H* and 5'-*H*), 5.86 (1H, s, *CH*) and 3.83 (3H, s, OCH_3); ^{13}C NMR δ 55.5, 74.9, 114.0, 126.0, 129.0, 129.3, 131.5, 134.4, 138.1, 164.2 and 196.8.



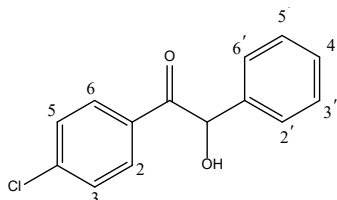
4-Methyl-4'-methoxybenzoin (**4c**) was obtained as a yellow liquid; IR ν_{max} : 3424, 3053, 2959, 2929, 1678, 1612, 1594, 1450, 1222, 1140 and 1053 cm^{-1} ; ^1H NMR δ 7.80 (2H, d, $J = 7.8$ Hz, 3-*H* and 5-*H*), 7.35 (2H, d, $J = 8.0$ Hz, 2'-*H* and 6'-*H*), 7.29 (2H, d, $J = 8.0$ Hz, 3'-*H* and 5'-*H*), 6.78 (2H, d, $J = 7.8$ Hz, $J = 8.4$ Hz, 2-*H* and 6-*H*), 5.79 (1H, s, *CH*), 3.83 (3H, s, OCH_3) and 2.4 (3H, s, CH_3); ^{13}C NMR δ 21.1, 55.2, 74.3, 114.3, 125.2, 129.1, 129.2, 133.1, 134.9, 138.1, 164.7 and 196.5.



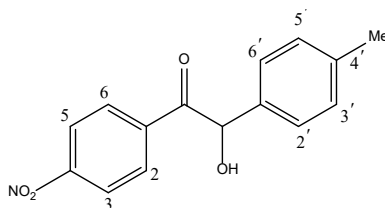
4-Methoxybenzoin (**4d**) was obtained as a yellow liquid; IR ν_{max} : 3428, 3013, 2991, 2839, 1673, 1597, 1411, 1233, 1173 and 1065 cm^{-1} ; ^1H NMR δ 7.89 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, 2-*H* and 6-*H*), 7.28-7.33 (4H, m, 2'-*H*, 3'-*H*, 4'-*H*, 5'-*H*, and 6'-*H*), 7.08 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, 3-*H* and 5-*H*), 6.24 (1H, s, *CH*) and 3.81 (3H, s, OCH_3); ^{13}C NMR δ 55.8, 85.2, 114.2, 127.6, 129.0, 129.2, 129.6, 129.8, 136.6, 158.1 and 192.8.



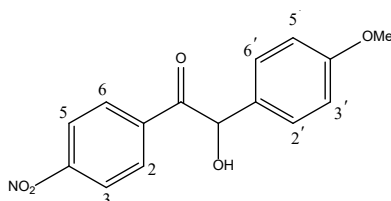
4-Methylbenzoin (**4e**) was obtained as a yellow liquid; IR ν_{max} : 3398, 3043, 2976, 2844, 1667, 1577, 1431, 1230, 1143 and 1085 cm^{-1} ; ^1H NMR δ 7.49 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 3-*H* and 5-*H*), 7.25-7.31 (4H, m, 2'-*H*, 3'-*H*, 4'-*H*, 5'-*H*, and 6'-*H*), 6.98 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 3-*H* and 5-*H*), 6.34 (1H, s, *CH*) and 2.24 (3H, s, CH_3); ^{13}C NMR δ 21.3, 87.6, 127.6, 128.7, 128.8, 129.2, 129.6, 133.6, 136.7, 146.5 and 194.2.



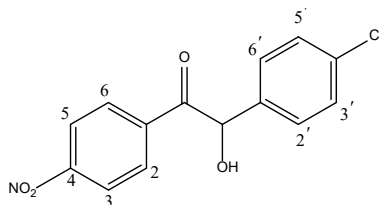
4-Chlorobenzoin (**4f**) was obtained as a yellow liquid; IR ν_{max} : 3335, 3039, 2969, 2875, 1661, 1587, 1447, 1260, 1163 and 1029 cm^{-1} ; ^1H NMR δ 8.04 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, 2-*H* and 6-*H*), 7.68 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 3-*H* and 5-*H*), 7.24-7.33 (4H, m, 2'-*H*, 3'-*H*, 4'-*H*, 5'-*H*, and 6'-*H*) and 6.37 (1H, s, *CH*); ^{13}C NMR δ 87.4, 127.6, 128.6, 129.1, 129.5, 130.1, 134.7, 136.7, 138.9 and 194.4.



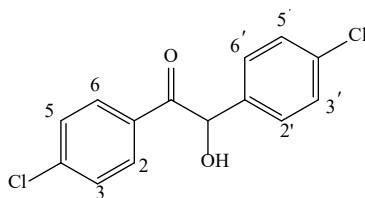
4-Nitro-4'-methylbenzoin (**4g**) was obtained as a yellow liquid; IR ν_{max} : 3415, 3070, 2957, 2842, 1663, 1577, 1461, 1257, 1163 and 1041 cm^{-1} ; ^1H NMR δ 8.54 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, 3-*H* and 5-*H*), 8.32 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 2-*H* and 6-*H*), 7.25 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 2'-*H*, and 6'-*H*), 7.11 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, 3'-*H*, and 5'-*H*), 6.39 (1H, s, *CH*) and 2.19 (3H, s, CH_3); ^{13}C NMR δ 21.3, 87.6, 123.8, 126.5, 129.4, 129.6, 133.4, 137.5, 140.9, 151.9 and 194.7.



4-Nitro-4'-methoxybenzoin (**4h**) was obtained as a yellow liquid; IR ν_{max} : 3401, 3013, 2942, 2848, 1665, 1577, 1452, 1261, 1173 and 1030 cm^{-1} ; ^1H NMR δ 8.57 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 3-*H* and 5-*H*), 8.36 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 2-*H* and 6-*H*), 7.29 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 2'-*H*, and 6'-*H*), 7.08 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, 3'-*H*, and 5'-*H*), 6.38 (1H, s, *CH*) and 3.89 (3H, s, OCH_3); ^{13}C NMR δ 55.8, 87.9, 114.6, 123.7, 129.0, 129.8, 132.0, 141.7, 153.1, 159.2 and 195.1.

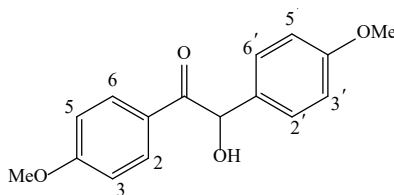


4-Nitro-4'-chlorobenzoin (**4i**) was obtained as a yellow liquid; IR ν_{max} : 3379, 3045, 2980, 2848, 1668, 1568, 1435, 1273, 1144 and 1052 cm^{-1} ; ^1H NMR δ 8.52 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 3-*H* and 5-*H*), 8.34 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 2-*H* and 6-*H*), 7.31 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, 2'-*H*, and 6'-*H*), 7.12 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, 3'-*H*, and 5'-*H*) and 6.36 (1H, s, *CH*); ^{13}C NMR δ 87.6, 124.2, 129.1, 129.7, 129.9, 133.4, 134.0, 142.7, 152.9 and 194.9

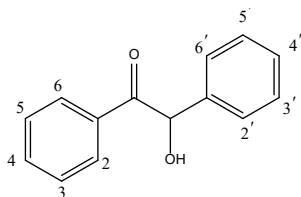


4,4'-Dichlorobenzoin (**5a**) was obtained as a white crystals; mp 87–88 °C (lit. 88 °C) [11]; IR (KBr) ν_{max} : 3425, 3091, 3072, 1689, 1674, 1590, 1488, 1401, 1252, 1093, 979 and 812 cm^{-1} ; ^1H NMR (CDCl_3 , 400 MHz) δ 7.75 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, 2-*H* and 6-*H*), 7.32 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, 3-*H* and 5-*H*), 7.24

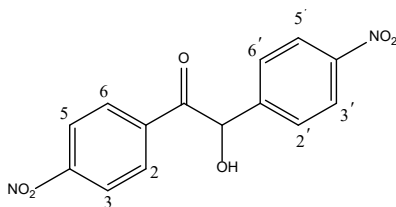
(2H, d, $J=8.4$ Hz, 3'-H and 5'-H), 7.18 (2H, d, $J=8.4$ Hz, 2'-H and 6'-H) and 5.81 (1H, s, CH); ^{13}C NMR (CDCl_3) δ 75.5, 129.0, 129.2, 129.4, 130.4, 131.5, 134.8, 137.1, 140.7 and 197.4.



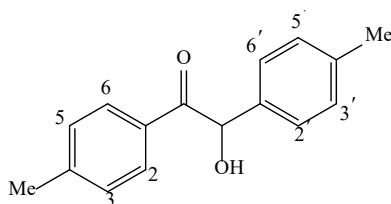
4,4'-Dimethoxybenzoin (**5b**) was obtained as white crystals; mp 104-106 °C (lit. 105-108 °C) [12]; IR (KBr) ν_{max} : 3464, 3075, 2919, 2842, 1666, 1598, 1465, 1314, 1267, 1170, 1022 and 828 cm^{-1} ; ^1H NMR δ 7.89 (2H, d, $J=8.8$ Hz, 2-H and 6-H), 7.24 (2H, d, $J=8.8$ Hz, 3-H and 5-H), 6.85 (2H, d, $J=6.0$ Hz, 2'-H and 6'-H), 6.83 (2H, d, $J=6.0$ Hz, 3'-H and 5'-H), 5.85 (1H, s, CH), 3.81 (3H, s, OCH_3) and 3.74 (3H, s, OCH_3); ^{13}C NMR δ 55.2, 55.5, 75.2, 113.9, 114.5, 126.3, 129.0, 131.6, 131.8, 159.6, 164.0 and 197.3.



Benzoin (**5c**) was obtained as white crystals; mp 134-136 °C (lit. 134-136 °C) [13]; IR (KBr) ν_{max} : 3418, 2935, 1678, 1597, 1450, 1341, 1207 and 757 cm^{-1} ; ^1H NMR (CDCl_3 , 400 MHz) δ : 7.92 (2H, d, $J=8.0$ Hz, 2-H and 6-H), 7.53 (1H, t, $J=7.6$ Hz, 4-H), 7.39 (2H, t, $J=7.6$ Hz, 3-H and 5-H), 7.25-7.32 (5H, m, 2'-H, 3'-H, 4'-H, 5'-H, and 6'-H), 5.96 (1H, s, CH), 4.52 (1H, br s, OH); ^{13}C NMR (CDCl_3) δ : 76.1, 127.7, 128.6, 128.7, 129.2, 133.6, 133.9, 139.1, 198.8.



4,4'-Dinitrobenzoin (**5d**) was obtained as a yellow liquid; IR ν_{max} : 3444, 3055, 2987, 2856, 1667, 1571, 1433, 1263, 1155 and 1019 cm^{-1} ; ^1H NMR δ 8.54 (2H, d, $J=8.8$ Hz, 3-H and 5-H), 8.35 (2H, d, $J=8.8$ Hz, 2-H and 6-H), 8.29 (2H, d, $J=8.8$ Hz, 3'-H, and 5'-H), 7.48 (2H, d, $J=8.4$ Hz, 2'-H, and 6'-H) and 6.34 (1H, s, CH); ^{13}C NMR δ 87.4, 122.9, 124.1, 129.2, 131.1, 141.9, 142.0, 147.1, 152.4 and 194.8

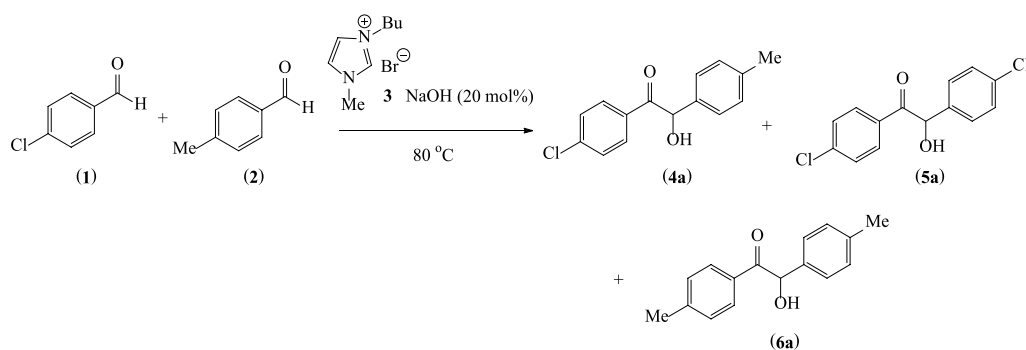


4,4'-Dimethylbenzoin (**6a**) was obtained as a white crystals; mp 73–75 °C (lit. 75–76 °C) [12]; IR (KBr) ν_{max} : 3458, 3030, 2921, 2865, 1673, 1607, 1512, 1409, 1387, 1277, 1178, 1077 and 722 cm^{-1} ; ^1H NMR δ 7.81 (2H, d, J = 8.4 Hz, 2-*H* and 6-*H*), 7.21 (2H, d, J = 8.4 Hz, 3-*H* and 5-*H*), 7.18 (2H, d, J = 8.0 Hz, 2'-*H* and 6'-*H*), 7.11 (2H, d, J = 8.0 Hz, 3'-*H* and 5'-*H*), 5.89 (1H, s, CH), 2.35 (3H, s, CH_3) and 2.28 (3H, s, CH_3); ^{13}C NMR (CDCl_3) δ 21.1, 21.7, 75.8, 127.6, 129.3, 129.4, 129.8, 131.0, 136.4, 138.3, 144.9 and 198.6.

Results and discussion

In this study, we conducted cross benzoin condensation employed 1 equivalent of aromatic aldehydes as substrate. According to previous work, which report by Shekouhy's group [5]. We began to briefly examine an effective amount of [Bmim][Br] (**3**) for the nucleophilic coupling of 4-chlorobenzaldehyde (**1**) with 4-methylbenzaldehyde (**2**) in the presence of 20 mol% of NaOH at 80 °C. Employment of 100 mol% of 1-butyl-3-methylimidazolium bromide (**3**) revealed the best result affording the cross-benzoin **4a** as a major product in satisfactory 68% yield; Homo-benzoin **5a** and **6a** were obtained in 14 and 11% yield as illustrated in Table 1, entry 3.

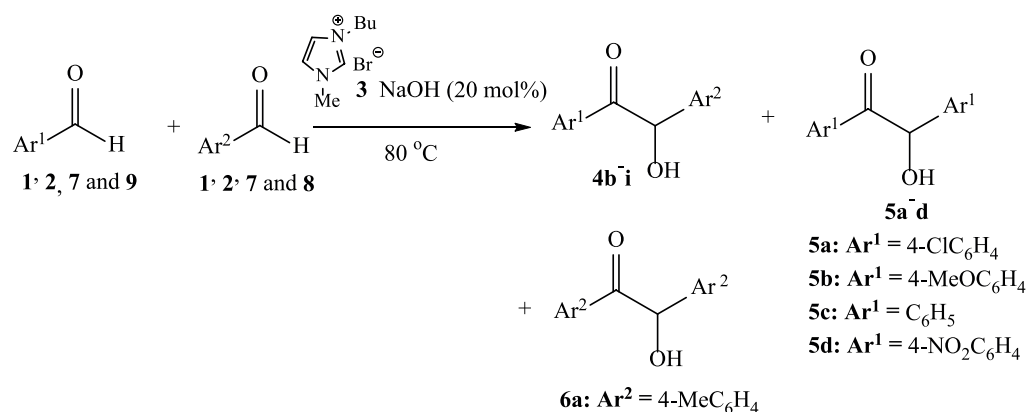
Table 1 Optimization condition for cross benzoin condensation between 4-chlorobenzaldehyde (**1**) and 4-methylbenzaldehyde (**2**) catalyzed by [Bmim][Br] (**3**) in the presence of NaOH at 80 °C



Entry	Molar Ratio of Aldehydes (1) and (2)	Mol% of [Bmim][Br] (3)	%Yield (4a)	%Yield (5a)	%Yield (6a)
1	1:1	20	45	11	7
2	1:1	50	56	13	9
3	1:1	100	68	14	11

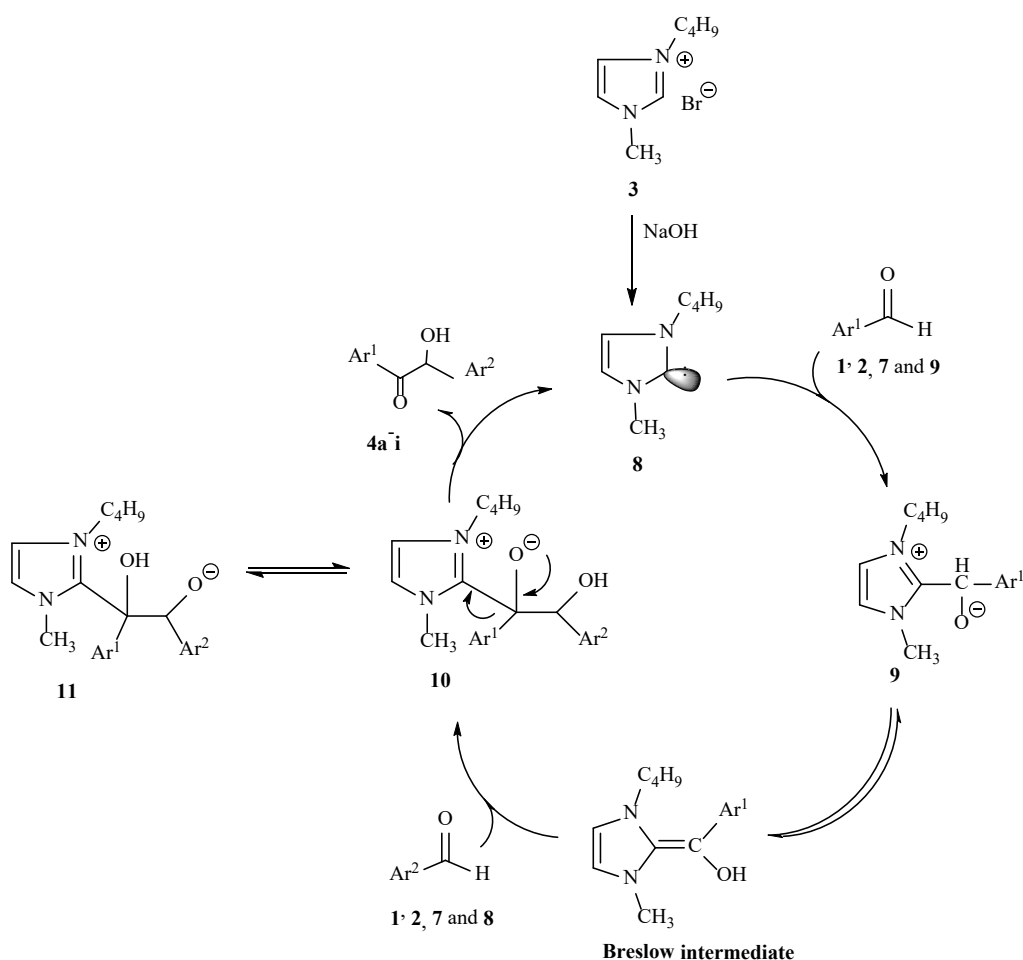
Cross benzoin condensation between aromatic aldehydes **1**, **2**, **8** and **9** with aromatic aldehydes **1**, **2**, **7** and **8** under optimized conditions performed by [Bmim][Br] (**3**) as both solvent and precatalyst in the presence of NaOH (20 mol%) to give satisfactorily yields of the cross-benzoin products **4b-i**. The isolated products of homo-aroin **5a-d** and **6a** were occurred as minor side products as illustrated in Table 2.

Table 2 Cross benzoin condensation between aromatic aldehydes **1a**, **2a** and aromatic aldehydes **7a**



Entry	Ar^1	Ar^2	%Yield		
			Cross-benzoin	Homo-benzoin	
1	4-ClC ₆ H ₄ (1)	4-MeOC ₆ H ₄ (7)	70 (4b)	15 (5a)	12 (5b)
2	4-MeC ₆ H ₄ (2)	4-MeOC ₆ H ₄ (7)	60 (4c)	14 (6a)	9 (5b)
3	4-MeOC ₆ H ₄ (7)	C ₆ H ₅ (8)	62 (4d)	11 (5b)	21 (5c)
4	4-MeC ₆ H ₄ (7)	C ₆ H ₅ (8)	64 (4e)	9 (6a)	17 (5c)
5	4-ClC ₆ H ₄ (1)	C ₆ H ₅ (8)	67 (4f)	18 (5a)	10 (5c)
6	4-NO ₂ C ₆ H ₄ (9)	4-MeC ₆ H ₄ (2)	61 (4g)	9 (5d)	14 (6a)
7	4-NO ₂ C ₆ H ₄ (9)	4-MeOC ₆ H ₄ (7)	60 (4h)	7 (5d)	13 (5b)
8	4-NO ₂ C ₆ H ₄ (9)	4-ClC ₆ H ₄ (1)	63 (4i)	11 (5d)	18 (5a)

Catalytic activity of 1-butyl-3-methylimidazolium bromide [Bmim][Br] (**3**) result from deprotonation of the 2-H proton of imidazolium cation to give *N*-heterocyclic carbene **8** (NHC). Aldehyde nucleophilic **1**, **2**, **7** and **9** attract (1 equivalent) produced the adduct **9**, which proton transfer leads to Breslow intermediate. Subsequent 1 equivalent of nucleophilic addition to generated the adduct **10** which can reverse to adduct **11**. Transformation of adduct **10** by eliminate catalyst to give cross benzoin products **4a-i** and regenerated the NHC catalyst **8** as shown in scheme 6.



Scheme 6 Catalytic cycle for [Bmim][Br] (**3**) catalyzed the cross benzoin condensation

Conclusion

Cross benzoin condensation using by different of aromatic aldehydes catalyzed by 100 mol% of 1-butyl-3-methylimidazolium bromide (**3**) was described. [Bmim][Br] acted as both solvent and catalyst for green synthesis of cross benzoin **4a-i** in the presence of NaOH (20%) as a additive base. Although homo-benzoin products **5a-d** and **6a** occurred competitively. Finally, for the cross-benzoin condensation is a simple synthetic method for affording cross-benzoin products **4a-i**, homo-benzoin products **5a-d** and **6a**, which are important intermediates in synthesis of various natural and medicinal compounds.

Acknowledgements

The authors are grateful to the Thailand Science Research and Innovation Fiscal year 2020 and Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan Sakonnakhon Campus, Thailand for financial support.

References

- [1] Breslow, R. (1958). On the mechanism of Thiamine action. IV.1 evidence from studies on model systems. *Journal of the American Chemical Society*, 80, 3719–3726. DOI: 10.1021/ja01547a064.
- [2] Lapworth, A. (1903). Reaction involving the addition of Hydrogen Cyanide to carbon compounds. *Journal of the Chemical Society Transactions*, 83, 995–1005. DOI: 10.1039/CT9038300995.
- [3] Sudhan, S. P. N., Nasir Ahmed, R., Kiyani, H., & Sheik Mansoor, S. (2018). Ionic liquid 1-Butyl-3-methylimidazolium Bromide: A green reaction media for the efficient synthesis of 3-Methyl-1,4-diphenyl-1,4,5,7-tetrahydro-pyrazolo[3,4-d]pyrimidine-6-ones/thiones using Phthalimide *N*-sulfonic acid as catalyst. *Journal of Saudi Chemical Society*, 22, 269–278. DOI: 10.1016/j.jscs.2016.07.001.
- [4] Noei, J., Khosropour, A. R., & Mirjafari, A. (2012). The combination of 1-Butyl-3-methylimidazolium Bromide and Trichloro (trifluoromethanesulfonato) titanium (IV) as a new protocol for the synthesis of Aryl Nitriles. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 33(6), 2102–2104. DOI: 10.5012/bkcs.2012.33.6.2102.
- [5] Shekouhy, M., Kordnezhadian, R., & Khalafi-Nezhad, A. (2018). Ultrasound-promoted catalyst-free synthesis of α -Aminonitriles in 1-Butyl-3-methylimidazolium Bromide ([Bmim]Br) as a reusable neutral ionic liquid. *Organic Chemistry Research*, 4(1), 1–10. DOI: 10.22036/ORG.CHEM.2017.94388.1099.
- [6] Monfared, A., & Esmaeeli Z. (2016). One-pot condensation for synthesis 2-Methyl-4-phenylpyrano [3, 2- c] chromen-5(4H)-one and synthesis of Warfarin by ionic liquid catalysis. *Iranian Journal Pharmaceutical Research*, 15(3), 343–367. DOI: 10.22037/IJPR.2016.1885.
- [7] Phungpis, B., & Hahnvajanawong, V. (2020). 1-Butyl-3-methylimidazolium Bromide as a solvent and precatalyst for stetter reaction. *Asian Journal of Chemistry*, 32(8), 2028–2032. DOI: 10.14233/ajchem.2020.22711.
- [8] Hahnvajanawong, V., Waengdongbung, W., Piekkaew, S., Phungpis, B., & Theramongkol, P. (2013). Benzoin condensation of Aromatic Aldehydes catalysed by *N,N*-Dimethylbenzimidazolium Iodide and NaOH under green conditions. *Science Asia*, 39, 50–55. DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.2013.39.050.
- [9] Hahnvajanawong, V., Phungpis, B., & Theramongkol, P. (2009). Stetter reaction catalysed by *N,N*-Dimethyl benzimidazolium Iodide and Sodium hydroxide in ionic liquid. *ACGC Chemical Research Communications*, 23, 26–30.
- [10] Phungpis, B., Hahnvajanawong, V., & Theramongkol, P. (2014). Benzoin condensation and stetter reaction catalysed by *N,N*-Dimethylbenzimidazolium Iodide in [Bmim] [OH]. *Oriental Journal of Chemistry*, 30, 933–939. DOI: 10.13005/ojc/300303.

- [11] Breslow, R. (1958). On the mechanism of Thiamine action. IV. Evidence from studies on model systems. *Journal of the American Chemical Society*, 80, 3719–3726. DOI: 10.1021/ja01547 a064.
- [12] Buckingham, J., Cadogan, D. G., Raphael, R. A., Rees, C. W., & an International Advisory Board. (1982). *Dictionary of organic compounds*. 5th Edition. New York: Chapman and Hall.
- [13] Stetter, H., & Kuhlmann, H. (1991). Catalyzed nucleophilic addition of Aldehydes to electrophilic double bonds. *Organic Reactions*, 40, 407–496. DOI: 10.1002/0471264180.or040.04.

การปรับปรุงความเร็วการคูณเมทริกซ์ด้วยเมทริกซ์โดยใช้เทคนิค
การปูกระเบื้องแบบ 2 มิติ และชุดคำสั่ง AVX512
สำหรับสถาปัตยกรรมมัลติคอร์

An Improvement of the Matrix-Matrix Multiplication Speed
using 2D-Tiling and AVX512 Intrinsics
for Multi-Core Architectures

หนู-ชิน อุ¹ และ ปญญยศ ไชยกาฬ^{2*}

Nwe Zin Oo¹ and Panyayot Chaikan^{2*}

บทคัดย่อ

การคูณเมทริกซ์ด้วยเมทริกซ์เป็นการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลอย่างมากในงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม เมื่อเมทริกซ์มีขนาดใหญ่จะเสียเวลาในการประมวลผลมาก ส่งผลให้ซอฟต์แวร์ทำงานช้าซึ่งเป็นสิ่งที่รับไม่ได้ในโปรแกรมประยุกต์แบบเวลาจริง บทความนี้นำเสนอเทคนิคการปูกระเบื้องแบบ 2 มิติ การคลายการวนซ้ำ การเสริมเต็มข้อมูล ตัวชี้แนะโอเพนเอ็มพี และชุดคำสั่งเอวีเอ็กซ์ 512 มาใช้เพื่อเพิ่มความเร็วในการคูณเมทริกซ์บนสถาปัตยกรรมการประมวลผลแบบหลายแกน ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอเมื่อทดสอบบนเครื่อง Core i9-7900X พบว่ามีความเร็วมากกว่า 2 เท่าเมื่อเทียบกับการดำเนินการที่ใช้คลังโปรแกรมโอเพนบลาสและโอเกนสำหรับการประมวลผลเมทริกซ์แบบทศนิยมจุดลอยตัว ทั้งชนิดความเที่ยงเท่าเดียวและความเที่ยงสองเท่า นอกจากนี้ยังได้มีการนำเสนอสมการสำหรับใช้ปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้สามารถนำขั้นตอนวิธีที่นำเสนอไปประมวลผลบนเมทริกซ์ขนาดใด ๆ บนตัวประมวลผลอื่น ที่มีรูปแบบของหน่วยความจำแคชแตกต่างกัน

คำสำคัญ เอวีเอ็กซ์ 512 โอเพนเอ็มพี การปูกระเบื้องแบบสองมิติ การประมวลผลหลายแกน โอเกน โอเพนบลาส

Abstract

Matrix-matrix multiplication is a time-consuming operation in scientific and engineering applications. When the matrix size is large, it will take a lot of computation time, resulting in slow software

¹ นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

² ผศ. ดร., สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

¹ Ph.D. Student, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand

² Asst. Prof., Dr., Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: panyayot.c@psu.ac.th. Tel.: 074-287350

(Received: September 22, 2020; Revised: April 26, 2021; Accepted: April 27, 2021)

which is unacceptable in real-time applications. In this paper, 2D-tiling, loop unrolling, data padding, OpenMP directives, and AVX512 intrinsics are utilized to increase the speed of matrix-matrix multiplication on multi-core architectures. Our algorithm, tested on a Core i9-7900X machine, is more than two times faster than the operations offered by the OpenBLAS and Eigen libraries for single and double precision floating-point matrices. We also propose an equation for parameter tuning which allows our algorithm to be adapted to process any size of matrix on CPUs with different cache organizations.

Keywords: AVX512, OpenMP, 2D-tiling, Multicore Processing, Eigen, OpenBLAS

Introduction

Matrix-matrix multiplication is a time-consuming operation which can be addressed in several ways. The hardware can be improved by switching to a faster CPU or utilizing an FPGA [1], or software modification can be utilized alone, or some combinations of the two. For example, the utilization of a GPU and its APIs can speed up processing [2] or distributing it among various machines [3]. In this paper, we choose the second approach (software alone) because it is cheaper than the others, which is an important consideration in our environment.

When a standard multiplication algorithm is utilized, as shown in Figure 1(a), the performance can be very poor because most compilers cannot automatically parallelize this code efficiently among the cores. Programmers avoid this problem by calling ready-made functions provided in standard arithmetic libraries such as the Eigen [4] and OpenBLAS [5]. The latest versions of these libraries support AVX512 instructions [4], [5], but their performance decreases when the matrix size is large due to memory bottlenecks. This is illustrated in Figure 2 which shows a block diagram for a modern x86 processor. Each core includes a dedicated small L1 data cache which allows it to run as quickly as possible. The L2 cache is also dedicated to each core but is larger, and the L3 cache is shared between all the cores. Cache latency increases with level, for example, the latencies of the L1, L2, and L3 caches for the Intel Skylake microarchitecture are 4, 12, and 42 clock cycles respectively [6]. The performance of multiplication utilizing these libraries is highest when all the matrices are smaller than the L1 cache size, but crucially when the total space required for both the sources and destination matrices is larger than the L3 cache, the performance is considerably reduced due to memory bottlenecks.

In this paper, we utilize loop tiling to solve this problem, and employ AVX512 intrinsics to further augment the speed of single and double precision floating-point multiplication. We have focused on the AVX512 because tenth generation Intel processors support it, especially low price CPUs such as the Core i3-1000G [7]. Loop unrolling is also utilized to increase the instruction level parallelism in each processing core.

Background and Related Work

Figure 1(a) shows the standard sequential algorithm for matrix-matrix multiplication, defined as $C = C + A \times B$. It requires $2n^3$ arithmetic operations when A , B , and C are square matrices of size $n \times n$. Each result in C , defined as $C[i, j]$, can be expressed as shown in Equation (1).

$$C[i, j] = C[i, j] + \sum_{k=0}^{n-1} A[i, k] * B[k, j] \quad (1)$$

Figure 1(b) is a modification of the code in Figure 1(a). The loop counter k is divided by the constant T_1 , resulting in a division of matrices A and B into the tiles of size $1 \times T_1$ and $T_1 \times 1$ respectively. Each result of the modified code, defined as $C[i, j]$, can be expressed as shown in Equation (2).

$$C[i, j] = C[i, j] + \sum_{k=0}^{n/T_1-1} \sum_{K=kT_1}^{kT_1+T_1-1} (A[i, K] * B[K, j]) \quad (2)$$

Equation (2) gives the same result as of Equation (1). The speed of the code in Figures 1(a) and 1(b) are not significantly different. However, if the k -loop is moved from its position and then be placed between the j -loop and the i -loop, as shown in Figure 1(c), then the performance will be improved. The B tile is reused for each increasing of the i variable, when it fits inside the cache, the main memory access for the B tile is considerably reduced.

The performance is further improved by applying 2D-tiling, as shown in Figure 1(d). The loop counter i is divided by the constant T_2 , resulting in a division of matrices A , B , and C into the tiles of size $T_2 \times T_1$, $T_1 \times 1$, and $T_2 \times 1$ respectively. When the C tile is loaded, its adjacent data is also read into the cache due to the cache mechanism. Let L be the cache line size, total memory of $T_2 \times L$ is read and then be placed into the cache for the C tile of size $T_2 \times 1$. This adjacent data of the C tile is reused for each increasing of the k variable, thereby increasing performance.

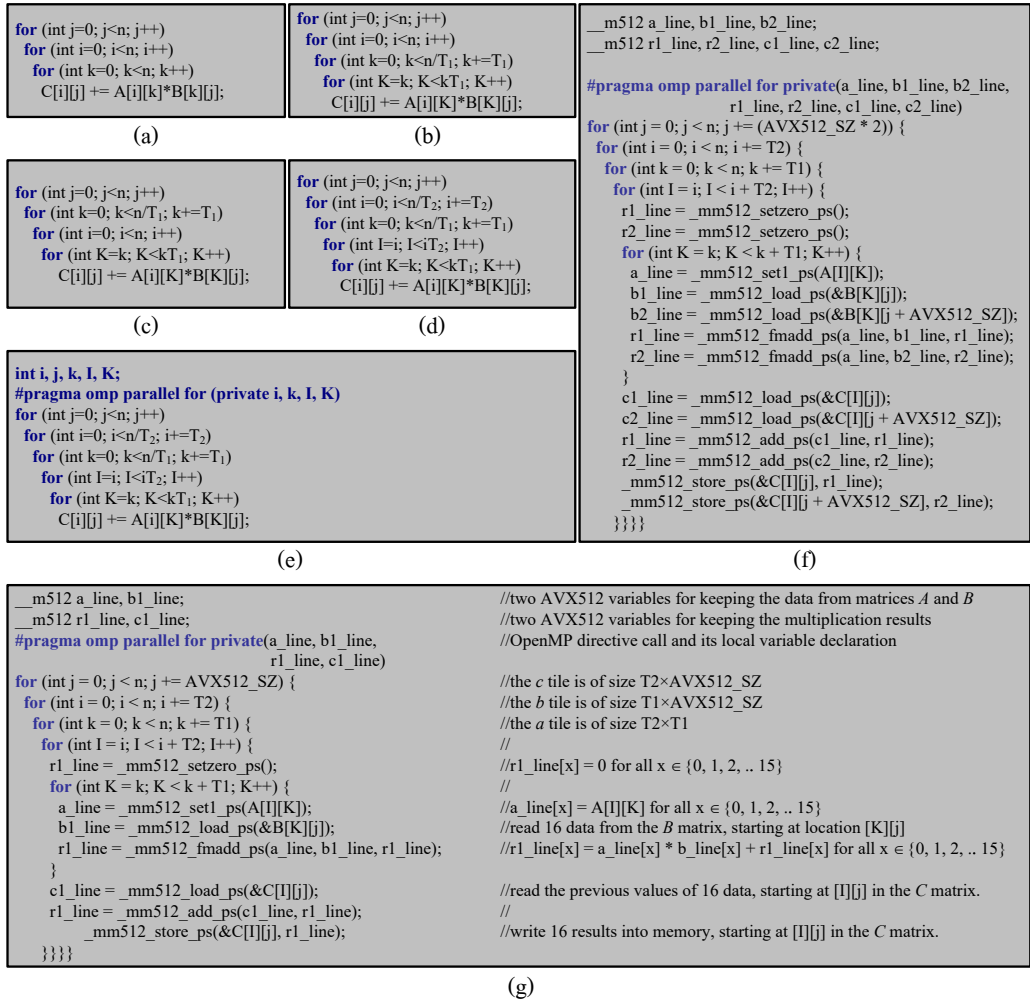


Figure 1. (a) Standard sequential matrix-matrix multiplication. (b) Our 1D-tiling matrix-matrix multiplication. (c) Another implementation of 1D-tiling multiplication. (d) Our 2D-tiling matrix-matrix multiplication. (e) Parallel matrix-matrix multiplication utilizing 2D-tiling. (f) Our proposed 2D matrix-matrix multiplication for single precision floating-point matrices with an unrolling factor of two. (g) Our proposed 2D matrix-matrix multiplication with no unrolling for the same type of matrices.

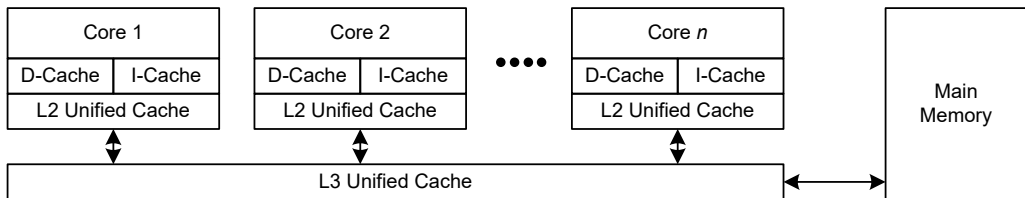
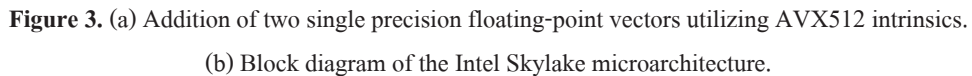


Figure 2. Typical organization of x86 multi-core CPUs.



The SIMD instruction set has long been an integral part of most platforms, since it allows multiple data elements to be processed by a single machine instruction, resulting in higher performance. For example, SIMD appears as an extension in the NEON [8] and AltiVec [9] architectures for the ARM and PowerPC respectively. For the x86-64, the AVX instruction set extension adds sixteen 256-bit registers supporting both integer and floating-point operations. Its successor, AVX512, doubles the register size to 512 bits, allowing eight double precision or sixteen single precision floating-point values to be processed simultaneously. Figure 3(a) shows the utilization of the `_mm512_add_pd` AVX intrinsic function, which simultaneously adds eight elements from x and y , producing eight results for the z variable.

Along with SIMD, loop unrolling is an important programming technique for further increasing instruction level parallelism. When each core contains multiple ALUs, as shown in Figure 3(b), then parallel execution of instructions among those ALUs becomes simpler if complex statements are unrolled so they are more independent of each other.

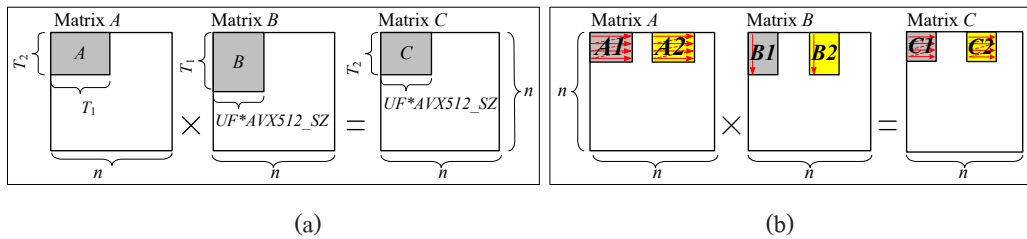


Figure 4. (a) Matrix tiles with unrolling in our 2D-tiling multiplication, and (b) an example when there are two threads.

2D-Tiling for Parallel Matrix-matrix Multiplication Utilizing AVX512

Our 2D-tiling method for parallel matrix-matrix multiplication utilizing AVX512 intrinsics is more complex than conventional multiplication or matrix-vector multiplication [14, 15]. Figure 1(g) shows our proposed algorithm.

Instead of obtaining a single result during the last iteration of the k -loop, as in Figure 1(a), the source matrices are divided into tiles, and partial results are obtained by applying multiply-accumulate operations to those tiles.

In order to obtain each partial product in the C tile, the data elements from the A tile are loaded one element at a time, and then broadcast to the AVX512 variable, a_line . It is multiplied to the data obtained from the B tile, and the result accumulated in the $r1_line$ variable. This process is repeated T_1 times, and the partial product in $r1_line$ is added to each element of the C tile.

To further optimize performance, an unrolling technique increases the degree of instruction level parallelism (ILP).

For an unrolling factor UF , the data from the B tile is loaded UF times in each iteration of the K -loop. This means that the B tile will be of size $T_1 \times (UF \times AVX512_SZ)$, as illustrated in Figure 4(a). The $AVX512_SZ$ parameter is the amount of data that can be processed simultaneously by an AVX512 instruction, which is 16 and 8 values for single and double precision floating-point data respectively.

Figure 4(b) shows the unrolled version of the code with a UF value of two. Since the B tile will be reused in the next iteration of the I -loop, performance will be increased if we can store all the data in the cache because then the CPU will not have to read it from slow main memory. For the best performance, an appropriate B tile size must be determined.

To effectively distribute the workload in a multi-core architecture, an OpenMP directive is employed, as shown in Figures 1(f) and 1(g): “#pragma omp parallel for” parallelizes the j -loop among the cores.

Figure 4(b) illustrates how the algorithm works when there are two threads. Thread number 1 multiplies the $A1$ tile to $B1$ and stores the result in $C1$, while thread number 2 does the same with $A2$, $B2$, and $C2$.

The code in Figures 1(f) and 1(g) only supports single precision floating-point matrices. For double precision floating-point, `_mm512_<operation>_ps` must be changed to `_mm512_<operation>_pd`, and the `AVX512_SZ` parameter must be changed from 16 to 8.

Zero Padding

The L1 cache in modern x86 architectures is dedicated to each core, as shown in Figure 2. Since its latency is small compared to the higher levels cache, keeping the data in L1 as much as possible will improve the overall performance due to the reduction of memory bottlenecks.

Even though our loop tiling splits the source matrices into smaller tiles to fit inside the L1 cache, when the matrix dimension is a multiple of 2 Kbytes, the number of tile data lines stored in the cache is reduced due to the cache mapping. For example, consider when the cache size is 32 KBytes, and its mapping is an 8-way set associative with 64 bytes per cache line. When the single precision matrix size 4096×4096, all the B tile lines will be mapped to the same cache set, number 0. This means that the number of tile data lines simultaneously kept inside the L1 cache is reduced to only W lines, which is actually the number of cache way. To reduce this effect, zero padding is required.

Let W , L and C_{SZ} be a number of cache way, an L1 cache line size, and a cache size. The data size, D_{SZ} , is set to 4 or 8 bytes for single or double precision floating-point data respectively. For a matrix of size $n \times n$, an optimum zero padding size (in bytes), P_{SZ} , for our multiplication algorithm can be calculated using:

$$P_{SZ} = \arg \max_{P_{SZ}} \sum_{k=0}^{T_i-1} \left\{ \left(\left(n + \frac{P_{SZ}}{D_{SZ}} \right) * D_{SZ} * k \right) \% \left(\frac{C_{SZ}}{W} \right) \right\} / L. \quad (3)$$

Although AVX512 allows unaligned memory addresses to be loaded, performance is better if they are aligned to multiples of 32 bytes, which indicates that the P_{SZ} value should be a multiple of 32. To apply zero padding, five steps are required, as shown in Figure 5.

- Step 1:** Three new matrices of size $n \times (n + P_{SZ})$ are allocated, producing A_{padded} , B_{padded} , and C_{padded} .
- Step 2:** The data in the matrices A , B , and C are copied to A_{padded} , B_{padded} , and C_{padded} .
- Step 3:** The AVX512 algorithm is applied to the padded matrices, with the multiplication result being stored in C_{padded} .
- Step 4:** C_{padded} is copied back to C matrix.
- Step 5:** The A_{padded} , B_{padded} , and C_{padded} matrices are deallocated.

Figure 5. Five steps for applying zero padding to our 2D-tiling matrix-matrix multiplication.

Experimental Results

Performance was measured on a Core i9-7900X (Skylake microarchitecture) with ten processing cores, using 64-bit Microsoft Windows 10 with hyper-threading turned on, and the Microsoft Visual Studio 2019 C++ compiler. Compiler optimization was set to /O2 with parallel code generation turned on.

We determined the best parameters for our algorithm by testing three UF values (4, 8, 16), combined with four T_2 values (32, 64, 128, 256), and four T_1 values (32, 64, 128), for a total of 36 combinations. The optimal combination of $\{UF, T_2, T_1\}$ was found to be $\{8, 128, 64\}$, and all subsequent tests used these settings.

We examined how zero padding affected multiplication efficiency by repeats our tests with and without zero padding. With padding, P_{sz} for each matrix dimension was calculated using Equation (3), and matrices of size $n \times n$ with ten different n values were examined, starting from $n = 1024$. The size was incremented in steps of 1024 until $n = 10240$. The results are shown in Figure 6.

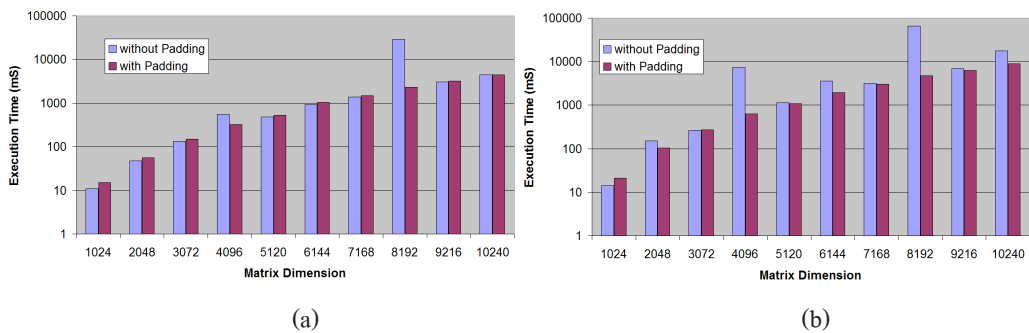


Figure 6. (a) Performance of our single precision AVX512 multiplication with and without zero padding.
(b) Performance of our double precision AVX512 multiplication with and without zero padding.

For single precision multiplication, the padded version outperformed the unpadded version only when the matrix dimension were 4096 and 8192. For double precision, the padded version was faster than the unpadded version almost all dimensions, except for 1024 and 3072.

We also compared the performance of our algorithm with the open-source libraries OpenBLAS (version 0.3.10) and Eigen (version 3.3.7). For those tests, zero padding was only applied to single precision multiplication when the matrix dimension were 4096 and 8192. For double precision, zero padding was only utilized when the matrix dimensions were not 1024 or 3072. For single precision matrix multiplication (see Figure 7(a)), our algorithm is on average 2.12 and 2.13 times faster than OpenBLAS and Eigen. For double precision matrix multiplication (see Figure 7(b)), our algorithm is on average 2.06 and 2.17 times faster than OpenBLAS and Eigen.

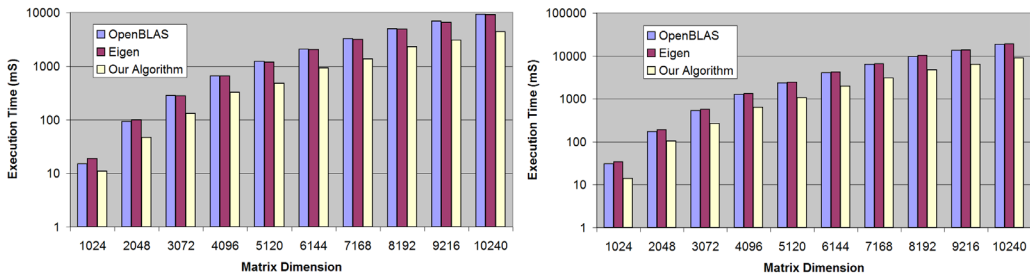


Figure 7. (a) Performance comparison of our single precision AVX512 multiplication versus OpenBLAS and Eigen. (b) Performance comparison of our double precision AVX512 multiplication versus OpenBLAS and Eigen.

Discussions

The results in Figure 6 raise two questions. Why does the padded version of our multiplication outperform unpadded data when the matrix dimension is 4092 or 8192? Secondly, why does the padded version of our double precision multiplication outperform unpadded data for almost every matrix dimension?

To answer these questions, the cache mechanism of the CPU must be analyzed. The L1 cache of the Core i9-7900X is separated into data and instruction caches, which occupy 32 KB per core, and use an eight-way set-associative mapping. A W -way set-associative mapping means that each cache set consists of W blocks. The chip's L2 cache offers 1024 KB per core, and uses a 16-way set-associative mapping. The unified L3 cache is of size 14080 KB, is shared between 10 processing cores, and uses 11-way set-associative mapping. The line size of these three cache levels is 64 bytes.

When zero padding was applied to matrices of size 4092 and 8192, the first 32 lines of the B tile were mapped to different sets of the L1 cache, and the next 32 lines were mapped to the same pattern. For example, line numbers $\{0, 32\}$, $\{1, 33\}$, $\{2, 34\}$, and $\{3, 35\}$ were mapped to cache set numbers 0, 1, 2, and 3 respectively. Since the L1 cache of the Core i9-7900X consists of eight ways, all 64 lines of the B tiles could be put into L1 simultaneously, allowing all of them to be reused in the next iteration of the I -loop. Retaining all the B tile data in the L1 cache meant that padding improved performance when the matrix size was 4096 or 8192 for both single and double precision floating-point matrices.

When the single precision matrix dimension was not 4092 or 8192, all of the unpadded data lines in the B tile could be mapped to different set numbers of the L2 cache. For example, when the matrix size was 3072, the data line numbers $\{0, 16\}$, $\{1, 17\}$, $\{2, 18\}$, ..., $\{15, 31\}$ could be mapped to the L2 cache set numbers 0, 1, 2, ..., 15. Therefore, all of the B tile of the unpadded version could be placed in the L2 cache simultaneously, and be reused in the next iteration of the I -loop. Although the padding mechanism moved all of this B tile data up to the L1 cache which was faster, it was offset by the additional cost of memory allocation and deallocation for the A_{padded} , B_{padded} , and C_{padded} matrices, combined with the cost of data copying between the original A , B , C and the padded matrices.

For double precision matrices with sizes other than 4096 or 8192, the unpadded data in the B tile could be mapped to some L2 cache sets, but at a lower level than for single precision data. For example, when the matrix size was 3072, the data line numbers $\{0, 8\}$, $\{1, 9\}$, $\{2, 10\}$, ..., $\{7, 15\}$ could be mapped to the L2 cache set numbers 0, 1, 2, ..., 7. Since unpadded multiplication needed to read the B tile from the L3 cache more often, padded multiplication (which moves B up to L1) could run slightly faster even though it incurred an additional cost, as explained above.

Conclusions

We have proposed an effective implementation for matrix-matrix multiplication using 2-D tiling and AVX512 intrinsics. For single precision matrix multiplication, our algorithm is on average 2.12 and 2.13 times faster than OpenBLAS and Eigen. For double precision matrix multiplication, our algorithm is on average 2.06 and 2.17 times faster than OpenBLAS and Eigen respectively. There are three main reasons for our algorithm's higher performance: 1) the utilization of SIMD instructions, unrolling, and OpenMP directives, increases instruction level parallelism and efficiently distributes the workload among the AVX512 engines in the processing cores; 2) dividing data into tiles allows each one to be small enough to be kept in the CPU's cache, which greatly reduces memory bottlenecks; and 3) zero padding allows tiles to be reused in upper cache levels which is faster, and reduces the wait state of the CPU's AVX512 engines.

We also present an equation for calculating the optimum padding size, which permits our algorithm to be applied to different sizes of matrix on CPUs with different cache mappings.

Acknowledgements

This work was supported in part by the Higher Education Research Promotion and Thailand's Education Hub for Southern Region of ASEAN Countries Project Office of the Higher Education Commission under Grant TEH-AC 048/2016. The authors are grateful to Dr. Andrew Davison for his kind help in polishing the language of this paper.

References

- [1] Ahmad, A., & Pasha, M. A. (2020). Optimizing hardware accelerated general matrix-matrix multiplication for CNNs on FPGAs, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 67(11), 2692–2696.
- [2] Choi, Y. R., Nikolskiy, V., & Stegailov, V. (2020). Matrix-matrix multiplication using multiple GPUS connected by Nvlink. In *The 2020 Global Smart Industry Conference: GloSIC 2020*, 354-361. November 17-19, 2020, Chelyabinsk, Russian Federation: IEEE.
- [3] Rasouli, M., Kirby, R. M., & Sundar, H. (2021). A compressed, divide and conquer algorithm for scalable distributed matrix-matrix multiplication. In *The 2021 International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region, HPC Asia 2021*, 110-119. January 20-22, 2021. Virtual Event, Republic of Korea. New York: Association for Computing Machinery.

- [4] Jacob, B., & Guennebaud, G. (2020). *Eigen is a C++ template library for linear algebra: matrices, vectors, numerical solvers, and related algorithms* (Online). Retrieved Jan 15, 2020, from https://eigen.tuxfamily.org/index.php?title=Main_Page.
- [5] Kroeker, M. (2020). *Open BLAS 0.3.10 version* (Online). Retrieved June 24, 2020, from <https://github.com/xianyi/OpenBLAS/releases/tag/v0.3.10>.
- [6] WikiChip. (2020). *Intel Skylake (client) Microarchitectures* (Online). Retrieved March 18, 2021, from [https://en.wikichip.org/wiki/intel/microarchitectures/skylake_\(client\)](https://en.wikichip.org/wiki/intel/microarchitectures/skylake_(client)).
- [7] Intel Corporation. (2020). *Intel Core i3-1000G1 processor* (Online). Retrieved September 2, 2020, from <https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/197122/intel-core-i3-1000g1-processor-4m-cache-up-to-3-20-ghz.html>.
- [8] ARM Limited. (2020). *Neon Intrinsics: Getting started on Android user guide* (Online). Retrieved March 20, 2021, from <https://developer.arm.com/solutions/os/android/developer-guides/neonintrinsics/getting-started-on-android>.
- [9] IBM Corporation. (2018). *Power ISA: Version 2.07B* (Online). Retrieved March 23, 2021, from <https://ibm.ent.box.com/s/jd5w15gz301s5b5dt375mshpq9c3lh4u>.
- [10] Guimaraes, A., Aranha, D. F., & Borin, E. (2019). Optimized implementation of QC-MDPC codebased cryptography, *Concurrency and Computation-Practice & Experience*, 31(18), e5089. DOI: 10.1002/cpe.5089.
- [11] Ginting, B. M., & Mundani, R. P. (2019). Comparison of shallow water solvers: Applications for Dam-Break and Tsunami cases with reordering strategy for efficient vectorization on modern hardware, *Water*, 11(4), 639. DOI: 10.3390/w11040639.
- [12] Ahmad, N., & Bakar, R. (2019). An analysis for the performance of reservoir simulations on a multicore CPU. In *The International Field Exploration and Development Conference: IFEDC 2019*. 3514–3530. October 16–18, 2019, Chengdu, China: Springer.
- [13] Lasch, R., Oukid, I., Dementiev, R., May, N., Demirsoy, S. S., & Sattler, K. U. (2020). Faster & strong: string dictionary compression using sampling and fast vectorized decompression, *The VLDB Journal*, 29, 1263–1285. DOI: 10.1007/s00778-020-00620-x.
- [14] Hassana, S. A., Hemeida, A. M., & Mahmoud, M. M. M. (2016). Performance evaluation of matrixmatrix multiplications using Intel's Advanced Vector Extensions (AVX). *Microprocessors and Microsystems*, 47(SI), 369–374, DOI:10.1016/j.micpro.2016.10.002.
- [15] Hassan, S. A., Mahmoud, M. M. M., Hemeida, A. M., & Saber, M. A. (2018). Effective implementation of matrix-vector multiplication on Intel's AVX multicore processor. *Computer Languages Systems & Structures*, 51, 158–175.

การหาตัวคูณค่าคงที่เพื่อช่วยเป็นเครื่องมือในการประมาณราคา งานผนังของบ้านพักอาศัย 2 ชั้น

Develop an Estimating Factor to Help Estimating Masonry Wall Area of Two Stories Houses

สุนันท์ มนต์แก้ว^{1*} และชูเกียรติ ชูสกุล²

Sunun Monkaew^{1*} and Chookiat Choosukul²

บทคัดย่อ

ขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลานานและยุ่งยากซับซ้อนมากในการประมาณราคางานก่อสร้าง คือ ขั้นตอนการหาปริมาณวัสดุ การหาพื้นที่ผนังสำหรับงานก่อสร้างเป็นกระบวนการที่ยุ่งยาก หากมีเครื่องมืออย่างง่ายที่สามารถช่วยหาปริมาณวัสดุในงานผนังก็จะช่วยลดเวลาทำงานของนักประมาณราคาลง ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาความสัมพันธ์เชิงสัดส่วนของพื้นที่ผนังอิฐก่อต่อพื้นที่อาคาร โดยเลือกแบบบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ขนาดเล็ก จำนวน 59 แบบเป็นกรณีศึกษา ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ วิเคราะห์หาตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม พบว่า พื้นที่อาคารเป็นตัวแปรอิสระที่มีผลต่อพื้นที่ผนังอิฐก่อ จากการนำแบบจำลองที่ได้มาทดสอบ พบว่า พื้นที่ผนังอิฐก่อ น้อยกว่าการประมาณราคาแบบละเอียด 0.50 – 6.78 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นแบบจำลองที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สามารถนำไปใช้ในการประมาณราคาและตรวจสอบความถูกต้องของการหาพื้นที่ผนังของอาคารโครงการใหม่ได้ในเวลาอันรวดเร็ว

คำสำคัญ: สัดส่วน ก่อสร้าง ผนัง

Abstract

The most complicated and time-consuming step in estimating construction costs in determining the amount of material is a calculation of all areas for masonry works involving tedious processes. A simple estimating tool could assist estimators in estimating the amount of materials with reducing working time. The purpose of this research is to study the proportion of the masonry wall quantity to the building's area and develop an estimating factor to estimate the masonry wall area of two-stories houses in 59 drawing

¹ ผศ., สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10300

² ผศ., สาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช 80210

¹ Asst. Prof., Division of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamanagala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 10300, Thailand

² Asst. Prof., Division of Civil Engineering, College of Industrial Technology and Management, Rajamanagala University of Technology Srivijaya, Nokhon Si Thammarat, 80210, Thailand

* Corresponding author: E-mail address: sunun.m@rmutp.ac.th

(Received: December 8, 2020; Revised: April 23, 2021; Accepted: April 26, 2021)

construction for a case study. Using multiple linear regression analysis for independent variables that influence the dependent variable showed that the building area was an independent variable affecting the masonry wall area. The modeling to test, found that the masonry wall area less than the detailed estimation as 0.50 - 6.78 %. Therefore, the model derived from this research, therefore can apply for cost estimation and validation of the masonry wall area calculation of new project quickly.

Keywords: Proportion, Construction, Masonry Wall

Introduction

Cost estimation in construction is the first important step taken before the construction process begins [1]. Acquisition of a quick and accurate construction cost will have a positive effect on the decision making of the project [2]. Also, it is an indicator of the success of the contractor or project owner whereas an incorrect estimation will not reflect the actual cost only but may cause a deficit also [3]. The reasons for cost estimation include setting a construction budget [1], considering the incentives and feasibilities of the investment, controlling the cost and determining the average cost of the construction project [4] and considering the increasing or decreasing of work during construction for the project manager, etc. [5].

Estimating construction cost can be divided into 2 main categories. First, a rough or initial cost estimation is generally used to estimate the initial cost or the amount of money the owner has to prepare [6]. It is the first step taken in budget planning for a new project, which is performed quickly, however, it lacks accuracy. Second, a detailed estimation is carried out after having a detailed design and list of specifications. Usually, this is carried out by the contractor and is used for project bidding, or by the owner who uses it for estimating the average cost, or for controlling the progressive drawdown to the contractor [6]. Detailed estimation requires a construction expert and takes a long time to find the amount of work [1], all depending on the conditions of time, experience and expertise of the cost estimator [7].

The study of proportional relationships is another popular approach to cost estimation. From past research, it was found that there are various studies such as the proportion of concrete to reinforcement [9]. The Study of the proportion of increased reinforcement in earthquake-resistant buildings [10-15]. The Study of construction cost per building area [16]. The study of the proportion in road construction [17]. The study of the formwork per total area, reinforcing bar per concrete, formwork per concrete, steel roofing per formwork, steel roofing per roofing [8,18]. The study a functional area-based cost estimation model of reinforced concrete residential buildings [19]. From past research studies, it was found that there was still a lack of study on the relation between wall area to the building area. Buildings where finding the cost of the wall area in estimation is another long and complicated activity. The accuracy of the quantity of building materials is also important in estimating the construction cost. So, if there is a simple tool and convenient to use, to reduce the working time. The researcher is interested to study the relationship between the masonry wall area to the building area and develop a tool to quantify wall materials. By choosing a small two - storey house as a case study.

Materials, Equipment and Research Method

Purpose of Cost Estimates

The construction cost estimates are involved in the process at the beginning and during the building process of the project. The objectives of the cost estimates differ in each stage as follows: (1) Project budgeting is generally carried out by the project designer to determine the average cost for construction costs, which to be used as a basis for evaluating the cost of bidders during the process of submitting a tender. (2) Determining the construction progress payments is proceeded by the supervisor or representative of the project owner, based on the plan. In order to determine the installments and for the convenience of disbursement of the work, in some cases, the actual workload must be calculated and identified. This requires on-site surveys before the cost evaluates to be paid in that period. (3) Changing order and extra work payment has occurred in cases where the owner requires the contractor to work in addition to the design and specifications of the contract. An estimate of the additional workload from the variations made to the design, with the unit price used to calculate may be inferred from the cost shown in the quotation or a new unit cost depending on the conditions specified in the contract. (4) Feasibility study does not need to have to be in a detailed format. This may be done by calculating the cost per unit of living space or of use, which is acceptable in analyzing the feasibility of the project before proceeding to the next step. (5) Bill of quantities for competitive bidding is prepared by contractors, and the estimates must be done carefully and prudently, otherwise, it may cause loss [20].

Guidelines for Measuring of a Masonry Wall

An approach to measuring the amount of masonry wall work is to calculate the length of the masonry wall from the edge of an inner side of one of the columns to the inner side of the other column. In case of extending walls, the wall length is measured from the edge of the outer side of the column to the outer edge of the wall, and is multiplied by the height of the wall from the ground floor to the top floor or the top beam. The amount of masonry wall is measured in square meters, [21] as in Figure 1.



Figure 1 An approach to measuring the amount of masonry wall

The Engineering Institute of Thailand has suggested a way to measure the amount of masonry wall without any deduction by reasons of the following items: (1) openings with an area not exceeding 0.10 square meter, (2) joints, (3) other objects passing through or buried in a masonry wall or block wall that have an area of the cross-section no more than 0.01 m², (4) lintels, tie column and (5) cornice and other surface features with an area of the cross-section no greater than 0.05 m² [21].

Related Statistics

1) Arithmetic Mean is the value obtained by taking the sum of all the data divided by the total amount of data, which is another way of describing each data set collected using only one number or using one value which represents the whole set of data in order to easily summarize the important details of that data set. The value can help understand the characteristics of the whole set of data [22].

2) Standard deviation is the square root of the mean square of the deviation between each data value and the data mean, or the square root of the squared deviation. The standard deviation shows how much each data is different from one another. If the standard deviation is very large, it means that each data is very different, whereas if the standard deviation is small and closer to zero, then each data is very similar [23].

3) Linear regression analysis is a statistical method used for investigating the relationship between independent variable and dependent variable is a study of linear relationship. If it investigates the relationship between one independent variable and one dependent variable, it is referred to the simple linear regression analysis. If there are more than one variables and one dependent variable, it is referred to multiple linear regression analysis. The objectives of the regression analysis are to study the relationship between independent variable and dependent variable, for example study of relationship between age and cholesterol

level and to study the relationship between factors and independent variable co-predicted the dependent variable, for example study of factors affecting blood sugar of patient with diabetes [24].

Research of Scope and Data Analysis

Construction drawings are not much published documents. Most are collected by the project owner agency. Therefore, it is a limitation in finding construction designs to be used in conducting research. The researcher chose the construction drawing that was published online on the website. That can be easily searched by choosing a 2-storey house. The Baan Yim project is for people of phase 3 of the Public works department, of which there are 59 construction drawing was used for this research. then the construction drawings were used to analyze to find the area of the building (2) the masonry wall area, (3) the opening space, and (4) the height of the masonry from details as follows:

- 1) Building area is the total area of the building. The unit is square meters.
- 2) The area of masonry wall is the width of the masonry. Multiply by the height of the masonry. Minus the opening space details as per item 2.2 and figure 1, are in square meters.
- 3) The opening space is the total area of the doors and windows. The unit is square meters.
- 4) The height of the masonry wall is the height measured from the floor level of the masonry wall to the beam or the upper floor of the wall as shown in Figure 1, in square meters.

This research determines the independent variables that influence the masonry wall area of 3 variables: building area, open space, and the height of the masonry wall. Then analyzed for independent variables affecting the dependent variables, by selecting the method of multiple linear regression analysis as shown in Table 1.

Table 1 Conceptual for multiple linear regression analysis

Independent Variable	Dependent Variable
X_1 = Building Areas	Y = Masonry Wall Areas
X_2 = Open Space	
X_3 = Height of Masonry Wall	

The Results of the Study

From the construction of a small residential building, 2 stories house, The Baan Yim Project for people at phase 3 of Public Works Department, 59 construction drawing, details are as follows: reinforced concrete structure system, tiled floor, masonry wall area, smooth plaster surface and painted. From an analyzed in data details, it was found that building area minimum below of 102.00 m², maximum height of 260 m², Average of building area 157.58 m², minimum masonry wall area 157.58 m², maximum 413.40 m², Average masonry area is 252.83 m², The minimum opening space is 43.33 m², maximum 120.00 m², the average opening space is 65.01 m², Masonry wall area height: minimum 2.70 m., maximum 3.20 m., average masonry wall area height 2.82 m., as shown in Table 2.

Table 2 Basic information of 59 construction drawing

Description	Min	Max	$\bar{X}$	SD
Building Areas (m ²)	102.00	260.00	157.23	37.52
Masonry Wall Areas (m ²)	157.58	413.40	252.83	56.27
Open Space (m ²)	43.33	120.00	65.01	15.86
Height of Masonry Wall (m)	2.70	3.20	2.82	0.09

Data from Table 2 is analyzed to determine the independent variable affecting the dependent variable using stepwise linear regression analysis for determining relevant variables because of this method is a method that is able to select the relevant variable efficiently, especially, in case of there is many independent variables. data is analyzed using SPSS program as shown in Table 3 – 7.

Table 3 Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Building Areas		Stepwise (Criteria: Probability-of-F-to-enter ≤ .050, Probability-of-F-to-remove ≥ .100)

a. Dependent Variable: Masonry Wall Areas

Table 4 Model Summary

Model	R	R ²	Adjusted R ²	Std. Error of the Estimate
1	.916 ^a	.839	.836	22.90158

a. Predictors: (Constant), Building Areas

Table 5 Anova^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	156084.649	1	156084.649	297.597	.000 ^b
	Residual	29895.507	57	524.483		
	Total	185980.155	58			

a. Dependent Variable: Masonry Wall Areas

b. Predictors: (Constant), Building Areas

Table 6 Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	33.077	13.146		2.516	.015
Building Areas	1.383	.080	.916	17.251	.000

a. Dependent Variable: Masonry Wall Areas

Table 7 Excluded Variables^a

Model	Beta In	t	Sig.	Partial	Collinearity Statistics
				Correlation	Tolerance
1 Open Space	.012 ^b	.156	.877	.021	.505
Height of Masonry Wall	-.003 ^b	-.052	.958	-.007	.992

a. Dependent Variable: Masonry Wall Areas

b. Predictors in the Model: (Constant), Building Areas

From modeling and the data obtained from the analysis as shown in Table 3 - 7, it was found that the variable effect on the masonry wall area was the building area. For other parameters doesn't affect the masonry wall area. It is able to create a model for determining the area of masonry walls. As the first model.

$$\text{Masonry wall area (Y)} = 1.383 (\text{building area}) + 33.077 \quad (1)$$

Testing of model, Researchers have tried to find the area of masonry. Using a detailed estimation method of a model house. There are 3 types of examples: (1) Residential house type A, a two-storey residential building, 3 bedrooms, 2 bathrooms, building area of 114.64 m², There is a masonry wall area equal to 192.58 m² (2) Residential house type B is a two - storey residential building, 3 bedrooms, 3 bathrooms, building area of 136.04 m², There is a masonry wall area equal to 237.30 m² and (3) Residential house type C is a two - storey residential building, 4 bedrooms, 3 bathrooms, building area 133.97 m², Masonry wall area is 228.82 m², The researcher calculated an area of housing type A, B and C from calculated as such substitute the value in model 1, it is found that housing type A has a masonry wall area of 191.62 m², The value obtained is 0.50 % less than the detailed cost estimate. B has a masonry wall area of 221.22 m², The value obtained is 6.78 % less than the detailed cost estimate, C housing has a masonry wall area equal to 218.36 m², the value is 4.57 % less than the detailed cost estimate as shown in Table 8.

Table 8 The comparison of the amount of masonry wall area

Residential house type	Building Areas (m ²)	Areas of Masonry Walls (m ²)		Difference (%)
		By Detailed Estimating	By Model	
A	114.64	192.58	191.62	- 0.50
B	136.04	237.30	221.22	- 6.78
C	133.97	228.82	218.36	- 4.57

Conclusion

According to the study of the proportionality of masonry wall area to building area of 59 construction drawing of small two - story housing construction, it was found that the minimum building area is 102.00 m², maximum 260 m², and the average building area is 157.58 m², The minimum masonry wall area 157.58 m², maximum 413.40 m², average masonry wall area 252.83 m², minimum opening space 43.33 m², maximum 120.00 m², average opening space 65.01 m², minimum masonry height 2.70 m., maximum 3.20 m., The average masonry height was 2.82 m. The data was analyzed for the independent variable influencing the dependent variable. By selecting the Multiple Linear Regression Analysis method, it was found that

1. The variable influencing of the masonry area was the building area while the other parameters had no effect on the masonry wall area.
2. A model for finding the area of masonry walls (Y) = 1.383 (building area) + 33.077.
3. Testing model from this research and 3 models of building samples, it was found that the area of masonry wall is less than the detailed cost estimation of 0.50 – 6.78 %, which is acceptable value because of its difference does not exceed 10 % [25].
4. The model obtained from this research can be used to estimate cost and validate the masonry wall area of a new project building in a short time.
5. A model derived from this research can be applied for validating the masonry wall area calculation of new building with area between 100.00 - 260.00 m²

Acknowledgment

Thank you to Rajamangala University of Technology Phra Nakhon for financially supporting this research.

References

- [1] Thipparate, T., Chaisongkroh, N., & Kulprapa, N. (2017). *Construction cost estimation of residential buildings by implementation of ANFIS*, In *The 22th National Convention on Civil Engineering (ICCE 2017)*.818-823. July 18–21, 2017, Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology.

- [2] Nimmanpachrin, W., & Wantanakorn, D. (2016). *Cost estimation of 2 storey residential buildings using montecarlo simulation technique*, In *The 1st Ratchathani University National Conference (RTUNC 2016)*. 331-342. July 29, 2016, Ubonratchathani: Ratchathani University.
- [3] Tuptimtong, A., Jaipunya, K., & Katavettavasak, S. (2017). *The study of unit cost of electrical and communication systems*, In *The 22th National Convention on Civil Engineering (ICCE 2017)*. 716-721. July 18–21, 2017, Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology.
- [4] Rujirayanyong, T. (2012). Estimate cost for apartment building using regression analysis. *Rangsit University Journal of Engineering and Technology*, 15, 33–39.
- [5] Supsri, P. (2002). *Strategy for construction cost analysis (1st Ed.)*. Bangkok: S. Asia Press.
- [6] Chinanuwatwong, S. (2001). The construction cost estimation by using the ratio of reinforced concrete structure components. *Kasetsart Engineering Journal*, 44, 52–61.
- [7] Prapaporn, W., Chetchotisak, P., & Maneechotwong, J. (2018). *The ratio of construction quantity analysis for reinforce concrete building*, In *The 23rd National Convention on Civil Engineering (NCCE23)*. 1-5. July 18–21, 2018, Nakhon Nayok: Chulachomklo Royal Military Academy.
- [8] Mubarak, A., Tripoli, T., & Nurisra, N. (2018). The unit price implication of reinforcement usage in beam reinforced concrete construction. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 5(1), 24–31.
- [9] Faisal, F., Zaini, S., & Selokumar, T. (2019). Evaluation of cost analyses for earthquake resistant reinforced concrete buildings based on Malaysian national annex to eurocode 8, In *The AWAM International Conference on Civil Engineering 2019 (AICCE'19)*, 1485–1492. August 21-22, 2019, Penang: Malaysian.
- [10] Kanit, R., Gunduz, M., & Ozkan, O. (2007). Cost effect of earthquake region and soil type for office building in Turkey. *Building and Environment*, 42(10), 3616–2620.
- [11] Mubarak, M., Abdullah, A., Azmeri, A., & Hayati, Y. (2019). Cost estimation of structural components of a building by considering the seismic load on different regions. *Advances in Civil Engineering*, 2019, 7357913. <https://doi.org/10.1155/2019/7357913>.
- [12] Mishra, S., & Khan, M. A. (2018). Cost modeling of RC building designed in different seismic effects. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(4), 4532–4537.
- [13] Ramli, M. Z., Adnan, A., Kadir, M. A. A., & Alel, M. N. A. (2017). Cost comparison for non-seismic (EC2) and seismic (EC8) design in different ductility class. *International Journal of Civil Engineering and Geo- Environmental*, 1(1), 38–42.
- [14] Sudha, J. L., & Venkateswarlu, D. (2016). Earthquake resistance design-impact on cost of reinforced concrete building. *International Journal of Research Sciences and Advanced Engineering*, 2(15), 75–86.

- [15] Yaman, H., & Tas, E. (2007). A building cost estimation model based on function elements. *ITU A|Z*, 4(1), 73–87.
- [16] Mahamid, I. (2011). Early cost estimating for road construction projects using multiple regression techniques. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 11(4), 87–101.
- [17] Kitkanchanat, C. (2001). *A study of major component's ratio in housing construction for approved BOQ*. Master's Thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- [18] Tantiworrawit, W. (2012). *Unit quantities of construction material in reinforced concrete government buildings*. Master's Thesis. Chiang Mai University.
- [19] Kanjina, P. (2014). *Functional area based cost estimation model of residential buildings*. Master's Thesis. Chiang Mai University.
- [20] Jiradamkerng, W. (2006). *Construction Specifications and Cost Estimation (1st Ed.)*. Pathumthani: Wankawee.
- [21] The Engineering Institute of Thailand under H.M. the King's Patronage. (2005). *Guidelines for measuring the quantity of building construction (1st Ed.)*. Bangkok: The Engineering Institute of Thailand under H.M. the King's Patronage.
- [22] Wongrattana, C. (2017). *Techniques Statistics for Research (1st Ed.)*. Bangkok: Amorn print.
- [23] Chianchana, C. (2017). *Statistics for Research: Concepts and Applications (1st Ed.)*. Bangkok: Chulalongkorn University.
- [24] Chanabun, S. (2020). *Multiple Linear Regression* (Online). Retrieved November 3, 2021, from <http://www.Google.com/search?Q=MultipleLinearRegression=chrome.0.0j69i57j0l5.9311j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8>.
- [25] The Comptroller General's Department. (2012). *The Rule of Cost Estimation in Building Construction (1st Ed.)*. Bangkok: The Comptroller General's Department.

ดัชนี (Index)

ดัชนีผู้เขียน (Author Index)		หน้า
กนกกาญจน์ วรวุฒิ	Kanokkan Worawut	91
กฤตวิทย์ สุขอึ้ง	Krittawit Suk-ueng	18
กฤติมา เสาวกุล	Krittima Saowakoon	70
กุลวรรณ ไสรัจจ์	Kunlawan Sorach	18
เกศรา เรื่องกิจฉายา	Ketsara Ruangkitchaya	18
จันทิมา ปิยะพงษ์	Chantima Piyapong	1
จารุพงษ์ บรรเทา	Jarupong Banthao	58
ชูเกียรติ ชูสกุล	Chookiat Choosakul	115
ธัญญา เสาวกาศย์	Thanunya Saowapark	80
ธนากร เหมะสถล	Tanakorn Haemasaton	49
ธีรวรรณ บุญโทแสง	Teerawan Boontoseang	18
นิตินันท์ มั่งมี	Nithinun Mungmee	49
บารมี พ่วงพิศ	Baramee Phungpis	91
ปนัดดา โสภาคใต้	Panadda Sophatai	58
พจนา ทานกระโทก	Pojjana Thankrathok	58
ปรียานุช ทองคู่	Preeyanuch Thongpoo	38
ปัญญาช ไซกาพ	Panyayot Chaikan	104
เพชฌุโชค จินตเศรษฐี	Pachoenchoke Jintasaeranee	1
พจนิษฐ์ แก้วคำแสน	Potchanee Keawkumsan	91
พวงทิพย์ แก้วทับทิม	Pungtip Kaewtubtim	31
มูบารัค เล็กเกลี้ยง	Mubarak Lakkhang	31
เย็นยง จงจิตต์	Yenyong Chongchit	10
วราภรณ์ โสประดิษฐ์	Waraporn Sopradit	80
วิชัย บุญญานุสิทธิ์	Wijai Boonyanusith	58
นวลพรรณ บุราณศรี	Nuanpan Buransri	58
ศุภลักษณ์ เกตุตากแดด	Supalug Kattakdad	70
สมพร นพเกื้อ	Somphon Noppakeua	10
สุนันท์ มนต์แก้ว	Sunun Monkaew	115
สุริยา อุคคัง	Suriya Udduang	70
หนู-ชิน อุ	Nwe Zin Oo	104
อดิศักดิ์ จตุรพิริย์	Adisak Jaturapiree	80
อนุวัฒน์ ยินดีสุข	Anuwat Yindesuk	18
อุดร ช่างช่วย	Udorn Youngchuay	31
เอกราชชัย ไชยชนะ	Ekrachan Chaichana	80

ดัชนีคำสำคัญ

หน้า

1-บิวทิล-3-เมทิลอิมิดาโซเลียมโบรไมด์	91
กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น	18
ก่อสร้าง	115
กากน้ำตาล	80
การจัดการคงคลัง	58
การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล	58
การเจริญเติบโต	70
การบำบัดน้ำเสียชุมชน	38
การประมวลผลหลายแกน	104
การปูกระเบื้องแบบสองมิติ	104
การเลี้ยงสุกรขุน	10
การส่งออกของสี	70
การหยังความลึก	1
กิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส	38
เกษตรกรรายย่อย	10
ขยะอิเล็กทรอนิกส์	18
ของเหลวไอออนิกเบนโซอิน	91
ความแน่นเบนโซอินแบบตรงกันข้าม	91
ความคิดเห็น	10
ความละเอียดแผนที่พื้นทะเล	1
จังหวัดสุราษฎร์ธานี	31
นมหมักกรด	49
น้ำเกลือ	58
นิวไคลด์กัมมันตรังสี	31
แบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ไลเปส	38
ปลากัด	70
ปลานิล	49
ผงคาร์บอน	80
ผนัง	115
แผนที่เดินเรือ	1
พืชสมุนไพร	31
มันเทศ	70
ไมโครเวฟ	80
ยางธรรมชาติ	80
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	18

ดัชนีคำสำคัญ	หน้า
สัดส่วน	115
สารตัวเติม	80
สารสี	70
หญ้าเนเปียร์หมัก	49
อ่าวไทย	1
อำเภอเกาะพะงัน	31
เอวีเอ็กซ์ 512	104
โอเพนบลาส	104
โอเพนเอ็มพี	104
ไอเคน	104

Keywords Index	Page
The Gulf of Thailand	2
Depth Sounding	2
Navigation Charts	2
Bathymetric Resolution	2
Opinions	11
Raising Finishing Pigs	11
Smallholder Farmers	11
AHP	19
Electronic Wasre	19
GIS	19
Radioactive Nuclides	32
Medicinal Plants	32
Phangan District	32
Suratthani Province	32
Lipase Producing Bacteria	39
Lipase Activity	39
Municipal Wastewater Treatment	39
Nile Tilapia	49
Fermented Napier Grass	49
Acid Fermented Milk	49
Inventory Management System	59
Saline	59
Monte Carlo Simulation	59
<i>Betta splendens</i>	71
Sweet Potato	71
Pigment	71
Growth Performance	71
Color Expression	71
Molasses	81
Carbon Powder	81
Microwave	81
Filler	81
Natural Rubber	81
Cross Benzoin Condensation	92
1-Butyl-3-methylimidazolium Bromide	92

Keywords Index	Page
Ionic Liquids	92
Benzoin	92
AVX512	105
OpenMP	150
2D-tiling	105
Multicore Processing	105
Eigen	105
OpenBLAS	105
Proportion	116
Construction	116
Masonry Wall	116

Lists of Riviewers

Manuscripts of research articles and academic articles of Thaksin University Journal, Volume 24, No. 2 (May - August 2021) were reviewed by the reviewers as follows:

- | | |
|---|--|
| 1. Prof. Dr. Uthairat Na-Nakorn | Faculty of Fisheries, Kasetsart University |
| 2. Assoc. Prof. Dr. Jiraphon Srisertpol | Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology |
| 3. Assoc. Prof. Dr. Kerk Piromsopa | Faculty of Engineering, Chulalongkorn University |
| 4. Assoc. Prof. Dr. Niwooti Whangchai | Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources,
Maejo University |
| 5. Assoc. Prof. Dr. Paranee Tangwiwat | School of Agricultural and Cooperatives,
Sukhothai Thammathirat Open University |
| 6. Assoc. Prof. Dr. Pramot Sojisuporn | Faculty of Science, Chulalongkorn University |
| 7. Assoc. Prof. Dr. Sittichai Seangatith | Institute of Engineering, Suranaree University of Technology |
| 8. Assoc. Prof. Dr. Somjate Patcharaphun | Faculty of Engineering, Kasetsart University |
| 9. Assoc. Prof. Dr. Supachai Tragoonsubtavee | Faculty of Engineering, King Mongkut's University of
Technology North Bangkok |
| 10. Assoc. Prof. Dr. Suppasil Maneerat | Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University |
| 11. Assoc. Prof. Dr. Tanit Tongthong | Faculty of Engineering, Chulalongkorn University |
| 12. Assoc. Prof. Dr. Thumronk Amornsakun | Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University |
| 13. Assoc. Prof. Dr. Varaporn Tanrattanakul | Faculty of Science, Prince of Songkla University |
| 14. Assoc. Prof. Dr. Vichien Kitpreechavanich | Faculty of Science, Kasetsart University |
| 15. Assoc. Prof. Dr. Voranop Viyakarn | Faculty of Science, Chulalongkorn University |
| 16. Assoc. Prof. Dr. Wandee Tartrakoon | Faculty of Agriculture Natural Resources and
Environment, Naresuan University |
| 17. Assoc. Prof. Raewat Laopaiboon | Faculty of Science, Ubon Ratchathani University |
| 18. Asst. Prof. Dr. Pakorn Watanachaturaporn | Faculty of Engineering, King Mongkut's University of
Technology North Bangkok |
| 19. Asst. Prof. Dr. Ploenthip Puthongking | Faculty of Pharmaceutical Sciences, Khon Kaen University |
| 20. Asst. Prof. Dr. Sanya Khruahong | Faculty of Science, Naresuan University |
| 21. Asst. Prof. Dr. Suphada Kiriratnikom | Faculty of Science, Thaksin University |
| 22. Asst. Prof. Dr. Thara Angskun | Institute of Social Technology,
Suranaree University of Technology |
| 23. Asst. Prof. Dr. Uthaiwan Siriou | Faculty of Science, Burapha University |
| 24. Dr. Rawiwan Kritsanawanuwat | Faculty of Engineering, Chulalongkorn University |
| 25. Dr. Tanuspong Pokavanich | Faculty of Fisheries, Kasetsart University |

General Information of Thaksin University

About the Journal

Thaksin University Journal is a peer-reviewed journal publishing research articles, academic articles, in the field of

- Physics and Astronomy
- Agricultural and Biological Sciences
- Chemistry
- Computer Science
- Engineering

of researchers, educators, and staff of Thaksin University and other institutions.

Publication Conditions

1. The work described has not been published previously.
2. The author must be a member of Thaksin University Journal except for special articles that the Editor gives an exception.
3. The manuscript must be typed in Thai or English with both Thai and English abstracts.
4. Content and ideas published in this journal must be the author's only; the Editor does not necessarily agree with it.
5. The reviewers must review the manuscript.

Types of Published Articles

1. Research articles
2. Academic articles
3. Socially-Engaged articles
4. Letter to editor (to propose supportive or argumentative ideas of researchers, including presenting interesting knowledge and experience)

Journal Conditions

1. Manuscript must be typed on white A4-size paper, single side, with page number and Angsana New Font size 14 with not more than 8 pages length, including figures and tables.

2. Margins

- | | |
|-----------------|----|
| · Top margin | 1" |
| · Bottom margin | 1" |
| · Left margin | 1" |
| · Right margin | 1" |

3. Manuscript Online Submission

The corresponding author must submit the manuscript online via Thai Journals Online (ThaiJo2) at <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal>.

4. The application for membership can be processed into ways:

Journal Authors

Researchers, academicians, or students who want to submit the article(s) must pay for reviewers' compensation, **2,000 Baht/ 70 US Dollars per article** if the article is accepted. via Government Savings Bank account.

Account Name: TSUJ

Account Number: 0-2032824189-6

Papayom Branch

After completing the payment, the membership applicant must attach the file of payment slip online at <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal> or contact the journal coordinators at the following

address:

Research and Development Institute, Thaksin University, Phatthalung Campus
222 Moo. 2, Bann Prao Sub-district, Papayom District, Phatthalung, Thailand, 93210

Tel. 0 7460 9600 ext. 7242 or 08 1540 7304

E-mail address: tsujournal@tsu.ac.th or aseanjstr@tsu.ac.th

Line: rdi.tsu, Twitter : @RDI_TSU, Facebook : สวพ. ม.ทักษิณ

5. Article cancellation or dismissal has conditions as follows:

Article cancellation is done before article publication.

Article dismissal is done during or after article publication.

The cancellation or dismissal can be proceeded by downloading the form at <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tsujournal>; however, **if the article has already been sent to the reviewers, the corresponding author must be responsible for the reviewing fees.**

Manuscript Guidelines

The article must consist of:

1. Title

Title must be in Thai and English, **center** of the page. **The first alphabets** of all words of the title must be **capitalized with bold 20 font size**, prepositions and articles.

2. Authors

Identify all authors with **14 font size**, **center** of the page with **logarithm**. Position, academic title, and affiliation in the footnote on the first page: Department, Faculty and University stated in the same page, both Thai and English.

3. Abstract

Abstract must be in Thai and English, **not more than 250 words**, with **14 font size**.

4. Keywords

Keywords both in Thai and English related to the article, not more than 5 words, below the abstract.

It must be typed with 14 font size, left-margin. Proper nouns (the first alphabet of each word) must be capitalized.

5. Main Body consists of:

- 1) Introduction: Significance or background of the study, research objectives, and/or review of related literature
- 2) Research methodology
- 3) Results
- 4) Discussion
- 5) Conclusion
- * 4) and 5) can probably be merged
- 6) Acknowledgement (if any)
- 7) References must be **APA 6th Edition** and in **English only**

6. Attachment

This is attached with the manuscript to certify that the experiment is biological safe, ethical (using animal samples) or moral (doing experiment in human).

7. Abbreviation and Signs

Abbreviation comes up with its full version in the first time, and only abbreviation later. Please avoid using abbreviation in the title and abstract. It is not recommended to use the abbreviation that is used less than four times in the article. The author(s) must provide definition or description of any signs used in the article when appearing in the first time.

8. Figure

Figure is at the center of the page, following by description below the figure in 14 font size. It must be clear monochrome (black and white color). If necessary, it can be colored. The word “figure” is bold, and the description is normal and set in the center of the page. Lined figure must be in clear black.

Example

kilogram /rai

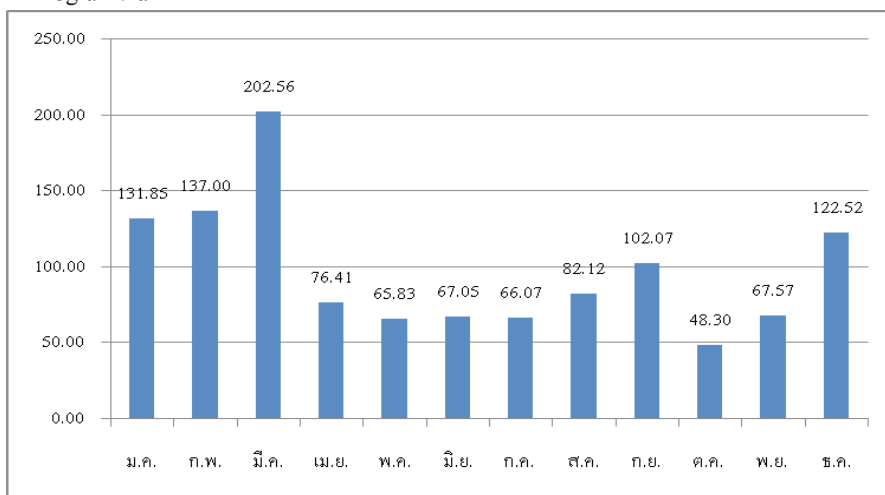


Figure 1 Fall of Monthly Leaves

9. Table

“Table” must be bold and at the left side of the column, and the description is above the table, with 14 font size.

Example

Table 1 Percentage of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium intensity in remains of decayed leaves in each period of time

Week	Nitrogen (percent)	Phosphorus (percent)	Potassium (percent)
0	0.81 ± 0.15	0.12 ± 0.08	0.44 ± 0.14
1	1.00 ± 0.05	0.09 ± 0.05	0.24 ± 0.12
2	0.89 ± 0.15	0.11 ± 0.02	0.10 ± 0.02
3	0.83 ± 0.14	0.17 ± 0.08	0.08 ± 0.02
4	0.78 ± 0.15	0.24 ± 0.24	0.09 ± 0.01
6	0.87 ± 0.11	0.16 ± 0.01	0.09 ± 0.02
8	0.84 ± 0.04	0.20 ± 0.13	0.09 ± 0.02
10	0.84 ± 0.07	0.20 ± 0.07	0.08 ± 0.02
12	0.80 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.07 ± 0.02

References

The reference lists must be APA 6th Edition referencing in English only and In-text Citation.

Intext Citations: Identify number in the bracket “[]” at the end of message in sequences.

1. Put the number in the bracket [] at the end of message or author’s name such as [1].
2. Put the continuous number started from 1. Any repeated list uses the same numbers.
3. All in-text citation must be in the reference lists based on the identified number in the bracket [].
4. Multi-citations for the same message:
 - 4.1 In case of not more than 2 lists, put the numbers of reference lists in numerical order using comma such as [1, 5].
 - 4.2 In case of more than 2 lists and those are continuous lists, use hyphen (-) such as [1-3], [1-5].
 - 4.3 In case of more than 2 lists and those are continuous and discontinuous lists, put comma (,) and hyphen (-) such as [1, 4-5].

In-text Citation

Identify number in the bracket “[]” at the end of message in sequences.

Example

1. Use of some chemical fertilizers or single fertilizers in too long length, which affect the lack of plant nutrition [1]...
2. Scherer [2] reported that...
3. and it also causes imbalance of plant nutrition in the soil [3-4]...

Referencing

Start the list with surname of the author, abbreviation of middle name (if any), and first name respectively, for example, Kessaratikoon, P., Choosiri, N., & Boonkrongcheep, R.

1) Books

Name of author/(year).//*Book Title*.//publication place:/press.

Example

- [1] Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2005). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. New Jersey: Pearson Education, Inc.,

Name of author/(year).// *Book Title* (edition).//publication place:/press.

Example

- [2] Satirajinda, M. (2000). *Iron & steel heat treatment engineering* (7th Ed). Bangkok: The Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King’s Patronage.

2) Research Articles

Author's name/(year).// Title of Article./Journal./ volume/(issue),/page number.

Example

- [3] Keereekoch, T., Srisuwan, T., Patimin, S., Khunphan, R., Yayaman, A., Dinteb, H., & Subhadhirasakul, S. (2016). Effects of steam sterilization and potassium permanganate soak on microbial load and quality of ginger powder. *Thaksin University Journal*, 19(2), 9-21.

3) Proceeding Articles

Author's name/(year).//Title of Article./In/Conference's Name./page//date/month/year./
Conference venue//place:/press.

Example

- [4] Boonkrongcheep, R., Maeha, A., & Kessaratikoon, P. (2016). Measurement and analysis of specific activities of natural radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra and ^{232}Th) in Thai Rice Bag Samples. In *The 24th Thaksin University National Academic Conference*, 18.May21-24,2016, The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne International Convention Center. Songkhla: Thaksin University.

4) Book Chapter

Author's name// (year).//Title of Chapter./In/Editors (if any).//Name of Book./page
number//publication place:/press.

Example

- [5] Lawrence, J. A., & Dodds, A. E. (2003). Goal-directed activities and life-span development. In J. Valsiner & K. Connolly (Eds.). *Handbook of Developmental Psychology*. 517-533. London, England: Sage Publications.

5) Articles in the Newspaper

Author's name/(year,date).//Title of Article./Name of Newspaper./page number.

Example

- [6] Schultz, S. (2005, December 28). Calls made to strengthen state energy policies. *The Country Today*. 1A, 2A.

6) Thesis

Researcher's name/(year).//Thesis Title./level of study/degree//publication place:/
institution.

Example

- [7] Paungfoo, C. (2003). *Use of molecular biology techniques in studying the nitrifying bacteria community from shrimp farming system*. Doctoral Dissertation. Prince of Songkla University.

7) Information from the Internet

Use the general form of citation following by website; for example, the author borrows the ideas from a book on the website, so the reference list consists of the name of author, year of publication, book title, and publication place. Another information should be added: searching date and URL – Retrieved + date + from URL

Author's name/(year).//Title (Online).//publication place:/press.//Retrieve ...from
http:// www.....

Example

[8] Department of Foreign Trade. (2012). *The situation of sawn rubber wood Thailand* (Online). Retrieved August 3, 2016, from <http://www.dft.go.th/en-us/Information-Service/PR-Materials/ctl/DetailUserContent/mid/660/conternted/4252>.

8) List of Interviewees

Name of interviewee/position,/interviewing place,/interviewing date/interview.

Example

[9] Pardee, H. N. Professor of Economics and Political Science, University of California. 2000, November 8, Interview.

9) Patent

Name of patent register/(year).//Name of Invention. country. patent number.

Example

[10] Jansun, E. *et. al.* (2015). *Kit for gold nanoparticles synthesis from gold-leaf*. Thailand. No. 1303000492.

10) Articles with Digital Object Identifier (DOI) or Database's Unique Identifier (If it is presented on the first page of article.)

Surname. Name.//year).// Title of Article. *Journal*,/Volume/(Issue),/page. DOI.

Example

[11] Noojeensang, K., & Waewsak, J. (2016). Assessment of sea wave power potential in the Gulf of Thailand using simulating wave nearshore (SWAN). *Thaksin University Journal*, 19(1), 12-20. DOI: 10.14456/tsuj.2016.2.





สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ
222 หมู่ 2 ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210
โทรศัพท์ 074-609-600 ต่อ 7242 โทรศัพท์ 074-609-655
E-mail Address: tsujournal@tsu.ac.th, aseanjstr@tsu.ac.th

