

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

คณะกรรมการที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.สำเริง จักรใจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.เผด็จศักดิ์ จารยะพันธุ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัย (Peer review)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิษณิกา ศิวยายพราหมณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.นันทวัน เทอดไท	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญขวัญ ชมปรีดา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์วิชัย หฤทัยชนาสน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.หทัยรัตน์ ริมศิริ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.สุคันธรส ธาดากิตติสาร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วนิดา แก่นอากาศ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นิวิธ เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถาวร จันทโชติ	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร.รัทธา เทพประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิดา เพ็ชรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชนี เจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรเดช ครุฑจ้อน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิตชยา พุทธิมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตติกาล เสนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนกร กฤษณชาญติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.รุศมา มฤปดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลอลักษณ์ เสถียรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรวิทย์ อุปถัมภานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกิตา โรจนประศาสน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รองศาสตราจารย์สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญยุทธ สุดทองคง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ มะเห	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา ภูมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ดร.วิชชุดา ถาวโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์พรรณ อำพันธ์ทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ดร.ดวงเดือน ไชยเวช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุภัทร เมฆพ่ายัพ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญรัตน์ ประทุมชาติ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ดร.ไกรยศ แซ่ลิ้ม	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรานอม ขาวเมฆ	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.ชายฉัตร บุญญานุสิทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรรมสันต์ สุวรรณโรจน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณะ โสภุมมา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.อทิพันธ์ เสียมไหม	มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วชิราภรณ์ อาชวาคม	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี อิศรไกรศิลป์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.วาริน อินทนา	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ดร.ตรีสินธุ์ โพธารส	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันวิภาห์ คุ้มน้อย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.สายัณห์ สดุดี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณ สังขพงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา สิงห์ทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญชัช วิกิตภูมิประเทศ	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.วลัยลักษณ์ อัครธีรวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความทุกเรื่องก่อนลงตีพิมพ์ในวารสารฯ ได้ผ่านการพิจารณากลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ อย่างน้อย 2 ท่าน

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.สุวัจน์ ธัญรส

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ทองหนู่น้อย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ มะเห

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สงรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพร ธารางกูร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ดร.สุคคินี ณ ระนอง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

นางสาวกุลิกา ธนะเสวตร

วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติรี หอมเขียว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ แก้วบุญมา

คณะเทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักษมี วิทยา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

กองบรรณาธิการ

Associate Professor Dr.David Crookall

University of Nice Sophia Antipolis, France

Professor Mitsuhiro Sano

Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์ประพจน์ พรหมสมบูรณ์

คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ตะวันออก

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่น จันจุฬา

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงศรี สรรณสภาพร

คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ภูมิฐรัตน์ ปภาวสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริโรตม์ เกตุแก้ว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รองศาสตราจารย์ ดร.พูนสุข อุดม

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รองศาสตราจารย์ เกชา คูหา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยโท (หญิง) ดร.เกิดศิริ เจริญวิศาล

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิธดา จรุงเกียรติกุล

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดร.ทรงสิน ชีระกุลพิศุทธิ์

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วัตถุประสงค์	เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่บทความวิจัย (Research article) ของบุคลากร นักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย รวมทั้งบทความวิจัยของบุคคลภายนอก
ฝ่ายจัดทำ	นางสาวบุญบรรจง สายลาด สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นางสาวพนิดา ชูเวท สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
เจ้าของลิขสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ขอบเขต	เป็นวารสารวิชาการที่ครอบคลุมสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กำหนดการเผยแพร่	ปีละ 3 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม
การเผยแพร่	Online
จัดทำโดย	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 179 หมู่ 3 ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150 โทรศัพท์ 0 7520 4070 โทรสาร 0 7520 4071 E-mail: rdisv.journal@gmail.com Website: https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/index
Print ISSN	1906-6627
Online ISSN	2673-0197

สารบัญ

ปริมาณกรดไขมันทรานส์ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียม เนยเทียมและเนยขาว.....	1-11
ที่จำหน่ายในพื้นที่จังหวัดปัตตานี	
พัชรินทร์ ภักดีฉนวน และ อาทิตา สาหัดสะดำ	
การประยุกต์ใช้คีโตเซอร์อส (<i>Chaetoceros</i> sp.) และโรติเฟอร์ (<i>Brachionus rotundiformis</i>)	12-23
ที่เก็บรักษาในรูปแบบเข้มข้นสำหรับอนุบาลกุ้งขาวและปูม้า	
วาสนา อากรัตน์ วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม และ ประภาพร คีมาภ	
การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร.....	24-39
อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช	
วารัณดา เรียงสุทธิ	
การประยุกต์วิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ.....	40-56
แบบพีชชีเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ	
นิติเดช คุหาทองสัมฤทธิ์ และ วรพจน์ มีถม	
การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม บนตัวรองรับท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น.....	57-70
โดยวิธีการตกผลึกควบคู่กับการยัดเกาะ เพื่อเตรียมเป็นขั้วแคโทด	
สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ	
ศศิประภา วิลาวัลย์ วรพจน์ พูลศรี ฐานันท์ นิภารัตน์ ศศิณา สมแสง	
และ ณิชนันท์ เทพสุภังษิกุล	
การปรับปรุงกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษา.....	71-84
ชานนท์ ตระกูลเลิศยศ และ พรเทพ ขอบจายเกียรติ	
Effect of Ozone Treatments on Nile Tilapia Mince (<i>Oreochromis niloticus</i>) Off-Odor	85-94
Praew Phermthong Wanchai Worawattanamateekul	
and Jirapa Hinsui	
การปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการของไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอก.....	95-106
หฤทัย นามมัน และ อรวัลย์ อุปลัมภานนท์	
ผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อประชาคมสัตว์หน้าดินในหนองหาร จังหวัดสกลนคร.....	107-124
พิชาธิษฐ์ แสงเมฆ และ สิทธิชัย สะทะโชติ	

ปัจจัยอันตรายและอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในการทำดอกไม้ประดิษฐ์.....	125-135
ของกลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้าน บ้านดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง	
อนิรุจน์ มะโนธรรม	
การพัฒนาชุดติดตั้งเฟืองแพลนเนตารีสำหรับคุมล้อวีลแชร์ตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย.....	136-145
นราพงศ์ ช่วยชัย อนันตกุล อินทรผดุง ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน	
และ ดุษณี ศุภวรรธนะกุล	
ฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกเงาะ 3 สายพันธุ์ในจังหวัดจันทบุรี.....	146-156
สรรัตน์ พ่วงบริสุทธิ นฤมล มงคลธวัชณ์ ศิริจันทร์ ตาใจ	
และ วิฑิต เลิศนิมิตมงคล	
ผลของช่วงการเก็บเกี่ยวผล และอายุของผลที่มีต่อการพัฒนาผลและคุณภาพของผลส้มจุก.....	157-164
สกุลรัตน์ หาญศึก และ สมพร ณ นคร	
ผลของการใช้สมุนไพรพอกเข้าลดอาการปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม.....	165-173
โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลศรีวิชัย อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี	
รุ่งนภา จันทรา ชลิตา สดจันท์ ชุติกานุจน์ ตั้งรุ่งเจริญ ญานิกา ทองปา	
จิตติมา นุชยา จิตติมา ปานไฉ ณัฐธินิชา ทองเข้ม ณัฐธิกา เกลี้ยงจำ	
ณัฐธิดา ชำนาญ จรรยา กำเหนิดเกาะ และ นลวย เหลือบรรจง	
การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินความสัมพันธ์เชิงพื้นที่.....	174-190
ของการใช้ประโยชน์ที่ดินและคุณภาพน้ำบริเวณลุ่มน้ำประแสร์	
จังหวัดระยอง	
ประสาร อินทเจริญ ภัทรารุช ไทยพิชิตบุรพา อนุกุล บุรณประทีปรัตน์ และ ธวัชชัย นาอุดม	
ผลของช่วงการเก็บเกี่ยวผล อายุต้น และระยะการพัฒนาผลที่มีต่อคุณภาพ.....	191-200
ผลส้มโอทับทิมสยาม	
ชัยสิทธิ์ ปรีชา และ สมพร ณ นคร	
การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือหว่าปลากระดูกเสริมโปรตีน.....	201-215
และเคลือบในผลิตภัณฑ์อาหาร	
พรเพ็ญ อาสนศักดิ์ สุชาตินิ คงทอง และ สุภาภิต ชุกกลิ่น	

ศึกษากระบวนการผลิตถ้วยเตี้ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภค..... 216-226

ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว (Retort Pouch)

นิภาพร กังคะวิสุทธิ์ และ ทองจวน คุณพุทธิรพี

การพัฒนาอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน..... 227-243

อรุณรักษ์ ตันพานิช คุยฉวี สุภวรรธนะกุล พิเชฐ บัญญัติ และ จรูญ จันทน

เส้นทางการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบฮอร์โมนเพปไทด์ใหม่..... 244-258

ที่มีวง 1,2,3-ไตรเอโซล และฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็ง

โยธิน มาตะโก คมสันต์ สุทธิสินทอง จุฑาทิพ บุญสมบัติ จิตนภา ศิริรักษ์

และ ภาณุพันธ์ ลิ้มปชาพร

ปริมาณกรดไขมันทรานส์ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียม เนยเทียมและเนยขาว ที่จำหน่ายในพื้นที่จังหวัดปัตตานี

Trans Fatty Acids Content in Non-dairy Cream, Margarine and Shortening Products Distributed in Pattani Province

พัชรินทร์ ภักดีฉนวน* และ อาทิตา สาหัดสะต่า

Patcharin Pakdeechnuan* and Atita Sahadsatam

Received: 20 January 2020, Revised: 2 September 2020, Accepted: 16 September 2020

บทคัดย่อ

กรดไขมันทรานส์เกิดจากกระบวนการเติมไฮโดรเจนบางส่วนในน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง การบริโภคกรดไขมันทรานส์ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดหัวใจและสมอง กระทรวงสาธารณสุขจึงได้ออกประกาศฉบับที่ 388 พ.ศ. 2561 กำหนดให้น้ำมันที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนบางส่วนและอาหารที่มีน้ำมันที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนบางส่วนเป็นส่วนประกอบ เป็นอาหารที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือจำหน่าย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันทรานส์ในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนบางส่วนที่มีจำหน่ายในพื้นที่จังหวัดปัตตานีในช่วงเวลาก่อนและหลังประกาศกระทรวงฯ โดยเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 3 กลุ่ม ในช่วงก่อนประกาศฯ คือ ครีมเทียม 14 ตัวอย่าง เนยเทียม 18 ตัวอย่าง และเนยขาว 2 ตัวอย่าง สกัดไขมันจากตัวอย่างด้วยตัวทำละลาย ซึ่งสามารถสกัดไขมันได้ร้อยละ 98.38 ± 0.27 วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันทรานส์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่า ผลิตภัณฑ์ครีมเทียม เนยเทียม และเนยขาวมีปริมาณกรดไขมันทรานส์ 0.00-0.01, 0.01-0.50 และ 0.06-2.81 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ตามลำดับ ตัวอย่างที่มีปริมาณกรดไขมันทรานส์เกินกว่าปริมาณที่องค์การอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำคือไม่ควรบริโภคเกิน 0.5 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภคมี 1 ผลิตภัณฑ์คือเนยขาวรหัส SH02 มีปริมาณกรดไขมันทรานส์ 2.81 ± 0.09 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ชนิดของไขมันทรานส์หลักที่พบคือ *trans*-Octadecenoic acid (C18:1) การเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายหลังการบังคับใช้ประกาศฯ ในวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2562 และเป็นคนละชุดที่ผลิต (lot number) กับตัวอย่างที่เก็บก่อนประกาศฯ มีครีมเทียม 10 ตัวอย่าง เนยเทียม 6 ตัวอย่าง และเนยขาว 1 ตัวอย่าง ไม่พบปริมาณกรดไขมันทรานส์ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียมและเนยขาว ส่วนผลิตภัณฑ์เนยเทียมมีปริมาณกรดไขมันทรานส์ 0.00-0.01 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ตัวอย่างที่ปริมาณกรดไขมันทรานส์ลดลงพบปริมาณกรดไขมัน

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดปัตตานี 94000

Department of Food Science and Nutrition, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani 94000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): patcharin.p@psu.ac.th

อิมตัวในผลิตภัณฑ์หลายผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ส่วนตัวอย่างเนยขาว SH02 เป็นชุดที่ผลิตเดิมกับตัวอย่างที่เก็บก่อนประกาศฯ พบปริมาณไขมันทรานส์ 3.18 ± 0.19 กรัมต่อหน่วยบริโภค ผิดหลักเกณฑ์ตามประกาศกระทรวงฯ

คำสำคัญ: กรดไขมันทรานส์, น้ำมันที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนบางส่วน, เนยขาว, เนยเทียม, ครีมเทียม

ABSTRACT

Trans fatty acids (TFAs) are formed by the partial hydrogenation process of unsaturated fat. Consumption of trans fatty acids increases the risk of cardiovascular and brain disease. Therefore, The Ministry of Public Health issued the announcement no. 388 B.E. 2561, specifying that partially hydrogenated oils and foods containing partially hydrogenated oils are prohibited to be manufactured, imported or sold. The objective of this research was to analyze the content of trans fatty acids in some hydrogenated products distributed in Pattani province that were sold before and after the announcement. Samples were collected from Pattani province area and categorized into 3 groups – non-dairy cream, margarines and shortening. Before the announcement, 14 samples of non-dairy cream, 18 samples of margarines, and 2 samples of shortening products were collected. The fat in samples were extracted by solvent and had $98.38 \pm 0.27\%$ recovery. It was found that trans fatty acids determined by gas chromatography in non-dairy cream, margarines and shortening were 0.00-0.01, 0.01-0.50 and 0.06-2.81 grams per serving, respectively. The sample that had trans fatty acid higher than the amount prescribed by the US-FDA, which is more than 0.5 grams per serving size found in 1 product. It was shortening SH02 which had trans fatty acids 2.81 ± 0.09 grams per serving. The main types of trans fats were trans-Octadecenoic acid (C18:1t). Sampling of products sold after the announcement of January 9, 2019, and a different number produced (lot number) from the samples collected before the announcement were 10 samples of non-dairy cream, 6 samples of margarine and 1 sample of shortening. No trans fatty acid content was found in non-dairy cream and shortening products. Margarine products contained trans-fatty acid content 0.00-0.01 grams per serving. Many samples had the trans fatty acids decreased but the content of saturated fatty acids increased. The trans fat in the shortening SH02 (same batch as collected sample before the announcement) which was 3.18 ± 0.19 grams per serving violated the criteria announced by the Ministry of Public Health.

Key words: trans fatty acids, partially hydrogenated oil, shortening, margarine, non-dairy cream

บทนำ

การบริโภคไขมันทรานส์อย่างต่อเนื่องทำให้เกิดความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดหัวใจและสมอง

ข้อมูลจากกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุขระบุว่าในปี พ.ศ. 2559-2561 ประเทศไทยมีผู้ป่วยโรคหลอดเลือดหัวใจและหลอดเลือดสมองไม่ต่ำกว่า

600,000 ราย (Department of Disease Control, 2019) จึงสร้างความกังวลให้กับผู้บริโภคเนื่องจากในชีวิตประจำวันผู้บริโภคประสบกับประต้านอาหารที่เข้าใจว่าเป็นแหล่งของไขมันทรานส์หลายชนิด เช่น การบริโภคครีมเทียมจากส่วนผสมของเครื่องดื่มชาและกาแฟที่จำหน่ายในร้านเครื่องดื่มและครีมเทียมที่ผสมในเครื่องดื่มกึ่งสำเร็จรูป การบริโภคเนยเทียมและเนยขาวซึ่งเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และใช้เป็นไขมันทอดอาหาร โทษของไขมันทรานส์ได้รับความสนใจตั้งแต่ในอดีต มีการศึกษาว่าไขมันทรานส์ไปส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ cholesterol acyltransferase ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในเมแทบอลิซึมของคอเลสเตอรอล ทำให้ระดับคอเลสเตอรอลรวม (total cholesterol) และคอเลสเตอรอลชนิด LDL (low-density lipoprotein cholesterol; LDL-C) เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันก็ทำให้ระดับคอเลสเตอรอลชนิด HDL (high-density lipoprotein cholesterol; HDL-C) ลดลง (Mozaffarian *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2006; Oomen *et al.*, 2001) คณะกรรมการอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา (US-FDA) จึงได้ประกาศห้ามบริโภคน้ำมันที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนบางส่วนซึ่งเป็นแหล่งของไขมันทรานส์ (Food and Drug Administration, 2015) และเมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2561 ที่ผ่านมามีองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ได้เสนอวิธีการกำจัดไขมันทรานส์ออกจากอาหารแปรรูปทั่วโลกเรียกว่า REPLACE คือ RE มาจากคำว่า Review หมายถึง การตรวจสอบถึงแหล่งที่มาของไขมันทรานส์ P มาจากคำว่า Promote หมายถึง สนับสนุนการใช้ไขมันประเภทอื่นแทนไขมันทรานส์ L มาจากคำว่า Legislate หมายถึง การออกกฎหมายข้อบังคับต่างๆ เพื่อกำจัดไขมันทรานส์ A มาจากคำว่า Assess หมายถึง คอยตรวจสอบ

ปริมาณไขมันทรานส์ในผลิตภัณฑ์อาหาร และปริมาณการบริโภคไขมันทรานส์ของประชาชน C มาจากคำว่า Create หมายถึง การสร้างความตระหนักถึงผลเสียที่ไขมันทรานส์มีต่อสุขภาพและ E มาจากคำว่า Enforce หมายถึง การบังคับใช้กฎหมายข้อบังคับต่างๆ เช่น การห้ามใช้น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจน (hydrogenated oil) ซึ่งเป็นแหล่งของไขมันทรานส์ (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2018) ในประเทศสหรัฐอเมริกา สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (US FDA: The United States Food and Drug Administration) ได้กำหนดให้ผู้ผลิตอาหารที่จัดจำหน่ายภายในประเทศ ต้องระบุปริมาณของกรดไขมันทรานส์ไว้บนฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์และแนะนำให้บริโภคไขมันทรานส์ ไม่เกิน 2 กรัมต่อวัน หรือ 0.5 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (Ministry of Public Health, 2018)

Costa *et al.* (2016) รายงานการวิเคราะห์ปริมาณไขมันทรานส์ในตัวอย่างอาหารของประเทศโปรตุเกสจำนวน 268 ตัวอย่าง เป็นเนยเทียม (Margarine) และเนยขาวจำนวน 16 ชนิด พบไขมันทรานส์ในเนยเทียมและเนยขาวเฉลี่ยร้อยละ 0.83 (0.26 ถึง 2.16) ของปริมาณไขมันทั้งหมด ในจำนวนนี้มีปริมาณเกินข้อกำหนดที่ตั้งไว้ว่าไขมันทรานส์ต้องไม่เกินร้อยละ 2 ของปริมาณไขมันทั้งหมดจำนวน 1 ตัวอย่าง Abramovič *et al.* (2018) เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนยเทียม 43 ชนิด และเนยขาว 33 ชนิดที่มีจำหน่ายในประเทศสโลวีเนีย พบว่าผลิตภัณฑ์เนยเทียมส่วนใหญ่มีปริมาณไขมันทรานส์ร้อยละ 0.1-0.8 มีผลิตภัณฑ์เนยเทียม 2 ชนิดที่มีไขมันทรานส์ร้อยละ 3.1 และ 6.4 สำหรับเนยขาวมีปริมาณไขมันทรานส์ร้อยละ 0.1-11.2 ของปริมาณไขมันทั้งหมด โดยชนิดของไขมันทรานส์ที่พบมากที่สุดคือ *trans*-C18:1 โดยพบ *n*-9-C18:1, *n*-10-C18:1,

t11-C18:1, t6-t8-C18:1, t12-C18:1 และ t13-t14-C18:1 ตามลำดับ และพบไขมันทรานส์ชนิด *trans*-C18:2 และ *trans*-C18:3 ด้วย ข้อกำหนดปริมาณไขมันทรานส์ในกลุ่มประเทศยุโรปคือต้องไม่เกินร้อยละ 2 ของปริมาณไขมันทั้งหมด หลายประเทศให้ความสำคัญในเรื่องสุขภาพของผู้บริโภคได้แนะนำให้ลดหรืองดการใช้ไขมันทรานส์เพื่อให้อาหารมีกรดไขมันทรานส์ในปริมาณที่ต่ำลง สำหรับประเทศไทยมีประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 388 พ.ศ. 2561 กำหนดอาหารที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือจำหน่าย น้ำมันที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนบางส่วนและอาหารที่มีน้ำมันที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนบางส่วนเป็นส่วนประกอบ มีผลใช้บังคับวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2562

ในประเทศไทยมีการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมเทียม เนยเทียมและเนยขาวซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของน้ำมันที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนตามรายการใน “คู่มือ แนวทางการปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เลขที่ 388 พ.ศ. 2561 เรื่อง กำหนดอาหารที่ผลิต นำเข้าหรือจำหน่าย” จากการสำรวจผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้ในพื้นที่จังหวัดปัตตานีในห้างสรรพสินค้าและร้านจำหน่ายส่วนผสมและอุปกรณ์เบเกอรี่ มีเนยเทียมจำหน่ายไม่ต่ำกว่า 7 ยี่ห้อ ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมมีจำหน่ายไม่น้อยกว่า 10 ยี่ห้อและผลิตภัณฑ์เนยขาวมีจำหน่ายไม่ต่ำกว่า 2 ยี่ห้อ รวมทั้งมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจากประเทศต่างๆ เช่น ออสเตรเลีย เบลเยียมและอิตาลี เพื่อข้อมูลที่ชัดเจนและลดความกังวลของผู้บริโภค งานวิจัยนี้ได้สำรวจและเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครีมเทียม เนยเทียมและเนยขาว การเก็บตัวอย่างได้เปรียบเทียบปริมาณไขมันทรานส์ในผลิตภัณฑ์ในระยะเวลาช่วงก่อนและหลังเริ่มใช้ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 388 พ.ศ. 2561 เพื่อการปรับตัว

ของผู้ผลิตและเพื่อเป็นข้อมูลความปลอดภัยของผู้บริโภค

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครีมเทียม (non-dairy cream) เนยเทียม (margarine) และเนยขาว (shortening) ที่มีจำหน่ายในห้างสรรพสินค้าและร้านค้าจำหน่ายส่วนผสมในการทำขนมอบในพื้นที่จังหวัดปัตตานี โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ครั้งแรกเป็นการเก็บก่อนเริ่มใช้ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 388 พ.ศ. 2561 ในช่วงเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม พ.ศ. 2561 และครั้งที่ 2 เก็บตัวอย่างหลังการประกาศในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน พ.ศ. 2562 โดยการเก็บตัวอย่างเป็นผลิตภัณฑ์คนละชุดการผลิต (lot number) กับที่มีการจำหน่ายหลังประกาศ

2. การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันทรานส์ในตัวอย่าง

2.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์

2.1.1 การสกัดไขมัน ใช้วิธีการที่ดัดแปลงจาก Chen *et al.* (2014) โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 กรัม เติมน้ำสารละลายคลอโรฟอร์ม:เมทานอล ในอัตราส่วน 1:1 (v/v) ปริมาณ 50 มิลลิลิตร หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ปั่นผสมเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ ความเร็วรอบ 7,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที และนำไปเขย่า 1 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง whatmant No. 1 แล้วนำไประเหยแบบสูญญากาศด้วยเครื่อง rotary evaporator จากนั้นเติมน้ำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 0.88 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และเฮกเซน 15 มิลลิลิตร นำไปเซนตริฟิวจ์ด้วยความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เก็บสารละลายส่วนบนใส่หลอดเซนตริฟิวจ์แล้วนำไประเหยเฮกเซนด้วย

เครื่อง centrifugal evaporator นำไขมันที่ได้ไปคำนวณในหน่วยร้อยละของการสกัด

2.1.2 การทำเอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้วิธีการที่ดัดแปลงจาก Lepage and Roy (1984) โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างไขมันที่สกัดจากข้อ 2.1.1 ปริมาณ 50 มิลลิกรัม ลงในหลอดฝาเกลียวเติม internal standard (C17:0) ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร แล้วเติมเมทานอลปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆ หยดสารละลายอะซิคลอไรด์ (acetyl chloride) ปริมาณ 200 ไมโครลิตร พร้อมผสมด้วยเครื่อง vortex mixer ตลอดเวลา แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใน heat block นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต (potassium carbonate) ความเข้มข้นร้อยละ 6 ปริมาณ 5 มิลลิลิตร และเติมเฮกเซน 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปเซนตริฟิวจ์ด้วยความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ดูดสารละลายส่วนบนเก็บไว้ในขวดขนาดเล็กพันทับคอขวดด้วยพาราฟิล์ม และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

2.2 การวิเคราะห์กรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟียี่ห้อ Agilent รุ่น 6890 (USA) ใช้คอลัมน์ชนิด fused silica capillary SP2560 ขนาด 100 m × 0.25 mm × 0.2 μm สภาวะที่ใช้คือ Injection volume; 1 μl, Split ratio 1:10, Carrier gas; helium flow rate 1 มิลลิลิตร/นาที Injector temperature; 250 องศาเซลเซียส, FID detector temperature; 250 องศาเซลเซียส Oven temperature program; 70 องศาเซลเซียส นาน 4 นาทีและเพิ่มขึ้น 13 องศาเซลเซียส/นาทีจนถึง 175 องศาเซลเซียส จากนั้นคงไว้ที่ 175 องศาเซลเซียส นาน 27 นาที และเพิ่มขึ้น 4 องศา

เซลเซียส/นาทีจนถึง 240 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่ 240 องศาเซลเซียส นาน 21 นาที บ่งชี้ชนิดของกรดไขมันด้วยกรดไขมันมาตรฐาน 36 ไอโซเมอร์ (Sigma Chemical Co.) การคำนวณปริมาณกรดไขมันทรานส์ใช้วิธี External standard โดยใช้กรดไขมันมาตรฐาน *trans*-9-octadecenoic acid methyl ester (C18:1*t*) และ *trans*-9,12-linolelaidic acid methyl ester (C18:2*t*) (Sigma Chemical Co.) สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐานคือ $y = 24559x - 20.24$ และ $y = 24633x - 24.77$ รายงานผลเป็นกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภคโดยเทียบปริมาณต่อหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงจากประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่องฉลากโภชนาการ ฉบับที่ 182 พ.ศ. 2541 ซึ่งระบุว่าหนึ่งหน่วยบริโภคของครีมเทียมเท่ากับ 3 กรัม เนยเทียมและเนยขาว เท่ากับ 15 กรัม (Ministry of Public Health, 1998) ทุกรายการวิเคราะห์ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การเก็บตัวอย่าง

ผลิตภัณฑ์ที่เก็บตัวอย่างในช่วงก่อนประกาศฯ มีจำนวน 34 ตัวอย่าง (ตารางที่ 1) เป็นครีมเทียม 14 ตัวอย่าง (CR01-CR14) เนยเทียม 18 ตัวอย่าง (MA01-MA18) และเนยขาว 2 ตัวอย่าง (SH01-SH02) โดยความหมายของคำว่าตัวอย่าง คือ เป็นตัวอย่างที่เก็บจากยี่ห้อที่ต่างกันและชนิดหรือสูตรการผลิตต่างกัน ทุกตัวอย่างเก็บจำนวน 3 ซ้ำ ผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 กลุ่ม มีทั้งที่ผลิตในประเทศไทยและต่างประเทศ เช่น อิตาลี ออสเตรเลีย และเบลเยียม ส่วนตัวอย่างที่เก็บหลังประกาศฯ ได้กำหนดให้เก็บจากชุดที่ผลิต (lot number) ต่างจากตัวอย่างก่อนประกาศฯ ตัวอย่างที่เก็บหลังประกาศฯ มีจำนวน 18 ตัวอย่างเป็นครีมเทียม 10 ตัวอย่าง เนยเทียม 3

ตัวอย่าง และเนยขาว 1 ตัวอย่าง (SH01) สาเหตุที่จำนวนตัวอย่างน้อยกว่าชุดที่เก็บช่วงก่อนประกาศฯ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายเป็นชุดที่ผลิตเดิม แต่เนื่องจากเนยขาว SH02 มีปริมาณไขมันทรานส์สูง จึงเก็บตัวอย่างอีกครั้งแม้จะเป็นชุดที่ผลิตเดิมแต่ก็เป็นตัวอย่างที่จำหน่ายในช่วงหลังประกาศฯ

2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันทรานส์

การสกัดตัวอย่างด้วยตัวทำละลายได้ร้อยละการสกัด 98.38 ± 0.27 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีได้แสดงผลเป็นปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid, SFA) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (monounsaturated fatty acid, MUFA) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (polyunsaturated fatty acid, PUFA) *trans*-C18:1, *trans*-C18:2 และ total TFAs (total trans fatty acids) ของตัวอย่าง 34 ตัวอย่าง ที่เก็บก่อนประกาศฯ แสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

ผลิตภัณฑ์ครีมเทียมมีข้อความระบุส่วนประกอบบนฉลาก คือ ไขมันพืช นมผง น้ำมันปาล์ม น้ำมันปาล์มโอเลอิน บัตเตอร์มิลค์ และน้ำมันถั่วเหลือง ผลการวิเคราะห์กรดไขมัน พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (0.06 - 2.46 กรัมต่อหน่วยบริโภค) มากกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว มีปริมาณกรดไขมันทรานส์จำนวน 3 ตัวอย่าง จาก 14 ตัวอย่าง ในปริมาณที่น้อย คือ 0.01 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค โดยไขมันทรานส์ที่พบคือ *trans*-octadecenoic acid (C18:1*t*) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครีมเทียมที่เก็บมาเป็นตัวอย่างที่ผลิตในประเทศ 12 ตัวอย่าง และผลิตจากต่างประเทศ 2 ตัวอย่าง ซึ่งตามความเข้าใจเดิมของผู้บริโภคคิดว่าผลิตภัณฑ์ครีมเทียมจะมีไขมันทรานส์สูง แต่ผลการวิเคราะห์พบว่า มีปริมาณไขมันทรานส์น้อยมาก อย่างไรก็ตามครีมเทียมหลายตัวอย่างมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในปริมาณสูง เช่น CR13 ซึ่งนำเข้า

จากประเทศอิตาลี มีกรดไขมันอิ่มตัว 2.46 ± 0.36 กรัมต่อหน่วยบริโภค

ผลิตภัณฑ์เนยเทียมมีข้อความระบุส่วนประกอบบนฉลาก คือ น้ำมันพืช น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์ม นมผง น้ำมันมะพร้าว โปรตีนเวย์ น้ำมันถั่วเหลือง และ บัตเตอร์มิลค์ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนยเทียม 18 ตัวอย่าง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศไทย 8 ตัวอย่าง ผลิตในประเทศออสเตรเลีย 5 ตัวอย่าง และผลิตจากประเทศเบลเยียม 1 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์กรดไขมันพบว่า มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวในช่วง 0.60 - 5.93 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค มีปริมาณกรดไขมันทรานส์จำนวน 12 ตัวอย่าง จาก 18 ตัวอย่าง ชนิดของกรดไขมันทรานส์ที่พบ คือ *trans*-octadecenoic acid (C18:1*t*) และ *trans*-linolelaidic acid (C18:2*t*) มีปริมาณกรดไขมันทรานส์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.01 - 0.50 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ซึ่งเป็นปริมาณที่อยู่ในช่วงที่ US-FDA แนะนำว่าไม่ควรบริโภคไขมันทรานส์เกิน 0.5 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ส่วนผลิตภัณฑ์เนยขาวที่เก็บตัวอย่างมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศทั้ง 2 ตัวอย่าง (2 ยี่ห้อ) มีข้อความระบุส่วนประกอบบนฉลาก คือ ไขมันปาล์มจากเนื้อปาล์มผ่านกรรมวิธี และไขมันจากน้ำมันถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธี มีปริมาณกรดไขมันทรานส์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.05 - 2.81 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค มีผลิตภัณฑ์เนยขาว 1 ยี่ห้อที่มีปริมาณไขมันทรานส์สูงในระดับที่ไม่ควรบริโภค คือพบในปริมาณ 2.81 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค เป็นเนยขาวรหัส SH02 ระบุรายละเอียดข้างฉลากว่าเป็นไขมันจากถั่วเหลืองผ่านกรรมวิธี 100% นอกจากไขมันทรานส์แล้วเนยขาวรหัส SH02 มีกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 2.01 กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวร้อยละ 3.74 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนร้อยละ 0.13

ตารางที่ 1 กลุ่มของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนบางส่วนที่เก็บตัวอย่างในช่วงเวลาก่อนประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 388 ประกาศใช้

ผลิตภัณฑ์	ประเทศ	องค์ประกอบของกรดไขมัน (กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค)					
		SFA	MUFA	PUFA	<i>trans</i> -C18:1	<i>trans</i> -C18:2	total TFAs
CR01	ไทย	0.10±0.02	0.01±0.00	0.01±0.00	nd	nd	nd
CR02	ไทย	0.21±0.04	nd	nd	nd	nd	nd
CR03	ไทย	0.47±0.07	nd	nd	nd	nd	nd
CR04	ไทย	0.27±0.04	nd	nd	nd	nd	nd
CR05	ไทย	0.21±0.03	0.03±0.01	nd	0.01±0.00	nd	0.01±0.00
CR06	ไทย	0.15±0.02	0.01±0.00	0.01±0.00	nd	nd	nd
CR07	ไทย	0.21±0.03	0.01±0.00	nd	0.01±0.00	nd	0.01±0.00
CR08	ไทย	0.06±0.01	0.06±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	nd	0.01±0.00
CR09	ไทย	0.21±0.04	0.13±0.06	0.03±0.00	nd	nd	nd
CR10	ไทย	0.13±0.03	nd	0.02±0.00	nd	nd	nd
CR11	ไทย	0.53±0.13	0.01±0.00	0.11±0.00	nd	nd	nd
CR12	ไทย	0.26±0.06	nd	0.04±0.00	nd	nd	nd
CR13	อิตาลี	2.46±0.36	0.03±0.00	0.01±0.00	nd	nd	nd
CR14	อิตาลี	0.59±0.08	0.20±0.10	0.06±0.00	nd	nd	nd
MA01	ออสเตรเลีย	2.03±0.27	4.57±0.83	4.35±0.15	nd	nd	nd
MA02	ออสเตรเลีย	1.19±0.09	1.84±0.64	0.69±0.30	nd	nd	nd
MA03	ออสเตรเลีย	2.46±0.36	5.72±0.59	1.87±0.82	nd	nd	nd
MA04	ออสเตรเลีย	4.66±0.31	6.78±0.29	2.11±0.82	0.01±0.00	nd	0.01±0.00
MA05	ออสเตรเลีย	2.53±0.40	5.11±0.54	1.41±0.59	0.50±0.00	nd	0.50±0.00
MA06	ไทย	3.89±0.63	2.61±0.50	0.65±0.30	0.06±0.00	nd	0.06±0.25
MA07	ไทย	3.63±0.62	2.51±0.47	0.60±0.25	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00
MA08	ไทย	4.03±0.67	2.28±0.36	0.56±0.22	0.01±0.00	nd	0.01±0.00
MA09	ไทย	0.72±0.12	0.80±0.17	0.10±0.04	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00
MA10	ไทย	3.60±0.52	1.83±0.88	0.39±0.17	0.03±0.00	0.02±0.00	0.05±0.00
MA11	ไทย	3.95±0.64	1.87±0.52	0.33±0.15	0.01±0.00	0.01±0.00	0.02±0.00
MA12	ไทย	0.60±0.16	0.43±0.18	0.11±0.05	0.01±0.00	nd	0.01±0.00
MA13	ไทย	3.16±0.66	0.09±0.83	0.46±0.22	nd	nd	nd
MA14	ไทย	5.93±0.70	1.73±0.54	0.24±0.11	0.10±0.00	nd	0.10±0.00
MA15	ไทย	4.49±0.75	0.45±0.23	2.42±0.32	nd	nd	nd
MA16	ไทย	4.24±0.51	1.52±0.59	0.22±0.09	nd	0.01±0.00	0.01±0.00
MA17	ไทย	4.31±0.49	1.67±0.60	0.24±0.08	nd	0.01±0.00	0.01±0.00
MA18	เบลเยียม	0.68±0.13	0.02±0.00	0.12±0.06	nd	nd	nd

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	ประเทศ	องค์ประกอบของกรดไขมัน (กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค)					
		SFA	MUFA	PUFA	trans-C18:1	trans-C18:2	total TFAs
SH01	ไทย	2.32±0.61	1.66±0.69	0.30±0.00	0.05±0.00	nd	0.05±0.00
SH02	ไทย	2.01±0.27	3.74±0.12	0.13±0.02	2.75±0.00	0.06±0.00	2.81±0.09

CR = ครีมเทียม MA = เนยเทียม SH = เนยขาว

SFA = กรดไขมันอิ่มตัว MUFA = กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว PUFA = กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน

nd = ไม่พบ

ผลการวิเคราะห์ไขมันทรานส์จากตัวอย่างที่เก็บในช่วงเวลาก่อนประกาศฯ จำนวน 34 ตัวอย่าง พบว่ามี 1 ตัวอย่างที่มีไขมันทรานส์สูงเกินเกณฑ์ที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำ คือ ต่ำกว่า 0.5 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภคเป็นผลิตภัณฑ์เนยขาว SH02 ที่ผลิตในประเทศ เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เนยขาวในประเทศโปรตุเกสและสโลวีเนีย (Costa *et al.*, 2016; Abramovič *et al.*, 2018) ในหน่วยเดียวกันคือหน่วยร้อยละของไขมันทรานส์ต่อปริมาณกรดไขมันทั้งหมด พบว่าตัวอย่าง SH02 มีปริมาณไขมันทรานส์ที่มากกว่า ส่วนตัวอย่างกลุ่มครีมเทียมและเนยเทียมพบไขมันทรานส์ในกลุ่มครีมเทียมร้อยละ 21.43 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด และพบไขมันทรานส์ในกลุ่มเนยเทียมร้อยละ 66.6 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด แต่พบในปริมาณที่ต่ำ

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครีมเทียม เนยเทียมและเนยขาวที่เก็บตัวอย่างหลังประกาศฯ เลือกเก็บจากผลิตภัณฑ์ที่มีชุดการผลิตต่างออกไปจากตัวอย่างก่อนประกาศฯ เพื่อให้เป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาเพื่อรองรับกฎหมาย แต่พบว่ามีหลายผลิตภัณฑ์ยังไม่เปลี่ยนชุดการผลิตจึงเก็บตัวอย่างได้จำนวนน้อย ได้ทั้งหมด 17 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างครีมเทียม 10 ตัวอย่าง มาการิน 6 ตัวอย่าง และเนยขาว 1 ตัวอย่าง พบว่า ตัวอย่างที่ไม่ได้มีกรดไขมันทรานส์ในตัวอย่าง

ช่วงก่อนประกาศฯ เช่น CR04 CR09 CR10 CR11 MA08 มีรูปแบบของกลุ่มกรดไขมันในตัวอย่างหลังประกาศฯ ใกล้เคียงกันกับตัวอย่างก่อนประกาศฯ (ตารางที่ 2) ส่วนตัวอย่างที่มีกรดไขมันทรานส์ในตัวอย่างช่วงก่อนประกาศฯ พบว่าตัวอย่างที่เก็บหลังประกาศฯ มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้นและไม่พบกรดไขมันทรานส์เลย เช่น CR07 CR08 MA07 MA09 MA10 MA17 และ SH01 แสดงให้เห็นถึงการปรับตัวของผู้ผลิตที่ปรับสภาวะในกระบวนการไฮโดรจิเนชันทำให้มีปริมาณไขมันทรานส์ลดลง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวก็ไม่ใช่ผลดีกับผู้บริโภคเนื่องจากกรดไขมันอิ่มตัวทำให้ LDL cholesterol ในเลือดสูงขึ้น (Gu and Yin, 2020)

เนื่องจากตัวอย่างที่เก็บก่อนประกาศฯ มีเพียงตัวอย่างเนยขาว SH02 ตัวอย่างเดียวที่มีไขมันทรานส์สูง จึงให้ความสนใจที่จะเก็บตัวอย่าง SH02 ในช่วงหลังประกาศฯ ที่เป็นชุดการผลิต (lot number) ใหม่ แต่ไม่พบว่ามีจำหน่าย ผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายอยู่ยังคงเป็นชุดการผลิตเดิมจึงได้เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์อีกครั้งพบว่ามีไขมันทรานส์ 3.18 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค โดยไขมันทรานส์ที่พบคือคือ *trans*-9-Octadecenoic acid และ *trans*-9,trans-12-octadecadienoic acid ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่า 0.5 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค และสูงกว่าที่ Abramovič

et al. (2018) และ *Costa et al.* (2016) ได้รายงานไว้ถึงแม้ว่าจะเป็นตัวอย่างชุดการผลิตเดิมแต่ก็จำหน่ายในช่วงที่ประกาศกระทรวงฯ ได้ประกาศให้ปฏิบัติ

แล้ว กรณีนี้ถ้ามีการสุ่มตรวจจากกลุ่มงานคุ้มครองผู้บริโภค ก็จะมีการมีความผิดและถูกดำเนินคดีตามกฎหมาย

ตารางที่ 2 กลุ่มของกรดไขมันในผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจนบางส่วนที่เก็บตัวอย่างในช่วงเวลาหลังประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 388 ประกาศใช้

ผลิตภัณฑ์	องค์ประกอบของกรดไขมัน (กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค)					
	SFA	MUFA	PUFA	<i>trans</i> -C18:1	<i>trans</i> -C18:2	total TFAs
CR02	0.20±0.04	nd	nd	nd	nd	nd
CR04	0.20±0.03	nd	nd	nd	nd	nd
CR05	0.19±0.03	nd	nd	nd	nd	nd
CR06	0.19±0.05	0.01±0.00	0.01±0.00	nd	nd	nd
CR07	0.07±0.01	0.01±0.00	nd	nd	nd	nd
CR08	0.20±0.03	nd	nd	nd	nd	nd
CR09	0.29±0.01	0.19±0.02	0.05±0.02	nd	nd	nd
CR10	0.10±0.04	nd	0.09±0.00	nd	nd	nd
CR11	0.51±0.10	0.01±0.00	0.19±0.01	nd	nd	nd
CR12	0.36±0.06	nd	0.08±0.02	nd	nd	nd
MA07	4.44±0.74	3.10±0.55	0.79±0.00	nd	nd	nd
MA08	3.59±0.45	2.46±0.23	0.57±0.29	nd	nd	nd
MA09	2.91±0.36	1.92±0.00	0.44±0.00	nd	nd	nd
MA10	5.89±0.84	0.02±0.00	0.80±0.04	nd	nd	nd
MA16	7.12±0.79	0.16±0.05	0.31±0.10	nd	0.01±0.00	0.01±0.00
MA17	5.03±0.56	1.85±0.46	0.23±0.08	nd	nd	nd
SH01	2.84±0.45	1.41±0.31	0.29±0.00	nd	nd	nd
SH02	2.63±0.02	3.59±0.20	0.18±0.02	3.06±0.22	0.12±0.02	3.18±0.19

CR = ครีมเทียม MA = เนยเทียม SH = เนยขาว SFA = กรดไขมันอิ่มตัว MUFA = กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว PUFA = กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน nd = ไม่พบ

สรุป

การวิเคราะห์ปริมาณไขมันทรานส์ในผลิตภัณฑ์ครีมเทียม เนยเทียมและเนยขาวที่มีจำหน่ายในช่วงเวลา ก่อนบังคับใช้ประกาศกระทรวงฉบับที่ 388 พ.ศ. 2561 จำนวน 34 ตัวอย่าง พบว่ามี

ผลิตภัณฑ์ 1 ตัวอย่าง คือเนยขาว SH02 มีปริมาณกรดไขมันทรานส์ 2.81 ± 0.09 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค เกินกว่าปริมาณที่องค์การอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำไว้คือไม่ควรบริโภคมากกว่า 0.5 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ชนิดของ

ไขมันทรานส์หลักที่พบคือ *trans*-Octadecenoic acid (C18:1 μ) การเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่าย หลังการบังคับใช้ประกาศฯ วันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2562 และเป็นคนละชุดที่ผลิต (lot number) กับ ตัวอย่างที่เก็บก่อนประกาศฯ พบแนวโน้มว่า ผลิตภัณฑ์มีไขมันทรานส์ลดลงแต่กรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเนยขาว SH02 ในช่วง หลังประกาศฯ ยังคงเป็นชุดการผลิตเดิม แต่ก็ ได้มีการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ไขมันทรานส์ พบปริมาณไขมันทรานส์ 3.18 กรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ซึ่งถือว่าผิดกฎหมาย อย่างไรก็ตาม จำนวนตัวอย่างในงานวิจัยนี้รวม 51 ตัวอย่าง ตัวอย่างส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละ 96.08 ของ จำนวนตัวอย่างทั้งหมด มีปริมาณไขมันทรานส์ต่ำกว่าปริมาณที่องค์การอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำเพื่อความปลอดภัยในการบริโภค

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์อาหาร ฮาลาล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ สนับสนุนทุนวิจัยเรื่องนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abramovi, Č.H., Vidrih, R., Zlati, Č.E., Kokalj, D., Schreiner, M., Žmitek, K., Kušarc, A. and Pravst, I. 2018. Trans fatty acids in margarines and shortenings in the food supply in Slovenia. **Journal of Food Composition and Analysis** 74: 53-61.
- Chen, Y., Yang, Y., Nie, S., Yang, X., Wang, Y., Yang, M., And Xie, M. 2014. The analysis of trans fatty acid profiles in deep frying palm oil and chicken fillets with an improved gas chromatography method. **Food Control** 44: 191-197.
- Costa, N., Cruz, R., Graça, P., Breda, J. and Casal, S. 2016. Trans fatty acids in the Portuguese food market. **Food Control** 64: 128-134.
- Department of Disease Control. 2019. **Number and rates of patient in 2017-2019 (High blood pressure, Diabetes, Corona artery disease, Stroke)**. Available Source: <http://www.thaincd.com/2016/mission/documents-detail.php?id=13684&tid=32&gid=1-020>, December 16, 2019. (in Thai)
- Food and Drug Administration. 2015. **The FDA Takes Step to Remove Artificial Trans Fats in Processed Foods**. Available source: <https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm451237.htm>, September 15, 2018.
- Gu, Y. and Yin, J. 2020. Saturated fatty acids promote cholesterol biosynthesis: Effects and mechanisms. **Obesity Medicine** 18: 1-4.
- Kim, S.H., Chunawala, L., Linde, R. and Reaven, G.M. 2006. Comparison of the 1997 and 2003 American Diabetes Association Classification of impaired fasting glucose impact on prevalence of impaired fasting glucose, coronary heart disease risk factors, and coronary heart disease in a community-based medical practice. **Journal of the American College of Cardiology** 48(2): 293-297.

- Lepage, G. and Roy, C.C. 1984. Improved recovery of fatty acid through direct transesterification without prior extraction or purification. **The Journal of Lipid Research** 25: 1391-1396.
- Ministry of Public Health. 1998. **Ministry of public health notification No. 182 B.E. 2541 (1998) Food labelling.** Available Source: <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2541/D/047/23.PDF>, September 8, 2018. (in Thai)
- Ministry of Public health. 2018. **Manual of Ministry of public health notification No. 388 B.E. 2561 (2018) Prescribed prohibited food to be produced, imported or sold.** Available Source: http://www.fda.moph.go.th/sites/food/FileNews/manual_388.pdf, September 8, 2018. (in Thai)
- Mozaffarian, D, ketan, M.B. Ascherio, A., Stampfer, M.J. and Willett, W.C. 2006. Trans fatty acids and cardiovascular disease. **The New England Journal of Medicine** 354(15): 1601-1613.
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. 2018. **The World Health Organization issues a law to regulate trans fat.** Available Source: <https://warning.acfs.go.th/th/early-warning/view/?page=6294>, September 15, 2018. (in Thai)
- Oomen, C.M., Ocké, M.C., Feskens, E.J.M., Van Erp-Baart, M.A.J., Kok, F.J. and Kromhout, D. 2001. Association between trans fatty acid intake and 10-year risk of coronary heart disease in the Zutphen Elderly Study: A prospective population-based study. **The Lancet** 357: 746-751.

การประยุกต์ใช้คีโตเซออส (*Chaetoceros* sp.) และโรติเฟอร์ (*Brachionus rotundiformis*) ที่เก็บรักษาในรูปแบบเข้มข้นสำหรับอนุบาลกุ้งขาวและปูม้า
Application of Preserved Phytoplankton (*Chaetoceros* sp.) and Rotifer (*Brachionus rotundiformis*) in Concentrate Form for Larviculture of Whiteleg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and Blue Swimming Crab (*Portunus pelagicus*)

วาสนา อากรัตน์^{1*} วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม¹ และ ประภาพร ดีมาก²

Wasana Arkronrat^{1*}, Vutthichai Oniam¹ and Prapapron Deemark²

Received: 12 March 2020, Revised: 29 April 2020, Accepted: 14 May 2020

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเก็บรักษาคีโตเซออส (*Chaetoceros* sp.) สำหรับใช้ออนุบาลลูกกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) และการเก็บรักษาโรติเฟอร์ (*Brachionus rotundiformis*) สำหรับใช้ออนุบาลลูกปูม้า (*Portunus pelagicus*) โดยคีโตเซออสและโรติเฟอร์จะถูกเก็บเกี่ยวอยู่ในรูปแบบเข้มข้นและเก็บรักษาด้วยวิธีแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 °C โดยใช้ทริฮาโลส 2% โดยปริมาตร (w/w) เป็นสารรักษาสภาพเซลล์ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 2-4 สัปดาห์ (T1), 6-8 สัปดาห์ (T2) และ 10-12 สัปดาห์ (T3) เทียบกับวิธีการอนุบาลที่ใช้คีโตเซออสและโรติเฟอร์แบบมีชีวิต (ชุดควบคุม) ในการอนุบาลกุ้งขาวระยะซุเอีย 1-โพสลาวัน 2 และปูม้าระยะซุเอีย 1-เมกาโลปา ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า อัตรารอดตายเฉลี่ยลูกกุ้งขาวของชุดควบคุม (53.3±11.5%) ดีกว่าของชุดการทดลอง T1 (0%) T2 (0%) และ T3 (0%) ($p<0.05$) และพบว่าการใช้คีโตเซออสแบบเข้มข้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* ระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งขาวด้วย ส่วนอัตรารอดตายเฉลี่ยลูกปูม้าของชุดควบคุม T1 T2 และ T3 เท่ากับ 26.6±5.7%, 30.0±10.0%, 26.6±11.5% และ 23.3±5.7% ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำและปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* ของแต่ละชุด

¹ สถานีวิจัยประมงคลองวาฬ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตำบลคลองวาฬ อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77000

¹ Klongwan Fisheries Research Station, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Klongwan, Muang, Prachuap Khiri Khan 77000, Thailand.

² กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กองวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กรุงเทพมหานคร 10900

² Coastal Aquaculture Technology Research Group, Coastal Aquaculture Research and Development Division, Department of Fisheries, Bangkok 10900, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): ffiswna@ku.ac.th

การทดลองก็ไม่ได้มีความแตกต่างกันเช่นกัน ($p>0.05$) การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าโรติเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้นที่เก็บรักษา 2-8 สัปดาห์ มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ออนุบาลลูกปูม้า ในขณะที่คีโอเซออสในรูปแบบเข้มข้นที่เก็บรักษา 2-12 สัปดาห์ ไม่มีความเหมาะสมในการนำมาอนุบาลลูกกุ้งขาว

คำสำคัญ: คีโอเซออส, โรติเฟอร์, การอนุบาลกุ้งขาว, การอนุบาลปูม้า

ABSTRACT

The objectives of this study were to investigate the preservation of diatom microalgae (*Chaetoceros* sp.) for whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larviculture and of marine rotifer (*Brachionus rotundiformis*) for blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) larviculture. Both feed stored in concentrate form and by biomass-freezing at -20°C with 2% trehalose as cryoprotectant agents (w/w) at 2-4 weeks (T1), 6-8 weeks (T2) and 10-12 weeks (T3) were compared to the traditional method using alive *Chaetoceros* and alive rotifer (control) to nurse *L. vannamei* larvae from zoea 1 to post larva stages and *P. pelagicus* larvae from zoea 1 to magalopa stages, respectively. The results showed that survival rate of shrimp larvae fed with control feed ($53.3\pm 11.5\%$) was significantly higher than those of T1 (0%), T2 (0%) and T3 (0%) ($p<0.05$) and found that concentrated *Chaetoceros* affects water quality and quantity of *Vibrio* bacteria during shrimp larviculture. Additionally, survival rate of blue swimming crab larvae fed with traditional method, T1, T2 and T3 were $26.6\pm 5.7\%$, $30.0\pm 10.0\%$, $26.6\pm 11.5\%$ and $23.3\pm 5.7\%$, respectively. This indicated non-significant ($p>0.05$) difference. The average of water quality and quantity of *Vibrio* bacteria in each treatment were not significantly different ($p>0.05$). This study revealed that there is high possibility to use 2-8 weeks stored rotifer for *P. pelagicus* larviculture while 2-12 weeks stored *Chaetoceros* is not possible to use for *L. vannamei* larviculture.

Key words: *Chaetoceros*, *Brachionus*, *Litopenaeus vannamei* nursing, *Portunus pelagicus* nursing

บทนำ

การผลิตลูกพันธุ์สัตว์น้ำชายฝั่งเศรษฐกิจให้มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลสูงสุดนั้น คือ การหาวิธีการที่ทำให้ลูกสัตว์น้ำมีอัตราการรอดสูง แข็งแรง และปราศจากโรค เมื่อนำไปเลี้ยงต่อมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี จะเป็นที่ต้องการอย่างยิ่งของเกษตรกร และผู้ประกอบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป ซึ่งความสำเร็จเหล่านี้มีปัจจัยอยู่หลายประการ และการผลิตอาหารสัตว์น้ำวัยอ่อนก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มี

ความสำคัญอยู่ไม่น้อย ซึ่งปัจจุบันพบว่าอาหารที่นิยมนำมาใช้ในการอนุบาลลูกสัตว์ทะเลวัยอ่อน คือ แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ เพราะอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมต่อการพัฒนาการและอัตราการรอดตายของลูกสัตว์น้ำ (Wongrat, 2000; Araújo and Garcia, 2005; Ajah, 2010) แต่การผลิตแพลงก์ตอนแบบปริมาณมากในระดับฟาร์มของเกษตรกรนั้น มีข้อจำกัดอยู่หลายประการทั้งในด้านปริมาณ และคุณภาพ รวมทั้งมีต้นทุนในการผลิตสูง

โดยเฉพาะในช่วงที่สภาพภูมิอากาศแปรปรวน เกษตรกรมักประสบกับปัญหาไม่สามารถเพาะขยาย แพลงก์ตอนได้ หรือแพลงก์ตอนมีการปนเปื้อนสูง เมื่อเลี้ยงปริมาณมากในบ่อกลางแจ้ง ทำให้ไม่สะดวก ในการจัดเตรียม และการนำไปใช้ประโยชน์ จึง ประสบปัญหาแพลงก์ตอนไม่เพียงพอต่อการนำมา อนุบาลลูกสัตว์น้ำจนส่งผลกระทบต่อพัฒนาการ และอัตราการรอดตายของลูกสัตว์น้ำ

การแก้ไขปัญหาแพลงก์ตอนขาดแคลน เนื่องจากไม่สามารถเตรียมแพลงก์ตอนล่วงหน้าได้ ในช่วงที่สภาพภูมิอากาศแปรปรวน หรือไม่สามารถ เพาะขยายแพลงก์ตอนเนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ด้วยการเก็บเกี่ยว และเก็บรักษาแพลงก์ตอนแบบเข้มข้น (concentrate form) โดยการเติมสารรักษา สภาพแช่แข็ง (cryoprotectant agent) และเก็บแช่แข็ง (biomass-freezing) ไว้ใช้ในช่วงที่แพลงก์ตอนขาด แคลนก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหา ดังกล่าว (Heasman *et al.*, 2001; Arkronrat *et al.*, 2016; Oniam *et al.*, 2019) แต่อย่างไรก็ตาม การมี การศึกษาผลของการเก็บรักษาแพลงก์ตอนที่ใช้ในการ อนุบาลลูกสัตว์น้ำโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืช ชนิดคิโตเซอรอส (*Chaetoceros* sp.) และแพลงก์ ตอนสัตว์ชนิดโรติเฟอร์ (*Brachionus rotundiformis*) แบบเข้มข้นที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ ต่ออัตรา การเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของลูกสัตว์น้ำ

รวมไปถึงผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ เนื่องจากแพลงก์ ตอนเหล่านี้เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการอนุบาลลูกสัตว์ น้ำเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะสัตว์น้ำในกลุ่มครัสเต เชียน (crustaceans) เช่น กุ้ง ปู (Wongrat, 2000; Arkronrat *et al.*, 2014) ด้วยเหตุนี้ การวิจัยนี้จึงมุ่ง ศึกษาถึงผลของการใช้แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ ตอนสัตว์ในรูปแบบเข้มข้นที่ระยะเวลาการเก็บรักษา ต่างกันต่อการอนุบาลลูกสัตว์น้ำชายฝั่งเศรษฐกิจ กลุ่มครัสเตเชียน กรณีศึกษา กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) และปูม้า (*Portunus pelagicus*) ทั้งนี้เพื่อเป็นการต่อยอดองค์ความรู้ และการใช้ ประโยชน์แพลงก์ตอนในรูปแบบเข้มข้นต่อการนำมา อนุบาลลูกสัตว์น้ำกลุ่มนี้ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การวางแผนการทดลอง

นำคิโตเซอรอส และโรติเฟอร์ในรูปแบบ เข้มข้นที่เก็บรักษาด้วยการแช่เย็นที่ระยะเวลาเก็บ รักษา 2-12 สัปดาห์ มาอนุบาลลูกสัตว์น้ำชายฝั่ง เศรษฐกิจ ได้แก่ กุ้งขาวแวนนาไม และปูม้า เปรียบเทียบกับการอนุบาลแบบแพลงก์ตอนมีชีวิต คือ เพาะขยายแพลงก์ตอนแล้วนำมาให้ลูกสัตว์น้ำกิน โดยมีแผนการทดลองดังนี้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แผนการทดลอง

ชนิดลูกสัตว์น้ำ	ชุดการทดลอง (ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ)
กุ้งขาวแวนนาไม (<i>Litopenaeus vannamei</i>) ระยะซุเอีย-โพสลา วาร์ 2	คิโตเซอรอสแบบมีชีวิต+อาร์ทีเมียแรกฟัก (control)
	คิโตเซอรอสแบบเข้มข้นที่การเก็บรักษา 2-4 สัปดาห์+อาร์ทีเมียแรกฟัก (T1)
	คิโตเซอรอสแบบเข้มข้นที่การเก็บรักษา 6-8 สัปดาห์+อาร์ทีเมียแรกฟัก (T2)
	คิโตเซอรอสแบบเข้มข้นที่การเก็บรักษา 10-12 สัปดาห์+อาร์ทีเมียแรกฟัก (T3)
ปูม้า (<i>Portunus pelagicus</i>) ระยะซุเอีย-เมกาโลปา	คิโตเซอรอส+โรติเฟอร์แบบมีชีวิต (control)
	คิโตเซอรอส+โรติเฟอร์แบบเข้มข้นที่การเก็บรักษา 2-4 สัปดาห์ (T1)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชนิดลูกสัตว์น้ำ	ชุดการทดลอง (ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ)
	คีโตเซออส+โรติเฟอร์แบบเข้มข้นที่การเก็บรักษา 2-4 สัปดาห์ (T1)
	คีโตเซออส+โรติเฟอร์แบบเข้มข้นที่การเก็บรักษา 6-8 สัปดาห์ (T2)

การเตรียมคีโตเซออสในรูปแบบเข้มข้น

นำหัวเชื้อ *Chaetoceros calcitrans* ระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วที่เพาะขยายได้ในห้องปฏิบัติการด้วยอาหารสูตรคอนเวย์ (Conway medium) มาเพาะเลี้ยงต่อแบบปริมาณมากนอกห้องปฏิบัติการโดยเพาะเลี้ยงภายในถังพลาสติกทรงกระบอกขนาดความจุ 200 ลิตร ในอัตราส่วนหัวเชื้อต่อน้ำเลี้ยงเท่ากับ 1: 25 ใช้ความเค็ม 28 ± 1 ppt โดยใช้อาหารสูตรของซาโตะและซาริกาวา (Sato and Serikawa medium) เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำมาเพาะขยายต่อในถังไฟเบอร์ปริมาตร 2,000 ลิตร เป็นเวลา 2-3 วัน จึงเก็บเกี่ยวแพลงก์ตอนพืชในรูปแบบเข้มข้นด้วยการตกตะกอนโดยใช้ไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 40 ppm จากนั้นนำมาเก็บรักษาโดยการเติมสารรักษาสภาพเซลล์โดยใช้ ทริสฮาโลส ($C_{12}H_{22}O_{11}$) เข้มข้น 2% โดยปริมาตร บรรจุใส่ถุงซิพขนาด 0.5 ลิตร ก่อนนำไปเก็บที่ความเย็น -18 ถึง -20 °C (biomass-freezing) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 2-12 สัปดาห์ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป (Oniam *et al.*, 2019)

การเตรียมโรติเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้น

นำหัวเชื้อคลอเรลลา (*Chlorella* spp.) จากห้องปฏิบัติการที่มีความหนาแน่นของเซลล์ประมาณ 3×10^6 เซลล์/มล. หรือหัวเชื้อที่อยู่ในระยะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว มาเพาะขยายปริมาณมากภายในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร ที่อัตราส่วนหัวเชื้อ : น้ำขยาย เท่ากับ 1:25 ในน้ำความเค็ม 15 ppt ใส่ปุ๋ยสำหรับการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอนพืชกลุ่มสีเขียว น้ำเค็ม เพาะขยายเป็นเวลา 2 วัน จึงนำคลอเรลลามา

เพาะขยายต่อในบ่อคอนกรีตขนาด 3,000 ลิตร ประมาณ 2-3 วัน หรือคลอเรลลามีความหนาแน่นประมาณ $1-2 \times 10^6$ เซลล์/มล. จากนั้นจึงใส่เชื้อโรติเฟอร์ลงในบ่อเพาะเลี้ยงคลอเรลลาโดยใช้ความหนาแน่นของโรติเฟอร์ประมาณ 10-20 ตัว/มล. เก็บเกี่ยวโรติเฟอร์หลังการเพาะขยาย 3 วัน โดยใช้สวิงขนาดตา 75 ไมครอน ด้วยการเปิดท่อได้บ่อ นำถุงกรองที่มีขนาดตาใหญ่กว่า 200 ไมครอน มากรองที่ปากท่อเพื่อคัดจับตะกอน รอจนกว่าเก็บเกี่ยวโรติเฟอร์หมดบ่อ แล้วเก็บรวบรวมโรติเฟอร์ใส่ในถังขนาด 5 ลิตร จากนั้นนำมารองผ่านสวิงขนาดตา 75 ไมครอนอีกครั้ง เพื่อเก็บโรติเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้น (น้ำหนักเปียก) นำมาเก็บรักษาโดยการเติมสารรักษาสภาพเซลล์ด้วยทริสฮาโลสเข้มข้น 2% โดยปริมาตร บรรจุใส่ถุงซิพขนาด 0.5 ลิตร ก่อนนำไปเก็บที่ความเย็น -18 ถึง -20 °C (biomass-freezing) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 2-12 สัปดาห์ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการศึกษาต่อไป (Oniam *et al.*, 2019)

การเตรียมถังทดลอง และวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ

เตรียมถังไฟเบอร์ขนาดปริมาตร 200 ลิตร เติมน้ำทะเลความเค็ม 30 ppt ที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน 60% เข้มข้น 30 ppm ลงในถัง ให้อากาศด้วยสายลม และหัวทรายเติมอากาศ นอกจากนี้ อุปกรณ์อื่นๆ เช่น แก้ว กระดาษม้วน ถังพลาสติก สวิง ผ้ากรอง ฯลฯ ที่ใช้ในการอนุบาลลูกสัตว์น้ำต้องแช่น้ำยาฆ่าเชื้อโรค แล้วล้างให้สะอาดก่อนนำมาใช้

การอนุบาลกุ้งขาว

ซื้อลูกพันธุ์กุ้งขาวระยะนอเพลีสจากฟาร์มเอกชนที่ได้มาตรฐานมาปล่อยในถังทดลองที่อัตรา

ความหนาแน่นประมาณ 20,000 ตัว/ถัง (อัตราปล่อย 100,000 ตัว/ลบ.ม.) น้ำความเค็ม 30 ppt อนุบาลลูกกุ้ง ตั้งแต่ระยะนอเพลียสถึงโพสลาวัน 2 ตามแผนการทดลอง โดยเริ่มให้อาหารเมื่อกุ้งเข้าสู่ระยะชูเอี้ย 1 โดยให้อาหารวันละ 6 มื้อ (ทุก 4 ชม.) คือ 6.00, 10.00, 14.00, 18.00, 22.00 และ 2.00 น. (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การให้อาหารลูกกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) ระหว่างการทดลอง

ระยะลูกกุ้ง	ปริมาณอาหาร/มื้อ		ความถี่ในการให้
	แพลงก์ตอนพืช	แพลงก์ตอนสัตว์	
ชูเอี้ย 1	5×10^4 เซลล์/มล.	-	ทุก 4 ชม.
ชูเอี้ย 2-3	1×10^5 เซลล์/มล.	อาร์ทีเมียเรกฟัก 5 กรัม	ทุก 4 ชม.
ไมซิส 1 ถึงโพสลาวัน 2	1×10^5 เซลล์/มล.	อาร์ทีเมียเรกฟัก 10 กรัม	ทุก 4 ชม.

การอนุบาลลูกปูม้า

นำแม่ปูม้าไข่แก่ออกกระดองสีเทาดำที่ได้จากการเลี้ยงในบ่อดินของสถานีวิจัยประมงคลองวาว ที่อายุการเลี้ยงประมาณ 150 วัน ขนาดความกว้างกระดองประมาณ 10 เซนติเมตร มาเพาะฟักในถังพลาสติกทรงกลมขนาด 200 ลิตร ปล่อยแม่ปู 1 ตัว/ถัง ที่ปริมาตรน้ำ 150 ลิตร ความเค็ม 30 ppt เมื่อลูกปูฟักออกเป็นตัวแยกแม่ปูออก สุ่มนับลูกปูแรกฟัก (ระยะชูเอี้ย) โดยใช้ปิเกตอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร สุ่มตักลงไปในถังเพาะฟัก สุ่มนับลูกปู 3 ครั้ง ต่อ 1 ถัง

และหาค่าเฉลี่ย และนำค่าที่ได้มาเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมดภายในถังเพาะฟัก ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณของลูกปูในถัง จากนั้นจึงสุ่มลูกปูแรกฟักมาปล่อยในถังทดลอง โดยปล่อยลูกปูม้าที่อัตราความหนาแน่น 100,000 ตัว/ลบ.ม. หรือ 20,000 ตัว/ถัง น้ำความเค็ม 30 ppt อนุบาลลูกปูตั้งแต่ระยะชูเอี้ย-เมกาโลปา ตามแผนการทดลอง โดยให้อาหารลูกปูวันละ 2 มื้อ ตามการศึกษาของ Arkonrat and Oniam (2012) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การให้อาหารลูกปูม้า (*Portunus pelagicus*) ระหว่างการทดลอง

ระยะลูกปูม้า	ปริมาณอาหาร/มื้อ		ความถี่ในการให้
	แพลงก์ตอนพืช	แพลงก์ตอนสัตว์	
ชูเอี้ย 1	$1-2 \times 10^4$ เซลล์/มล.	-	วันละ 2 มื้อ
ชูเอี้ย 2	$1-2 \times 10^4$ เซลล์/มล.	โรติเฟอร์ 10 ตัว/มล.	วันละ 2 มื้อ
ชูเอี้ย 3 ถึงเมกาโลปา	$1-2 \times 10^4$ เซลล์/มล.	โรติเฟอร์ 10 ตัว/มล. + อาร์ทีเมียเรกฟัก 5 ตัว/มล.	วันละ 2 มื้อ

การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ระหว่างการทดลอง

นำตัวอย่างน้ำของในแต่ละชุดการทดลองมาวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* ทุก 3 วัน

โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ TCBS (Thiosulfate Citrate Bile Sucrose Agar) นับจำนวนโคโลนีที่เจริญบนจานเพาะเชื้อ บันทึกผล หาค่าเฉลี่ย แล้วคำนวณเป็น

จำนวนโคโลนีต่อมิลลิตรของตัวอย่าง (CFU/ml) ดังสมการ (1)

$$V = C \times 10 \times 10^f \quad (1)$$

เมื่อ V = ปริมาณ *Vibrio* ทั้งหมด (CFU/ml) C = จำนวนโคโลนี f = จำนวนเท่าของความเจือจางที่นับจำนวนได้

การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง

การเก็บตัวอย่างน้ำและตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำของแต่ละชุดการทดลองทุก 3 วัน ตามหลักการการตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพน้ำของ American Public Health Association *et al.* (2012) โดยมีพารามิเตอร์ที่ตรวจวิเคราะห์ดังนี้ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) อุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ความเค็ม ความเป็นด่าง ปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนโตรเจน

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพื่อหาความแตกต่างของข้อมูล ได้แก่ อัตรารอดตาย อัตราการเจริญเติบโต รวมทั้งคุณภาพน้ำและปริมาณเชื้อแบคทีเรีย (*Vibrio* spp.) ที่ได้ในแต่ละชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับ

ความเชื่อมั่น 95% โดยวิเคราะห์และประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics for Windows (Version 21.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลของคีโตเซออสในรูปแบบเข้มข้นที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกันต่ออัตราการรอดตาย อัตราการเจริญเติบโต และคุณภาพน้ำในการอนุบาลกุ้งขาวระยะซูเอีย-โพสลาวัร์ 2

อัตราการรอดตายเฉลี่ย (mean±S.D.) ของลูกกุ้งขาวระยะซูเอีย-โพสลาวัร์ 2 (พี 2) ที่อนุบาลด้วยคีโตเซออสร่วมกับอาร์ทีเมียแรกฟัก (control) คีโตเซออสในรูปแบบเข้มข้นที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 2-4 สัปดาห์ (T1) 6-8 สัปดาห์ (T2) และ 10-12 สัปดาห์ (T3) ร่วมกับอาร์ทีเมียแรกฟักเท่ากับ 53.3±11.5%, 0%, 0% และ 0% ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า อัตรารอดตายลูกกุ้งขาวของชุด control ดีกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4) โดยอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย หรือการพัฒนา ระยะ (mean±S.D.) ของลูกกุ้งจากระยะซูเอีย 1-2, ซูเอีย 2-3, ซูเอีย 3-ไมซิส และไมซิส-พี 2 ของชุด control มีการพัฒนาการของระยะเข้าสู่ระยะต่างๆ ดีกว่าชุดการทดลองอื่นๆ เช่นกัน ($p<0.05$) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 4 อัตรารอดตายเฉลี่ยของลูกกุ้งขาวที่อนุบาลในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดทดลอง	อัตราการรอดตาย (%) ของลูกกุ้งขาวระยะซูเอีย-โพสลาวัร์ (พี)							
	ซูเอีย 1	ซูเอีย 2	ซูเอีย 3	ไมซิส 1	ไมซิส 2	ไมซิส 3	พี 1	พี 2
Control	100	83.3±5.7 ^a	73.3±5.7 ^a	66.6±5.7 ^a	66.6±5.7 ^a	66.6±5.7 ^a	60.0±10.0 ^a	53.3±11.5 ^a
T1	100	53.3±3 ^b	23.3±5.7 ^b	6.6±5.7 ^b	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ชุดทดลอง	อัตราการตาย (%) ของลูกกุ้งขาวระยะซูเีย-โพสลาวั (พี)							
	ซูเีย 1	ซูเีย 2	ซูเีย 3	ไมชีส 1	ไมชีส 2	ไมชีส 3	พี 1	พี 2
T2	100	53.3±3 ^b	20.0±10.0 ^b	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b
T3	100	56.6±6 ^b	23.3±15.2 ^b	3.3±5.7 ^b	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0 ^b

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามคอลัมน์ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน (a, b) หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 5 การเจริญเติบโตเฉลี่ย (การพัฒนาระยะ) ของลูกกุ้งขาวที่อนุบาลในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลาการพัฒนาระยะ (วัน) ของลูกกุ้งขาว			
	ซูเีย 1 - 2	ซูเีย 2 - 3	ซูเีย 3 - ไมชีส	ไมชีส - โพสลาวั
Control	1.3±0.2 ^a	1.3±0.2 ^a	1.8±0.2 ^a	4.1±0.2
T1	1.8±0.2 ^b	2.6±0.2 ^b	1.8±1.6 ^a	nd
T2	2.0±0.0 ^b	2.6±0.2 ^b	nd	nd
T3	1.8±0.2 ^b	3.0±0.0 ^b	0.8±1.4 ^a	nd

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามคอลัมน์ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน (a, b) หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$)

การตรวจเช็คคุณภาพน้ำระหว่างการอนุบาล ลูกกุ้งขาวในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า มีปริมาณ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.68-4.70 mg/l อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยอยู่ในช่วง 28.80-28.86 °C ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.11-8.20 ปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.13-0.28 mg-N/l ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.06-0.18 mg-N/l และความเป็นด่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง 121.26-122.63 mg/l as CaCO₃ โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจน ละลายน้ำ อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่าง และความ เป็นด่างของแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ค่าเฉลี่ยของปริมาณ แอมโมเนียรวม และปริมาณไนไตรท์ของชุดการ ทดลองที่ T1, T2 และ T3 จะมีค่าสูงกว่าของชุด control ($p<0.05$)

ผลการตรวจเช็คปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* ระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งขาวในแต่ละชุดการ ทดลอง พบว่า ที่ระยะเวลาอนุบาล 3 วัน ปริมาณเชื้อ แบคทีเรีย *Vibrio* เฉลี่ยของชุด control ($0.16±0.15×10^2$ CFU/ml) จะต่ำกว่าของชุดการ ทดลองที่ T1 ($1.10±0.62×10^2$ CFU/ml) ($p<0.05$) และ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดการทดลองที่ T2 ($0.90±0.45×10^2$ CFU/ml) และ T3 ($0.63±0.11×10^2$ CFU/ml) ($p>0.05$) ที่ระยะเวลาอนุบาล 6 วัน พบว่า ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* เฉลี่ยที่พบในแต่ละชุด การทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และที่ระยะเวลาอนุบาล 9 วัน พบว่า ปริมาณเชื้อ แบคทีเรีย *Vibrio* เฉลี่ยของชุด control มีค่าเท่ากับ $0.76±0.64×10^2$ CFU/ml ส่วนชุดการทดลองอื่นๆ ไม่ สามารถตรวจสอบได้เนื่องจากลูกกุ้งที่อนุบาลตาย หมดก่อนเข้าวันที่ 9 ของการอนุบาล (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ที่ตรวจพบระหว่างการอนุบาลลูกกุ้งขาวในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดทดลอง	ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย <i>Vibrio</i> spp. ($\times 10^2$ CFU/ml)			
	เริ่มต้น	3 วัน	6 วัน	9 วัน
Control	0.00 $\pm$ 0.00	0.16 $\pm$ 0.15 ^b	0.73 $\pm$ 0.25 ^a	0.76 $\pm$ 0.64
T1	0.00 $\pm$ 0.00	1.10 $\pm$ 0.62 ^a	1.46 $\pm$ 1.45 ^a	nd
T2	0.00 $\pm$ 0.00	0.90 $\pm$ 0.45 ^{ab}	nd	nd
T3	0.00 $\pm$ 0.00	0.63 $\pm$ 0.11 ^{ab}	0.56 $\pm$ 0.98 ^a	nd

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามคอลัมน์ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน (a, b) หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลของโรติเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้นที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกันต่ออัตราการรอดตาย อัตราการเจริญเติบโต และคุณภาพน้ำในการอนุบาลปูม้าระยะชูเอี้ยง-เมกาโลปา

อัตราการรอดตายเฉลี่ยของลูกปูม้าระยะชูเอี้ยง-เมกาโลปาที่อนุบาลด้วยด้วยคิโตเซอรอสร่วมกับโรติเฟอร์ที่เก็บเกี่ยวแบบธรรมดา (control) อนุบาลด้วยคิโตเซอรอสร่วมกับโรติเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้นที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 2-4 สัปดาห์ (T1) 6-8 สัปดาห์ (T2) และ 10-12 สัปดาห์ (T3) เท่ากับ 26.6 $\pm$ 5.7%, 30.0 $\pm$ 10.0%, 26.6 $\pm$ 11.5% และ 23.3 $\pm$ 5.7% ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่า อัตราการรอดตายของลูกปูม้าในแต่ละชุดการ

ทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 7) ส่วนอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย (การพัฒนาระยะของลูกปู) ของลูกปูม้าจากระยะชูเอี้ยง 1-2, ชูเอี้ยง 2-3, ชูเอี้ยง 3-4 และ ชูเอี้ยง 4-เมกาโลปา พบว่า ที่ระยะชูเอี้ยง 1-2 ลูกปูม้าของ T1 และ T3 มีการพัฒนาการช้ากว่า control และ T2 ($p < 0.05$) ที่ระยะชูเอี้ยง 2-3 การพัฒนาการของแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ที่ระยะชูเอี้ยง 3-4 ลูกปูม้าชุดการทดลองที่ T3 มีการพัฒนาระยะช้ากว่าชุด control ($p < 0.05$) และที่ระยะชูเอี้ยง 4-เมกาโลปา การพัฒนาการของแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 7 อัตราการรอดตายเฉลี่ยของลูกปูม้าที่อนุบาลในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดทดลอง	อัตราการรอดตาย (%) ของลูกปูม้าระยะชูเอี้ยง 1 - เมกาโลปา				
	ชูเอี้ยง 1	ชูเอี้ยง 2	ชูเอี้ยง 3	ชูเอี้ยง 4	เมกาโลปา
Control	100	76.6 $\pm$ 5.7	53.3 $\pm$ 15.2	50.0 $\pm$ 10.0	26.6 $\pm$ 5.7
T1	100	76.6 $\pm$ 5.7	60.0 $\pm$ 10.0	46.6 $\pm$ 11.5	30.0 $\pm$ 10.0
T2	100	76.6 $\pm$ 5.7	66.6 $\pm$ 5.7	43.3 $\pm$ 5.7	26.6 $\pm$ 11.5
T3	100	70.0 $\pm$ 10.0	56.6 $\pm$ 5.7	46.6 $\pm$ 5.7	23.3 $\pm$ 5.7

ตารางที่ 8 การเจริญเติบโตเฉลี่ย (การพัฒนาระยะ) ของลูกปูม้าที่อนุบาลในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดทดลอง	ระยะเวลาการพัฒนาระยะ (วัน) ของลูกปูม้า			
	ชุดเลี้ยง 1 - 2	ชุดเลี้ยง 2 - 3	ชุดเลี้ยง 3 - 4	ชุดเลี้ยง 4 - เมกาโลปา
Control	3.0±0.0 ^a	3.3±0.2 ^a	3.1±0.2 ^a	3.6±0.2 ^a
T1	3.6±0.2 ^b	3.8±0.2 ^a	3.3±0.2 ^{ab}	3.8±0.2 ^a
T2	3.1±0.2 ^a	3.3±0.2 ^a	3.6±0.2 ^{ab}	4.1±0.2 ^a
T3	3.6±0.2 ^b	3.6±0.7 ^a	3.8±0.2 ^b	3.8±0.2 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามคอลัมน์ที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน (a, b) หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

คุณภาพน้ำระหว่างการอนุบาลลูกปูม้าแต่ละชุดการทดลอง พบว่า มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.75-4.93 mg/l อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยอยู่ในช่วง 27.33-27.63 °C ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.15-8.17 ปริมาณแอมโมเนียรวมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.10-0.16 mg-N/l ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.04-0.08 mg-N/l และความเป็นด่างอยู่ในช่วง 113.73-118.40 mg/l as CaCO₃ โดยค่า

คุณภาพน้ำเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ ผลการตรวจเช็คปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* ระหว่างการอนุบาลลูกปูม้าในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* เฉลี่ยของการอนุบาลลูกปูม้าที่ 3, 7, 10 และ 14 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. ที่ตรวจพบระหว่างการอนุบาลลูกปูม้าในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดทดลอง	ปริมาณเชื้อแบคทีเรีย <i>Vibrio</i> spp. ($\times 10^2$ CFU/ml)				
	เริ่มต้น	3 วัน	7 วัน	10 วัน	14 วัน
Control	0.00±0.00	0.06±0.11	0.73±0.75	1.20±1.13	1.57±0.49
T1	0.00±0.00	0.00±0.00	0.76±0.92	2.20±0.43	2.23±0.64
T2	0.00±0.00	0.00±0.00	1.66±0.76	3.23±0.58	2.86±1.23
T3	0.00±0.00	0.00±0.00	0.73±0.87	2.80±0.70	2.96±1.04

การผลิตลูกพันธุ์สัตว์น้ำชายฝั่งเศรษฐกิจ เช่น กุ้งขาว (*L. vannamei*) และปูม้า (*P. pelagicus*) ให้มีอัตราการรอดสูง แข็งแรง และปราศจากโรคเมื่อนำไปเลี้ยงต่อมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี จะเป็นที่ต้องการอย่างยิ่งของตลาด โรคโรดิเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้นมาประยุกต์ใช้ในการอนุบาลลูกปูม้าได้ โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการรอดตาย และคุณภาพน้ำระหว่างการอนุบาล เมื่อเปรียบเทียบกับอนุบาล

ด้วยโรดิเฟอร์แบบมีชีวิต ปูม้าที่อนุบาลด้วยโรดิเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้นที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10-12 สัปดาห์ จะมีพัฒนาการระยะจากชุดเลี้ยง 1-2 ซ้ำกว่าการอนุบาลด้วยโรดิเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้นที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 6-8 สัปดาห์ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่า การเก็บรักษาโรดิเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้นที่ความเย็น -18 ถึง -20 °C ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10-12 สัปดาห์ของการศึกษาครั้งนี้อาจส่งผลต่อคุณภาพของโรดิ

เฟอร์ที่เก็บรักษาได้ โดยเฉพาะผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของโรติเฟอร์ซึ่งจะมีผลต่อการพัฒนาการของลูกสัตว์น้ำวัยอ่อน แต่ถึงอย่างไรก็ตาม Oniam *et al.* (2019) รายงานว่า การใช้ทรีฮาโลสที่ระดับ 1% และ 2% โดยปริมาตรสามารถใช้รักษาสภาพเซลล์ของโรติเฟอร์ที่เก็บรักษาด้วยวิธีการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C ได้นานถึง 12 สัปดาห์ และได้ดีกว่าการใช้ทรีฮาโลสที่ระดับ 0.5% โดยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแบคทีเรีย ปริมาณโปรตีน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณไขมัน รวมไปถึงปริมาณกรดไขมัน EPA และ DHA ของโรติเฟอร์ที่เก็บรักษาดังนั้น ควรมีการตรวจสอบคุณภาพของวิธีการเก็บรักษาโรติเฟอร์ในรูปแบบแช่แข็งอยู่เป็นระยะๆ ทั้งนี้เพื่อการรักษาคุณภาพให้คงที่ และเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการนำมาอนุบาลลูกสัตว์น้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ Brand and Diller (2004) ที่รายงานไว้ว่า ควรมีการตรวจสอบคุณภาพของแพลงก์ตอนระหว่างการเก็บรักษาอยู่อย่างสม่ำเสมอเพื่อประโยชน์สูงสุดต่อการนำมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ Chuthong (2009) รายงานว่า การเก็บรักษาไรแดง หนอนแดง และอาร์ทีเมียแช่แข็งโดยการเติมทรีฮาโลส 10-15% ของปริมาตร สามารถเก็บรักษาแพลงก์ตอนสัตว์เหล่านี้ได้นาน 28 วัน โดยรูปร่างเสียสภาพไม่เกิน 30%

สำหรับการทดสอบผลของการเก็บรักษาแพลงก์ตอนพืชสกุลคลิโดเซอโรสแบบแช่แข็งต่อการนำมาอนุบาลลูกกุ้งขาวครั้งนี้ พบว่า ไม่สามารถนำคลิโดเซอโรสในรูปแบบแช่แข็งมาอนุบาลลูกกุ้งขาวให้มีผลผลิตที่ดีได้ เนื่องจากว่าอัตราการตายเฉลี่ยของลูกกุ้งขาวระยะซู่เอี้ย-โพสลาวาร์ 2 ที่อนุบาลด้วยคลิโดเซอโรสในรูปแบบแช่แข็งที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 2-4, 6-8 และ 10-12 สัปดาห์ เท่ากับ 0%, 0% และ 0% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการอนุบาลโดยใช้คลิโดเซอโรสแบบมีชีวิตที่มีอัตราการตายเฉลี่ยของลูกกุ้งขาว

ระยะซู่เอี้ย-โพสลาวาร์ 2 เท่ากับ $53.3 \pm 11.5\%$ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่าการเก็บเกี่ยวคลิโดเซอโรสในรูปแบบแช่แข็งด้วยการตกตะกอนโดยใช้คลิโดซาน (40 ppm) เมื่อนำแพลงก์ตอนพืชมาใช้ ปรากฏว่าแพลงก์ตอนพืชจับกันเป็นกลุ่มก้อน ไม่แตกกระจาย เมื่อนำมาอนุบาลลูกกุ้งจึงทำให้ลูกกุ้งไม่สามารถกินได้ และแพลงก์ตอนพืชส่วนมากจะตกตะกอนอยู่ที่ก้นถังทดลอง จึงเป็นเหตุให้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำด้วย โดยเฉพาะปริมาณแอมโมเนียรวม และปริมาณไนโตรเจนที่สูงกว่าการอนุบาลลูกกุ้งขาวโดยใช้รูปแบบการให้คลิโดเซอโรสแบบมีชีวิต ดังนั้น ควรหาวิธีการในการแก้ไขปัญหาแพลงก์ตอนพืชจับตัวกันเป็นตะกอนต่อไป เช่น ใช้สารตกตะกอนแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่นที่ไม่ทำให้แพลงก์ตอนพืชจับตัวกันเป็นก้อน เช่น อลูมิเนียมซัลเฟต (Wongrat, 2000) ซึ่งอลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารตกตะกอนแพลงก์ตอนพืชที่ได้ผลดีกับแพลงก์ตอนพืชหลายชนิด ตัวอย่างเช่น *Chlamydomonas* sp., *Dunaliella* sp. และ *Chlorella* sp. แต่ต้องควบคุม pH ของน้ำด้วย NaHCO_3 ซึ่งจะทำให้ได้ผลดียิ่งขึ้น (Heasman *et al.*, 2001)

สำหรับปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* และคุณภาพน้ำต่อการอนุบาลลูกกุ้งขาวและลูกปูม้านั้น จากผลการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า ทั้งปริมาณเชื้อแบคทีเรีย *Vibrio* ที่พบระหว่างการอนุบาล และคุณภาพน้ำระหว่างการอนุบาลไม่มีผลกระทบต่ออนุบาลและอัตราการตายของลูกสัตว์น้ำทั้งสองชนิดนี้ (Ponce-Palafox *et al.*, 1997; Moss *et al.*, 2000; Romano and Zeng, 2010; Oniam and Arkronrat, 2013; Azra and Ikhwanuddin, 2015)

การศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นถึงแนวทางการใช้แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์แบบแช่แข็งต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในการอนุบาลลูกสัตว์น้ำชายฝั่งเศรษฐกิจโดยการเติมสารรักษาสภาพเซลล์ (cryoprotectant agent) และเก็บแช่แข็ง (biomass-

freezing) ไว้ในช่วงที่แพลงก์ตอนขาดแคลน ซึ่งสามารถช่วยแก้ไขปัญหาคาการผลิตแพลงก์ตอนแบบปริมาณมากในระดับฟาร์มของเกษตรกรได้ โดยเฉพาะในช่วงที่สภาพภูมิอากาศแปรปรวน เกษตรกรมักประสบกับปัญหาการเพาะขยายแพลงก์ตอน หรือแพลงก์ตอนมีการปนเปื้อนสูงเมื่อเลี้ยงปริมาณมากในบ่อกลางแจ้ง ทำให้ไม่สะดวกในการจัดเตรียม และการนำไปใช้ประโยชน์ แต่อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการเก็บเกี่ยวทีโตะเซอร์อสแบบเข้มข้น โดยใช้สารตกตะกอนชนิดอื่นที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในการอนุบาลลูกกุ้งขาว รวมไปถึงการต่อยอดผลการวิจัยด้านการเก็บโรติเฟอร์แบบเข้มข้นไปสู่เชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นประเด็นวิจัยที่ควรทำการศึกษาในลำดับต่อไป

สรุป

ผลของการเก็บรักษาทีโตะเซอร์อส และโรติเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้นที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกันต่อการอนุบาลลูกกุ้งขาว และปูม้า พบว่าสามารถนำโรติเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้นมาใช้ในการอนุบาลลูกปูม้าได้ โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการตาย และคุณภาพน้ำระหว่างการอนุบาล โดยเฉพาะการใช้โรติเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้นที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 2-4 และ 6-8 สัปดาห์ จะมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้โรติเฟอร์ในรูปแบบเข้มข้นที่การเก็บรักษา 10-12 สัปดาห์ ส่วนทีโตะเซอร์อสในรูปแบบเข้มข้นที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 2-4, 6-8 และ 10-12 สัปดาห์ ไม่มีความเหมาะสมต่อการนำมาอนุบาลลูกกุ้งขาว

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (สวพ.มก.) ที่

สนับสนุนทุนศึกษาวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

เอกสารอ้างอิง

- Ajah, P.O. 2010. Mass culture of Rotifer (*Brachionus quadridentatus* [Hermann, 1783]) using three different algal species. **African Journal of Food Science** 4(3): 80-85.
- American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation. 2012. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. (22th ed). American Public Health Association, Washington DC.
- Araújo, S.D.C. and Garcia, V.M.T. 2005. Growth and biochemical composition of the diatom *Chaetoceros* cf. *wighamii* brightwell under different temperature, salinity and carbon dioxide levels. I. Protein, carbohydrate and lipids. **Aquaculture** 246: 405-412.
- Arkronrat, W., Deemark, P., Hengcharoen, N., Pradubtham, K. And Oniam, V. 2014. Cost-benefit analysis of inoculums and mass production of *Chaetoceros*, pp. 149-156. **In The Proceeding of 52nd Kasetsart University Annual Conference**. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Arkronrat, W., Deemark, P. and Oniam, V. 2016. Usage of trehalose as cryoprotecting agent on preservation of marine microalgae (*Chlorella* sp. and *Chaetoceros calcitrans*) in concentrate form, p. 521. **In Abstract**

- book of 6th International Fisheries Symposium (IFS 2016).** Can Tho University, Can Tho.
- Arkronrat, W. and Oniam, V. 2012. Effects of a diatom *Thalassiosira* spp. on survival rate and development of blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) larvae from zoea I to IV stages. **Khon Kaen Agriculture Journal** 40(1): 61-68. (in Thai)
- Azra, M.N. and Ikhwanuddin, M. 2015. Larval culture and rearing techniques of commercially important crab, *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758): Present status and future prospects. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 37(2): 135-145.
- Brand, J.J. and Diller, K.R. 2004. Application and theory of algal cryopreservation. **Nova Hedwigia** 79(1-2): 175-189.
- Chuthong, T. 2009. Using of trehalose for increasing efficiency in preservation of frozen natural feed for aquaculture. Master thesis (Aquaculture). Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Heasman, M.P., Sushames, T.M., Diemat, J.A., Connor, W.A.O. and Foulkes, L.A. 2001. **Production of Micro-algal Concentrates for Aquaculture Part 2: Development and Evaluation of Harvesting, Preservation, Storage and Feeding Technology.** NSW Fisheries, New South Wales.
- Moss, S.M., LeaMaster, B.R. and Sweeney, J.N. 2000. Relation abundance and species composition of gram negative, aerobic associated with the gut of juvenile white shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in oligotrophic well water and eutrophic pond water. **Journal of the World Aquaculture Society** 31: 255-263.
- Oniam, V. and Arkronrat, W. 2013. Development of crab farming: The complete cycle of blue swimming crab culture program (CBSC Program) in Thailand. **Kasetsart University Fisheries Research Bulletin** 37(2): 31-43
- Oniam, V., Arkronrat, W. and Deemark, P. 2019. Usage of trehalose as cryoprotectant agent on preservation of marine rotifer (*Brachionus rotundiformis*) in concentrate form at different storage. **Journal of Fisheries Technology Research** 13(1): 75-81. (in Thai)
- Ponce-Palafox, J., Martinez-Palacios, C.A. and Ross, L.G. 1997. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931. **Aquaculture** 157: 107-115.
- Romano, N and Zeng, C. 2010. Survival, osmoregulation and ammonia-N of blue swimming crab, *Portunus pelagicus*, juveniles exposed to different ammonia-N and salinity combinations. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part C** 151: 222-228.
- Wongrat, L. 2000. **Manual of Plankton Culture.** Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)

การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

A Comparison of Forecasting Methods for Wind Speed at an Altitude of 120 Meters, Pak Phanang District, Nakhon Si Thammarat Province

วารางคณา เรียนสุทธิ*

Warangkhan Riansut *

Received: 28 August 2019, Revised: 13 October 2019, Accepted: 15 January 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งสร้างโดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์ อัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ใช้ศึกษาได้มาจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์จะใช้เกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่า วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณมีความเหมาะสมมากที่สุด จึงสามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อทำนายปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: อัตราเร็วลม, ตัวแบบพยากรณ์, บ็อกซ์-เจนกินส์, การทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลัง

ABSTRACT

This research aimed to compare two methods of forecasting wind speed: Box-Jenkins method and Winters' exponential smoothing method at an altitude of 120 meters in Pak Phanang district, Nakhon Si Thammarat province. Hourly wind speed was gathered from Research Center in Energy and Environment, Thaksin University. The criteria of the lowest mean absolute percentage error and root mean squared error were

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210
Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung Campus, Ban Prao, Papayom, Phattalung 93210, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): warang27@gmail.com Tel: 08 8790 8476

used for comparing the suitability of the forecasting model. The study indicated that the Winters' multiplicative exponential smoothing method was the most appropriate. Therefore, this forecasting method can be used to predict wind speed at an altitude of 120 meters in Pak Phanang district, Nakhon Si Thammarat province and can be used to predict the amount of electricity that will be produced in the future.

Key words: wind speed, forecasting model, Box-Jenkins, exponential smoothing

บทนำ

ปัจจุบันมีทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าเชิงพาณิชย์จากหน่วยงานเอกชนเพื่อจำหน่ายให้แก่รัฐที่กำลังดำเนินการในประเทศไทยแล้ว 21 โครงการ มีกำลังการผลิตติดตั้ง 681.4 เมกะวัตต์ ในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดสงขลา จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดภูเก็ต และจังหวัดราชบุรี นอกจากนี้ยังมีอีกหลายโครงการที่กำลังอยู่ในระหว่างก่อสร้างในรูปแบบผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก (Very Small Power Producer: VSPP) มีกำลังการผลิตติดตั้ง 1 - 10 เมกะวัตต์ เช่น ทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 10 เมกะวัตต์ของโครงการลมลิกอร์ อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช และผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer: SPP) มีกำลังการผลิตติดตั้งมากกว่า 10 เมกะวัตต์ แต่ไม่เกิน 90 เมกะวัตต์ เช่น ทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 60 เมกะวัตต์ของบริษัทกันกุลเอ็นจิเนียริง จำกัด (มหาชน) รวมถึงยังมีอีกหลายโครงการที่กำลังอยู่ในระหว่างการพัฒนา ซึ่งเป็นการพัฒนาเพื่อให้เป็นไปตามแผนการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของกระทรวงพลังงานและมีเป้าหมายการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าให้ได้ถึง 3,002 เมกะวัตต์

จากการที่พลังงานลมมีคุณลักษณะที่มีความแปรปรวนสูง เพราะพฤติกรรมของลมที่ไม่ต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงสูง ทำให้การผลิตไฟฟ้าของ

ทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้ามีลักษณะแปรปรวนตามพฤติกรรมของลม ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพไฟฟ้าที่ผลิตได้จากทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้า ดังนั้นการคาดการณ์หน่วยผลิตหรือการพยากรณ์หน่วยผลิตไฟฟ้าจากทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะช่วยให้การวางแผนการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับความต้องการใช้ไฟฟ้าไม่สูงและไม่ต่ำจนเกินไป อย่างไรก็ตาม การพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะมีความถูกต้องแม่นยำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น การพยากรณ์ลมในพื้นที่ของทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงและมีความถี่เชิงเวลาที่ละเอียด เช่น รายนาทีกหรือรายชั่วโมง ปัจจุบันมักจะอาศัยตัวแบบการไหลของลมแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการพยากรณ์อัตราเร็วลม นอกจากนี้ยังมีการใช้เทคนิคการพยากรณ์ต่างๆ เช่น เทคนิคการสร้างตัวแบบพยากรณ์ทางสถิติ เพื่อช่วยให้ผลการพยากรณ์มีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่น่าสนใจที่ควรมีการศึกษาการพยากรณ์อัตราเร็วลม โดยการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยให้ความสนใจกับการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช จากการศึกษางานวิจัยอื่นๆ พบว่า Keerativibool and Mahileh (2011) ได้พยากรณ์อัตราเร็วลมราย 3 ชั่วโมง ที่ระดับความสูง 20 เมตรตามแนวชายฝั่ง อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา ผลการวิจัยพบว่า วิธีการแยกส่วนประกอบของ

อนุกรมเวลาในรูปแบบบวกให้ความแม่นยำในการพยากรณ์สูงกว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ Keerativibool and Mahileh (2013) ได้พยากรณ์อัตราเร็วลมรายชั่วโมง ที่ระดับความสูง 40 เมตร ตามแนวชายฝั่งอำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ผลการวิจัยพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยใช้ตัวแบบ SARIMA(1, 1, 1)(0, 1, 1)₂₄ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เป็นวิธีที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด Promdee (2016) ได้ศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่กังหันลม ผลการวิจัยพบว่ากังหันลมชาโวเนียสที่นำเสนอสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ในช่วง 6.3 - 9.5 โวลต์และผลิตได้เพิ่มขึ้น 5.65% เมื่อติดตั้งช่องลมคู่ที่มุม 30 องศา เทียบกับทิศทางกระแสลม ณ ความเร็วลม 4.68 - 6.41 เมตรต่อวินาที และที่ตำแหน่งห่างจากกระแสลมระยะ 20 - 60 เซนติเมตร สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้สูงขึ้นเฉลี่ย 45 - 68% เมื่อเปรียบเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสแบบเดิมที่ไม่มีช่องลมคู่กังหันลม Thongyai and Assawamartbunlue (2017) ได้ศึกษาการจำลองแผนที่ความเร็วลมจังหวัดจันทบุรีและจังหวัดตราด เพื่อเสาะหาแหล่งพื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลม โดยใช้ WindSim ซึ่งเป็นตัวแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาประยุกต์ใช้จำลองแผนที่ความเร็วลม ผลจากการจำลองแสดงแหล่งความเร็วลมที่มีศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า พบพื้นที่ 3 แหล่งที่มีศักยภาพความเร็วลมเหมาะสมกับกังหันลมความเร็วต่ำเฉลี่ยรายปี 5 - 7 เมตร/วินาที คือ พื้นที่เขาสอยดาวจังหวัดจันทบุรี พื้นที่บริเวณเขาคิชฌกูฏจังหวัดจันทบุรี และพื้นที่เกาะช้างจังหวัดตราด ผลการสอบเทียบด้วยข้อมูลจากเสาตรวจวัดพบว่า ค่าการจำลองมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ Keerativibool *et al.* (2011) ได้พยากรณ์อัตราเร็วลมราย 3 ชั่วโมง ที่ระดับความสูง 30 เมตร ตามแนวชายฝั่ง อำเภอจะนะ

จังหวัดสงขลา ผลการวิจัยพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ เป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา Mauch (2012) ได้ศึกษาการจัดการความไม่แน่นอนของการพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในระบบกริด เนื่องจากพฤติกรรมของลมที่ไม่แน่นอนและมีความแปรปรวนสูง ทำให้เป็นเรื่องที่ท้าทายต่อการเชื่อมต่อห่วงกังหันลมผลิตไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าโดยบริหารจัดการให้ภาระไฟฟ้าและกำลังการผลิตมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก ดังนั้นผู้ประกอบการระบบ (System Operator) จึงมักจะมีการพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมล่วงหน้าหนึ่งวัน (Day-Ahead Forecast) ความผิดพลาดของการพยากรณ์ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนระหว่างการผลิตภาระไฟฟ้า ปัจจุบันความไม่แน่นอนของการพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้ามีค่ามากกว่าความไม่แน่นอนของการพยากรณ์ลมมาก วิธีการหนึ่งที่จะลดความไม่แน่นอนดังกล่าวคือ การรวมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเข้ากับระบบเก็บสะสมพลังงาน Bielecki *et al.* (2014) ได้ศึกษาคุณลักษณะทางสถิติของความผิดพลาดในการพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ซึ่งการพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็นการผสมผสานกันระหว่างเทคนิคทางฟิสิกส์และสถิติ โดยเป็นอัลกอริธึมที่มีความสลับซับซ้อนในการพยากรณ์และลดความผิดพลาดความผิดพลาดดังกล่าวมักจะเกี่ยวข้องกับลมและเส้นโค้งกำลังของกังหันลมผลิตไฟฟ้า และ Vasilji *et al.* (2015) ได้พัฒนาตัวแบบกำลังผลิตไฟฟ้า โดยอาศัยกระบวนการสโตแคสติก (Stochastic Process) ซึ่งตัวแบบที่พัฒนาขึ้นมาอาศัยข้อมูลลมตรวจวัด การแจกแจงไวบูล (Weibull Distribution) เส้นโค้งกำลังของกังหันลมผลิตไฟฟ้า และกำลังการผลิตไฟฟ้าของห่วงกังหันลมผลิตไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่า ตัวแบบทางสถิติสามารถใช้ในการจำลองความผิดพลาดในการ

พยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้ารายปีของทุ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า มีการศึกษาการผลิตไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ของภาคใต้ โดยการศึกษาพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 20 และ 30 เมตร อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา และที่ระดับความสูง 40 เมตร อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช แต่ยังไม่เคยมีการศึกษาที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร เป็นสิ่งที่มีประโยชน์ เนื่องจากเป็นระดับความสูงของกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ในปัจจุบันที่มีหอคอยสูงระดับ 120 เมตร อีกทั้งที่ระดับความสูงเพิ่มขึ้นอัตราเร็วลมจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม จึงทำให้สามารถผลิตหน่วยไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้วิธีการทางสถิติทั้งหมด 2 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์ จากนั้นจึงคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด 1 ตัวแบบ โดยใช้เกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) ที่ต่ำที่สุด เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์สำหรับการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช แล้วนำผลการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการทำนายปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในอนาคตต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลม (เมตร/วินาที) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17 ที่มีลิขสิทธิ์ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยทักษิณ เป็นอัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2524 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. จำนวน 302,377 ค่า เนื่องด้วยข้อจำกัดของงบประมาณการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ไม่สามารถนำอัตราเร็วลมที่เป็นปัจจุบันมาวิเคราะห์ข้อมูลได้ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วลมในอดีตพบว่า ไม่ได้มีความแตกต่างกับในปัจจุบันมากนัก ผู้วิจัยได้คัดเลือกข้อมูลอัตราเร็วลมล่าสุดมาศึกษา ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. จำนวน 1,465 ค่า เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ศูนย์ฯ ได้เก็บรวบรวมข้อมูลมาได้ ซึ่งการใช้ข้อมูลล่าสุดที่ใกล้เคียงกับข้อมูลปัจจุบันในการพยากรณ์จะทำให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความถูกต้องเหมาะสม และแม่นยำมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจำนวน 1,465 ค่า มาแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 23.00 น. จำนวน 1,440 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ และชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 30 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. จำนวน 25 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่ต่ำที่สุด

จากการสังเกตการเคลื่อนไหวของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 1 ดังภาพที่ 1 ในผลการวิจัย

และวิจารณ์ผล พบว่า อัตราเร็วลมมีแนวโน้มทั้งลดลงและเพิ่มขึ้น รวมถึงมีความแปรผันตามฤดูกาล จากการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบว่าอัตราเร็วลมมีแนวโน้มหรือไม่โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคอล-วอลลิส (Kruskal-Wallis's One-Way Analysis of Variance by Rank) เนื่องจากอัตราเร็วลมในแต่ละวันไม่มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีแนวโน้ม ($\chi^2 = 387.570, p\text{-value} < 0.0001$) และจากการตรวจสอบว่าอัตราเร็วลมมีความแปรผันตามฤดูกาลหรือไม่โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA) เนื่องจากอัตราเร็วลมในแต่ละชั่วโมงหลังจากกำจัดแนวโน้มออกแล้วมีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีความแปรผันตามฤดูกาล ($F = 2.269, p\text{-value} = 0.001$) ดังนั้นวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่มีควรวัดกับอนุกรมเวลาที่มีทั้งแนวโน้มและความแปรผันตามฤดูกาล ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-

เจนกินส์ (เมื่อใช้ตัวแบบ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average, SARIMA) และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์ วิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติทั้ง 2 วิธีดังกล่าวแสดงรายละเอียดคั้งหัวข้อที่ 1 สำหรับหัวข้อที่ 2 จะเป็นการตรวจสอบข้อสมมุติและการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์

1. วิธีการพยากรณ์

1.1 วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เป็นวิธีที่มีความนิยมสูง จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ด้านต่างๆ เป็นจำนวนมาก ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของวิธีนี้ คือ การกำหนดตัวแบบ ซึ่งเราจำเป็นต้องทราบ Autocorrelation Function (ACF) และ Partial Autocorrelation Function (PACF) ของอนุกรมเวลาที่มีลักษณะคงที่ (Stationary) (Manmin, 2006) ตัวแบบของวิธี บ็อกซ์-เจนกินส์ หรือตัวแบบ SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s แสดงดังนี้ (Box *et al.*, 1994)

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

เมื่อ Y_t แทนอัตราเร็วลม ณ เวลา t

ε_t แทนอนุกรมเวลาของค่าคลาดเคลื่อน

$\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_p(B^s)$ แทนค่าคงตัว (Constant)

โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่

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

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

แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองอันดับที่ P กรณี

มีฤดูกาล (Seasonal Autoregressive Operator of Order P : SAR(P))

$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Moving Average Operator of Order q : MA(q))

$\Theta_Q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_Q B^{Qs}$
แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ Q กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Moving Average Operator of Order Q : SMA(Q))

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward Operator) โดยที่ $B^s Y_t = Y_{t-s}$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_t เมื่อ n_t แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

1.2 วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์

วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์เป็นวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังที่ดีที่สุดในการพยากรณ์อนุกรมเวลา (Manmin, 2006) ซึ่งอิทธิพลของฤดูกาลแสดงได้โดยรูปแบบเชิงบวกหรือรูปแบบเชิงคูณดังตัวแบบต่อไปนี้ (Ket-iam, 2005)

วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก

$$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) + \hat{S}_t \quad (2)$$

วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ

$$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) \hat{S}_t \quad (3)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วรวม ณ เวลา $t + m$ โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

a_t , b_t และ $\hat{S}_t$ แทนค่าประมาณระยะตัดแกน Y ความชันของแนวโน้ม และความแปรผันตามฤดูกาล ณ เวลา t ตามลำดับ

สำหรับตัวแบบบวก a_t , b_t และ $\hat{S}_t$ มีค่าเป็น $a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$,

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

$$\hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$$

สำหรับตัวแบบคูณ a_t , b_t และ $\hat{S}_t$ มีค่าเป็น

$$a_t = \alpha \frac{Y_t}{\hat{S}_{t-s}} + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}),$$

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

$$\hat{S}_t = \delta \frac{Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-s}$$

α , γ และ δ แทนค่าคงตัวการทำให้เรียบโดยที่ $0 < \alpha < 1$, $0 < \gamma < 1$ และ $0 < \delta < 1$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_t เมื่อ n_t แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

2. การตรวจสอบข้อสมมุติและการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์

ดำเนินการตรวจสอบข้อสมมุติของตัวแบบพยากรณ์ โดยพิจารณาที่ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการแจกแจงปกติ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมิรโนฟ (Kolmogorov-Smirnov's Test) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบที (t-Test) และมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกันโดยมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา ตรวจสอบโดยพิจารณาจากกราฟค่าคลาดเคลื่อนเทียบกับเวลา หากพบว่าอนุกรมเวลาของค่าคลาดเคลื่อนมีเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งไม่เป็นจริงจะสรุปว่าตัวแบบพยากรณ์ไม่เหมาะสม และไม่สมควรนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป สำหรับการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์ จะเปรียบเทียบอัตราเร็วรวมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 30 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. จำนวน 25 ค่า กับค่าพยากรณ์จากวิธีการทางสถิติทั้ง 2 วิธี โดยการคำนวณค่า MAPE และ RMSE ซึ่งถ้าพบว่าตัว

แบบพยากรณ์ใดที่ให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด จะจัดเป็นตัวแทนที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด เกณฑ์ MAPE และ RMSE แสดงดังนี้ (Ket-iam, 2005; Manmin, 2006)

$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} e_t^2} \quad (5)$$

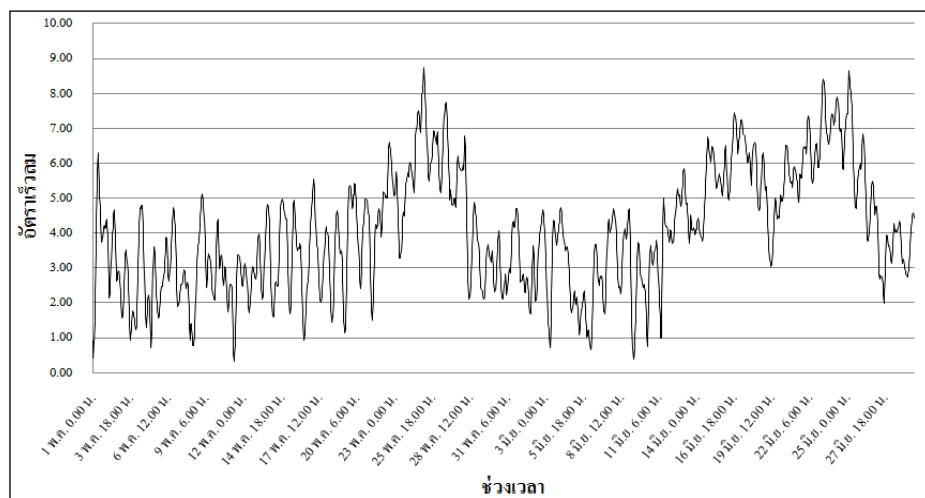
เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทนค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา t

Y_t และ $\hat{Y}_t$ แทนอนุกรมเวลา และค่าพยากรณ์ อัตราเร็วลม ณ เวลา t

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_2 โดยที่ n_2 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 2

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

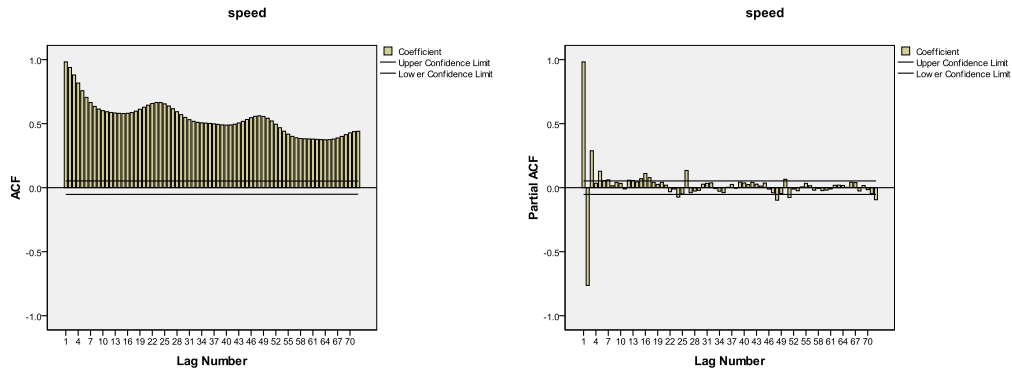
จากการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของ อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปาก พันธ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 23.00 น. จำนวน 1,440 ค่า ดังภาพที่ 1 พบว่า อัตราเร็วลมมีแนวโน้มทั้งเพิ่มขึ้น และลดลง อีกทั้งยังมีความแปรผันตามฤดูกาลรวม ด้วย



ภาพที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 23.00 น.

1. ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์

1.1 ผลของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์



ภาพที่ 2 ACF และ PACF ของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร

จากภาพที่ 1 และ 2 รวมถึงผลการทดสอบ แนวโน้มและความแปรผันตามฤดูกาล พบว่า อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตรมีแนวโน้มและความแปรผันตามฤดูกาล ผู้วิจัยจึงกำจัดแนวโน้มออกโดยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) และกำจัดความแปรผันตามฤดูกาลออกโดยการหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 ($D = 1, s = 24$) แต่พบว่าอนุกรมเวลายังมีลักษณะไม่คงที่ เนื่องจากกราฟ ACF ดังภาพที่ 3 (ซ้าย) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลดลงอย่างช้าๆ และกราฟ PACF ดังภาพที่ 3 (ขวา) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนสูงเกินจากขอบเขตที่กำหนดเป็นอย่างมากในช่วงเวลาที่ 1 และ 2 ซึ่งหมายความว่า อนุกรมเวลาที่กำจัดแนวโน้มออกโดย

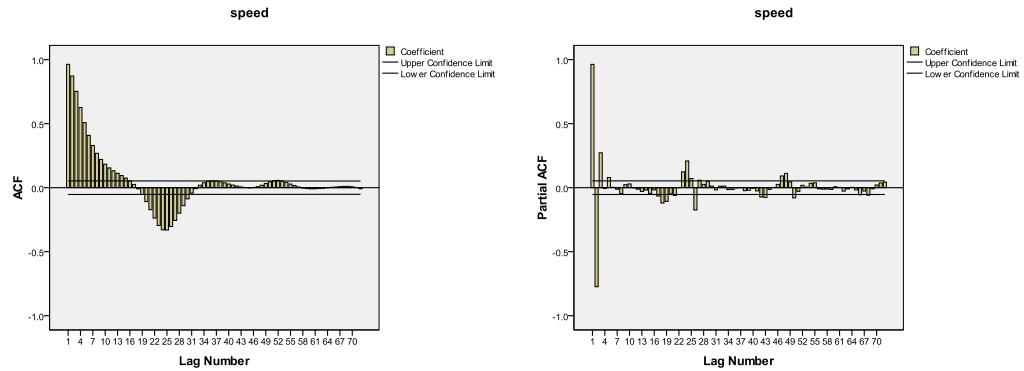
การหาผลต่างลำดับที่ 1 ยังคงมีส่วนประกอบของแนวโน้มอยู่ ดังนั้นจึงแปลงข้อมูลอีกครั้งโดยการหาผลต่างลำดับที่ 2 และผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 ($d = 2, D = 1, s = 24$) ได้กราฟ ACF และ PACF หลังจากการแปลงข้อมูลแสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลา มีลักษณะคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น คือ ตัวแบบ SARIMA(3, 2, 3)(3, 1, 1)₂₄ พร้อมกับประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์ทุกตัวมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ ตัวแบบ SARIMA(1, 2, 2)(2, 1, 1)₂₄ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว และจากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นตัวแบบพยากรณ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\hat{Y}_t = & 2.66169Y_{t-1} - 2.32338Y_{t-2} + 0.66169Y_{t-3} + 0.90791Y_{t-24} - 2.41657Y_{t-25} + 2.10942Y_{t-26} \\ & - 0.60075Y_{t-27} + 0.01181Y_{t-48} - 0.03143Y_{t-49} + 0.02744Y_{t-50} - 0.00781Y_{t-51} + 0.08028Y_{t-72} \\ & - 0.21368Y_{t-73} + 0.18652Y_{t-74} - 0.05312Y_{t-75} - 0.46244e_{t-1} - 0.53738e_{t-2} - 0.76683e_{t-24} \\ & + 0.35461e_{t-25} + 0.41208e_{t-26}\end{aligned}\quad (6)$$

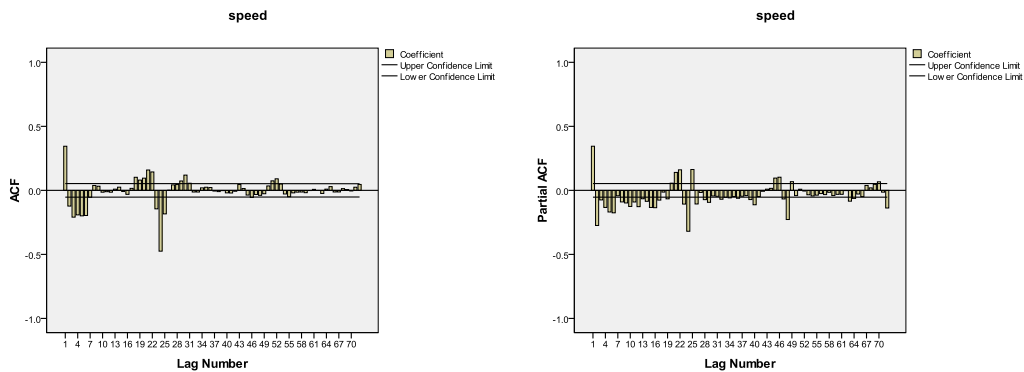
เมื่อ $\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา t

Y_{t-j} แทนอัตราเร็วลม ณ เวลา $t-j$

e_{t-j} แทนค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา $t-j$



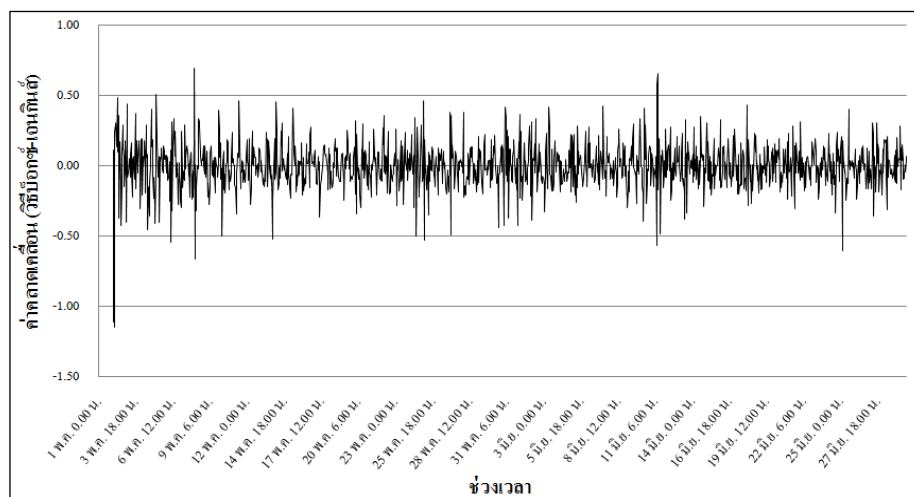
ภาพที่ 3 ACF และ PACF ของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 และผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1



ภาพที่ 4 ACF และ PACF ของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 2 และผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1

จากการตรวจสอบข้อสมมุติของตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (6) โดยพิจารณาที่ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 1.095$, $p\text{-value} = 0.181$)

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = -0.093$, $p\text{-value} = 0.926$) และมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกันโดยมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (ดังภาพที่ 5) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นมีข้อสมมุติเป็นจริง



ภาพที่ 5 ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับเวลาโดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

1.2 ผลของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลัง ของวินเทอร์

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการ
ทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก
และแบบคูณ ได้ตัวแบบพยากรณ์ดังสมการที่ (7)
และ (8) ตามลำดับ

$$\hat{Y}_{t+m} = (4.19325 + 0.00159m) + \hat{S}_t \quad (7)$$

$$\hat{Y}_{t+m} = (4.00653 + 0.00176m)\hat{S}_t \quad (8)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา $t + m$ โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 30 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 น.

$\hat{S}_t$ แทนดัชนีฤดูกาล ณ เวลา t รายละเอียด
ของดัชนีฤดูกาลรูปแบบบวกแสดงดังตารางที่ 1 และ
ดัชนีฤดูกาลรูปแบบคูณแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ดัชนีฤดูกาลของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จากวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์
แบบบวก

ช่วงเวลา	ดัชนีฤดูกาล	ช่วงเวลา	ดัชนีฤดูกาล	ช่วงเวลา	ดัชนีฤดูกาล
0.00 น.	0.24744	8.00 น.	<u>-0.45292</u>	16.00 น.	0.21120
1.00 น.	0.12412	9.00 น.	<u>-0.52155</u>	17.00 น.	0.20933
2.00 น.	0.23701	10.00 น.	<u>-0.56201</u>	18.00 น.	0.25961
3.00 น.	0.30869	11.00 น.	<u>-0.57431</u>	19.00 น.	0.31185
4.00 น.	0.18563	12.00 น.	<u>-0.44457</u>	20.00 น.	0.32696
5.00 น.	<u>-0.02189</u>	13.00 น.	<u>-0.21362</u>	21.00 น.	0.29996
6.00 น.	<u>-0.23048</u>	14.00 น.	0.00682	22.00 น.	0.24652
7.00 น.	<u>-0.37407</u>	15.00 น.	0.17794	23.00 น.	0.24235

จากตารางที่ 1 พบว่าอัตราเร็วลมของ
ช่วงเวลา 5.00 น. ถึง 13.00 น. ของทุกวัน มีค่าต่ำกว่า
ช่วงเวลาอื่นๆ เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลน้อยกว่า 0

ดังนั้นช่วงเวลาดังกล่าวจะสามารถผลิตหน่วยไฟฟ้า
ได้ต่ำกว่าช่วงเวลาอื่นๆ

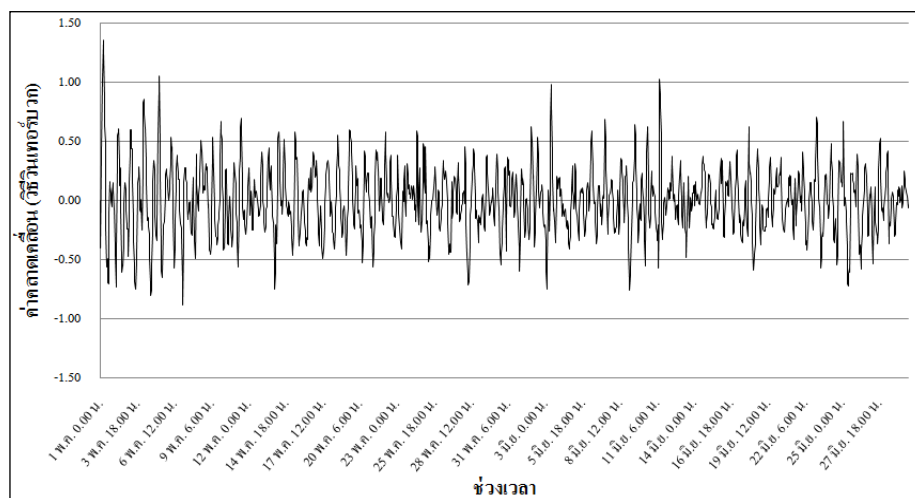
ตารางที่ 2 ดัชนีฤดูกาลของอัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร จากวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์
แบบคูณ

ช่วงเวลา	ดัชนีฤดูกาล	ช่วงเวลา	ดัชนีฤดูกาล	ช่วงเวลา	ดัชนีฤดูกาล
0.00 น.	1.07736	8.00 น.	<u>0.77046</u>	16.00 น.	1.19789
1.00 น.	1.02616	9.00 น.	<u>0.82078</u>	17.00 น.	1.16942
2.00 น.	1.01305	10.00 น.	<u>0.86452</u>	18.00 น.	1.14413
3.00 น.	<u>0.97067</u>	11.00 น.	<u>0.90971</u>	19.00 น.	1.11848
4.00 น.	<u>0.87397</u>	12.00 น.	<u>0.98622</u>	20.00 น.	1.09993
5.00 น.	<u>0.78270</u>	13.00 น.	1.07385	21.00 น.	1.08377
6.00 น.	<u>0.72595</u>	14.00 น.	1.14362	22.00 น.	1.08631
7.00 น.	<u>0.72346</u>	15.00 น.	1.19617	23.00 น.	1.10709

จากตารางที่ 2 พบว่าอัตราเร็วลมของ
ช่วงเวลา 3.00 น. ถึง 12.00 น. ของทุกวัน มีค่าต่ำกว่า
ช่วงเวลาอื่นๆ เนื่องจากมีค่าดัชนีฤดูกาลน้อยกว่า 1
ดังนั้นช่วงเวลาดังกล่าวจะสามารถผลิตหน่วยไฟฟ้า
ได้ต่ำกว่าช่วงเวลาอื่นๆ

จากการตรวจสอบข้อสมมุติของตัวแบบ
พยากรณ์ในสมการที่ (7) โดยพิจารณาที่ค่า

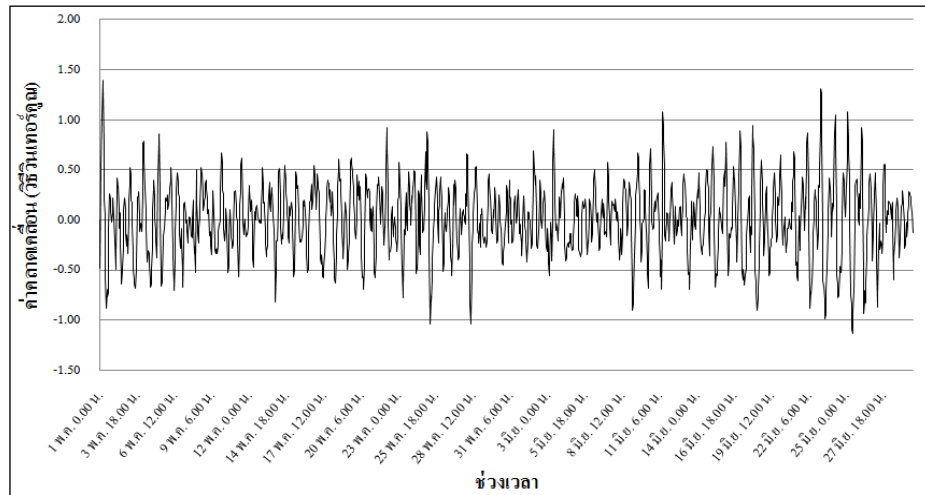
คลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
พบว่า ค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ
(Kolmogorov-Smirnov $Z = 0.611$, $p\text{-value} = 0.849$)
มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = -0.191$, $p\text{-value} = 0.849$)
และมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกันโดยมีความ
แปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (ดังภาพที่ 6) ดังนั้นตัว
แบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นมีข้อสมมุติเป็นจริง



ภาพที่ 6 ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับเวลา โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก

จากการตรวจสอบข้อสมมุติของตัวแบบพยากรณ์ในสมการที่ (8) โดยพิจารณาที่ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 1.004$, $p\text{-value} = 0.266$)

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = 0.801$, $p\text{-value} = 0.423$) และมีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกันโดยมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (ดังภาพที่ 7) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นมีข้อสมมุติเป็นจริง



ภาพที่ 7 ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เทียบกับเวลา โดยวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ

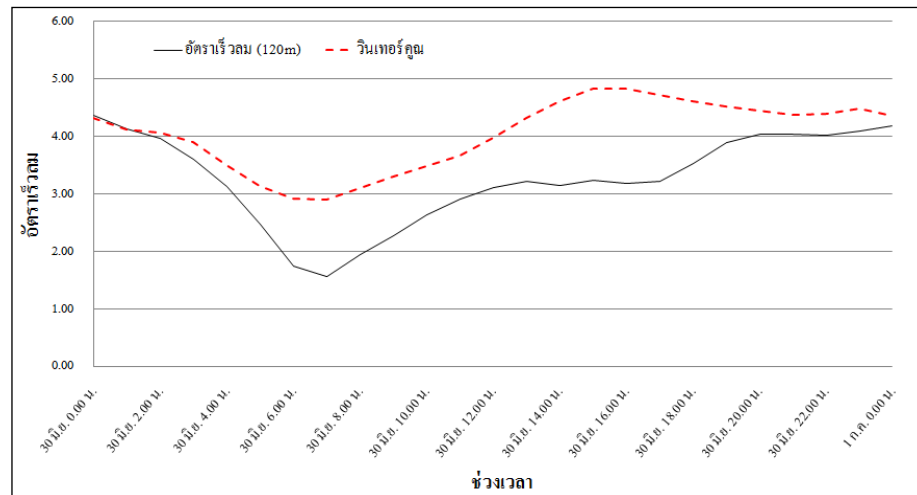
2. ผลการเปรียบเทียบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์

ผลการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 30 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. จำนวน 25 ค่า โดยการคำนวณ

ค่า MAPE และ RMSE แสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 8 พบว่า เมื่อใช้ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ในสมการที่ (8) ได้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด ดังนั้นวิธีการพยากรณ์นี้จึงเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

ตารางที่ 3 MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2

เกณฑ์	วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์	วิธีวินเทอร์แบบบวก	วิธีวินเทอร์แบบคูณ
MAPE	40.8109	37.3527	<u>28.5690</u>
RMSE	1.3149	1.1212	<u>0.9259</u>



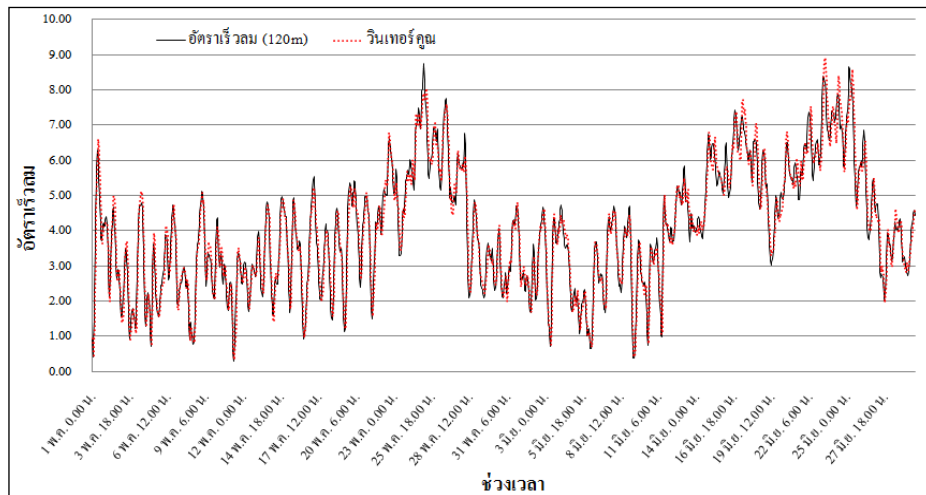
ภาพที่ 8 อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร ชุดที่ 2 และค่าพยากรณ์ จากวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของ วินเทอร์แบบคูณ

จากภาพที่ 8 พบว่าเมื่อใช้วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณในการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ชุดที่ 2 ได้ค่าพยากรณ์อัตราเร็วลมสูงกว่าค่าจริงเกือบทุกช่วงเวลา อีกทั้งอัตราเร็วลมชุดที่ 2 มีความผันผวนสูง จึงอาจส่งผลให้ค่าพยากรณ์ที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งจะทำให้ค่า MAPE และ RMSE มีค่าสูงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อใช้วิธีการพยากรณ์ดังกล่าวในการพยากรณ์

อัตราเร็วลมชุดที่ 1 แล้วคำนวณค่า MAPE และ RMSE ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4 และภาพที่ 9 ซึ่งพบว่า ค่า MAPE และ RMSE มีค่าต่ำอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่นำมาศึกษาทั้ง 3 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณมีความเหมาะสม

ตารางที่ 4 MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1

เกณฑ์	วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์	วิธีวินเทอร์แบบบวก	วิธีวินเทอร์แบบคูณ
MAPE	3.8205	7.3408	8.6398
RMSE	0.1567	0.2855	0.3582



ภาพที่ 9 อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร ชุดที่ 1 และค่าพยากรณ์ จากวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของ วินเทอร์แบบคูน

ผลการศึกษาครั้งนี้มีความขัดแย้งกับการศึกษาของ Keerativibool and Mahileh (2011), Keerativibool and Mahileh (2013) และ Keerativibool *et al.* (2011) ที่ไม่ได้พบว่าวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูนเป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของช่วงเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลระดับความสูงที่วัดอัตราเร็วลม พื้นที่ที่ศึกษา และวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบ อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมด้วยวิธีการพยากรณ์อื่นๆ เช่น วิธีการพยากรณ์ในลักษณะของตัวแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเข้ามาประยุกต์ใช้กับการจำลองแผนที่ลม WindSim ซึ่งสามารถแสดงผลการจำลองในพื้นที่ซับซ้อนได้ใกล้เคียงกับลมที่เกิดขึ้นจริง (Thongyai and Assawamartbunlue, 2017) หรือ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) รวมทั้งควรเพิ่มเติมข้อมูลอัตราเร็วลมให้เป็นปัจจุบัน เพื่อปรับปรุงตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ให้มีความเหมาะสมและมีค่าพยากรณ์ที่มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด อีกทั้งเพื่อประโยชน์ในด้านการวางแผนและการพัฒนา

เทคโนโลยีกังหันลมภายในประเทศ ควรสร้างตัวแบบพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูงอื่นๆ เช่น 50 และ 100 เมตร เป็นต้น ถึงแม้ว่าที่ระดับความสูงต่างๆ จะทำให้ได้อัตราเร็วลมที่ต่ำ และผลิตหน่วยไฟฟ้าได้น้อย แต่อย่างไรก็ตาม การสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ระดับความสูงต่างๆ จะมีค่าใช้จ่ายน้อยตามไปด้วย

การศึกษานี้พบว่า วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูนเป็นวิธีที่ให้ตัวแบบพยากรณ์เหมาะสมมากที่สุดในการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช จึงสามารถนำผลการพยากรณ์อัตราเร็วลมจากตัวแบบดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการทำนายปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในอนาคตต่อไป ซึ่งพลังงานลมเป็นรูปแบบพลังงานอย่างหนึ่งที่น่าสนใจและมีศักยภาพที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้า ข้อดีของพลังงานลมที่ดีกว่าพลังงานทดแทนชนิดอื่นๆ คือ พลังงานลมไม่จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานจึงไม่ต้องการจัดหาเชื้อเพลิงหรือควบคุมกากเชื้อเพลิงที่อาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาวะแวดล้อมเหมือนกับพลังงานชีวมวล

นอกจากนั้นพลังงานลมยังมีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้งกลางวันและกลางคืน เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตพลังงานได้เฉพาะกลางวัน อีกทั้งในการนำพลังงานลมมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่มากเมื่อเทียบกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำ แต่อย่างไรก็ตามพลังงานลมอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับปริมาณของลมซึ่งอาจขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิศาสตร์และสภาพอากาศที่ต้องเอื้อต่อการเกิดลม จากการสำรวจแล้วมีเพียงบางพื้นที่ในประเทศไทยเท่านั้นที่มีความเร็วลมเหมาะสมในการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า (Promdee, 2016)

สรุป

การวิจัยครั้งนี้ได้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ 2 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์ (ทั้งรูปแบบบวกและรูปแบบคูณ) ในการพยากรณ์อัตราเร็วลมรายชั่วโมงที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้ข้อมูลจากศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ผลการวิจัยพบว่า วิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณมีความเหมาะสมมากกว่าวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวกและวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ตามลำดับ ซึ่งตัวแบบพยากรณ์ของวิธีการทำให้เรียบแบบเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณแสดงดังนี้

$$\hat{Y}_{t+m} = (4.00653 + 0.00176m)\hat{S}_t$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์อัตราเร็วลม ณ เวลา $t + m$ โดยที่ $m = 1$ แทนวันที่ 30 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 น.

$\hat{S}_t$ แทนดัชนีฤดูกาล ณ เวลา t

ตัวแบบพยากรณ์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ระดับความสูง 120 เมตร อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งผลการพยากรณ์อัตราเร็วลมที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการทำนายปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในอนาคตต่อไป อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้พบว่า ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 30 มิถุนายน 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. ถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2558 ช่วงเวลา 0.00 น. มีความผันผวนสูง ส่งผลให้ค่าพยากรณ์ที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนสูง หรือตัวแบบพยากรณ์ที่ได้อาจมีความเหมาะสมลดลง ดังนั้นผู้ที่นำตัวแบบพยากรณ์ไปใช้ประโยชน์ควรระวังประเด็นนี้ด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่เอื้อเพื่อข้อมูลอัตราเร็วลม สำหรับการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยทักษิณที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

เอกสารอ้างอิง

- Bielecki, M.F., Kemper, J.J. and Acker, T.L. 2014. **Statistical Characterization of Errors in Wind Power Forecasting.** Northern Arizona University, U.S.A.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C. 1994. **Time Series Analysis: Forecasting and Control.** 3rd ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Keerativibool, W. and Mahileh, J. 2011. **Forecasting Model of Wind Speed Along**

- the Coast of Songkhla Province. **Journal of Energy Research** 8(3): 63-72. (in Thai)
- Keerativibool, W. and Mahileh, J. 2013. Forecasting Model of Wind Speed Along the Coast of Tha Sala District Nakhon Si Thammarat Province. **KKU Research Journal** 18(1): 32-50. (in Thai)
- Keerativibool, W., Waewsak, J. and Kanjinasamranwong, P. 2011. Short-Term Forecast of Wind Speed at Chana District, Songkhla Province Thailand, pp. 343-350. *In Proceedings of the 2011 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies*. Thaksin University, Songkhla. (in Thai)
- Ket-iam, S. 2005. **Forecasting Technique**. 2nd ed. Thaksin University, Songkhla. (in Thai)
- Manmin, M. 2006. **Time Series and Forecasting**. Foreprinting, Bangkok. (in Thai)
- Mauch, B.K. 2012. Managing Wind Power Forecast Uncertainty in Electric Grids. Ph.D. dissertation of Engineering and Public Policy, Carnegie Mellon University.
- Promdee, Ch. 2016. Electric Power Generation of Savonius Wind Turbine with Double Wind Tunnels. Master in Electrical and Computer Engineering Thesis, Mahasarakham University. (in Thai)
- Thongyai, N. and Assawamartbunlue, K. 2017. Wind Atlas Simulation to Find Wind Potential Area to Generate Electric Power of the Chanthaburi and Trat Provinces, Thailand, pp. 737-745. *In Proceedings of the 31st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*. Phukhaongam Resort, Thailand. (in Thai)
- Vasilji, J., Sarajcev, P. and Jakus, D. 2015. Wind Power Forecast Error Simulation Model. **World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering** 9(2): 138-143.

การประยุกต์วิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ แบบฟัซซีเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

An Application of Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution for Selecting Multimodal Transportation Route

นิติเดช กูหาทองสัมฤทธิ์^{1*} และ วรพจน์ มีถม²

Nitidetch Koohathongsumrit^{1*} and Warapoj Meethom²

Received: 7 November 2019, Revised: 30 August 2020, Accepted: 16 September 2020

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวิธีการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบฟัซซีและทดสอบวิธีการที่เสนอกับกรณีศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างประเทศไทยกับเวียดนาม ระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจและระดับการให้คะแนนทางเลือกที่มีฟังก์ชันการแจกแจงความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยมถูกนำมาใช้ในการสะท้อนความเห็นของผู้ตัดสินใจซึ่งสามารถรวบรวมได้ตามกระบวนการวิธีเดลฟาย จากนั้นคำนวณระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและลบแบบฟัซซี สุดท้ายคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติซึ่งใช้สำหรับเลือกและจัดลำดับเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ผลการศึกษาวิจัยพบว่า เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ A₅ เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด เริ่มต้นด้วยการขนส่งด้วยรถบรรทุกจากนิคมอุตสาหกรรมอมตะนครผ่านด่านศุลกากรลาวบาวไปยังท่าอากาศยานนานาชาติดานัง จากนั้นใช้การขนส่งด้วยเครื่องบินไปยังท่าอากาศยานนานาชาติเตนชินญี๊ต และสุดท้ายใช้การขนส่งด้วยรถบรรทุกไปยังศูนย์กระจายสินค้าในนครโฮจิมินห์ เส้นทางดังกล่าวตอบสนองต่อเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติสูงสุด ส่วนเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบอื่นถูกเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยตามค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการที่เสนอเหมาะสมกับการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์แห่งโลกความเป็นจริงโดยเฉพาะการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

¹ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240

¹ Department of Statistics, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Bang Kapi, Bangkok 10240, Thailand.

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangsue, Bangkok 10800, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): Nitidetch.k@ru.ac.th Tel: 09 2403 6837

คำสำคัญ: การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า, การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ, การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์, วรรณศาสตร์คลุมเครือ, การตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ

ABSTRACT

The objective of this study was to propose an approach for selecting a route in multimodal transportation networks using a fuzzy technique for order preference by similarity to ideal solution (FTOPSIS) and tested the proposed approach with the multimodal route selection between Thailand and Vietnam. The scales for importance assessment of decision criterion and alternative rating with a triangular membership function were used to reflect decision makers' opinions, which can be collected based on the Delphi method. Then, the fuzzy positive ideal solution and the negative ideal solution were calculated. Finally, the closeness coefficient (CC) was computed and used to select and rank the multimodal transportation route. The results demonstrated that the multimodal transportation route A5 was the best optimal multimodal transportation route. It started to transport with a truck from Amata Nakorn industrial estate via Lao Bao customs to Da Nang international airport. Next, the products were transported to Tan Son Nhat international airport by an airplane and were finally delivered to the distribution center in Ho Chi Minh City by truck. This route responds effectively to all decision criteria because it has the highest CC. On the other hand, the other multimodal transportation routes were arranged in descending order based on their CC values. Moreover, it was found that the proposed approach is suitable for solving multiple criteria decision-making problems in the real world situation, especially for multimodal route selection.

Key words: selecting transportation route, multimodal transportation, multiple criteria decision-making, fuzzy logic, technique for order preference by similarity to ideal solution

บทนำ

การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเป็นกิจกรรมที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเคลื่อนย้ายสินค้าจากแหล่งผลิตไปยังแหล่งบริโภคทำให้การดำเนินธุรกิจเกิดประสิทธิภาพ ช่วยให้ห่วงโซ่อุปทานเกิดความคล่องตัว อีกทั้งยังเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าที่ขนส่งอีกด้วย การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal Transportation) เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีลักษณะเป็นการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision-Making: MCDM) เนื่องจากประกอบด้วย

เกณฑ์การตัดสินใจที่มีความขัดแย้งกันจำนวนมาก เช่น ต้นทุนค่าขนส่ง ระยะเวลาการขนส่ง ความเสี่ยง ความน่าเชื่อถือ ความตรงต่อเวลา ศักยภาพของลักษณะทางกายภาพ พิจารณาด้านศุลกากร ฯลฯ (Wang and Yeo, 2017) นอกจากนี้การเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบยังประกอบด้วยทางเลือกที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจึงไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกเส้นทางที่มีต้นทุนค่าขนส่งต่ำสุด หรือระยะเวลาการขนส่งสั้นสุด แต่พยายาม

เลือกเส้นทางที่ตอบสนองต่อเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Woo *et al.*, 2017)

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา มีงานวิจัยจำนวนมากประยุกต์วิธีแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ในการเลือกเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ หรือเส้นทางขนส่งสินค้ารูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ งานวิจัยของ Kengpol *et al.* (2012) ที่ประยุกต์กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ร่วมกับการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่ง (Zero-One Goal Programming: ZOGP) สำหรับการเลือกเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างประเทศในพื้นที่เศรษฐกิจในอนุภูมิภาคแม่น้ำโขง งานวิจัยของ Kengpol *et al.* (2014); Kengpol and Tuammee (2016) ที่เสนอกรอบแนวคิดการตัดสินใจเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าด้วยการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากประเทศไทยไปยังสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนามด้วยการคำนวณความเชื่อมโยงถึงปริมาณ วิธีการวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) ร่วมกับ AHP และ ZOGP จากนั้นงานวิจัยของ Arunyanart *et al.* (2016) ที่สำรวจเส้นทางขนส่งสินค้าตามแนวระเบียงเศรษฐกิจตะวันออก-ตะวันตก โดยพิจารณาจากน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดด้วย AHP งานวิจัยของ Koothongsumrit (2017a) ที่พัฒนากรอบแนวคิดที่บูรณาการ AHP และวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution: TOPSIS) เพื่อเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าทางถนนจากนิคมอุตสาหกรรมบางปูไปยังท่าเรือแหลมฉบัง งานวิจัยของ Koothongsumrit (2017b) ที่เสนอวิธีการเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าโดยคำนวณระดับความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพของเส้นทางขนส่งสินค้าทางถนน ซึ่งนำมาพิจารณา ร่วมกับ AHP และ ZOGP งานวิจัยของ Kaewfak and

Ammarapala (2018) ที่เสนอวิธีการเลือกเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากประเทศไทยไปยังราชอาณาจักรกัมพูชาด้วยวิธีแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ งานวิจัยของ Meethom and Koothongsumrit (2020) ที่เสนอวิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ไฮบริด พร้อมการออกแบบชุดตัวเลขสำหรับการตัดสินใจเพื่อเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าทางถนน

อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ มักได้รับอิทธิพลของความคลุมเครืออันเนื่องมาจากสาเหตุที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น ความลังเล หรือความไม่แน่นอนของผู้ตัดสินใจ ความไม่ชัดเจน หรือขาดข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ฯลฯ (Azadeh *et al.*, 2016) ดังนั้นการแก้ปัญหาด้วยวิธีแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์แบบดั้งเดิมอาจทำให้การตัดสินใจผิดพลาด เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวในช่วงต้น Zadeh (1965) ได้เสนอแนวคิดของตรรกศาสตร์คลุมเครือ หรือที่เรียกว่า ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เพื่อใช้ในการจัดการความคลุมเครือที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดสินใจ โดยยอมให้เกิดความยืดหยุ่นในการตัดสินใจด้วยการกำหนดฟังก์ชันและระดับความเป็นสมาชิกให้กับข้อมูลประกอบการตัดสินใจ มีงานวิจัยจำนวนมากที่ประยุกต์แนวคิดตรรกศาสตร์คลุมเครือกับวิธีแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์เพื่อเลือกเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ หรือที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ งานวิจัยของ Ko (2009) ที่ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: FAHP) เพื่อเลือกเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างเมืองปูซานและกรุงมอสโก งานวิจัยของ Wang and Yeo (2017) ที่ศึกษาการเลือกเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากสาธารณรัฐเกาหลีไปยังภูมิภาคเอเชียกลางด้วยวิธีเคลฟายแบบฟัซซี

(Fuzzy Delphi Method: FDM) และวิธีการกำจัดและเลือกบนพื้นฐานความจริงแบบฟัซซี่ (Elimination Et Choix Traduisant La Realite: ELECTRE) งานวิจัยของ Meethom and Koohathongsumrit (2018) ที่พัฒนาและออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน พิจารณาศักยภาพของลักษณะทางกายภาพร่วมกับน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจที่คำนวณได้จาก FAHP และการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งแบบหลายชั้น (Multilayer Zero-One Goal Programming: MZOGP) และงานวิจัยของ Koohathongsumrit (2019) ที่ออกแบบวิธีการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากระดับความเสี่ยงที่คำนวณจากระบบอนุমানตรรกศาสตร์คลุมเครือร่วมกับวิธีการแก้ปัญหาคัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์แบบฟัซซี่

จากการทบทวนงานวิจัยทั้งหมดในข้างต้นพบว่ามียานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยการประยุกต์ตรรกศาสตร์คลุมเครือกับวิธีแก้ปัญหาคัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ แต่ยังไม่มียานวิจัยใดที่ประยุกต์ตรรกศาสตร์คลุมเครือกับ TOPSIS หรือที่เรียกว่า วิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบฟัซซี่ (Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution: FTOPSIS) กับการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ทั้งนี้ FTOPSIS ถูกพัฒนาขึ้นจาก TOPSIS แบบดั้งเดิมของ Hwang and Yoon (1981) โดย FTOPSIS เป็นวิธีแก้ปัญหาคัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์แบบฟัซซี่ที่ได้รับความนิยมสูงเนื่องจากมีขั้นตอนการคำนวณที่ง่าย ไม่ซับซ้อนเหมาะสมกับเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและคุณภาพ สามารถกำหนดความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจได้ ไม่มีข้อจำกัดของจำนวนทางเลือกและ

เกณฑ์การตัดสินใจ อีกทั้งยังสามารถจัดลำดับทางเลือก โดยลดความคลุมเครือที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดสินใจทั้งหมดด้วยการพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดซึ่งมีระยะใกล้ค่าอุดมคติเชิงบวกแบบฟัซซี่และระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบฟัซซี่สูงสุด (Chen and Lu, 2015)

จากปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและข้อจำกัดของการประยุกต์ FTOPSIS การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการเสนอวิธีการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วย FTOPSIS พิจารณาคัดสินใจเชิงปริมาณและคุณภาพ พร้อมทั้งประยุกต์วิธีการที่เสนอกับปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์จริงของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งเป็นผู้ให้บริการโลจิสติกส์บุคคลที่ 3 (Third Party Logistics Provider: 3PL) ที่ขนส่งสินค้าจากนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร ไปยังศูนย์กระจายสินค้าในนครโฮจิมินห์ (Ho Chi Minh City) สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม ผลการศึกษานี้จะเป็นแนวทางแก่ผู้ประกอบการ หรือผู้ให้บริการโลจิสติกส์ สามารถตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงสนับสนุนการเป็นศูนย์กลางการขนส่งสินค้าและโลจิสติกส์ของประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ต้องการเสนอวิธีการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วย FTOPSIS มีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

1. กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจ

เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ สามารถแบ่งได้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณ (C₁) และเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพ (C₂) โดยเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณเป็นเกณฑ์การ

ตัดสินใจที่บอกปริมาณมาก หรือน้อยกว่ากันเท่าไร
ได้ สามารถคำนวณได้จากตัวแบบต้นทุนการขนส่ง
ต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal Transport Cost-
Model) ซึ่งเป็นตัวแบบที่เหมาะสมกับการคำนวณ
ต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งที่ประกอบด้วย
รูปแบบการขนส่งที่มากกว่าหนึ่งรูปแบบขึ้นไป (Seo
et al., 2017) ส่วนเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณ
ประกอบด้วยเกณฑ์การตัดสินใจรอง ต้นทุนค่าขนส่ง
(C₁₁) และระยะเวลาในการขนส่ง (C₁₂) ส่วนเกณฑ์
การตัดสินใจเชิงคุณภาพ ประกอบด้วยเกณฑ์การ
ตัดสินใจรอง ได้แก่ ความเสี่ยงต่อตัวสินค้า (C₂₁)
ความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวก (C₂₂) ความเสี่ยงด้านการดำเนินงาน (C₂₃)
ความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม (C₂₄) ความเสี่ยงด้านมหา
ภาค (C₂₅) ความเสี่ยงด้านกฎหมายและปัญหาทางการ
เมือง (C₂₆) และความน่าเชื่อถือของการขนส่ง (C₂₇)
รายละเอียดเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดแสดงใน
(Yang *et al.*, 2011; Kengpol *et al.*, 2012; Vilko and
Hallikas, 2012; Kengpol *et al.*, 2014; Wang and
Yeo, 2016)

2. กำหนดและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของเส้นทาง การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์วิธีการที่
เสนอกับบริษัทรถบรรทุกที่ต้องการเลือกเส้นทาง
การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากนิคมอุตสาหกรรม
อมตะนครไปยังศูนย์กระจายสินค้าในนครโฮจิมินห์
โดยสินค้าที่ทำการขนส่งเป็นสินค้าประเภทชิ้นส่วน
อะไหล่เครื่องปรับอากาศซึ่งมีน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก
ง่ายต่อการบรรจุภัณฑ์ และสามารถขนส่งด้วยการ

ขนส่งทุกรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการขนส่งด้วย
รถบรรทุก รถไฟ เรือเดินทะเล หรือเครื่องบิน บริษัท
กำหนดให้เส้นทางที่พิจารณาต้องอยู่ภายใต้
งบประมาณในการขนส่งไม่เกิน 350,000 บาท
ระยะเวลาการขนส่งไม่เกิน 10 วัน โดยมีเส้นทางที่
เป็นไปได้ทั้งหมดจำนวน 9 เส้นทางที่เกิดจากการ
เชื่อมต่อเส้นทางขนส่งสินค้าระหว่างจุดเชื่อมต่อ
(Node) หรือจุดขนถ่ายสินค้า เส้นทางทั้งหมดเป็น
เส้นทางที่บริษัทรถบรรทุกใช้ขนส่งสินค้าทั้งในอดีต
และปัจจุบัน รวมถึงได้จากการสัมภาษณ์ตัวแทนของ
บริษัทรับขนส่งสินค้าระหว่างประเทศอื่นซึ่งมี
ประสบการณ์การขนส่งสินค้าจากประเทศไทยไปยัง
นครโฮจิมินห์จำนวน 3 ราย รายละเอียดของเส้นทาง
ที่เป็นไปได้ทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 1 เมื่อ
กำหนดให้ N₁ แทนนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร N₂
แทนด่านศุลกากรลาวบาว N₃ แทนศูนย์กระจายสินค้า
นครโฮจิมินห์ N₄ แทนท่าอากาศยานนานาชาติ
สุวรรณภูมิ N₅ แทนท่าอากาศยานนานาชาติเดินเซิน
ญี๊ต N₆ แทนท่าอากาศยานนานาชาติดานัง N₇ แทน
สถานีรถไฟดงห้า N₈ แทนสถานีรถไฟดานัง N₉ แทน
สถานีรถไฟไซ่ง่อน N₁₀ แทนท่าเรือดานัง N₁₁ แทน
ท่าเรือไซ่ง่อน และ N₁₂ แทนท่าเรือแหลมฉบัง ส่วน
การรูปแบบการขนส่งกำหนดให้ – แทนการขนส่ง
ด้วยรถบรรทุก ## แทนการขนส่งด้วยเรือเดินทะเล
++ แทนการขนส่งด้วยรถไฟ และ ** แทนการขนส่ง
ด้วยเครื่องบิน ทั้งนี้ต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาใน
การขนส่งคำนวณจากการขนส่งด้วยตู้บรรจุสินค้า
ขนาด 40 ฟุตแบบเต็มตู้

ตารางที่ 1 เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เส้นทางขนส่ง	ต้นทุนค่า ขนส่ง (บาท)	ระยะเวลาการ ขนส่ง (วัน)	เส้นทางขนส่ง	ต้นทุนค่า ขนส่ง (บาท)	ระยะเวลาการ ขนส่ง (วัน)
N1 — N4 ** N5 — N3 (A1)	190,116	1.83	N1 — N12 ## N11 — N3 (A6)	39,601	5.81
N1 — N2 — N7 ++ N9 — N3 (A2)	78,838	6.41	N1 — N4 ** N6 — N10 ## N11 — N3 (A7)	220,346	6.29
N1 — N2 — N10 ## N11 — N3 (A3)	87,425	7.38	N1 — N4 ** N6 — N9 — N3 (A8)	274,609	9.28
N1 — N2 — N8 ++ N9 — N3 (A4)	84,946	7.44	N1 — N4 ** N6 — N3 (A9)	266,024	3.78
N1 — N2 — N6 ** N5 — N3 (A5)	237,154	4.40			

จากตารางที่ 1 เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดสามารถขนส่งสินค้าภายใต้งบประมาณและระยะเวลาการขนส่งที่กำหนด ได้อย่างไรก็ตามเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบแต่ละเส้นทางมีจุดเด่นและจุดด้อยแตกต่างกัน เช่น เส้นทาง A1 มีระยะเวลาการขนส่งที่ต่ำสุด เส้นทาง A6 มีต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำสุด หรือเส้นทาง A7 มีจุดเปลี่ยนถ่ายสินค้ามากที่สุด เป็นต้น อีกทั้งเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบแต่ละเส้นทางยังมีระดับความสำคัญที่แตกต่างกันในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ และบริษัทกรณีศึกษาใช้การเลือกเส้นทางขนส่งจากประสบการณ์ในอดีตไม่มีวิธีพิจารณาเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าที่เป็นมาตรฐาน ดังนั้นจำเป็นต้องพิจารณาเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการตัดสินใจ

3. กำหนดฟังก์ชันและระดับความเป็นสมาชิกให้กับข้อมูลนำเข้า

ขั้นตอนนี้แนวคิดของตรรกศาสตร์คลุมเครือจะถูกประยุกต์กับระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจและระดับการให้คะแนนทางเลือกภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ โดยกำหนดให้ข้อมูลนำเข้าทั้งหมดมีฟังก์ชันการแจกแจงความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function: TMF) เนื่องจากเป็นฟังก์ชันการแจกแจงความเป็นสมาชิกที่สอดคล้องกับวิธีคิดของมนุษย์และทำความเข้าใจได้ง่ายมากที่สุด (Sharmila and Uthayakumar, 2017) โดยระดับการประเมินแต่ละระดับประกอบด้วยชุดตัวเลขจำนวน 3 ค่า ได้แก่ ระดับการประเมิน (Medium: b) มีค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 เท่านั้น ขอบเขตด้านล่าง (Lower Limit: a) และขอบเขตด้านบน (Upper Limit: c) ทั้งนี้ a และ c มีค่าระดับความเป็นสมาชิกลดลงตามลำดับเมื่อ $a < b < c$ การคำนวณระดับความเป็นสมาชิกแสดงดังสมการที่ (1) เมื่อ $\mu(x)$ คือ ระดับความเป็นสมาชิก

$$\mu(x) = \begin{cases} (x - a) / (b - a) & ; a \leq x \leq b \\ (c - x) / (c - b) & ; b \leq x \leq c \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

ตัวแปรภาษาและชุดตัวเลขของระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจและระดับ

การให้คะแนนทางเลือกภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับการประเมินความสำคัญและระดับการให้คะแนนทางเลือกภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ

ตัวแปรภาษา	ระดับการประเมินความสำคัญ	ตัวแปรภาษา	ระดับการให้คะแนนทางเลือก
มีความสำคัญต่ำสุด (VL)	(0.00, 0.00, 0.20)	มีคะแนนต่ำสุด (VP)	(0.00, 0.00, 2.00)
มีความสำคัญต่ำ (L)	(0.10, 0.20, 0.30)	มีคะแนนต่ำ (P)	(1.00, 2.00, 3.00)
มีความสำคัญต่ำถึงปานกลาง (ML)	(0.20, 0.35, 0.50)	มีคะแนนต่ำถึงปานกลาง (MP)	(2.00, 3.50, 5.00)
มีความสำคัญปานกลาง (M)	(0.40, 0.50, 0.60)	มีคะแนนปานกลาง (F)	(4.00, 5.00, 6.00)
มีความสำคัญปานกลางถึงสูง (MH)	(0.50, 0.65, 0.80)	มีคะแนนปานกลางถึงสูง (MG)	(5.00, 6.50, 8.00)
มีความสำคัญสูง (H)	(0.70, 0.80, 0.90)	มีคะแนนสูง (G)	(7.00, 8.00, 9.00)
มีความสำคัญสูงสุด (VH)	(0.80, 1.00, 1.00)	มีคะแนนสูงสุด (VG)	(8.00, 10.00, 10.00)

4. รวบรวมความคิดเห็นของผู้ตัดสินใจ

ผู้ตัดสินใจที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับโลจิสติกส์ด้านการขนส่งสินค้าและการบริหารการขนส่งอย่างน้อย 10 ปี ต้องทำการประเมินความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจหลักและเกณฑ์การตัดสินใจรองด้วยตัวแปรภาษาและระดับการประเมินความสำคัญและให้คะแนนทางเลือกภายใต้แต่ละเกณฑ์การตัดสินใจดังตารางที่ 2 การรวบรวมความคิดเห็นของผู้ตัดสินใจจะดำเนินการตามกระบวนการของวิธีเดลฟาย (Delphi) เนื่องจากผู้ตัดสินใจแต่ละรายมีความเชี่ยวชาญด้านรูปแบบการขนส่งที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาและมีประสบการณ์ที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ดังนั้นจำเป็นต้องหาฉันทามติของกลุ่มผู้ตัดสินใจโดยการรวบรวมความคิดเห็นรอบที่ 1 เป็นการแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจและระดับการให้คะแนนทางเลือกอย่างอิสระ จากนั้นรวบรวมความคิดเห็นรอบที่ 2 ผู้ตัดสินใจต้องประเมินความคิดเห็นของตนเองด้วยมาตรวัดแบบ 5 ระดับ ต่อมารวบรวมความคิดเห็นจากผู้ตัดสินใจในรอบที่ 3 โดยผู้ตัดสินใจสามารถเปรียบเทียบความคิดเห็นของตนกับผู้ตัดสินใจรายอื่นและสามารถเปลี่ยนแปลงระดับการประเมินความคิดเห็นของตนเองได้ กระทำเช่นนี้

จนกระทั่งระดับการประเมินความคิดเห็นของผู้ตัดสินใจทุกรายสอดคล้องกัน พิจารณาจากค่าสถิติทดสอบเบื้องต้น ได้แก่ ค่าเฉลี่ยต้องมากกว่า หรือเท่ากับ 3.50 ค่าพิสัยระหว่างควอไทล์และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต้องไม่เกิน 1.00 (Castillo *et al.*, 2015; Hassan *et al.*, 2015)

5. เลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

FTOPSIS ถูกนำมาประยุกต์เพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสมจากนิคมอุตสาหกรรมอมตะนครกับนครโฮจิมินห์

5.1 คำนวณตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญ

เนื่องจากระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลักและรองนั้นดำเนินการโดยผู้ตัดสินใจหลายราย ดังนั้นจำเป็นต้องคำนวณค่าตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมด แสดงดังสมการที่ (2) เมื่อ $w_j = (w_{ja}, w_{jb}, w_{jc})$ คือ ตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ j ; $j = 1, 2, \dots, n$ ประกอบด้วย ตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญขอบเขตด้านล่าง (w_{ja}) ระดับการประเมิน (w_{jb}) และขอบเขตด้านบน (w_{jc}) และ k คือ ผู้ตัดสินใจรายที่ k ; $k = 1, 2, \dots, K$ (Awasthi *et al.*, 2011)

$$w_j = \{w_{ja} = \min(w_{jak}), w_{jbk} = \sum_{k=1}^K w_{jb} / K, w_{jck} = \max(w_{jck})\} \quad (2)$$

หลังจากคำนวณตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลักและเกณฑ์การตัดสินใจรองแล้วนั้น ต้องปรับระดับการประเมินความสำคัญด้วยการนำระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลักคูณกับระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจรองที่เป็นสมาชิกของเกณฑ์การตัดสินใจหลักนั้น

5.2 คำนวณตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือก

ในทำนองเดียวกันเนื่องจากระดับการให้คะแนนทางเลือกภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจดำเนินการโดยผู้ตัดสินใจมากกว่า

หนึ่งราย ดังนั้นต้องคำนวณค่าตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกเพื่อนำไปตัดสินใจด้วย FTOPSIS แสดงดังสมการที่ (3) เมื่อ $X_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ คือตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกของเส้นทาง การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ i ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ j ของผู้ตัดสินใจรายที่ k ซึ่งประกอบด้วยตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกขอบเขตด้านล่าง (a_{ij}) ระดับการประเมิน (b_{ij}) และขอบเขตด้านบน (c_{ij}) (Afful-Dadzie *et al.*, 2015) พร้อมนำค่า X_{ij} สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจแบบฟัซซี่ (Fuzzy Decision Matrix: D) ต่อไป

$$X_{ij} = \{a_{ij} = \min(a_{ijk}), b_{ij} = \sum_{k=1}^K b_{ij} / K, c_{ij} = \max(c_{ijk})\} \quad (3)$$

5.3 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบฟัซซี่

ตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกของเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่ i ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ j ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างเมท

ริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบฟัซซี่ (Fuzzy Normalized Decision Matrix: R) แสดงดังสมการที่ (4) เมื่อ r_{ij} คือค่าปรับบรรทัดฐานของตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกของเส้นทางขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่ i ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ j

$$R = [r_{ij}]_{n \times m} \quad (4)$$

การคำนวณ r_{ij} สำหรับเกณฑ์การตัดสินใจที่เป็นผลประโยชน์และไม่เป็นผลประโยชน์ แสดงดังสมการที่ (5) (Singh and Agrawal, 2018) เมื่อ c_j^+ คือตัวแทนระดับการให้คะแนนขอบเขตด้านบนภายใต้

เกณฑ์การตัดสินใจ j ที่มีค่าสูงสุด และ a_j^- คือตัวแทนระดับการให้คะแนนขอบเขตด้านล่างภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ j ที่มีค่าต่ำสุด

$$r_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right) \text{ สำหรับเกณฑ์การตัดสินใจที่เป็นผลประโยชน์}, \quad r_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \text{ สำหรับเกณฑ์การตัดสินใจที่ไม่เป็นผลประโยชน์} \quad (5)$$

5.4 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบฟัซซีกำหนดความสำคัญ

ค่าปรับบรรทัดฐานของตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกถูกนำมาคูณกับตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบฟัซซีกำหนดความสำคัญ (Weighted Normalized Fuzzy Decision Matrix: V) ด้วยหลักการดำเนินการของฟัซซี

$$V = [v_{ij}]; r_{ij} \otimes w_j \quad (6)$$

5.5 ระบุค่าอุดมคติเชิงบวกแบบฟัซซีและค่าอุดมคติเชิงลบแบบฟัซซี

ค่าอุดมคติเชิงบวกแบบฟัซซี (Fuzzy Positive Ideal Solution: FPIS) และค่าอุดมคติเชิงลบแบบฟัซซี (Fuzzy Negative Ideal Solution: FNIS) นั้นสามารถระบุได้จากค่าปรับบรรทัดฐานของตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกในทุกๆ เส้นทาง การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบภายใต้แต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ (Walczak and Rutkowska, 2017)

$$FPIS = \{v_j^+ = \max(v_{ijc})\}, FNIS = \{v_j^- = \min(v_{ija})\} \quad (7)$$

5.6 คำนวณระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกแบบฟัซซีและระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบฟัซซี

การคำนวณระยะห่างจากค่าอุดมคติของคำตอบใช้วิธีการวัดระยะห่างยูคลิดีียน (Euclidean Distance) ซึ่งถูกพัฒนาจากทฤษฎีบทพีทาโกรัส เป็นวิธีการวัดระยะห่างระหว่างจุด 2 จุดในแนวเส้นตรง โดยหากค่าของจุดทั้ง 2 ใกล้เคียงกันมากแล้ว ระยะห่างยูคลิดีียนจะมีค่าต่ำ วิธีดังกล่าวถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกแบบฟัซซี (d_i^+) และระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบ

(Sangaiah *et al.*, 2015) แสดงดังสมการที่ (6) เมื่อ $v_{ij} = (v_{ija}, v_{ijb}, v_{ijc})$ คือ ค่าปรับบรรทัดฐานของตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกของเส้นทาง การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่ i ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ j แบบกำหนดความสำคัญ และ w_j คือ ตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ j

ทั้งนี้ FPIS และ FNIS พิจารณาได้จากค่าปรับบรรทัดฐานของตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกสูงสุดของขอบเขตด้านบนและค่าต่ำสุดของขอบเขตด้านล่าง แสดงรายละเอียดดังสมการที่ (7) เมื่อ v_j^+ และ v_j^- คือ ค่าปรับบรรทัดฐานของตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกที่สูงสุดและต่ำสุดเกณฑ์การตัดสินใจ j

ฟัซซี (d_i^-) โดยค่า d_i^+ และ d_i^- เป็นผลรวมรากที่สองของค่า $d(v_{ij}, v_j^+)$ และ $d(v_{ij}, v_j^-)$ ในแต่ละทางเลือก เมื่อค่า $d(v_{ij}, v_j^+)$ และ $d(v_{ij}, v_j^-)$ คือระยะห่างระหว่างค่าปรับบรรทัดฐานของตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกกับตัวแปรตัดสินใจใน FPIS และ FNIS ในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ ทั้งนี้สำหรับวิธี FTOPSIS ทางเลือกที่มีความเหมาะสมนั้นควรมีค่า d_i^+ ที่ต่ำและค่า d_i^- ที่สูง ดังนั้นทางเลือกที่มีความเหมาะสมมากที่สุดจะมีระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกแบบฟัซซี

น้อยสุดและมีระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบ สมการที่ (8)

พีชชีมากที่สุด การคำนวณค่า d_i^+ และ d_i^- แสดงดัง

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^m d(v_{ij}, v_j^+), d_i^- = \sum_{j=1}^m d(v_{ij}, v_j^-) \quad (8)$$

5.7 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ

ค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ (The Closeness Coefficient: CC) ของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ เป็นค่าที่แสดงถึงระยะห่างจาก

ค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบแบบพีชชีของแต่ละเส้นทาง โดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ แสดงดังสมการที่ (9) (Agrawal *et al.*, 2016)

$$CC_i = d_i^- / (d_i^- + d_i^+) \quad (9)$$

ค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบทุกเส้นทางมีค่าไม่เกิน 1.00 เสมอ ทั้งนี้เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่มีความเหมาะสมมากที่สุดพิจารณาได้จากค่า CC ที่สูงสุด ซึ่งหมายถึงเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบดังกล่าวมีระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกแบบพีชชีที่ต่ำสุดและมีระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบพีชชีที่สูงสุด ส่วนเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบอื่นซึ่งเป็นทางเลือกที่มีความเหมาะสมรองลงมามีค่า CC ลดลงไปตามลำดับ (Dash *et al.*, 2019)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ประยุกต์วิธีการที่เสนอกับบริษัทกรณีศึกษาที่ทำการขนส่งสินค้าจากนิคมอุตสาหกรรมอมตะนครไปยังศูนย์กระจายสินค้าใน

นครโฮจิมินห์ โดยมีผลการทดลองตามวิธีดำเนินการวิจัยที่กำหนดไว้ดังนี้

ผู้ตัดสินใจ (Decision maker: DM) ตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้จำนวน 4 รายทำการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจด้วยระดับการประเมินฯ ที่กำหนดไว้พร้อมทั้งให้คะแนนทางเลือกภายใต้แต่ละเกณฑ์การตัดสินใจด้วยระดับการให้คะแนนฯ โดยรวบรวมความคิดเห็นจากผู้ตัดสินใจดำเนินการตามวิธีเคפלฟายจำนวน 4 รอบ มีค่าเฉลี่ย ค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับการประเมินความคิดเห็นเท่ากับ 4.36, 0.69 และ 1.00 ตามลำดับ ค่าสถิติทั้งหมดเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ผลการรวบรวมระดับการประเมินความสำคัญ แสดงดังตารางที่ 3 จากนั้นรวบรวมระดับการให้คะแนนทางเลือกภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ ตัวอย่างระดับการให้คะแนนเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ C₂₁ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการรวบรวมระดับประเมินความสำคัญ

	DM ₁	DM ₂	DM ₃	DM ₄		DM ₁	DM ₂	DM ₃	DM ₄		DM ₁	DM ₂	DM ₃	DM ₄
C ₁	M	ML	M	H	C ₂₁	ML	L	MH	M	C ₂₅	L	MH	ML	MH
C ₂	L	MH	M	ML	C ₂₂	MH	ML	H	MH	C ₂₆	L	ML	L	ML
C ₁₁	VH	M	M	MH	C ₂₃	MH	ML	L	MH	C ₂₇	H	M	MH	M
C ₁₂	H	MH	VH	ML	C ₂₄	M	L	M	MH					

ตารางที่ 4 ผลการรวบรวมระดับคะแนนทางเลือกภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ C₂₁

	DM ₁	DM ₂	DM ₃	DM ₄		DM ₁	DM ₂	DM ₃	DM ₄		DM ₁	DM ₂	DM ₃	DM ₄
A ₁	MP	P	P	MG	A ₄	P	P	MP	G	A ₇	MP	F	MP	P
A ₂	F	F	MG	VG	A ₅	MG	MP	F	MG	A ₈	MP	MG	MG	F
A ₃	MG	P	MG	MP	A ₆	MP	P	MP	P	A ₉	MG	MG	P	MP

ตัวแปรภาษาของระดับประเมินความสำคัญในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจจากผู้ตัดสินใจแต่ละราย ดังตารางที่ 3 ถูกแปลงเป็นชุดตัวเลขพร้อมทั้งคำนวณตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญตามสมการที่ (2) ตัวอย่างการคำนวณตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลัก wc₁ ดังนี้ $wc_{1a} = \min(0.40, 0.20, 0.40, 0.70) = 0.20$, $wc_{1b} = (0.50 + 0.35 + 0.50 + 0.80)/4 = 0.54$, $wc_{1c} = \max(0.60, 0.50, 0.60, 0.90) = 0.90$ จากนั้นทำการปรับระดับการ

ประเมินความสำคัญตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจรอง ผลการคำนวณตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 5 ตัวอย่างการคำนวณตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ wc₁₁ ดังนี้ $wc_{11} = (0.20, 0.54, 0.90) \otimes (0.40, 0.66, 1.00) = (0.08, 0.36, 0.90)$

ตารางที่ 5 ตัวแทนระดับการประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ

	W _{ja}	W _{jb}	W _{jc}		W _{ja}	W _{jb}	W _{jc}		W _{ja}	W _{jb}	W _{jc}
C ₁₁	0.08	0.36	0.90	C ₂₂	0.02	0.26	0.72	C ₂₅	0.01	0.20	0.64
C ₁₂	0.04	0.38	0.90	C ₂₃	0.01	0.20	0.64	C ₂₆	0.01	0.12	0.40
C ₂₁	0.01	0.18	0.64	C ₂₄	0.01	0.20	0.64	C ₂₇	0.04	0.26	0.72

ในทำนองเดียวกับตัวแปรภาษาของระดับคะแนนทางเลือกถูกแปลงเป็นชุดตัวเลข พร้อมทั้งคำนวณตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกตามสมการที่ (3) แสดงดังตารางที่ 6

ต่อมาปรับบรรทัดฐานให้กับตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย

FTOPSIS ตามสมการที่ (5) เมื่อเกณฑ์การตัดสินใจ C₁₁ ถึงเกณฑ์การตัดสินใจ C₂₆ เป็นเกณฑ์การตัดสินใจที่ไม่เป็นผลประโยชน์ ส่วนเกณฑ์การตัดสินใจ C₂₇ เป็นเกณฑ์การตัดสินใจที่เป็นผลประโยชน์ พร้อมทั้งนำตัวแทนระดับประเมินความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจคูณกับตัวแทนระดับ

การให้คะแนนทางเลือกที่ผ่านการปรับบรรทัดฐาน กำหนดความสำคัญ แสดงดังตารางที่ 7
โดยเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบฟัซซี

ตารางที่ 6 ตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ

	C11	C12	C21	C22	C23	...	C27
A1	(1.00, 2.38, 5.00)	(7.00, 8.50, 10.0)	(1.00, 3.50, 8.00)	(1.00, 4.25, 8.00)	(4.00, 7.38, 10.0)	...	(1.00, 3.88, 9.00)
A2	(7.00, 9.00, 10.0)	(1.00, 2.75, 5.00)	(4.00, 6.13, 9.00)	(1.00, 3.13, 6.00)	(2.00, 5.75, 9.00)	...	(2.00, 4.63, 8.00)
A3	(5.00, 8.13, 10.0)	(1.00, 2.00, 3.00)	(1.00, 4.63, 8.00)	(4.00, 5.38, 8.00)	(1.00, 5.00, 8.00)	...	(4.00, 6.13, 9.00)
A4	(5.00, 6.88, 9.00)	(1.00, 2.00, 3.00)	(1.00, 3.88, 9.00)	(1.00, 5.38, 9.00)	(4.00, 7.00, 10.0)	...	(4.00, 7.00, 10.0)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A9	(1.00, 2.00, 3.00)	(5.00, 7.75, 10.0)	(1.00, 3.88, 8.00)	(4.00, 5.75, 9.00)	(1.00, 3.88, 8.00)	...	(1.00, 4.25, 8.00)

ตารางที่ 7 เมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบฟัซซีกำหนดความสำคัญ

	C11	C12	C21	C22	C23	...	C27
A1	(0.02, 0.15, 0.90)	(0.00, 0.04, 0.13)	(0.00, 0.05, 0.64)	(0.00, 0.07, 0.72)	(0.00, 0.03, 0.16)	...	(0.00, 0.26, 0.08)
A2	(0.01, 0.04, 0.13)	(0.01, 0.14, 0.90)	(0.00, 0.03, 0.16)	(0.01, 0.13, 0.72)	(0.00, 0.03, 0.32)	...	(0.01, 0.13, 0.09)
A3	(0.01, 0.04, 0.18)	(0.01, 0.19, 0.90)	(0.00, 0.04, 0.64)	(0.00, 0.26, 0.18)	(0.00, 0.04, 0.64)	...	(0.00, 0.07, 0.08)
A4	(0.01, 0.05, 0.18)	(0.01, 0.19, 0.90)	(0.00, 0.05, 0.64)	(0.00, 0.07, 0.72)	(0.00, 0.03, 0.16)	...	(0.00, 0.07, 0.07)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A9	(0.01, 0.07, 0.27)	(0.02, 0.29, 0.90)	(0.00, 0.08, 0.57)	(0.01, 0.17, 0.72)	(0.00, 0.08, 0.51)	...	(0.00, 0.11, 0.58)

ขั้นตอนถัดมาเป็นผลการระบุค่าอุดมคติเชิงบวกแบบฟัซซีและค่าอุดมคติเชิงลบแบบฟัซซีพิจารณาจากค่าปรับบรรทัดฐานของตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกในทุกๆ เส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ โดยจากตารางที่ 7 พบว่าค่า $FPIS = \{(0.03, 0.18, 0.90), (0.02, 0.29, 0.90), (0.00, 0.08, 0.64), (0.01, 0.26, 0.72), (0.00, 0.08, 0.64), (0.00, 0.13, 0.64), (0.00, 0.05, 0.64), (0.00, 0.05, 0.40), (0.01, 0.26, 0.58)\}$ ในทำนองเดียวกันสำหรับค่า $FNIS = \{(0.01, 0.04, 0.11), (0.00, 0.04, 0.13),$

$(0.00, 0.03, 0.16), (0.00, 0.05, 0.18), (0.00, 0.02, 0.13), (0.00, 0.03, 0.32), (0.00, 0.03, 0.13), (0.00, 0.02, 0.08), (0.00, 0.07, 0.07)\}$ ตามลำดับ

ระยะห่างยูคลิดีเนียนถูกประยุกต์เพื่อคำนวณระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและลบแบบฟัซซีกับค่าตัวแทนระดับการให้คะแนนทางเลือกที่ผ่านการปรับบรรทัดฐานกำหนดความสำคัญ ค่า d_i^+ และ d_i^- สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (8) แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและลบแบบฟัซซี

	d_i^+	d_i^-		d_i^+	d_i^-		d_i^+	d_i^-
A1	1.659	1.386	A4	1.259	1.767	A7	1.588	1.359
A2	1.890	1.120	A5	0.989	2.019	A8	1.387	1.649
A3	1.348	1.673	A6	1.417	1.488	A9	0.997	1.939

จากตารางที่ 8 สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ (CC) ของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบแต่ละเส้นทางการพิจารณาได้จากสัดส่วนระหว่างค่าระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบฟัซซีกับผลรวมของ

ระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและลบแบบฟัซซีตามสมการที่ (9) ค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบแต่ละเส้นทาง แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ

	CC		CC		CC
A1	0.455	A4	0.584	A7	0.461
A2	0.372	A5	0.671	A8	0.543
A3	0.554	A6	0.512	A9	0.660

จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ พบว่าเส้นทาง A5 เป็นเส้นทางที่มีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติสูงสุด ($CC_{A5} = 0.671$) โดยเริ่มจากการขนส่งด้วยรถบรรทุกจากนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร (N1) ไปยังด่านศุลกากรลาวบาว (N2) พร้อมทั้งทำการขนถ่ายสินค้าเพื่อเปลี่ยนยานพาหนะไปยังรถบรรทุกอีกคันโดยมีจุดหมายปลายทางที่ทำอากาศยานนานาชาติดานัง (N6) จากนั้นใช้การขนส่งด้วยเครื่องบินไปยังท่าอากาศยานนานาชาติเด็นเชินญีต (N5) สุดท้ายใช้การขนส่งด้วยรถบรรทุกไปยังศูนย์กระจายสินค้านครโฮจิมินห์ (N3) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นทาง A9 เป็นเส้นทางที่มีความเหมาะสมเป็นลำดับที่สอง เส้นทาง A4 เป็นทางเลือกลำดับที่สาม ส่วนเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบอื่นเป็นทางเลือกที่มีความสำคัญลดลงมาตามลำดับขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ ทั้งนี้เส้นทาง A2 เป็นทางเลือกลำดับสุดท้ายเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติต่ำสุด ($CC_{A2} = 0.372$) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาการขนส่งของเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ A5 แล้วพบว่าเส้นทางดังกล่าวไม่ได้เป็นเส้นทางการขนส่งที่มี

ต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำสุด หรือเป็นเส้นทางการขนส่งที่มีระยะเวลาการขนส่งที่สั้นสุด แต่เป็นเส้นทางการขนส่งที่มีความเหมาะสมมากที่สุดเมื่อพิจารณาเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมด

การเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจากประเทศไทยไปยังนครโฮจิมินห์ประกอบไปด้วยเส้นทางทั้งหมด 9 เส้นทาง โดยจากข้อมูลของเส้นทางทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 1 หากผู้ตัดสินใจต้องการทางเลือกที่มีระยะเวลาการขนส่งที่ต่ำสุด เส้นทาง A1 อาจเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด หรือหากผู้ตัดสินใจต้องการทางเลือกที่มีต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำสุด เส้นทาง A6 อาจเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเป็นปัญหา MCDM ซึ่งเกี่ยวข้องกับเกณฑ์การตัดสินใจที่ขัดแย้งกันและทางเลือกจำนวนมาก รวมถึงระดับความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือกที่แตกต่างกัน ดังนั้นจำเป็นต้องพิจารณาทางเลือกที่สามารถประนีประนอมต่อองค์ประกอบทั้งหมดพร้อมกัน โดยเมื่อพิจารณาองค์ประกอบทั้งหมดด้วยวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบฟัซซีที่เสนอในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่าเส้นทาง A5 เป็นเส้นทางสะท้อนการได้อย่างเสียอย่างขององค์ประกอบ

ทั้งหมดได้ดีที่สุด สอดคล้องกับผลการดำเนินงานวิจัยของ Kengpol *et al.* (2012); Kengpol *et al.* (2014); Koothongsumrit (2019) ที่แสดงให้เห็นว่าเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสมนั้นต้องตอบสนองเกณฑ์การตัดสินใจ ระดับความสำคัญ และองค์ประกอบทั้งหมดได้เป็นอย่างดี

สำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้งานนั้นอาจมีการจัดทำแผนการขนส่งสินค้าซึ่งเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าขนส่งสินค้าและระยะเวลาการขนส่งในปัจจุบันกับต้นทุนค่าขนส่งสินค้าและระยะเวลาการขนส่งของเส้นทางที่ได้จากวิธีการที่เสนอ พร้อมทั้งแสดงต้นทุนค่าขนส่งที่ไม่คาดคิดซึ่งเกิดขึ้นจากการขนถ่ายสินค้าซ้ำซ้อน (Double Handling) ได้แก่ ความเสียหาย หรือการสูญหายของสินค้าที่เกิดจากการขนถ่ายสินค้า ความล่าช้าของการขนส่งเนื่องจากความสามารถของเครื่องมือที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้า โดยเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าเส้นทาง A5 มีจุดเด่นด้านความสามารถของเครื่องมือที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้า ณ สนามบินและด่านศุลกากร มีความทันสมัยและมีจำนวนเพียงพอต่อการใช้งาน มีการดำเนินพิธีการศุลกากรแบบเบ็ดเสร็จจุดเดียว และมีความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพที่ต่ำเมื่อเทียบกับความเสี่ยงของเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพในเส้นทางอื่น ๆ อีกทั้งเส้นทางดังกล่าวยังอยู่ภายใต้งบประมาณและระยะเวลาในการขนส่งที่กำหนด ดังนั้นเส้นทาง A5 จึงเป็นทางเลือกที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการศึกษาครั้งนี้

สรุป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เสนอวิธีการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องด้วยวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบฟัซซี่ โดยจากการทดสอบวิธีการที่เสนอกับกรณีศึกษาสรุปได้ว่าวิธีการที่เสนอนี้มีความน่าเชื่อถือ แม่นยำ ลด

ความคลุมเครือ และความไม่แน่นอนจากการตัดสินใจได้มากที่สุด โดยกำหนดระดับการประเมินต่างๆ ด้วยฟังก์ชันและระดับความเป็นสมาชิกซึ่งสะท้อนความคิดเห็นของผู้ตัดสินใจ ทำให้การแสดงความคิดเห็นครอบคลุมมากกว่าการใช้ระดับการประเมินที่เป็นตัวเลขทวินัย อีกทั้งวิธีการที่เสนอยังเหมาะสมกับเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและคุณภาพ ไม่มีข้อจำกัดจำนวนเกณฑ์การตัดสินใจ และสามารถจัดลำดับทางเลือกที่ตอบสนองต่อเกณฑ์การตัดสินใจจากทางเลือกที่มีความเหมาะสมมากที่สุดซึ่งเป็นทางเลือกที่มีระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกแบบฟัซซี่ที่ต่ำสุดและมีระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบฟัซซี่ที่สูงสุดกรณีเดียวเท่านั้น แตกต่างจากวิธีแก้ปัญหาคัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์อื่นที่พิจารณา ลำดับ ของ ทาง เลือก จาก คะแนนประสิทธิภาพ ค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมาย น้ำหนักความสำคัญ ฯลฯ อย่างไรก็ตามคำตอบจากวิธีการที่เสนออาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ ระดับการประเมินความสำคัญและระดับการให้คะแนน งบประมาณค่าขนส่ง และระยะเวลาการขนส่งที่กำหนด นอกจากนี้อาจต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อคำตอบที่ได้ เช่น ประเภทของสินค้าที่ต้องทำการขนส่ง ลักษณะทางกายภาพของเส้นทางการขนส่ง การขนส่งเที่ยวเปล่า ต้นทุนค่าขนส่งทางอ้อมที่เกิดจากการส่งสินค้าก่อนระยะเวลาที่กำหนด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคตอาจพัฒนาข้อมูลนำเข้าของวิธีการที่เสนอด้วยการคำนวณระดับความเสี่ยงแบบฟัซซี่ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้กับวิธีแก้ปัญหาคัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์อื่น รวมถึงพัฒนาแนวคิดของวิธีการที่เสนอในรูปแบบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ตัดสินใจด้วยการกำหนดความต้องการและข้อจำกัดของตน เป็นผลให้การ

ตัดสินใจสอดคล้องกับสถานการณ์แห่งความเป็นจริงมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- Afful-Dadzie, E., Nabareseh, S., Afful-Dadzie, A. and Oplatková, Z.K. 2015. A fuzzy TOPSIS framework for selecting fragile states for support facility. **Quality & Quantity** 49(5): 1835-1855.
- Agrawal, S., Singh, R.K. and Murtaza, Q. 2016. Disposition decisions in reverse logistics by using AHP-fuzzy TOPSIS approach. **Journal of Modelling in Management** 11(4): 932-948.
- Arunyanart, S., Ohmori, S. and Yoshimoto, K. 2016. Selection of export route option in GMS region recommendation for current situation. **Journal of Japan Industrial Management Association** 67(2E): 193-201.
- Awasthi, A., Chauhan, S.S., Omrani, H. and Panahi, A. 2011. A hybrid approach based on SERVQUAL and fuzzy TOPSIS for evaluating transportation service quality. **Computers & Industrial Engineering** 61(3): 637-646.
- Azadeh, A., Moghaddam, M., Nazari, T. and Sheikhalishahi, M. 2016. Optimization of facility layout design with ambiguity by an efficient fuzzy multivariate approach. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology** 84(1-4): 565-579.
- Castillo, J., Caruana, C.J., Morgan, P.S. and Westbrook, C. 2015. Radiographer managers and service development: a Delphi study to determine an MRI service portfolio for year 2020. **Radiography** 21(1): e21-e27.
- Chen, S.Y. and Lu, C.C. 2015. Assessing the competitiveness of insurance corporations using fuzzy correlation analysis and improved fuzzy modified TOPSIS. **Expert Systems** 32(3): 392-404.
- Dash, R., Samal, S., Dash, R. and Rautray, R. 2019. An integrated TOPSIS crow search based classifier ensemble: in application to stock index price movement prediction. **Applied Soft Computing** 85: 105784.
- Hassan, M., Ali, M., Aktas, E. and Alkayid, K. 2015. Factors affecting selection decision of auto-identification technology in warehouse management: an international Delphi study. **Production Planning & Control** 26(12): 1025-1049.
- Hwang, C.L. and Yoon, K. 1981. **Multiple attribute decision making: methods and applications**. Springer-Verlag, Berlin.
- Kaewfak, K. and Ammarapala, V. 2018. The decision making of freight route in multimodal transportation. **Suranaree Journal of Science and Technology** 25(1): 1-10.
- Kengpol, A. and Tuamsee, S. 2016. The development of a decision support framework for a quantitative risk assessment in multimodal green logistics:

- an empirical study. **International Journal of Production Research** 54(4): 1020-1038.
- Kengpol, A., Meethom, W. and Tuominen, M. 2012. The development of a decision support system in multimodal transportation routing within Greater Mekong sub-region countries. **International Journal of Production Economics** 140(2): 691-701.
- Kengpol, A., Tuammee, S. and Tuominen, M. 2014. The development of a framework for route selection in multimodal transportation. **The International Journal of Logistics Management** 25(3): 581-610.
- Ko, H.J. 2009. A DSS approach with fuzzy AHP to facilitate international multimodal transportation network. **KMI International Journal of Maritime Affairs and Fisheries** 1: 51-70.
- Koohathongsumrit, N. 2017a. Optimization route selecting by multi-criteria decision making analysis. **RMUTP Research Journal** 11(1): 137-150. (in Thai)
- Koohathongsumrit, N. 2017b. Selecting optimal distribution route by zero-one goal programming model. **Research Journal Phranakhon Rajabhat: Science and Technology** 12(2): 78-91. (in Thai)
- Koohathongsumrit, N. 2019. Application of fuzzy logic system based risk assessment to select an optimal multimodal transportation route. **KMUTT Research & Development Journal** 42(4): 343-364. (in Thai)
- Meethom, W. and Koohathongsumrit, N. 2018. Design of decision support system for road freight transportation routing using Multilayer Zero One Goal Programming. **Engineering Journal** 22(6): 185-205.
- Meethom, W. and Koohathongsumrit, N. 2020. A decision support system for road freight transportation route selection with new fuzzy numbers. **Foresight** 22(4): 505-527.
- Sangaiah, A.K., Subramaniam, P.R. and Zheng, X. 2015. A combined fuzzy DEMATEL and fuzzy TOPSIS approach for evaluating GSD project outcome factors. **Neural Computing and Applications** 26(5): 1025-1040.
- Seo, Y.J., Chen, F. and Roh, S.Y. 2017. Multimodal transportation: the case of laptop from Chongqing in China to Rotterdam in Europe. **The Asian Journal of Shipping and Logistics** 33(3): 155-165.
- Sharmila, D. and Uthayakumar, R. 2017. Integrated supply chain model for deteriorating item with exponential demand and triangular fuzzy on holding costs. **Journal of Control and Decision** 4(4): 234-262.
- Singh, R.K. and Agrawal, S. 2018. Analyzing disposition strategies in reverse supply chains: fuzzy TOPSIS approach. **Management of Environmental Quality: An International Journal** 29(3): 427-443.
- Vilko, J.P.P. and Hallikas, J.M. 2012. Risk assessment in multimodal supply chains. **International Journal of Production Economics** 140(2): 586-595.

- Walczak, D. and Rutkowska, A. 2017. Project rankings for participatory budget based on the fuzzy TOPSIS method. **European Journal of Operational Research** 260(2): 706-714.
- Wang, Y. and Yeo, G.T. 2016. A study on international multimodal transport networks from Korea to Central Asia: focus on secondhand vehicles. **The Asian Journal of Shipping and Logistics** 32(1): 41-47.
- Wang, Y. and Yeo, G.T. 2017. Intermodal route selection for cargo transportation from Korea to Central Asia by adopting fuzzy Delphi and fuzzy ELECTRE I methods. **Maritime Policy & Management** 45(1): 3-18.
- Woo, S.H., Kim, S.N., Kwak, D.W., Pettit, S. and Beresford, A. 2017. Multimodal route choice in maritime transportation: the case of Korean auto-parts exporters. **Maritime Policy & Management** 45(1): 19-33.
- Yang, X., Low, J.M.W. and Tang, L.C. 2011. Analysis of intermodal freight from China to Indian Ocean: a goal programming approach. **Journal of Transport Geography** 19(4): 515-527.
- Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets. **Information and Control** 8(3): 338-353.

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม บนตัวรองรับท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นโดยวิธีการตกผลึกควบคู่กับการยิดเกาะ เพื่อเตรียมเป็นขั้วแคโทดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

Preparation of Platinum Catalysts on Multi-Walled Carbon Nanotubes by Deposition-Precipitation Method for Cathode in Microbial Fuel Cells

ศศิประภา วิลาวลัย วรพจน์ พูลศรี ฐานันท์ นิภารัตน์ ศศิณา สมแสง และ นิชนันท์ เทพสุภรังษิกุล *

Sasiprapa Wilawan, Worapoj Poonsri, Thanun Niparat, Sasina Somsaeng and Nichanan Thepsuparungsikul *

Received: 11 August 2019, Revised: 7 January 2020, Accepted: 15 January 2020

บทคัดย่อ

เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (Microbial Fuel Cell; MFC) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้า และบำบัดน้ำเสียได้ในเวลาเดียวกัน โดยแบคทีเรียในน้ำเสียเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม (Pt) บนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นคาร์บอกซิล (MWCNTs-COOH) ที่เตรียมขึ้นด้วยวิธีการตกผลึกควบคู่กับการยิดเกาะ (Deposition-precipitation; DP) โดยศึกษาผลของ pH ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการรีฟลักซ์ และผลของเวลาที่ใช้ในการรีฟลักซ์ จากนั้นประเมินลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการมีอยู่ของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อีมิสชันร่วมกับเครื่องเอกซเรย์แบบพลังงานกระจาย รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพการกระจายตัว และขนาดอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม Pt/MWCNTs-COOH ด้วยวิธี DP ได้แก่ สภาวะที่สารแขวนลอยมี pH เท่ากับ 7 อุณหภูมิที่ใช้ในการรีฟลักซ์เท่ากับ 70 °C และเวลาที่ใช้ในการรีฟลักซ์เท่ากับ 120 นาที โดยตัวเร่งปฏิกิริยา Pt มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบน MWCNTs-COOH และมีขนาดเล็กในระดับนาโนอยู่ในช่วง 2-3 nm โดยคาดว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ที่เตรียมขึ้นจะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อไปในการเพิ่มประสิทธิภาพในด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

คำสำคัญ: ขั้วแคโทด, เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ, ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม, ท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University, Muang, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): tepsuparungsiku_n@su.ac.th Tel: 0 3425 5797

ABSTRACT

Microbial fuel cell (MFC) is a technology for simultaneous electricity production and wastewater treatment. Bacteria in wastewater are able to convert organic matter into carbon dioxide, water and energy. In this study, Pt catalysts on multi-walled carbon nanotubes with carboxyl group (Pt/MWCNTs-COOH) were prepared by deposition-precipitation (DP) method with varies pH, refluxing temperature and refluxing time. The morphology and dispersion of Pt were characterized by field emission scanning electron microscope coupled with energy dispersive x-ray (FESEM-EDX) and transmission electron microscope (TEM). The results showed that the optimal conditions for DP were at pH 7, refluxing temperature 70 °C and refluxing time 120 min. As a result, Pt catalysts prepared on MWCNTs-COOH by DP method exhibited small size (2-3 nm) and highly uniform. It is expected that the Pt/MWCNTs-COOH will increase oxidation reduction reaction and further improve electricity production in MFC.

Key words: cathode, microbial fuel cell, platinum catalyst, multi-walled carbon nanotubes

บทนำ

การใช้พลังงานเป็นตัวแปรสำคัญในการประเมินระดับการพัฒนาประเทศ ซึ่งในประเทศกำลังพัฒนานั้นการใช้พลังงานมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตามการเติบโตทางเศรษฐกิจ (Berkday *et al.*, 2004) ปริมาณของพลังงานที่มีการรายงานการนำมาใช้ทั่วโลกตามสถิติของสำนักงานพลังงานสากล ปี พ.ศ. 2560 (International Energy Agency; IEA, 2017) มีดังนี้ น้ำมัน 31.7% ถ่านหิน 28.1% แก๊สธรรมชาติ 21.6% เชื้อเพลิงชีวภาพและของเสีย 9.7% พลังงานนิวเคลียร์ 4.9% พลังงานน้ำ 2.5% และพลังงานอื่นๆ 1.5% โดยจัดเป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) และพลังงานสิ้นเปลือง (Non-renewable energy) ซึ่งแหล่งของพลังงานสิ้นเปลืองกำลังหมดลง ในอนาคตอันใกล้ อีกทั้งการนำไปใช้งานยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse gases) (Nadimi and Tokimatsu, 2017) ในปัจจุบันพลังงานอีกรูปแบบหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีแหล่งพลังงาน

จำนวนมาก และมีจำนวนเพิ่มขึ้นตามอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากร นั่นคือ ของเสีย (Waste) ซึ่งของเสียที่ส่วนใหญ่มาจากภาคอุตสาหกรรม และจากครัวเรือน คือ น้ำเสีย (Wastewater) ซึ่งเป็นของเสียที่จำเป็นต้องมีการบำบัดให้ได้คุณภาพตรงตามมาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ ได้แก่ ความขุ่น กลิ่น และสี เป็นต้น และคุณสมบัติทางเคมีของน้ำ ได้แก่ ค่า pH ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand; BOD) และค่าปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Chemical Oxygen Demand; COD) เป็นต้น (Pollution Control Department, 1994)

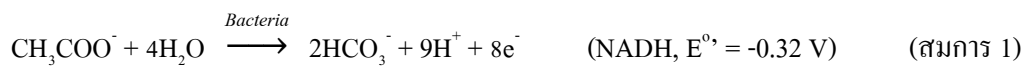
เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (Microbial Fuel Cell; MFC) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้า โดยเปลี่ยนน้ำเสียให้เป็นพลังงาน โดยมีหลักการทั่วไปคือ แบคทีเรียที่พบในน้ำเสียจะไปเกาะที่ขั้วแอโนด (Anode) ในลักษณะไบโอฟิล์ม (Biofilm)

(ภาพที่ 1) ซึ่งแบคทีเรียทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการออกซิไดซ์ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอิเล็กตรอน (e^-) โปรตอน (H^+) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยโปรตอนจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านโปรตอน (Proton Exchange Membrane; PEM) และอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดที่เป็นขั้วลบผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอก (External electrical circuit) ไปยังขั้วแคโทดที่เป็นขั้วบวก และมีตัวรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) มารับอิเล็กตรอนและโปรตอนเกิดผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ตัวรับอิเล็กตรอนเป็นออกซิเจน

(O_2) นอกจากนี้ยังมีตัวรับอิเล็กตรอนอื่นๆ เช่น Hexacyanoferrate (Sharma *et al.*, 2008) Sulfate (He and Angenent, 2006) และ Ferricyanide (Zou *et al.*, 2008) เป็นต้น โดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้า (Logan *et al.*, 2006; Logan *et al.*, 2007; Logan, 2008; Rinaldi *et al.*, 2008)

ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด และขั้วแคโทด โดยมี Acetate เป็น Substrate แสดงดังสมการ

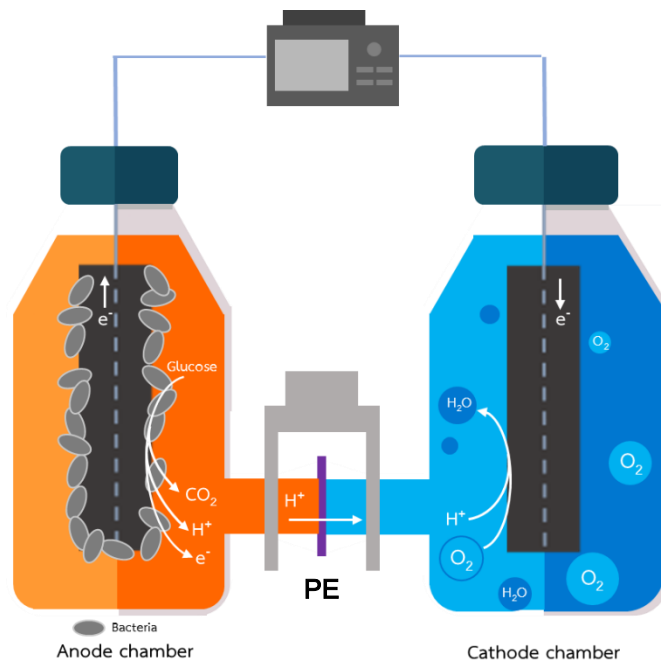
ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด:



ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด:



ปฏิกิริยารวม:



ภาพที่ 1 แผนภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบช่องคู่

ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพนั้นขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร เช่น แหล่งเชื้อเพลิงตั้งต้น

(Substrate) [เช่น กลูโคส (Zou *et al.*, 2008) อะซิเตท (Tsai *et al.*, 2009) และน้ำเสียสังเคราะห์ (Aldrovandi

et al., 2009)] ขั้วแอโนด (Anode) และขั้วแคโทด (Cathode) [เช่น Carbon felt (Kim *et al.*, 2002), Carbon cloth (Ishii *et al.*, 2008) และ Carbon paper (Kakarla and Min, 2014)] ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) [เช่น Platinum (Choi *et al.*, 2011) และ Platinum-Palladium alloy (Quan *et al.*, 2015)] เยื่อเลือกผ่าน (Membrane) [เช่น Nafion (Fangzhou *et al.*, 2011) และ Polytetrafluoroethylene (Pusomjit *et al.*, 2018)] รูปแบบของรีแอคเตอร์ (Reactor design) [เช่น Dual-chamber MFC (Thepsuparungsikul *et al.*, 2012) และ Single-chamber MFC (Cheng *et al.*, 2006)] ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (Electrode spacing) [เช่น 2 cm (Cheng *et al.*, 2006) และ 20 cm (Ghangrekar and Shinde, 2006)] และสารสื่อกลาง (Mediator) [เช่น Cu(II) (Li and Zhou, 2019), Hexacyanoferrate (Sharma *et al.*, 2008) และ Ferricyanide (Zou *et al.*, 2008)]

ปฏิกิริยาของขั้วแคโทดในเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพเป็นปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน (Oxygen Reduction Reaction; ORR) ซึ่งนิยมใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย (Final electron acceptor) อย่างไรก็ตามออกซิเจนสามารถรับอิเล็กตรอนได้ช้าเนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยา ORR ต่ำ ทำให้ต้องใช้พลังงานก่อกัมมันต์ (Activation energy) ในการทำลายพันธะของออกซิเจนมาก (Wang *et al.*, 2014) ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพโดยนำตัวเร่งปฏิกิริยามาช่วยในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ แพลทินัม (Pt) เนื่องจาก Pt มีค่า Catalytic activity สูง แต่มีข้อจำกัดคือ Pt มีราคาสูง ซึ่งคิดเป็น 50% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมดของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (Quan *et al.*, 2015)

ในปัจจุบันท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotubes) นิยมนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าและวัสดุ

รองรับตัวเร่งปฏิกิริยา (Supporting material) เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์คือ มีพื้นที่ผิวมาก (High surface area) นำไฟฟ้าได้ดี (Excellent electrical conductivity) ความเป็นรูพรุนสูง (High porosity) และสามารถสร้างหมู่ฟังก์ชันเพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยายึดเกาะได้ (Samad *et al.*, 2019) ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาบนท่อนาโนคาร์บอนสามารถเตรียมได้หลายวิธี เช่น Chemical reduction (Ma *et al.*, 2014) Chemical deposition (Xue *et al.*, 2007) Hydrothermal method (Tan *et al.*, 2016) และ Deposition-precipitation (Pusomjit *et al.*, 2016) เป็นต้น โดยเทคนิค Deposition-precipitation นั้นมีข้อดีคือ ทำได้ง่าย ราคาถูก ใช้เวลาน้อย และให้อนุภาคที่มีขนาดเล็ก (Sandoval *et al.*, 2011) ในปัจจุบันมีเพียงกลุ่มวิจัยเดียวที่รายงานการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บนท่อนาโนคาร์บอนผนังเดี่ยว (Single-walled carbon nanotubes; SWCNTs) ด้วยวิธี Deposition-precipitation (Pusomjit *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บนท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (Multi-walled carbon nanotubes; MWCNTs) ด้วยวิธีนี้

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำ MWCNTs ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นคาร์บอกซิล (MWCNTs-COOH) ซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีมาใช้สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา Pt เพื่อลดต้นทุนการผลิตขั้วแคโทดในเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแทน SWCNTs โดยขั้ว Pt/MWCNTs-COOH สามารถเตรียมขึ้นจากวิธี Deposition-precipitation (DP) พร้อมทั้งศึกษาคุณสมบัติด้านโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope; TEM) และศึกษาคุณสมบัติด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชันร่วมกับเครื่องเอกซเรย์แบบพลังงานกระจาย (Field Emission Scanning

Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; FESEM-EDX) โดยศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพขั้วแคโทดทั้ง 3 ชนิดที่จะนำไปใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ ได้แก่ ผ้าคาร์บอน (Carbon cloth; CC) ผ้าคาร์บอนที่เคลือบด้วย MWCNTs-COOH (MWCNTs-COOH/CC) และผ้าคาร์บอนที่เคลือบด้วย Pt/MWCNTs-COOH (Pt/MWCNTs-COOH/CC)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม Pt/MWCNTs-COOH โดยใช้วิธี DP

นำ MWCNTs-COOH (Chengdu Organic Chemical Co. Ltd, สาธารณรัฐประชาชนจีน) มากระจายในสารละลาย 1%(v/v) Triton X-100 (LOBA Chemie, อินเดีย) ด้วยอ่างสั่นคลื่นเสียงความถี่สูง (Sonicator) (GT SONIC, สาธารณรัฐประชาชนจีน) เป็นเวลา 90 นาที โดยนำสารแขวนลอยที่ได้มาเติมสารละลาย Chloroplatinic acid hexahydrate ($\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Sigma-Aldrich Pte. Ltd., สหรัฐอเมริกา) ความเข้มข้น 1.5 mM ปริมาตร 25.00 mL จากนั้นปรับ pH ให้เหมาะสม (ศึกษาที่ pH 6, 7, 8 และ 9) ด้วยสารละลาย Sodium hydroxide (NaOH) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสม (ศึกษาที่ 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C และ 100 °C) พร้อมกวนตลอดเวลาด้วยเวลาที่เหมาะสม (ศึกษาที่ 30 นาที, 90 นาที และ 120 นาที) จะได้สารแขวนลอย Pt/MWCNTs-COOH และเตรียมสารแขวนลอย MWCNTs-COOH โดยเตรียมด้วยวิธีเดียวกันกับการเตรียม Pt/MWCNTs-COOH นั่นคือนำ MWCNTs-COOH มากระจายในสารละลาย 1%(v/v) Triton X-100 ด้วยอ่างสั่นคลื่นเสียงความถี่สูง สุดท้ายนำสารแขวนลอย Pt/MWCNTs-COOH และสารแขวนลอย MWCNTs-COOH เคลือบลงบนผ้าคาร์บอน (Carbon

cloth) (Type B, non-wet proofed, BASF Fuel Cell Inc., สหรัฐอเมริกา) ด้วยแปรงพ่นสีที่ต่อกับปั๊มลม (Royalmax airbrush รุ่น AB-133, สาธารณรัฐประชาชนจีน)

2. การศึกษาคุณสมบัติด้านโครงสร้างโดยเครื่อง TEM

ศึกษาคุณสมบัติด้านโครงสร้างของ Pt/MWCNTs-COOH ที่เตรียมขึ้น โดยนำสารแขวนลอย Pt/MWCNTs-COOH มาทำให้กระจายตัวด้วยอ่างสั่นคลื่นเสียงความถี่สูง 60 นาที ก่อนทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM (JEOL รุ่น JEM-2100, ญี่ปุ่น) โดยศึกษาการกระจายตัว รวมทั้งขนาดอนุภาคของ Pt บน MWCNTs-COOH

3. การศึกษาคุณสมบัติด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการมีอยู่ของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt โดยเครื่อง FESEM-EDX

ศึกษาคุณสมบัติด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ Pt/MWCNTs-COOH ที่เตรียมขึ้นด้วยเครื่อง FESEM-EDX (JEOL รุ่น JSM 7610F, ญี่ปุ่น) โดยศึกษาการมีอยู่ของ Pt และการกระจายตัวของ Pt บน MWCNTs-COOH

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

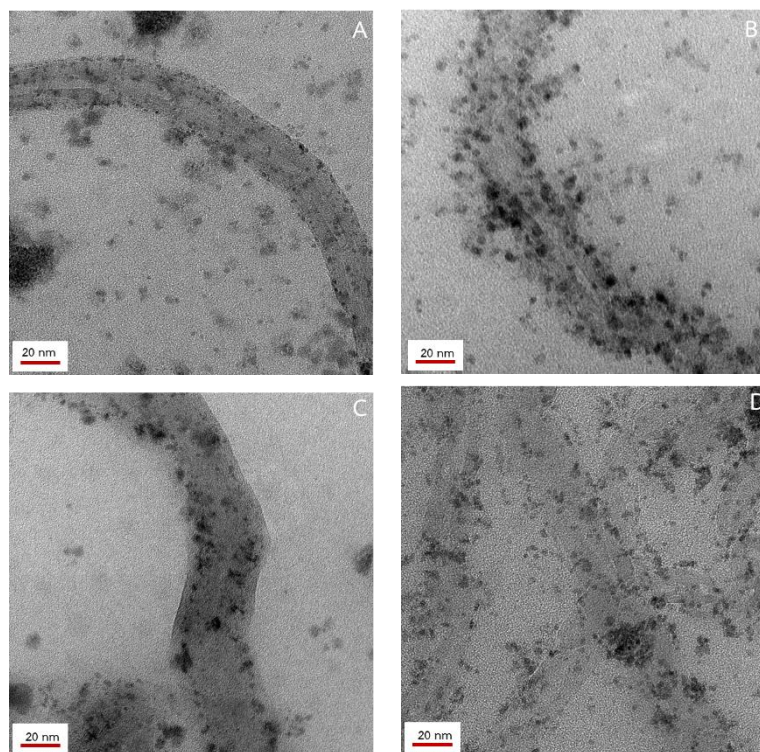
1. คุณสมบัติด้านโครงสร้างของ Pt/MWCNTs-COOH

1.1 ผลของ pH ต่อการเตรียม Pt/MWCNTs-COOH ด้วยวิธี DP

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของค่า pH เมื่อมีการเติม NaOH ลงในสารแขวนลอยที่มี $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ อยู่ นั้น ลิแกนด์ OH^- จะไปแทนที่ลิแกนด์ Cl^- ใน $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ จากนั้นจะทำให้เกิดนิวเคลียสผลึก (Nucleation) ขึ้น และเมื่อสารแขวนลอยเป็นกรดมากๆ ลิแกนด์ OH^- จะไปแทนที่ลิแกนด์ Cl^- ใน $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ได้น้อย ทำให้สาร

แขวนลอยเกิดนิวเคลียสผลึกน้อย ส่งผลให้ Pt เกาะอยู่บน MWCNTs-COOH น้อย และหากในสารแขวนลอยมีความเป็นเบสมาก ลิแกนด์ OH^- จะไปแทนที่ลิแกนด์ Cl^- ใน $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ มาก ทำให้เกิดนิวเคลียสผลึกที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้สารแขวนลอยเกิดการตกตะกอน (Song *et al.*, 2012) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงสนใจที่จะศึกษาสภาวะ pH ที่ 6, 7, 8 และ 9 จากรูป TEM (ภาพที่ 2) ของ Pt/MWCNTs-COOH ที่สภาวะ pH แตกต่างกัน (pH 6, 7, 8 และ 9) พบว่าที่ pH 6 (ภาพที่ 2A) อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ที่เกาะอยู่บน MWCNTs-COOH มีจำนวนมาก ขณะที่อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนมีการรวมตัวเกาะกันเป็นก้อนขนาดใหญ่อยู่บริเวณด้านนอกของท่อ MWCNTs-COOH โดยขนาดของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 1.02-3.27 nm ที่ pH 7 (ภาพที่ 2B) อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกาะอยู่บน MWCNTs-COOH มีจำนวนมากโดยมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งขนาดอนุภาคของ

ตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 1.72-4.55 nm ที่ pH 8 (ภาพที่ 2C) ขนาดอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt มีขนาดที่แตกต่างกัน และมีการเกาะกันเป็นก้อน โดยขนาดอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 1.68-5.24 nm และที่ pH 9 (ภาพที่ 2D) อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ที่เกาะอยู่บน MWCNTs-COOH มีจำนวนมาก มีขนาดที่แตกต่างกัน และมีการรวมกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ โดยขนาดอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 1.06-6.23 nm จากผลการทดลองพบว่า pH เท่ากับ 7 เป็นสภาวะที่เหมาะสมของวิธี DP ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บน MWCNTs-COOH โดยมีการกระจายตัวของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยา Pt สูงที่สุดในช่วง 3.0-4.0 nm เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Li and Hsing (2006) ซึ่งได้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บน CNTs ด้วยวิธีการตกตะกอน (Precipitation method) ที่ pH 8.5 พบว่าได้อนุภาค Pt ขนาดค่อนข้างใหญ่ โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 4.8 ± 1.9 nm และมีจำนวนอนุภาค Pt เกาะอยู่บน CNTs น้อย



ภาพที่ 2 TEM images (กำลังขยาย 100,000 เท่า) ของ Pt/MWCNTs-COOH โดยใช้ความเข้มข้น $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1.5 mM, อุณหภูมิที่ใช้ในการรีฟลักซ์ 80°C , เวลาที่ใช้ในการรีฟลักซ์เท่ากับ 120 นาที และ pH แตกต่างกัน: (A) 6, (B) 7, (C) 8 และ (D) 9

1.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการรีฟลักซ์ต่อ

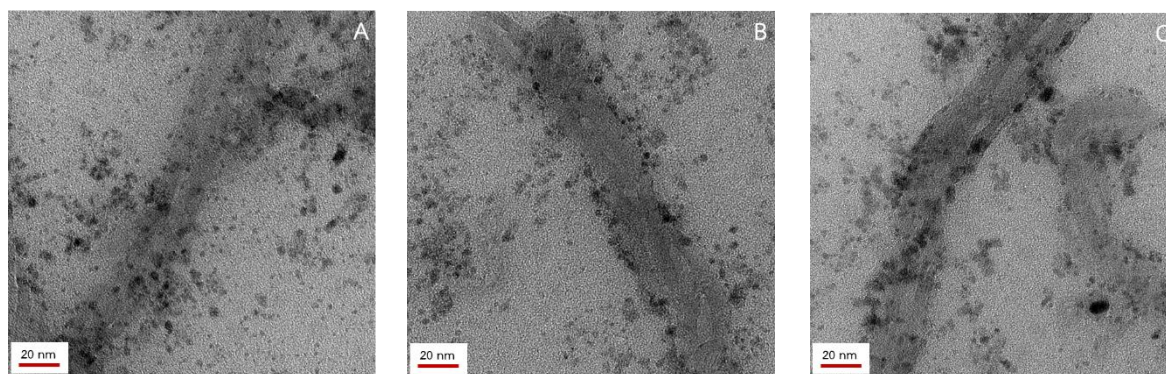
การเตรียม Pt/MWCNTs-COOH ด้วยวิธี DP

ในการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการรีฟลักซ์ เมื่อใช้อุณหภูมิต่ำจะเกิดนิวเคลียสผลึกได้น้อย ขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิสูงจะเกิดนิวเคลียสผลึกได้มาก เนื่องจากการให้ความร้อนเป็นการเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้สารแขวนลอยเกิดการตกตะกอน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงสนใจที่จะศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการรีฟลักซ์ที่ 60°C , 70°C และ 80°C จากรูป TEM (ภาพที่ 3) ของ Pt/MWCNTs-COOH ที่เตรียมขึ้นโดยใช้ อุณหภูมิในการรีฟลักซ์ที่ต่างกัน (60°C , 70°C , 80°C , 90°C และ 100°C) พบว่าที่อุณหภูมิ 60°C (ภาพที่ 3A) อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาที่กระจายตัวบน MWCNTs-COOH มีปริมาณน้อย และอนุภาคบางส่วนเกาะกันเป็นก้อน ขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยา

Pt อยู่ในช่วง 1.71-4.87 nm ที่อุณหภูมิ 70°C (ภาพที่ 3B) อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt มีการกระจายตัวบน MWCNTs-COOH อย่างสม่ำเสมอ และมีจำนวนมาก ขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 1.08-5.09 nm และที่อุณหภูมิ 80°C (ภาพที่ 3C) อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt มีขนาดใหญ่ และมีการกระจายตัวบน MWCNTs-COOH ที่ไม่สม่ำเสมอ ขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 1.15-6.84 nm ส่วนที่อุณหภูมิในการรีฟลักซ์ 90°C และ 100°C ในระหว่างการเตรียม Pt/MWCNTs-COOH ด้วยวิธี DP จะเกิดการตกตะกอนในขั้นตอนการเติมสารละลาย NaOH เพื่อปรับ pH จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการรีฟลักซ์ที่ 70°C เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บน MWCNTs-COOH โดยมีการกระจายตัวของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยา Pt สูงที่สุด

ในช่วง 2.0-3.0 nm โดยเปรียบเทียบในงานวิจัยของ ปิ่นพร และคณะ ได้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บนตัวรองรับ SWCNTs-COOH ด้วยวิธี DP โดยใช้อุณหภูมิในการรีฟลักซ์เท่ากับ 80 °C ได้ขนาดอนุภาคของ ตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 1.0-3.2 nm (Pusomjit *et al.*, 2016) และในงานวิจัยของ Sheng *et al.* (2011) ได้มี

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บน MWCNTs โดยวิธี Immobilization โดยมีการให้ความร้อนจากเตาเผาที่ อุณหภูมิ 300 °C, 400 °C, 500 °C และ 600 °C ได้ ขนาดของอนุภาค Pt บน MWCNTs ประมาณ 2 nm แต่มีการใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงในการเตรียมเมื่อ เทียบกับงานวิจัยนี้



ภาพที่ 3 TEM images (กำลังขยาย 100,000 เท่า) ของ Pt/MWCNTs-COOH โดยใช้ความเข้มข้น $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1.5 mM, pH เท่ากับ 7, เวลาที่ใช้ในการรีฟลักซ์ 120 นาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการรีฟลักซ์แตกต่างกัน: (A) 60 °C, (B) 70 °C และ (C) 80 °C

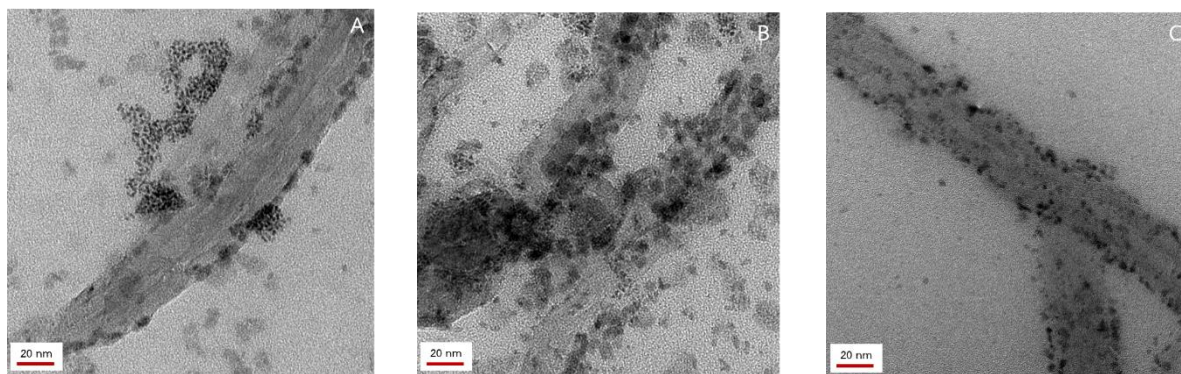
1.3 ผลของเวลาที่ใช้ในการรีฟลักซ์ต่อการเตรียม Pt/MWCNTs-COOH ด้วยวิธี DP

ในการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการรีฟลักซ์ เมื่อใช้เวลาน้อยเกิดนิวเคลียสผลึกได้น้อย และไม่เกาะอยู่บน MWCNTs-COOH และเมื่อใช้เวลามากจะเกิดนิวเคลียสผลึกได้มาก และจะค่อยๆ เกาะอยู่บน MWCNTs-COOH ดังนั้นในการทดลองนี้จึงสนใจที่จะศึกษาเวลาที่ใช้ในการรีฟลักซ์ที่ 30 นาที, 60 นาที และ 120 นาที จากรูป TEM (ภาพที่ 4) ของ Pt/MWCNTs-COOH ที่เตรียมขึ้นโดยใช้เวลาในการรีฟลักซ์ที่แตกต่างกัน (30 นาที, 90 นาที และ 120 นาที) พบว่าที่เวลา 30 นาที (ภาพที่ 4A) อนุภาคของ ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บน MWCNTs-COOH เกาะกัน เป็นก้อนขนาดใหญ่ และส่วนใหญ่เกาะอยู่บริเวณ ขอบด้านนอกของท่อ MWCNTs-COOH โดยขนาด อนุภาคอยู่ในช่วง 2.11-15.78 nm ที่เวลา 90 นาที

(ภาพที่ 4B) ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt เกาะอยู่บน MWCNTs-COOH จำนวนมาก โดยเกาะเป็นกลุ่มขนาดใหญ่และ มีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ โดยขนาดอนุภาคของ ตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 2.07-8.62 nm และที่เวลา 120 นาที (ภาพที่ 4C) อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บน MWCNTs-COOH มีจำนวนมาก และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยา อยู่ในช่วง 0.49-9.62 nm จากผลการทดลองเวลาในการรีฟลักซ์ที่ 120 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมของ วิธี DP ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บน MWCNTs-COOH โดยมีการกระจายตัวของอนุภาค ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ที่สูงที่สุดในช่วง 2.0-3.0 nm ซึ่งมี ขนาดเล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Xing (2004) ซึ่งได้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บนตัวรองรับ MWCNTs ด้วยวิธีการรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 140 °C

เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ขนาดของอนุภาค Pt ขนาด

ใหญ่เฉลี่ยประมาณ 5.74 nm

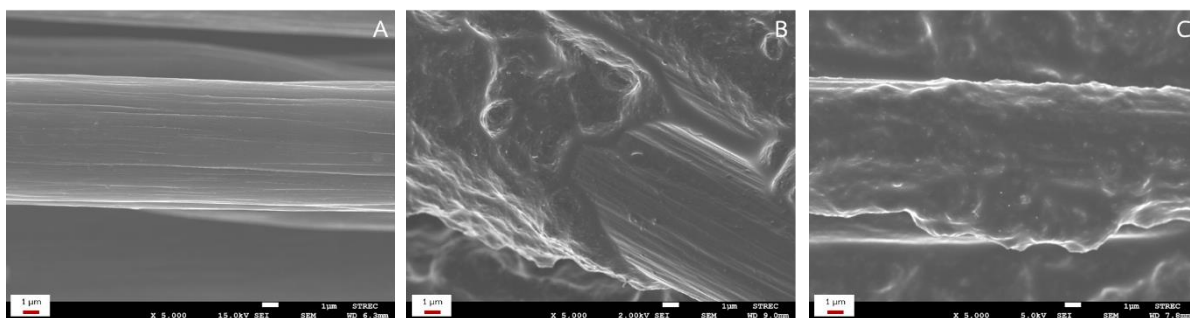


ภาพที่ 4 TEM images (กำลังขยาย 100,000 เท่า) ของ Pt/MWCNT-COOH โดยใช้ความเข้มข้น $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1.5 mM, pH เท่ากับ 7, อุณหภูมิที่ใช้ในการรีฟลักซ์ 80 °C และเวลาที่ใช้ในการรีฟลักซ์แตกต่างกัน: (A) 30 นาที, (B) 90 นาที และ (C) 120 นาที

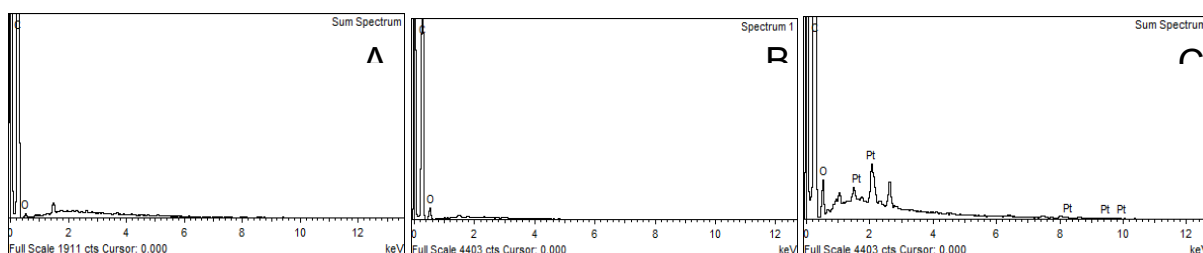
2. คุณสมบัติด้านลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ Pt/MWCNTs-COOH และการมีอยู่ของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt

เมื่อประเมินภาพถ่าย FESEM (กำลังขยาย 5,000 เท่า) (ภาพที่ 5) ของผ้าคาร์บอน, MWCNTs-COOH/CC และ Pt/MWCNTs-COOH/CC พบว่าพื้นผิวของผ้าคาร์บอน (ภาพที่ 5.1A) มีลักษณะผิวเรียบ ส่วนภาพของ MWCNTs-COOH/CC (ภาพที่ 5.1B) และ Pt/MWCNTs-COOH/CC (ภาพที่ 5.1C) แสดงลักษณะก่อนที่หนาของ MWCNTs-COOH และ Pt/MWCNTs-COOH เคลือบบนเส้นใยของผ้าคาร์บอน เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าคาร์บอนพบว่า MWCNTs-COOH และ Pt/MWCNTs-COOH ที่เคลือบอยู่บนผ้าคาร์บอน ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนที่มากขึ้น และจะทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าโดย

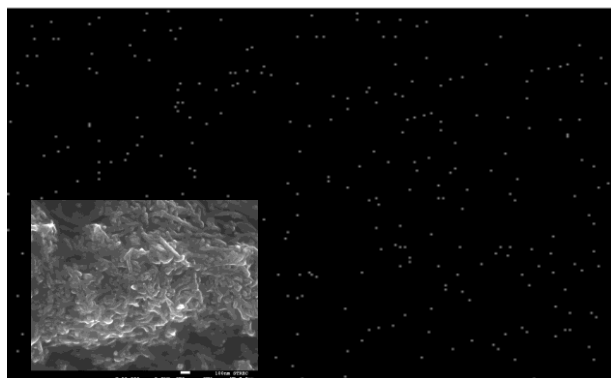
เทคนิค MFC ที่เพิ่มมากขึ้น (Slate *et al.*, 2019) และจาก EDX spectra (ภาพที่ 6) จะเห็นว่า EDX spectra ของ ผ้าคาร์บอน และ MWCNTs-COOH/CC (ภาพที่ 6A และ 6B) ปรากฏพีกของธาตุ O และ C โดยพีกของธาตุ C มาจาก ผ้าคาร์บอนและ MWCNTs-COOH ที่เคลือบอยู่บนผ้า ส่วนธาตุ O มาจาก O ในหมู่ฟังก์ชัน -COOH บน MWCNTs ส่วน EDX spectrum ของ Pt/MWCNTs-COOH/CC จะปรากฏพีกของธาตุ C, O และ Pt ซึ่งยืนยันความสำเร็จในการ deposit อนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บน MWCNTs-COOH จากวิธี DP ยิ่งไปกว่านั้นผลจาก EDX element mapping (ภาพที่ 7) แสดงถึงการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของ Pt บน MWCNTs-COOH ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Jiang *et al.* (2018) ที่มีการเตรียม $\text{Pt}^0/\text{Ni-P}$ บน CNT โดยวิธี galvanic displacement reaction



ภาพที่ 5 FESEM images (กำลังขยาย 5,000 เท่า) ของ: (A) ผ้าคาร์บอน, (B) MWCNTs-COOH/CC และ (C) Pt/MWCNTs-COOH/CC



ภาพที่ 6 EDX spectra ของ: (A) ผ้าคาร์บอน, (B) MWCNTs-COOH/CC และ (C) Pt/MWCNTs-COOH/CC



ภาพที่ 7 EDX element mapping ของ Pt จากขั้วแคโทด Pt/MWCNTs-COOH/CC

สรุป

งานวิจัยนี้สามารถเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Pt บน MWCNTs-COOH โดยใช้เทคนิค DP เพื่อใช้เตรียมเป็นขั้วแคโทดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ ซึ่งวิธี DP เป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ราคาถูก ใช้เวลาน้อย และให้อนุภาคนาโนขนาดเล็ก โดยสภาวะที่เหมาะสมของวิธี DP ได้แก่ pH เท่ากับ 7 อุณหภูมิที่ใช้ในการรีฟลักซ์ เท่ากับ 70 °C และเวลาที่ใช้ในการรีฟลักซ์เท่ากับ 120

นาที โดยพบว่าวิธี Pt มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ บนเส้นใย MWCNTs-COOH และมีขนาดอนุภาคระดับนาโน (2-3 nm) โดยคาดว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ที่เตรียมขึ้นจะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลไปยังประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพได้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร และทุนวิจัยจากสำนักงาน
กองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ตามสัญญาเลขที่
TRG5880108 ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Aldrovandi, A., Marsili, E., Stante, L., Paganin, P., Tabacchioni, S. and Giordano, A. 2009. Sustainable power production in a membrane-less and mediator-less synthetic wastewater microbial fuel cell. **Bioresource Technology** 100: 3252-3260.
- Berktaş, A., Demirbaş, A., Kocak, S. and Nas, B. 2004. Electrical energy prices and losses respect to Turkish social-economic situations. **Energy Exploration & Exploitation** 22: 195-206.
- Cheng, S., Liu, H. and Logan, B.E. 2006. Increased power generation in a continuous flow MFC with advective flow through the porous anode and reduced electrode spacing. **Environmental Science & Technology** 40: 2426-2432.
- Choi, J., Chamg, H.N. and Han, J.I. 2011. Performance of microbial fuel cell with volatile fatty acids from food wastes. **Biotechnology Letters** 33: 705-714.
- Fangzhou, D., Zhenglong, L., Shaoqiang, Y., Beizhen, X. and Hong, L. 2011. Electricity generation directly using human feces wastewater for life support system. **Acta Astronautica** 68: 1537-1547.
- Ghangrekar, M.M. and Shinde, V.B. 2006. Performance of membrane-less microbial fuel cell treating wastewater and effect of electrode distance and area on electricity production. **Bioresource Technology** 98: 2879-2885.
- He, Z. and Angenent, L. 2006. Application of bacterial biocathodes in microbial fuel cells. **Electroanalysis** 18: 2009-2015.
- International Energy Agency. 2017. **World Energy Outlook**. Available Source: <https://www.iea.org/weo2017>, April 5, 2019.
- Ishii, S., Watanabe, K., Yabuki, S., Logan, B.E. and Sekiguchi, Y. 2008. Comparison of electrode reduction activities of *Geobacter sulfurreducens* and an enriched consortium in an air-cathode microbial fuel cell. **Applied and Environmental Microbiology** 74: 7348-7355.
- Jiang, Y., Liu, Z., Song, J., Chang, I. and Zeng, J. 2018. Preparation and characterization of bimetallic Pt⁰Ni-P/CNT catalysts via galvanic displacement reaction on electrolessly-plated Ni-P/CNT. **International Journal of Green Energy** 3: 360-367.
- Kakarla, R. and Min, B. 2014. Photoautotrophic microalgae *Scenedesmus obliquus* attached on a cathode as oxygen producers for microbial fuel cell (MFC) operation. **International Journal of Hydrogen Energy** 39: 10275-10283.
- Kim, H.J., Park, H.S., Hyun, M.S., Chang, I.S., Kim, M. and Kim, B.H. 2002. A mediator-less microbial fuel cell using a

- metal reducing bacterium, *Shewanella putrefaciens*. **Enzyme and Microbial Technology** 30: 145-152.
- Li, X. and Hsing, I. 2006. The effect of the Pt deposition method and the support on Pt dispersion on carbon nanotubes. **Electrochimica Acta** 51: 5250-5258.
- Li, M. and Zhou, S. 2019. Efficacy of Cu (II) as an electron-shuttle mediator for improved bioelectricity generation and Cr (VI) reduction in microbial fuel cells. **Bioresource Technology** 273: 122-129.
- Logan, B.E. 2008. **Microbial Fuel Cells**. John Wiley & Sons, New York.
- Logan, B.E., Cheng, S., Watson, V. and Estadt, G. 2007. Graphite fiber brush anodes for increased power production in air-cathode microbial fuel cells. **Environmental Science & Technology** 41: 3341-3346.
- Logan, B.E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schröder, U., Keller, J., Freguia, S., Aelterman, P., Verstraete, W. and Rabaey K. 2006. Microbial fuel cells: methodology and technology. **Environmental Science & Technology** 40: 5181-5192.
- Ma, Y., Li, H., Wang, H., Ji, S., Linkov, V. and Wang, R. 2014. Ultrafine amorphous PtNiP nanoparticles supported on carbon as efficiency electrocatalyst for oxygen reduction reaction. **Journal of Power Sources** 259: 87-91.
- Nadimi, R. and Tokimatsu, K. 2017. Analyzing of renewable and non-renewable energy consumption via bayesian inference. **Energy Procedia** 142: 2773-2778.
- Pollution Control Department. 1994. **Wastewater Standard**. Available from: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html, 5 April, 2019.
- Pusomjit, P., Chailapakul, O., Ng, H.Y. and Thepsuparungsikul, N. 2018. Development of platinum supported on single-walled carbon nanotubes by deposition-precipitation for microbial fuel cell. **Water Science and Technology** 2017(3): 887-895.
- Pusomjit, P., Sangkum, N., Junwaowam, P. and Thepsuparungsikul, N. 2016. Preparation of carbon nanotubes supported platinum catalyst as a cathode for microbial fuel cells. **Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University** 3(5): 249-259.
- Quan, X., Mei, Y., Xu, H., Sun, B. and Zhang, X. 2015. Optimization of Pt-Pd alloy catalyst and supporting materials for oxygen reduction in air-cathode microbial fuel cells. **Electrochimica Acta** 165: 72-77.
- Rinaldi, A., Mecheri, B., Garavaglia, V., Licoccia, S., Nardo, P.D. and Traversa, E. 2008. Engineering materials and biology to boost performance of microbial fuel cells: a critical review. **Energy & Environmental Science** 1: 417-429.
- Samad, S., Loh, S.K., Wong, Y.W., Lee, K.L., Sunarso, J., Chong, T.S. and Daud, W.R.W. 2019. Carbon and non-carbon support materials for platinum-based

- catalysts in fuel cells. **International Journal of Hydrogen Energy** 43: 7823-7854.
- Sandoval, A., Aguilar, A., Louis, C., Traverse, A. and Zanella, R. 2011. Bimetallic Au-Ag/TiO₂ catalyst prepared by deposition-precipitation: high activity and stability in CO oxidation. **Journal of Catalysis** 281: 40-49.
- Sharma, T., Reddy, A.L.M., Chandraa, T.S. and Ramaprabhu, S. 2008. Development of carbon nanotubes and nanofluids based microbial fuel cell. **International Journal of Hydrogen Energy** 33: 6749-6754.
- Sheng, W., Lee, S., Crumlin, E.J., Chen, S. and Shao-Horn Y. 2011. Synthesis, activity and durability of Pt nanoparticles supported on multi-walled carbon nanotubes for oxygen reduction. **Journal of the Electrochemical Society** 158: B1398-B1404.
- Slate, A.J., Whitehead, K.A., Brownsona, D.A.C. and Banks, C.E. 2019. Microbial fuel cells: an overview of current technology. **Renewable & Sustainable Energy Reviews** 101: 60-81.
- Song, S., Sheng, Z., Liu, Y., Wang, H. and Wu, Z. 2012. Influences of pH value in deposition-precipitation synthesis process on Pt-doped TiO₂ catalysts for photocatalytic oxidation of NO. **Journal of Environmental Sciences** 24(8): 1519-1524.
- Tan, L., Liu, Z., Li, N., Zhang, J., Zhang, L. and Chen, S. 2016. CuSe decorated carbon nanotubes as a high performance cathode catalyst for microbial fuel cells. **Electrochimica Acta** 213: 283-290.
- Thepsuparungsikul, N., Phonthamachai, N. and Ng, H.Y. 2012. Multi-walled carbon nanotubes as electrode material for microbial fuel cells. **Water Science and Technology** 65(7): 1208-1214.
- Tsai, H., Wu, C., Lee, C. and Shih, E. 2009. Microbial fuel cell performance of multiwall carbon nanotubes on carbon cloth as electrodes. **Journal of Power Sources** 194: 199-205.
- Wang, Z., Cao, C., Zheng, Y., Chen, S. and Zhao, F. 2014. Abiotic oxygen reduction reaction catalysts used in microbial fuel cells. **ChemPubSoc Europe** 11: 1813-1821.
- Xing, Y. 2004. Synthesis and electrochemical characterization of uniformly-dispersed high loading Pt nanoparticles on sonochemically-treated carbon nanotubes. **Journal of Physical Chemistry** 108: 19255-19259.
- Xue, X., Gea, J., Tian, T., Liu, C., Xing, W. and Lu, T. 2007. Enhancement of the electrooxidation of ethanol on Pt-Sn-P/C catalysts prepared by chemical deposition process. **Journal of Power Sources** 172: 560-569.
- Zou, Y., Xiang, C., Yang, L., Sun, L.X., Xu, F. and Cao, Z. 2008. A mediatorless microbial fuel cell using polypyrrole coated carbon

nanotubes composite as anode material.

Energy 33: 4856-4862.

International Journal of Hydrogen

การปรับปรุงกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษา

Improvement of Work Shift Changes in Gas Stations: a Case Study

ชานนท์ ตระกูลเลิศยศ* และ พรเทพ ขอกจ่ายเกียรติ

Chanon Trakunlertyot* and Porntep Khokhajaikiat

Received: 25 January 2019, Revised: 27 July 2019, Accepted: 4 November 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอรูปแบบขั้นตอนการทำงานที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษา ซึ่งจะช่วยให้การจ่ายน้ำมันมีความต่อเนื่องและลดระยะเวลาในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน โดยศึกษาขั้นตอนการทำงานของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาในปัจจุบันที่เปิดให้บริการ 24 ชั่วโมงต่อวัน เริ่มจากศึกษาวิธีการทำงานศึกษาสาเหตุของความล่าช้า รวบรวมข้อมูลการเติมน้ำมันของรถเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าเสียโอกาสที่ผู้รับบริการไม่รอเติมน้ำมันในช่วงกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน จากนั้นจึงนำเสนอรูปแบบขั้นตอนการทำงานใหม่ที่สามารถลดระยะเวลาในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานและเปรียบเทียบค่าเสียโอกาสที่ผู้รับบริการไม่รอเติมน้ำมันในช่วงกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน ผลการวิจัยพบว่าสามารถลดเวลามาตรฐานของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานจากเดิม 15 นาทีต่อกะทำงาน เหลือ 5.36 นาทีต่อกะทำงาน หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 64.27 และลดค่าเสียโอกาสที่ผู้รับบริการไม่รอเติมน้ำมันในช่วงกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน 534 บาทต่อกะทำงาน หรือ เท่ากับ 584,633 บาทต่อปี จากการวิเคราะห์การคืนทุนสำหรับอุปกรณ์ที่ต้องติดตั้งในการดำเนินการตามรูปแบบที่นำเสนอ พบว่าระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 12.63 ปี

คำสำคัญ: สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง, ระยะเวลาในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน, ค่าเสียโอกาส

ABSTRACT

This research was conducted to present an appropriate method of changes in work shifts that allows filling up fuel tanks continually and reduces the time of work shift changes. The research took place in selected gas stations that provide 24-hour service. Work process, causes of delay, and data of fuel tank filling were analyzed for the opportunity cost when customers don't wait during changing work shifts. The new method which can reduce the time of changing work shifts and the opportunity cost were compared. It was found that the new method can reduce standard time from 15 minutes to 5.36 minutes, or 64.27 percent. It can also minimize the opportunity cost of changing work shifts as 534 baht per shift, or 584,633 baht per year. On payback period analysis for the equipment that must be installed in the new method, the payback period was found to be 12.63 years.

Key words: gas stations, time of changing work shifts, opportunity cost

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมปิโตรเลียมในประเทศไทยอยู่ในสภาวะการที่กำลังการผลิตมีมากกว่าความต้องการเนื่องจากนโยบายการค้าน้ำมันเสรี (Prachachat Online, 2018) ที่เปิดโอกาสให้โรงกลั่นในประเทศสามารถขยายกำลังการผลิตเพื่อแข่งขันภายใต้ความคาดหวังว่าเศรษฐกิจจะเติบโตจากการนำราคาน้ำมันมาพัฒนาประเทศ ส่งผลให้บริษัทโรงกลั่นน้ำมันแต่ละรายมุ่งแข่งขันธุรกิจปิโตรเลียมขั้นปลายด้วยการเพิ่มสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงทุกพื้นที่ทั่วประเทศ ซึ่งอุตสาหกรรมขั้นปลายคือสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง จากข้อมูลของกรมธุรกิจพลังงาน ปี พ.ศ. 2558 พบว่าประเทศไทยมีสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงทุกเครื่องหมายการค้ามากกว่า 25,033 สถานีทั่วประเทศจาก 20,252 สถานีในปี พ.ศ. 2554 หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 23.6% และยังคงอัตราการขยายเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี ภายใต้การดำเนินงานของบริษัทสัญชาติไทยและต่างชาติเป็นสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถให้บริการแก่ประชาชนทั่วไปให้เข้าถึงน้ำมันเชื้อเพลิง (Department of

Energy Business, 2017) ในสภาวะการณ์ที่สภาวะการแข่งขันในธุรกิจสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอย่างเข้มข้นทำให้ผู้ประกอบการต้องดำเนินการให้ธุรกิจสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงของตนสามารถอยู่รอด โดยการเพิ่มกิจกรรมทางการตลาดเพื่อส่งเสริมให้ผู้บริโภคเข้ามาใช้บริการภายในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งการเพิ่มกิจกรรมทางการตลาดอาจไม่สามารถสร้างรายได้ให้เพียงพอกับค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนที่เพิ่มขึ้น สำหรับการลดต้นทุนในกระบวนการผลิต หรือ ในกิจกรรมต่างๆ ขององค์กรซึ่งมีผู้วิจัย (Al-Araidaha *et al.*, 2012; Chinsuwan and Phumchusri, 2012; Suttanako and Khokhajaikiat, 2014; Rossukhonsakul, 2016) ได้นำศาสตร์การศึกษาการทำงาน การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและการดำเนินการ เข้ามาพัฒนาวิธีการทำงานเพื่อให้เวลาในการทำงานลดลงและสามารถลดต้นทุนในการทำงานได้ Ralph (1980) ได้นำหลักการ ECRS (Eliminate Combine Rearrange Simplify) คือการจัดสิ่งไม่จำเป็น การรวมกิจกรรม การจัดเรียงให้เหมาะสม และการทำให้เกิดความสะดวก เข้ามาใช้

ในการปรับปรุงการทำงานในศาสตร์การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา (Motion Time Study) นอกจากนี้ยังได้นำเสนอแผนภาพกระบวนการไหล (Flow Process Chart) เพื่อช่วยให้เข้าใจถึงขั้นตอนในกระบวนการทำงานชัดเจนยิ่งขึ้นและสามารถปรับปรุงการทำงานได้ง่ายขึ้น (Sunarak, 2012; Pakdeepunya, 2014) ได้ใช้หลักการ ECRS ปรับปรุงการทำงานเพื่อลดขั้นตอนต่างๆ ทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นการวิจัยนี้จึงนำศาสตร์ข้างต้นมาปรับปรุงกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน ซึ่งช่วยให้ลดต้นทุนการดำเนินงานภายในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาและช่วยให้ธุรกิจสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถลดค่าใช้จ่ายในกิจกรรมต่างๆ ภายใต้วิธีการทำงานในรูปแบบปัจจุบันที่ต้องหยุดจ่ายน้ำมันเมื่อมีการเปลี่ยนกะการทำงานของพนักงาน และการลงน้ำมัน ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงเพราะไม่สามารถจ่ายน้ำมันให้ผู้มารับบริการได้ จากการศึกษาข้อมูลเวลาที่ใช้ในกิจกรรมทั้ง 2 ข้างต้นในแต่ละวันทำงานของสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษา พบว่า การเปลี่ยนกะการทำงานของพนักงานใช้เวลาเฉลี่ย 180 นาทีต่อวัน และการลงน้ำมันใช้เวลาเฉลี่ย 30 นาทีต่อวัน แต่อย่างไรก็ตามกิจกรรมการลงน้ำมันมีขั้นตอนที่เป็นข้อบังคับปฏิบัติเกี่ยวกับความปลอดภัยซึ่งมีความจำเป็นและไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ โดยขั้นตอนเหล่านั้นถูกกำหนดขึ้นตามมาตรฐานความปลอดภัย (Department of Energy Business, 2017) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงปรับปรุงขั้นตอนการทำงานของกิจกรรมการเปลี่ยนกะให้ใช้เวลาลดลง ซึ่งช่วยให้เวลาในการให้บริการเติมน้ำมันมีมากขึ้นส่งผลให้สามารถลดค่าเสียโอกาสที่ผู้รับบริการไม่รอเติมน้ำมันในช่วงกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้เพื่อปรับปรุงรูปแบบกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานของสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาในปัจจุบันให้มีเวลาในการเปลี่ยนกะการทำงานลดลง และลดค่าเสียโอกาสที่ผู้รับบริการไม่รอเติมน้ำมันในช่วงกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน มีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาวิธีการทำงานและรวบรวมข้อมูลเวลาการทำงานของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน of สถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาในปัจจุบัน จำนวน 25 รอบ ด้วยการสุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ถึง 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ซึ่งแต่ละวันทำงานจะแบ่งเป็น 3 กะ คือ กะเช้า 05:00 - 13:00 น. กะบ่าย 13:00 - 21:00 น. และกะดึก 21:00 - 05:00 น.

2. หาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of variation, C.V.) (Ploypanichcharoen, 2000) ของแต่ละขั้นตอนในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในปัจจุบันโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อพิจารณาว่าขั้นตอนใดมีค่า C.V. มากที่สุด จะนำเวลาของขั้นตอนนั้นไปคำนวณจำนวนข้อมูล (รอบ) ที่เป็นตัวแทนประชากรที่ร้อยละของระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95.5 และร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 5 โดยใช้สมการที่ (2)

$$C.V._i = \frac{S.D._i}{\bar{X}_i} \quad (1)$$

เมื่อ

$C.V._i$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของเวลาในการทำงานของขั้นตอนที่ i

$S.D._i$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในการทำงานของขั้นตอนที่ i

$\bar{X}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยเวลาในการทำงานของขั้นตอนที่ i

$$N = \left[\frac{\frac{K}{S} \sqrt{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}}{\sum X_i} \right]^2 \quad (2)$$

เมื่อ

N คือ จำนวนของชุดข้อมูล (จำนวนรอบ) ที่เป็นตัวแทนประชากร เมื่อกำหนดร้อยละของระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95.5 และร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 5

K คือ ค่าประกอบความเชื่อมั่นเท่ากับ 2 เมื่อกำหนดร้อยละของระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95.5

S คือ ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05 เมื่อกำหนดให้ร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 5

X_i คือ เวลาในการทำงานของขั้นตอนที่ i

n คือ จำนวนของชุดข้อมูล (จำนวนรอบ) ในการสุ่มตัวอย่างเบื้องต้น

3. วิเคราะห์หาเวลาปกติโดยใช้สมการที่ (3) และวิเคราะห์เวลามาตรฐาน (Ralph, 1980) ของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในปัจจุบัน โดยใช้สมการที่ (4)

$$NT_i = ST_i \times RF_i \quad (3)$$

เมื่อ

NT_i คือ เวลาปกติของขั้นตอนที่ i

ST_i คือ เวลาเฉลี่ยของแต่ละขั้นตอนที่

i

RF_i คือ ค่าอัตราความสามารถการทำงานของพนักงานในขั้นตอนที่ i

$$STD_i = NT_i (1 + A_i) \quad (4)$$

เมื่อ

STD_i คือ เวลามาตรฐานของขั้นตอนที่ i

NT_i คือ เวลาปกติของขั้นตอนที่ i

A_i คือ เวลาเผื่อ อยู่ในรูปร้อยละของเวลาปกติ ของขั้นตอนที่ i

4. ศึกษาสาเหตุของความล่าช้าในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานของสถานบริการน้ำมัน เชื้อเพลิงกรณีศึกษาในปัจจุบัน โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

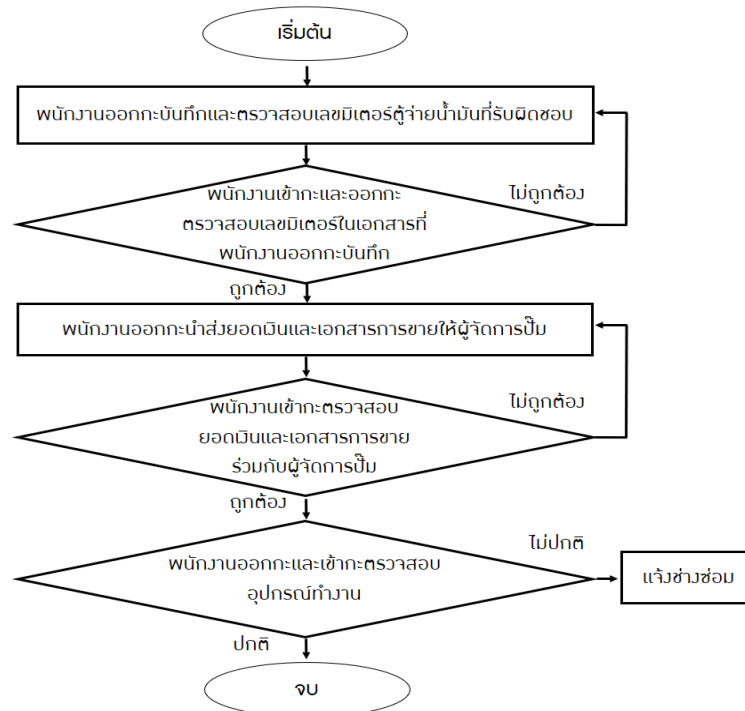
5. วิเคราะห์ค่าเสียโอกาสของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในปัจจุบัน

6. นำเสนอรูปแบบการทำงานใหม่เพื่อปรับปรุงวิธีการทำงานของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานของสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษา

7. รวบรวมเวลาการทำงานของแต่ละขั้นตอนของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในรูปแบบที่นำเสนอแล้วหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของแต่ละขั้นตอนในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน เพื่อพิจารณาว่าขั้นตอนใดมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนมากที่สุดให้นำเวลาของขั้นตอนนั้นไปคำนวณจำนวนของข้อมูล (รอบ) ที่เป็นตัวแทนประชากรที่ร้อยละของระดับความเชื่อมั่น 95.5 และร้อยละของความคลาดเคลื่อน ± 5

8. วิเคราะห์เวลามาตรฐานของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในรูปแบบที่นำเสนอ

9. เปรียบเทียบเวลามาตรฐานและค่าเสียโอกาสในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานเมื่อดำเนินการรูปแบบที่นำเสนอกับวิธีการทำงาน



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการเปลี่ยนกะการทำงานในปัจจุบัน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. จากกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานของสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาในปัจจุบันสามารถแสดงด้วยแผนภาพการไหล (Flow Diagram) ดังภาพที่ 1 และเพื่อให้เกิดความชัดเจนด้านเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอนของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในปัจจุบันจึงแสดงเป็นแผนภาพกระบวนการไหล (Flow Process Chart) (Ralph, 1980) ซึ่งจะทำให้ทราบขั้นตอนที่ใช้เวลามากของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานคือ พนักงานออกกะบันทึกและตรวจสอบเลขมิเตอร์ผู้จำหน่ายน้ำมันที่รับผิดชอบจำนวน 2 คูในเอกสารในขณะที่พนักงานเข้ากะรอ ดังแสดงในภาพที่ 2

2. รวบรวมข้อมูลการทำงานที่เกิดขึ้นในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน โดยก่อนรวบรวมข้อมูลจะสัมภาษณ์พนักงานเพื่อให้เกิดความชัดเจนในขั้นตอนการทำงาน จากนั้นรวบรวมข้อมูลเวลาการ

ทำงานในแต่ละขั้นตอน (หน่วยเป็นวินาที) ทั้งหมด 25 รอบ ด้วยการสุ่มตัวอย่าง ในวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ซึ่งข้อมูลการทำงานในแต่ละขั้นตอนของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน พบว่าขั้นตอนการนำส่งยอดเงินและเอกสารการขายมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันมากที่สุด คือ 0.0595 จึงนำข้อมูลเวลาในขั้นตอนดังกล่าวมาวิเคราะห์ว่ามีการแจกแจงปกติหรือไม่ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้ซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics 19.0 (Suwan and Visessanguan, 2012) ดังแสดงผลในตารางที่ 1 ซึ่งจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบการแจกแจงน้อยกว่า 50 ข้อมูลจึงใช้วิธี Shapiro-Wilk พบว่าข้อมูลเวลาในขั้นตอนการนำส่งยอดเงินและเอกสารการขายมีค่า p -value หรือค่า Sig. เท่ากับ 0.110 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงกล่าวได้ว่าข้อมูลเวลาการนำส่งยอดเงินและเอกสารการขายมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

เวลาเฉลี่ย (วินาที)	พนักงานเอกะ	พนักงานชักร	คำอธิบาย
251.04	●⇒■ D ▽	○⇒□ D ▽	พนักงานเอกะบันทึกและตรวจสอบเลขมิเตอร์ด้วยนิ้วชี้กับนิ้วโป้ง ในขณะที่พนักงานชักร
120.20	○⇒■ D ▽	○⇒■ D ▽	พนักงานชักรตรวจสอบเลขมิเตอร์ในอัตราที่พนักงานเอกะบันทึก
107.68	●⇒□ D ▽	○⇒□ D ▽	พนักงานเอกะนำส่งยอดเงินและเอกสารการขายให้ผู้จัดการนับ ในขณะที่พนักงานชักร
140.24	○⇒□ D ▽	○⇒■ D ▽	พนักงานชักรตรวจสอบยอดเงินและเอกสารการขายกับผู้จัดการนับ ในขณะที่พนักงานเอกะ
80.12	●⇒■ D ▽	●⇒■ D ▽	พนักงานเอกะและพนักงานชักรอยู่ปรกติทำงาน
699.28	3 1 3 1	1 1 3 2	รวม

หมายเหตุ: เวลาเฉลี่ยจากการเก็บข้อมูล

ภาพที่ 2 กิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในปัจจุบัน

ตารางที่ 1 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล

Test of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
การนำส่งยอดเงินและเอกสารการขาย	.123	25	.200*	.934	25	.110

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction.

$$N = \left[\frac{\frac{2}{0.05} \sqrt{8,497,525 - 8,439,025}}{2,905} \right]^2 = 12$$

จากนั้นคำนวณจำนวนครั้งในการสุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนประชากร เมื่อกำหนดร้อยละของระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95.5 และร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 5 โดยใช้สมการที่ (2) (Ralph, 1980) พบว่าจำนวนครั้งของการสุ่มตัวอย่างขั้นตอนการนำส่งยอดเงินและเอกสารการขายของ

กิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานคือ 12 รอบ ดังนั้นจำนวนข้อมูลเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอน (หน่วยเป็นวินาที) ทั้งหมด 25 รอบ มีความเพียงพอที่จะเป็นตัวแทนประชากร จากนั้นศึกษาเวลาปกติของแต่ละขั้นตอนของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในปัจจุบัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เวลาปกติของแต่ละขั้นตอนของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในปัจจุบัน

ขั้นตอนในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลาปกติ (วินาที)
1. การบันทึกเลขมิเตอร์	251.04	120	301.248
2. การตรวจสอบเลขมิเตอร์	120.20	110	132.220
3. การนำส่งยอดเงินและเอกสารการขาย	107.68	110	118.448
4. การตรวจสอบยอดเงินและเอกสารการขาย	140.24	120	168.288

ตารางที่ 2 (ต่อ)

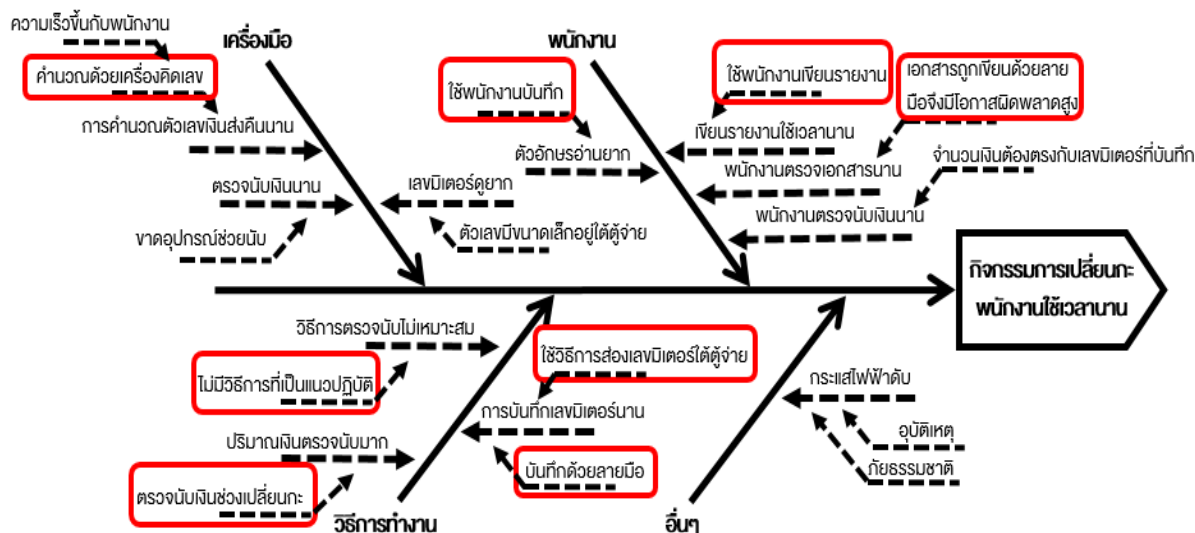
ขั้นตอนในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลาปกติ (วินาที)
5. การตรวจสอบอุปกรณ์การทำงาน	80.12	100	80.120
รวมเวลา	699.28		800.324

การวิจัยนี้กำหนดให้ ร้อยละของเวลา ลดหย่อนทุกขั้นตอน เท่ากับ 10% ดังนั้นเวลา ลดหย่อนของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในปัจจุบัน คือ 800.324 วินาทีต่อกะทำงาน คูณกับ 10% เท่ากับ 80.032 วินาทีต่อกะทำงาน เพราะฉะนั้น สามารถคำนวณเวลามาตรฐานกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในปัจจุบัน คือ 800.324 วินาทีต่อกะทำงาน บวกกับ 80.032 วินาทีต่อกะทำงาน เท่ากับ 880.356 วินาทีต่อกะทำงาน หรือ เท่ากับ 14.67 นาทีต่อกะทำงาน (ในการวิจัยนี้จะใช้เวลามาตรฐาน เท่ากับ 15 นาทีต่อกะทำงาน)

3. หลังจากได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของ สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาเพื่อนำมา วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาการใช้เวลานานใน กิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานโดยใช้แผนภาพ สาเหตุและผล ด้วยการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พนักงานบริการ ผู้จัดการสถานี และผู้เข้ามาใช้บริการ และนำข้อมูลดังกล่าวมาแสดงในภาพที่ 3 ทำให้

ทราบว่าพนักงานจะต้องบันทึกตัวเลขมิเตอร์ดูน้ำมัน ที่จำหน่ายด้วยการเขียนรายงานและตรวจนับจำนวน เงินให้ครบถ้วนสอดคล้องกับเลขมิเตอร์ อีกทั้งการ คำนวณจำนวนเงินที่จำหน่ายได้ในกะที่ตนดูแลจะ คำนวณด้วยเครื่องคิดเลข ทำให้พนักงานต้องเสียเวลา ในการดำเนินการดังกล่าว (การดำเนินการข้างต้นนี้ จะล้อมกรอบด้วยเส้นทึบในภาพที่ 3) ดังนั้นการวิจัย นี้จึงปรับปรุงให้พนักงานไม่ต้องเขียนรายงานและไม่ ต้องคำนวณเงินด้วยเครื่องคิดเลข ซึ่งสถานีบริการ น้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาจะต้องเพิ่มอุปกรณ์ช่วยใน การทำงานของพนักงาน

4. การรวบรวมข้อมูลมูลค่าเติมน้ำมันของ สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาในปัจจุบัน โดยการสุ่มเก็บข้อมูลมูลค่าเติมน้ำมันของรถแต่ละ ชนิดจำนวน 25 คัน ที่เข้ามาใช้บริการในช่วง 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ถึง 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 โดยแบ่งข้อมูลตามชนิดของรถคือ รถจักรยานยนต์ รถ เก๋ง รถกระบะ และรถบรรทุก ดังแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 3 แผนภาพสาเหตุกิจกรรมการเปลี่ยนกะพนักงานใช้เวลานาน

ตารางที่ 3 มูลค่าเดิมน้ำมันของรถแต่ละชนิด

รายละเอียด	มูลค่าเดิม (บาท/คัน)			
	รถจักรยานยนต์	รถเก๋ง	รถกระบะ	รถบรรทุก
มูลค่าการเดิม (บาท/คัน)	61.120	472.480	798.200	2,502.000
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (บาท/คัน)	6.616	46.431	93.862	253.213
ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน	0.108	0.098	0.118	0.101

จากการวิเคราะห์ข้อมูลมูลค่าเดิมน้ำมันของรถแต่ละชนิดพบว่ามูลค่าเดิมน้ำมันของรถกระบะที่เก็บรวบรวมจำนวน 25 คัน มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันมากที่สุด คือ 0.118 ดังนั้นจะนำข้อมูลมูลค่าเดิมน้ำมันของรถกระบะทั้ง 25 คัน มาวิเคราะห์ว่าการแจกแจงปกติหรือไม่ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics 19.0 โดยวิธี Shapiro-Wilk พบว่าข้อมูลมูลค่าเดิมน้ำมันของรถกระบะมีค่า p -value หรือค่า Sig. เท่ากับ 0.258 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงกล่าวได้ว่าข้อมูลมูลค่าเดิมน้ำมันของรถกระบะมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากนั้นคำนวณจำนวนครั้งในการสุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนประชากร เมื่อกำหนดร้อยละของระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95.5 และร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ

± 5 โดยใช้สมการที่ (2) (Ralph, 1980) พบว่าจำนวนครั้งของการสุ่มตัวอย่างข้อมูลมูลค่าเดิมน้ำมันของรถกระบะ คือ 22 คัน มีความเพียงพอที่จะเป็นตัวแทนประชากร ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่ามูลค่าเดิมน้ำมันเฉลี่ยของรถแต่ละชนิดที่เดิมน้ำมันแต่ละครั้งคือ รถจักรยานยนต์ เท่ากับ 61.12 บาทต่อคัน รถเก๋ง เท่ากับ 472.48 บาทต่อคัน รถกระบะ เท่ากับ 798.20 บาทต่อคัน และ รถบรรทุก เท่ากับ 2,502.00 บาทต่อคัน

5. สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษา มีการกำหนดเวลาในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานเท่ากับ 15 นาที โดยแบ่งเป็น 3 กะต่อวัน ในการวิเคราะห์ค่าเสียโอกาสจากกิจกรรมการเปลี่ยนกะ จึงต้องรวบรวมข้อมูลจำนวนรถแต่ละชนิดที่ไม่รอเดิมน้ำมันในช่วงการเปลี่ยนกะ ตั้งแต่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ.

2560 ถึง 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 โดยรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4

จากตารางที่ 3 มูลค่าเติมน้ำมันของรถแต่ละชนิด และตารางที่ 4 จำนวนรถแต่ละชนิดที่ไม่รอเติมน้ำมันในช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนกะ สามารถนำมาประมาณค่าเสียโอกาสจากกิจกรรมการเปลี่ยน

กะการทำงานอันเนื่องมาจากรถแต่ละชนิดที่ไม่รอเติมน้ำมัน โดยการนำมูลค่าเติมน้ำมันเฉลี่ยต่อคันของรถแต่ละชนิดที่เติมน้ำมันแต่ละครั้งมาคูณกับจำนวนรถเฉลี่ยของรถแต่ละชนิดที่ไม่รอเติมน้ำมันในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน รายละเอียดแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 จำนวนรถแต่ละชนิดที่ไม่รอเติมน้ำมัน

รายละเอียด	ชนิดของรถ			
	รถจักรยานยนต์	รถเก๋ง	รถกระบะ	รถบรรทุก
จำนวนรถ (คัน)	143	318	119	18
จำนวนรถเฉลี่ย (คัน/15 นาที)	0.397	0.883	0.331	0.050
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (คัน/15 นาที)	1.092	1.324	0.624	0.218

ตารางที่ 5 ค่าเสียโอกาสจากกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานอันเนื่องมาจากรถแต่ละชนิดที่ไม่รอเติมน้ำมัน

ชนิดของรถ	มูลค่าการเติมน้ำมัน (บาท/คัน)	จำนวนรถเฉลี่ยที่ไม่รอเติมน้ำมัน (คัน/15 นาที)	ค่าเสียโอกาส (บาท/15 นาที)
รถจักรยานยนต์	61.120	0.397	24.265
รถเก๋ง	472.480	0.883	417.200
รถกระบะ	798.200	0.331	264.204
รถบรรทุก	2,502.000	0.050	125.110
รวมค่าเสียโอกาส			830.779

จากตารางที่ 5 สามารถประมาณค่าเสียโอกาสจากกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในปัจจุบัน เท่ากับ 830.779 บาทต่อ 15 นาที (บาทต่อกะทำงาน) หรือ เท่ากับ 55.385 บาทต่อนาที ในแต่ละปีมีกะทำงานทั้งหมด 1,095 กะ ดังนั้นมีค่าเสียโอกาสเท่ากับ 909,703 บาทต่อปี

6. การปรับปรุงวิธีการทำงานในรูปแบบที่นำเสนอ โดยนำชุดคอมพิวเตอร์มาติดตั้งไว้ที่หน้าสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงบริเวณที่เป็นจุดศูนย์กลางของปั้มน้ำมัน และเชื่อมต่อชุดคอมพิวเตอร์เข้ากับสายสัญญาณที่เชื่อมเข้ากับตู้จ่ายน้ำมันทุกตู้

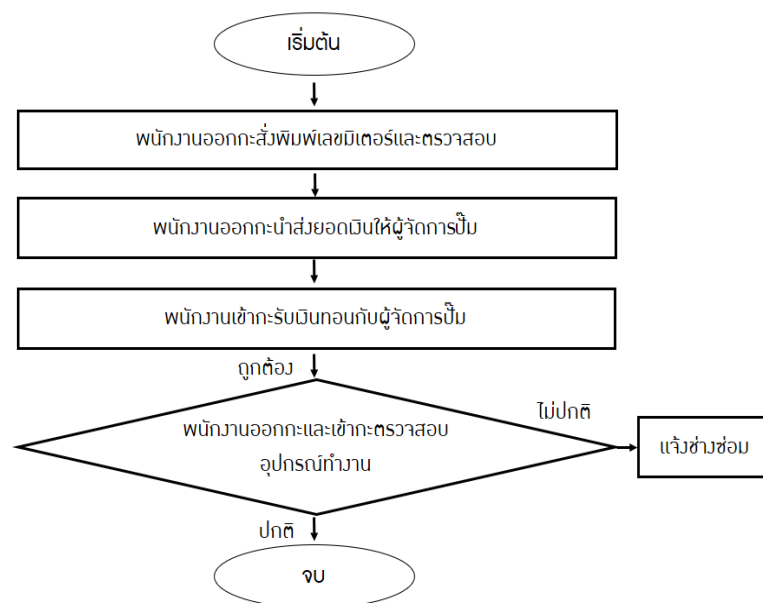
ของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษา เมื่อพนักงานต้องให้บริการ พนักงานจะทำการแตะแท็กที่ตู้จ่ายน้ำมันดังแสดงในภาพที่ 4 เพื่อให้ตู้จ่ายน้ำมันทำงาน เมื่อมีการเติมน้ำมันให้กับผู้เข้ามาใช้บริการแล้วเสร็จจนวางหัวจ่ายน้ำมันเก็บที่ตู้จ่ายเรียบร้อยแล้ว เลขมิเตอร์ของตู้จ่ายแต่ละตู้จะส่งข้อมูลเลขมิเตอร์ไปยังคอมพิวเตอร์ทุกครั้งพร้อมบันทึกรหัสประจำตัวของแท็กของพนักงานบริการแต่ละคน เพราะฉะนั้นเมื่อเกิดกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานจะสามารถใช้เลขมิเตอร์จากเครื่องคอมพิวเตอร์แทนได้ เกิดความสะดวกและลดเวลาในขั้นตอนการบันทึกเลข

มิเตอร์และขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องเลขมิเตอร์ ดังนั้นรูปแบบที่นำเสนอสำหรับสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษา จะแสดงด้วยแผนภาพการไหลดังภาพที่ 5 ซึ่งเปลี่ยนขั้นตอนพนักงานออกกะบันทึกและตรวจสอบเลขมิเตอร์ตู้จ่ายน้ำมันที่รับผิดชอบจำนวน 2 ตู้ในเอกสาร ในขณะที่พนักงานเข้ากะรอ (รูปแบบปัจจุบัน) เป็น ขั้นตอนพนักงานออกกะส่งพิมพ์เลขมิเตอร์และตรวจสอบ ในขณะที่

พนักงานเข้ากะรอ (รูปแบบที่นำเสนอ) จากนั้นผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอนของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในรูปแบบที่นำเสนอจำนวน 25 ครั้ง แล้วนำมาเฉลี่ย และแสดงเป็นแผนภาพกระบวนการไหลของรูปแบบที่นำเสนอในภาพที่ 6 ซึ่งพบว่าสามารถลดเวลาในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน จากเดิม 15 นาทีต่อกะ เหลือ 5.36 นาทีต่อกะ หรือลดลงร้อยละ 64.27



ภาพที่ 4 ตัวอย่างการใช้แท็กเพื่อให้ตู้จ่ายน้ำมันทำงาน



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการเปลี่ยนกะรูปแบบที่นำเสนอ

เวลาเฉลี่ย (วินาที)	พนักงานเอกะ	พนักงานชักร	คำอธิบาย
31.80	● → ■ D ▽	○ → □ ■ ▽	พนักงานเอกะสั่งพิมพ์ใบเช็คและตรวจสอบ ในขณะที่พนักงานชักร
96.08	● → □ D ▽	○ → □ ■ ▽	พนักงานเอกะนำส่งยอดเงินให้ผู้ถือกรรมสิทธิ์ ในขณะที่พนักงานชักร
68.28	○ → □ ■ ▽	● → □ D ▽	พนักงานชักรรับเงินจากผู้ถือกรรมสิทธิ์ ในขณะที่พนักงานเอกะ
79.72	● → ■ D ▽	● → ■ D ▽	พนักงานเอกะและพนักงานชักรตรวจสอบอุปกรณ์ทำงาน
275.88	3 1 2 1	3 1 1 1	รวม

หมายเหตุ: เวลาเฉลี่ยจากการเก็บข้อมูล

ภาพที่ 6 กิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานรูปแบบที่นำเสนอ

7. รวบรวมข้อมูลการทำงานที่เกิดขึ้นในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในรูปแบบที่นำเสนอ โดยก่อนรวบรวมข้อมูลจะสัมภาษณ์พนักงานเพื่อให้เกิดความชัดเจนในขั้นตอนการทำงาน จากนั้นรวบรวมข้อมูลเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอน (หน่วยเป็นวินาที) ทั้งหมด 25 รอบ ด้วยการสุ่มตัวอย่าง ในวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 ถึง 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งข้อมูลการทำงานในแต่ละขั้นตอนของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในรูปแบบที่นำเสนอ พบว่าขั้นตอนการนำส่งยอดเงินมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันมากที่สุด คือ 0.1091 จึงนำข้อมูลเวลาในขั้นตอนดังกล่าวมาวิเคราะห์ว่ามีการแจกแจงปกติหรือไม่ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics 19.0 (Suwan and Visessanguan, 2012) โดยวิธี Shapiro-Wilk พบว่าข้อมูลเวลาในขั้นตอนการนำส่งยอดเงินมีค่า p -value หรือค่า Sig. เท่ากับ 0.076 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงกล่าวได้ว่าข้อมูลเวลาการนำส่งยอดเงินมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากนั้นคำนวณจำนวนครั้งในการสุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนประชากร เมื่อกำหนดร้อยละของระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95.5 และร้อยละของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ± 5 โดยใช้สมการที่ (2) (Ralph, 1980) พบว่าจำนวนครั้งของการสุ่มตัวอย่างขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องเลขมิเตอร์ของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในรูปแบบที่นำเสนอคือ 19 รอบ ดังนั้นจำนวนข้อมูล

เวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอน (หน่วยเป็นวินาที) ทั้งหมด 25 รอบ มีความเพียงพอที่จะเป็นตัวแทนประชากร จากนั้นศึกษาเวลาปกติของแต่ละขั้นตอนของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในรูปแบบที่นำเสนอ ดังตารางที่ 6

การวิจัยนี้กำหนดให้ ร้อยละของเวลาลดหย่อนทุกขั้นตอน เท่ากับ 10% ประกอบด้วย Personal Allowance 5% และ Phone call Allowance 5% (Ralph, 1980) ดังนั้นเวลาลดหย่อนของกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในรูปแบบที่นำเสนอ คือ 292.316 วินาทีต่อกะทำงาน คูณกับ 10% เท่ากับ 29.232 วินาทีต่อกะทำงาน เพราะฉะนั้นสามารถคำนวณเวลามาตรฐานกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในรูปแบบที่นำเสนอ คือ 292.316 วินาทีต่อกะทำงาน บวกกับ 29.232 วินาทีต่อกะทำงาน เท่ากับ 321.548 วินาทีต่อกะทำงาน หรือ เท่ากับ 5.36 นาทีต่อกะทำงาน ซึ่งในแต่ละปีมีกะทำงานทั้งหมด 1,095 กะ คิดเป็นค่าเสียโอกาสเท่ากับ 325,066 บาทต่อปี ดังนั้นสามารถลดค่าเสียโอกาสจากกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน จากรูปแบบปัจจุบัน คือ 909,699 ลบด้วย 325,066 เท่ากับ 584,633 บาทต่อปี

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (Energy Policy and Planning Office, 2018) ได้ประมาณการว่าสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีกำไรที่ร้อยละ 5.3 ของยอดขาย ดังนั้นสามารถประมาณการเป็นผลกำไรเท่ากับ 30,985 บาทต่อปี ได้อย่างไร

ก็ตามสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาจะต้องลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ในการดำเนินการตามรูปแบบที่นำเสนอด้วยเงินลงทุนเท่ากับ 247,436 บาท เมื่อคิดดอกเบี้ยของเงินลงทุนนี้เท่ากับร้อยละ 7.5 ต่อปี [ดอกเบี้ยคิดตามกฎหมาย] จะสามารถประมาณ

ระยะเวลาคืนทุนได้คือ 12.63 ปี (คิดจากเงินต้นของแต่ละปี ลบด้วยเงินนำส่ง (ผลกำไรหลังหักดอกเบี้ย) เท่ากับเงินคงเหลือ ซึ่งเงินคงเหลือก็จะเป็นเงินต้นในปีถัดไป) ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 เวลาปกติของแต่ละขั้นตอนในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในรูปแบบที่นำเสนอ

ขั้นตอนในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลาปกติ (วินาที)
1. การสั่งพิมพ์เลขมิเตอร์	31.80	100	31.800
2. การนำส่งยอดเงิน	96.08	110	105.688
3. การตรวจสอบยอดเงิน	68.28	110	75.108
4. การตรวจสอบอุปกรณ์การทำงาน	79.72	100	79.720
รวมเวลา	275.88		292.316

ตารางที่ 7 การประมาณระยะเวลาคืนทุนของการติดตั้งอุปกรณ์ตามรูปแบบที่นำเสนอ

ปี	เงินต้น (A)	ผลกำไร (B)	ดอกเบี้ย (C) = A x 7.5%	เงินนำส่ง (D) = B - C	เงินคงเหลือ = A - D
1	239,436	30,985	17,958	13,027	226,409
2	226,409	30,985	16,981	14,004	212,404
3	212,404	30,985	15,930	15,055	197,350
4	197,350	30,985	14,801	16,184	181,166
5	181,166	30,985	13,587	17,398	163,768
6	163,768	30,985	12,283	18,702	145,066
7	145,066	30,985	10,880	20,105	124,961
8	124,961	30,985	9,372	21,613	103,348
9	103,348	30,985	7,751	23,234	80,114
10	80,114	30,985	6,009	24,976	55,138
11	55,138	30,985	4,135	26,850	28,288
12	28,288	30,985	2,122	28,863	(575)

สรุป

ผลการศึกษาเมื่อปรับปรุงขั้นตอนการทำงานในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานตามรูปแบบที่นำเสนอ จะมีเวลายามาตรฐานการทำงาน

เท่ากับ 5.36 นาทีต่อกะทำงาน ซึ่งสามารถลดเวลายามาตรฐานการทำงานจากปัจจุบัน 9.64 นาทีต่อกะทำงาน หรือ คิดเป็นร้อยละ 64.27 ของเวลายามาตรฐานในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานในปัจจุบัน เมื่อ

วิเคราะห์ค่าเสียโอกาสจากกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานอันเนื่องมาจากรถแต่ละชนิดที่ไม่รอตเติมน้ำมันดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 เท่ากับ 55.385 บาทต่อนาที่ ดังนั้นค่าเสียโอกาสจากกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงานอันเนื่องมาจากรถแต่ละชนิดที่ไม่รอตเติมน้ำมันเมื่อดำเนินการตามรูปแบบที่นำเสนอจะลดลงเท่ากับ 534 บาทต่อกะทำงาน ในหนึ่งปีมีกะทำงาน 1,095 กะทำงาน คิดเป็นค่าเสียโอกาสที่ลดลง 584,633 บาทต่อปี (เสมือนว่าเป็นยอดขายที่สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาจะขายได้เพิ่มขึ้น) ซึ่งสามารถประมาณเป็นผลกำไรเท่ากับ 30,985 บาทต่อปี แต่อย่างไรก็ตามสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษานี้จะต้องลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ในการดำเนินการตามรูปแบบที่นำเสนอและจากการวิเคราะห์ระยะเวลาการคืนทุนพบว่าจะใช้เวลาเท่ากับ 12.63 ปี

การปรับปรุงวิธีการทำงานของกิจกรรมการเปลี่ยนกะทำงานในรูปแบบที่นำเสนอนอกจากจะช่วยทำให้สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาสามารถลดค่าเสียโอกาสในการขาย ยังช่วยให้ผู้เข้ามาใช้บริการมีความพึงพอใจมากขึ้นเพราะไม่ต้องรอนานส่งผลให้สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาสามารถแข่งขันในตลาดได้ ในส่วนของพนักงานจะมีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์ทำให้ขั้นตอนการทำงานลดลง ความถูกต้องและความรวดเร็วมากขึ้น ช่วยพัฒนาพนักงานให้มีความสามารถในการทำงาน และส่วนของผู้ประกอบการสามารถลดเวลาในกิจกรรมการเปลี่ยนกะการทำงาน มาเพิ่มเป็นเวลาในการให้บริการเติมน้ำมันของพนักงาน ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงกรณีศึกษาที่ได้ให้ข้อมูลสำหรับการศึกษางานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Al-Araidaha, O., Momania, A., AlBashabsheha, N., Mandahawib, N. and Fouadb, R.H. 2012. Costing of the production and delivery of ready-mix-concrete. **Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering** 6(2): 163-173.
- Chinsuwan, Y. and Phumchusri, N. 2012. Continuous Move Routing with Transshipments and Stopovers. **Engineering Journal** 4(3): 21-36. (in Thai)
- Department of Energy Business. 2017. **Statistics, Department of Energy Business**. Available Source: http://www.doeb.go.th/v5/info_stat_quarter.php, December 17, 2017. (in Thai)
- Energy Policy and Planning Office. 2018. **Structure of oil prices**. Available Source: <http://www.eppo.go.th/index.php/th/petroleum/price/structure-oil-price#243>, January 6, 2018. (in Thai)
- Pakdeepunya, N. 2014. An improvement of agricultural equipment manufacturing by using lean techniques: A case study of agricultural machinery company. **KKU Engineering journal** 42(2): 145-153. (in Thai)

- Ploypanichcharoen, K. 2000. **Statistics for engineering**. Third edition. Technology Promotion Association (Thailand-Japan), Bangkok. (in Thai)
- Prachachat Online. 2018. **Number of fuel service stations Q4/2017**. Available Source: <https://www.prachachat.net/facebook-instant-article/news-137517>, March 30, 2018. (in Thai)
- Ralph, M.B. 1980. **Motion and Time Study Design and Measurement of Work**. Seventh Edition. University of California, California.
- Rossukhonsakul, S. 2016. Cost analysis of logistics system for private transport entrepreneurs: case study of Buriram Phanom Rung Transport Part., LTD. Master's Thesis in Business Administration, Khon Kaen University. (in Thai)
- Sunarak, T. 2012. Production Line Efficiency Improvement: A Case of Stator D Frame Model Production Line, pp. 649-654. *In IE Network Conference 2012*. Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology, Bangkok. (in Thai)
- Suttanako, P. and Khokhajaikiat, P. 2014. Material cost reduction for fabric cutting process to produce polo shirts: a case study of garment factory in Khon Kaen Province. **KKU Engineering journal** 41(3): 291-299. (in Thai)
- Suwan, P. and Visessanguan, A. 2012. **Research and analysis of data using SPSS program version 20**. SE-EDUCATION, Bangkok. (in Thai)

ผลของการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลานิลบด

(*Oreochromis niloticus*) ด้วยโอโซน

Effect of Ozone Treatments on Nile Tilapia Mince

(*Oreochromis niloticus*) Off-Odor

แพรว เพิ่มทอง วันชัย วรวัฒนเมธีกุล และ จีรภา หินซุย *

Praew Phermthong, Wanchai Worawattanamateekul and Jirapa Hinsui *

Received: 16 March 2020, Revised: 30 April 2020, Accepted: 14 May 2020

บทคัดย่อ

ปลานิล(*Oreochromis niloticus*) เป็นปลาน้ำจืดที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ ซึ่งเกิดได้ตามธรรมชาติ ได้แก่ กลิ่นโคลน และกลิ่นคาว เป็นต้น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการลดกลิ่นในปลาด้วยการใช้สารเคมีหลายชนิด แต่อาจเกิดการตกค้างของสารเคมี และเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีการนำโอโซนมาใช้ในการลดกลิ่น เนื่องจากโอโซนมีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง และไม่มีสารตกค้างในอาหาร จึงปลอดภัยต่อผู้บริโภค วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลานิลบดด้วยโอโซน โดยการนำเนื้อปลาบดมาล้างด้วยน้ำ (ชุดควบคุม) และโอโซน 7 ชุดการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยได้ในเนื้อปลาด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ พร้อมทั้งวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและไขมันในเนื้อปลา พบว่าเนื้อปลาที่ผ่านการล้างทุกชุดการทดลองมีสารประกอบทั้งหมด 18 ชนิด ซึ่งสารประกอบที่มีปริมาณมากและชักนำการปล่อยกลิ่นไม่พึงประสงค์ในทุกชุดการทดลอง ได้แก่ methoxy phenyl oxime (fishy), hexanal (fatty) และ 1-Octen-3-ol (mushrooms) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมปริมาณของสารประกอบเหล่านี้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากผ่านการล้างด้วยโอโซน อีกทั้งการล้างด้วยโอโซนมีผลต่อปริมาณโปรตีนและไขมันเพียงเล็กน้อย ซึ่งการล้างแบบ ozone flotation เป็นเวลา 30 นาที สามารถกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้มากที่สุด จึงเลือกวิธีนี้เพื่อใช้ในการลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในเนื้อปลานิลบดที่จะใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลานิลบดต่อไป

คำสำคัญ: กลิ่นโคลน, กลิ่นคาว, ปลาบด, การใช้ประโยชน์จากเศษเหลือ, โอโซนเทอร์มอล

ABSTRACT

Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) is freshwater fish that often has off-odors like earthy and fishy odor smell which causes many consumers to reject products made from this species. Therefore, different types of chemicals are used to reduce the odor. However, some treatments may leave chemical residues that are not safe for consumers. Ozone has been used to reduce the odor because it has strong oxidizing properties and leaves no residue, and therefore is safe for consumers. This study aimed to reduce off-odors in Nile tilapia mince with different ozone treatments. Fish mince were treated with water (control) and seven ozone treatments. Then, volatile compounds were measured by GC / MS analysis, which identified a total of 18 volatile compounds in the fish mince. Volatile compounds found in high proportions in all experiments were methoxy phenyl oxime (giving fishy off-odor), hexanal (fatty odor) and 1-Octen-3-ol (mushroom odor). There was a statistically significant decrease of these compounds within different ozone treatments compared to water treatment (control). Ozone treatments had a slight effect on fat and protein content in tilapia mince. 30-minute ozone flotation treatment provided the best reduction of off-odor from fish. Therefore, ozone treatment is suitable for preparing tilapia mince in order to further develop tilapia products.

Key words: earthy smell, fishy odor, fish mince, utilization of waste, isothermal

INTRODUCTION

Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) has rapid growth, easy cultivation, high nutritional value, relatively low price, and can be processed into several food products. Nile tilapia aquaculture in Thailand produced an annual harvest of 222.04 tons in 2013-2017, which was valued at approximately 11,284.52 million baht (Fisheries Development Policy and Strategy Division, 2017). However, freshwater fish products are often characterized by unpleasant odors that are unacceptable to many consumers, thus becoming a major restriction to the processing and consumption of Nile tilapia (Yufei *et al.*, 2016). The compounds associated with off-odors are generated by enzymatic reactions, lipid autoxidation, microbial action, environmentally, and thermally derived reactions (Selli *et al.*, 2009). Moreover, lipid-derived volatile compounds such as aldehydes and ketones are frequently generated by oxidative enzymatic reactions and autoxidation of lipids (Pratama *et al.*, 2018).

Many researchers have reported that reducing off-flavor in aquatic animals is possible with various chemicals, i.e.

salmon skin had the lowest scores for fishy odor when washed with 1% (w/v) sodium chloride solution for 5 min (Tiwtha and Usawakesmanee, 2012), as did minced Nile tilapia pretreated by alkaline solubilization (Yarnpakdee *et al.*, 2012). In the same way, the pretreatment of tilapia skin with 1.5% NaCl, 0.2% NaOH, 0.2% sulfuric acid and 1% citric acid gave an odorless gelatin (Tohmadlae *et al.*, 2019).

In addition, ozone was more effective than oxygen in reducing geosmin of catfish mince (Dew, 2005). Geosmin is a compound that gives off-flavor in freshwater fish especially tilapia. Similarly, Thai panga (*Pangasius conchophilus*) fish mince exposed to 400 mg ozonated water and 3% banana leaf ash for 5 min received the lowest sensory evaluation scores for earthy flavor (geosmin) (Thipbharos, 2014). Washing with ozonated water or ozone-flotation was recognized to be effective in the elimination of geosmin from the fish muscle of bighead carp. When the time of washing increased, the content of geosmin decreased (Zhang *et al.*, 2016). Ozone has a very high oxidizing efficiency as it is able to interact with organic and inorganic compounds by

oxidation, both directly and indirectly (Gottschalk *et al.*, 2000). Many factors can impact the efficiency of ozone addition in the removal of off-odors, such as quality of the water, temperature, organic matter content of the water, and pH (Gonçalves and Gagnon, 2011). Some chemical treatments of fish products leave residual compounds, which may have a negative impact on human health (Brodowska *et al.*, 2017). The advantage of ozone treatment is that it is free of chemical residues, and thus ozone is used in many food processing industries. The purpose of this study was to examine the effect of isothermal treatments using ozone on Nile tilapia off-odor. An effective treatment process would be valuable for producing tilapia products that are both safe and accepted by consumers.

MATERIALS AND METHODS

Materials

Nile tilapia mince (*Oreochromis niloticus*) was separated from tilapia bone, were received from tilapia fillet processing waste of Mankit Mankhong Co., Ltd., Samut Prakan, Thailand. The fish were packed in plastic bags and kept in an insulated box to maintain temperature below 10 °C, transported to the Department of Fishery Products, Faculty of Fisheries, Kasetsart University within 2 h, and stored at -20 °C until use.

Preparation of fish mince treated with ozone

Tilapia mince was treated with solutions as described below in the ratio of 1:6 (w/v) at room temperature. In all experiments, water was changed every 30 min. Ozone water is water that was prepared by releasing ozone gas into the water. Ozone flotation is a process of continuously releasing ozone bubbles into the water during treatment of the mince. In preliminary experiments, tilapia mince was treated at least 30 min for reducing off-odors. Then 30 min was applied for the experiments.

Fish mince was treated with ozone in the following seven treatments along

with one control: Control - water (30 min), W30 - ozone water (30 min), F30 - ozone flotation (30 min), F60 - ozone flotation (60 min), F90 - ozone flotation (90 min), WF30 - ozone water (30 min) and ozone flotation (30 min), WF60 - ozone water (30 min) and ozone flotation (60 min), and WF90 - ozone water (30 min) and ozone flotation (90 min)

Determination of ozone content

Ozone content was analyzed according to Zhang *et al.* (2016). A 100 ml aliquot of ozone water was added to 20 ml of 2% potassium iodide containing 3 mL of 0.5 M sulfuric acid to keep the solution acidic. After reaction for 5 min, the solution was titrated with 0.1 N sodium thiosulfate standard solution (1% starch solution as indicator) until the blue color disappeared

Determination of volatile compounds from fish mince

Fish mince and distilled water were added in the ratio of 1:2 in 5 ml cap vials and then heated at 90 °C for 5 min. Volatile compounds were analyzed by GC-MS analysis according to Tohmadlae *et al.* (2019). Volatile compounds were extracted by solid phase microextraction with DVB/CAR/PDMS (50/30µm) at 60 °C for 10 min. After that, GC-MS analysis was performed using an Agilent Technologies 7890B coupled with Agilent Technologies 5977A unit (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, USA). Volatile Compounds were separated on a HP-Innowax capillary column (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, USA) (30 m × 0.25mm ID, with film thickness of 0.25 mm), using experimental parameters as follows: Oven temperature program was 40 °C to 230 °C by an increase of 10 °C/min and holding for 3 min. Helium was employed as a carrier gas, with a constant flow of 1 mL/min. The injector was operated in the splitless mode and its temperature was set at 250 °C. Transfer line temperature was maintained at 270 °C. The quadrupole mass spectrometer was operated in the electron ionization (EI) mode and source

temperature was set at 230 °C. The area of a peak was calculated to quantify the amount of the volatile compound.

Determination of protein and fat content

Determination of protein content in fresh Nile tilapia mince and treated mince were analyzed according to Nielsen (2010), which uses the Kjeldahl method to determine nitrogen content, using 6.25 as the conversion factor to get crude protein from total nitrogen. Fat content was analyzed according to AOAC (2012).

Statistical analysis

All experimental data were calculated in triplicate with completely randomized design (CRD). Data were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA). Differences between means were tested by Duncan's multiple range test. The data were presented as mean $\pm$ standard deviation. A probability value of $p < 0.05$ was considered statistically significant. Statistical tests were conducted using statistic operating system.

RESULTS AND DISCUSSION

Effect of ozone on volatile compounds of fish mince

Fish mince were treated with different ozone treatments and then analyzed for volatile compounds using GC / MS analysis, with results shown in Figure 1 and Table 1. All experiments detected and identified for volatile compounds including four aldehydes, one furan, two acids, five alcohols, three hydrocarbons, and three miscellaneous compounds. The proportions of compounds were high and included those known induce to off-odors in fish: methoxy phenyl oxime, hexanal, nonanal, and 1-Octen-3-ol. Of these, methoxy phenyl oxime produces a characteristic fishy odor. Similarly, these compounds have been identified in tilapia skin (Tohmadlae *et al.*, 2019). Methoxy phenyl oxime in fish mince decreased when treated with different ozone treatments compared to soaking in plain water (control, 26.09%), with results

shown in Table 2. Ozone water treatment (W30) had a slightly lower level of this compound (21.95%) compared to other ozone treatments. This treatment also had the lowest measured level of ozone (9.2 mg/L). Treatments F30 (501.8 mg/L) and WF30 (545.0 mg/L) had much higher dissolved ozone. Due to ozone is unstable molecule and disappear very fast, ozone content of ozone water treatment is less than ozone flotation treatment. Therefore, ozone flotation treatment effected to fishy odor more than ozone flotation. In addition, ozone application was concern in ozone concentration and contacted time. High concentration of ozone may generate undesirable odor. However, ozone flotation treatment for 30 min (4.41%) had the lowest levels of methoxy phenyl oxime compared with the control.

Similarly, levels of 1-Octen-3-ol decreased when treated with ozone treatments in all experiments. This compound is an alcohol produced by unsaturated fatty acid oxidation (Li *et al.*, 2019). Which produces an earthy or mushroom odor. Normally, alcohols have a high detection threshold, and thus affect odors in food less than aldehydes (Pratama *et al.*, 2018). However, 1-Octen-3-ol is an unsaturated alcohol with lower threshold values, and so is expected to have higher impact on the overall aroma (Peinado *et al.*, 2016).

In addition, aldehydes compounds were identified in the samples including hexanal and nonanal that are often found in aquatic animals such as Nile tilapia, catfish (Pratama *et al.*, 2018), and Codfish (*Gadus morhua*) (Yufei *et al.*, 2016). However, the source of aldehyde groups is from secondary lipid oxidation (Pratama *et al.*, 2018) or reduction of carbonyl compounds (Lu *et al.*, 2019). Aldehydes have a low detection threshold, and thus have many effects on odors in food (Yufei *et al.*, 2016). The flavor of aldehydes depends on the number of carbon atoms. Generally, aldehydes containing 3-4 carbon atoms produce strong pungent flavors, while 5-9

carbon atoms in aldehydes emit fragrances of lipid and oil. In addition, aldehydes with high molecular weight have the unique fragrance of orange peel, such as the citrus smell of octanal (Li *et al.*, 2019). Hexanal presents odor characteristics of either a grassy or fatty odor which levels of hexanal decreased when treated with ozone treatments. This compound is an oxidation product of linoleic acid which considered an important indicator of lipid oxidation

(Frankel, 1993; Frankel and Tappel, 1991). The results suggested that the use of ozone flotation for 30 min produced the greatest reduction of odor-causing these compounds compared to other ozone treatments. As with the greater elimination of geosmin in the fish muscle of bighead carp with ozone-flotation than ozone water, this might be due to a higher degree of oxidation (Zhang *et al.*, 2016).

Table 1 Volatile compounds in Nile tilapia mince.

Compound	Odor Description
Aldehydes	
Hexanal	Grass, Fatty
Nonanal	Fatty, Plastic
Heptanal	Fruity
Octanal	Citrus
Furans	
2,3 dihydro furan,	-
Acids	
2-Pyridinepropanoic acid, .alpha.-methyl-.beta.-oxo-, ethyl ester	-
Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	-
Alcohols	
1-Octen-3-ol	Mushrooms, Earthly
2,6-bis (1,1-dimethylethyl)-4-methyl-phenol	-
1-Hexanol	Astringent, Grass
1-Heptanol	Fatty
1-Nonanol	Citrus, Citronella oil
Hydrocarbon	
Ethyl benzene	-
1,2 dimethyl benzene	-
Pentadecane	-
Miscellaneous compounds	
Trichloromethane	-
Methoxy phenyl oxime	Fishy
5-(Phenoxy)methyl-2-amino-1,3,4-thiadiazoles	-

Remark: - indicates unable to specify the odor

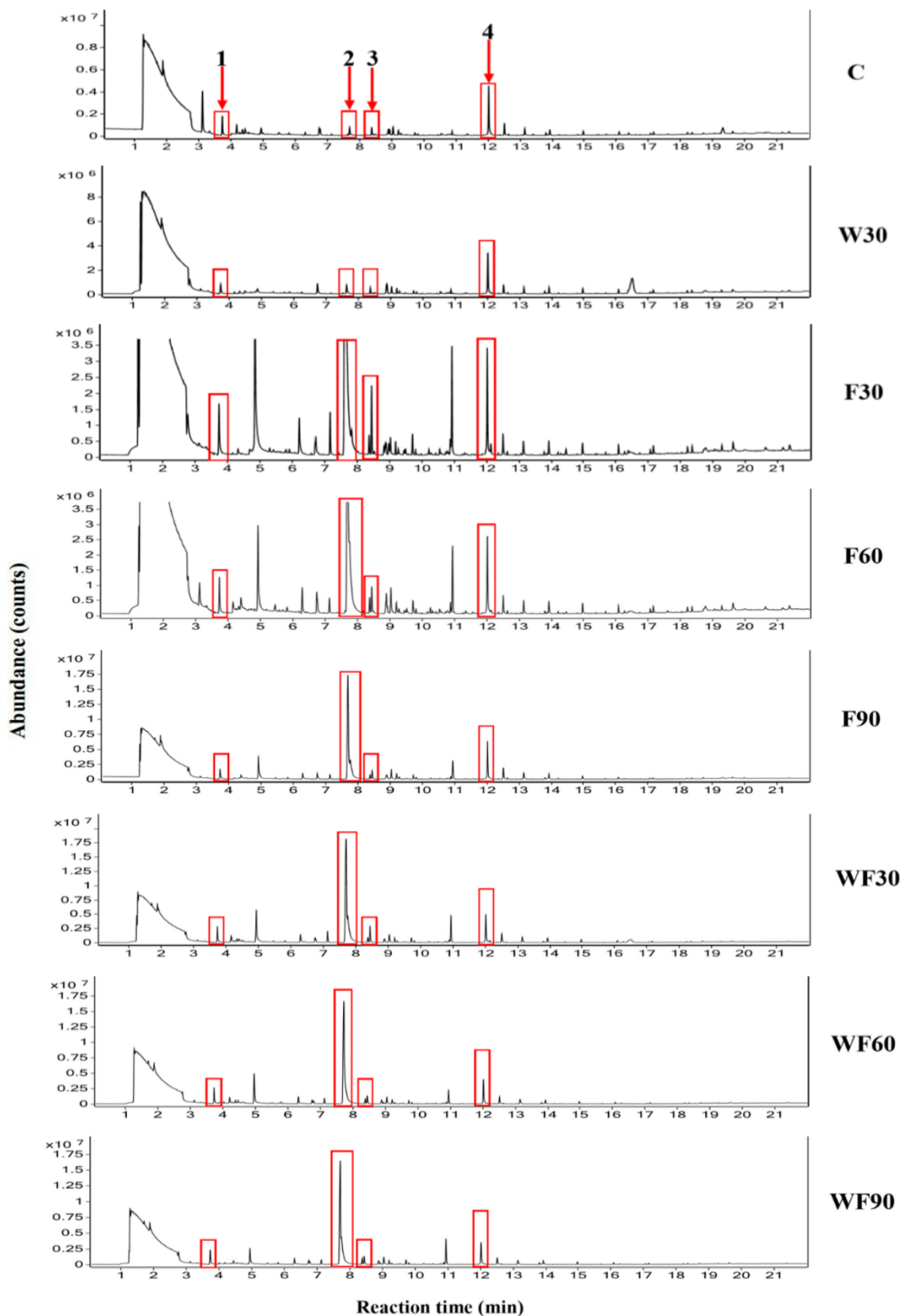


Figure 1 Chromatogram of volatile compound in Nile tilapia mince

C-Control, W30 - ozone water (30 min), F30 - ozone flotation (30 min), F60 - ozone flotation (60 min), F90 - ozone flotation (90 min), WF30- ozone water (30 min) and ozone flotation (30 min), WF60 - ozone water (30 min) and ozone flotation (60 min), and WF90 - ozone water (30 min) and ozone flotation (90 min), 1-RT at 3.729 min is Hexanal, 2-RT at 7.695 min is Nonanal, 3-RT at 8.381 min is 1-Octen-3-ol and 4-RT at 12.023 min is Methoxy phenyl oxime

On the other hand, nonanal increased when compared with the control in all experimental treatments. This compound contributes to various fatty or plastic odors. Nonanal might possibly derive from the high amount of oleic acid in tilapia (Pratama *et al.*, 2018). Ozone process may increase levels of odor-causing some compounds as the generation of intermediate products resulting from the interaction between ozone, hydrogen sulfide, and methylamine (Alkokaik, 2009). Ozone can be used as a deodorizing agent through oxidation reactions and structural change of organic compounds. Oxidation processes may occur through both direct and indirect routes (Gottschalk *et al.*, 2000). Ozone reacts mainly with double bonds, activated aromatic systems and non-protonated amines (Gunten, 2007). In general, ozonation mechanisms of organic compounds only comprise 1, 3-dipolar cycloaddition, electrophilic addition, and nucleophilic addition (non-aqueous

solution), responsible for degrading olefins, aromatic compounds, and carbon-nitrogen bond containing compounds, respectively (Riebel *et al.*, 1960; Sonntag and Gunten, 2012). Moreover, organic compounds can react indirectly with free radicals such as OH° and HO_2° that are generated upon homogenous and heterogeneous catalytic decomposition of ozone (Gunten, 2003). However, the reaction of ozone is complex, and ozone treatment effectiveness is strongly determined by many factors that may cause some limitations in the selection of a sufficiently effective ozone dose (Miller *et al.*, 2013). All treated mince gave slightly plastic odor. This odor was disappeared after heating. Fish mince from ozone flotation for 30 min was reduced. In preliminary experiments, texture and pleasant odor of fish flesh were similarly to control. Therefore, ozone treatment would not affect to fish product development.

Table 2 Main volatile compounds in Nile tilapia mince after treatments with ozone.

Treatments	Methoxy phenyl oxime (%)	Hexanal (%)	Nonanal (%)	1-Octen-3-ol (%)
Control	26.09 ^a	9.13 ^a	3.58 ^h	2.99 ^a
W30	21.95 ^b	6.23 ^c	6.04 ^g	2.53 ^b
F30	4.41 ^h	2.78 ^h	59.14 ^a	0.74 ^f
F60	6.60 ^g	2.97 ^g	58.14 ^c	1.09 ^e
F90	12.29 ^c	4.22 ^f	50.86 ^d	1.15 ^d
WF30	8.24 ^e	5.31 ^d	45.37 ^f	1.08 ^e
WF60	6.97 ^f	4.49 ^e	58.92 ^b	1.08 ^e
WF90	9.08 ^d	6.44 ^b	47.51 ^e	1.93 ^c

Remark:^{a-h} Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

W30 - ozone water (30 min), F30 - ozone flotation (30 min), F60 - ozone flotation (60 min), F90 - ozone flotation (90 min), WF30- ozone water (30 min) and ozone flotation (30 min), WF60 - ozone water (30 min) and ozone flotation (60 min), and WF90 - ozone water (30 min) and ozone flotation (90 min).

Effect of ozone on protein and fat content of fish mince

The values for protein and fat content of fish mince after the treatments with ozone are presented in Table 3. Protein content in different treatments significantly decreased from raw material. Treatment with both water and ozone water removes the blood and dissolved proteins, so the protein content of the fish decreases. Although protein content in treatments W30, F30 and F60 was not different from the control, increasing the time of treatment resulted in reduced protein content. In the same way, fat

content in different treatments decreased from raw material when the time of treatment was increased. However, ozone water treatment (W30) was not different from raw material in terms of fat content. Similarly, the use of ozone for preparation of aflatoxin-contaminated peanuts had a slight effect on fat and protein content when the degree of ozone increased (Sahab *et al.*, 2013). Previous studies indicated that the amino acids are oxidized, although the polyamide bond of the protein main chain is not degraded by the action of ozone (Cataldo, 2003).

Table 3 Protein and fat content in untreated Nile tilapia mince and after different treatments with ozone.

Treatments	Protein (%) [*]	Fat (%) [*]
Raw material	18.00±0.32 ^a	3.18±0.13 ^a
Control	14.42±0.27 ^b	2.71±0.30 ^b
W30	14.51±0.14 ^b	2.75±0.28 ^a
F30	14.61±0.14 ^b	2.65±0.51 ^b
F60	14.38±0.27 ^b	2.47±0.21 ^b
F90	14.06±0.09 ^c	2.36±0.12 ^b
WF30	13.85±0.26 ^c	2.08±0.17 ^c
WF60	13.74±0.24 ^c	1.78±0.20 ^c
WF90	13.79±0.26 ^c	1.55±0.14 ^d

Remark: ^{*} Values are given as mean ± SD from triplicate determinations.

^{a-d} Different superscripts in the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

W30 - ozone water (30 min), F30 - ozone flotation (30 min), F60 - ozone flotation (60 min), F90 - ozone flotation (90 min), WF30- ozone water (30 min) and ozone flotation (30 min), WF60 - ozone water (30 min) and ozone flotation (60 min), and WF90 - ozone water (30 min) and ozone flotation (90 min).

CONCLUSION

In the study we attempted to reduce off-odors in Nile tilapia minces with different ozone treatments, and then analyzed the volatile compound by using GC / MS analysis. In all experiments, we detected 18 volatile compounds, of which methoxy phenyl oxime (fishy odor), hexanal (fatty odor) and 1-Octen-3-ol (mushroom odor) cause offensive odors in fish mince. The level of most of these compounds decreased from the control when treated with different ozone treatments, while there was an increase in nonanal. Ozone water treatment for 30 min

eliminated nonanal more effectively than other ozone treatments. In addition, increasing the time of treatment in different ozone treatments might have increased off-odors in the fish mince. However, ozone flotation treatment for 30 min had the greatest reduction of off-odors, while the protein and fat content decreased slightly compared to fresh mince. Meanwhile, there might be some off-odor emission from the reaction of ozone. Therefore, the use of ozone treatment is suitable for the preparation of tilapia mince in products that should have favorable consumer acceptance

REFERENCES

- Alkoaik, F.N. 2009. Ozone treatment of animal manure for odour control. **American Journal of Environmental Sciences** 5(6): 765-771.
- AOAC. 2012. **Official Methods of Analysis 19thed.** AOAC International, Gaithersburg.
- Brodowska, A.J., Nowak, A. and Smigielski, K. 2017. Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 13(58): 2176-2201.
- Cataldo, F. 2003. On the action of ozone on proteins. **Polym Degradat Stab** 82(1): 105-114.
- Dew, T.L. 2005. Ozone degradation of off-flavors in catfish. Master Thesis of Food Science, Louisiana State University, USA.
- Frankel, E.N. 1993. In search of better methods to evaluate natural antioxidants and oxidative stability in food lipids. **Trends Food Science and Technology** 4(7): 220-225.
- Frankel, E.N. and Tappel, A.L. 1991. Headspace gas chromatography of volatile lipid peroxidation products from human red blood cell membranes. **Lipids** 26(6): 479-484.
- Fisheries Development Policy and Strategy Division. 2017. **Fisheries statistics of Thailand 2017.** Department of Fisheries, Bangkok. (in Thai)
- Gonçalves, A.A. and Gagnon, G.A. 2011. Ozone Application in Recirculating Aquaculture System: An Overview. **International Ozone Association** 33(5): 345-367.
- Gottschalk, C., Libra, J.A. and Saupe, A. 2000. **Ozonation of Water and Waste Water.** Wileyvch, Michigan.
- Gunten, U.V. 2007. The basics of oxidants in water treatment. Part B: ozone reactions. **Water Science & Technology** 12(55): 25-29.
- Gunten, U. 2003. Ozonation of Drinking Water: Part II. Disinfection and Byproduct Formation in Presence of Bromide, Iodide or Chlorine. **Water Research** 37(7): 1469-1487.
- Li, J., Liu, Q., Wang, J., Liu, Q. and Peng, Z. 2019. Effect of red pepper (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.) leaf extract on volatile flavor compounds of salted silver carp. **Food Science & Nutrition** 8(3): 1355-1364.
- Lu, Q., Liu, F. and Bao, J. 2019. Volatile components of American silver carp analyzed by electronic nose and MMSE-GC-MS-O. **Journal of Food Biochemistry** 43(11): 1-14.
- Miller, F.A., Silva, C.L.M. and Brandao, T.R.S. 2013. A Review on ozone-based treatments for fruit and vegetables preservation. **Food Engineering Reviews** 5(2): 77-106.
- Nielsen, S.S. 2010. **Food Analysis Laboratory Manual (2nded).** Springer, London.
- Peinado, I., Miles, W., and Koutsidis, G. 2016. Odour characteristics of seafood flavour formulations produced with fish by-products incorporating EPA, DHA and fish oil. **Food Chemistry** 212(1): 612-619.
- Pratama, I.R., Rostini I. and Lviawaty, E. 2018. Volatile components of raw Patin Catfish (*Pangasius hypophthalmus*) and Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Earth and Environmental Science** 176(1):1-8.
- Riebel, A.H., Erickson, R.E., Abshire, C.J. and Bailey, P.S. 1960. Ozonation of Carbon-Nitrogen Double Bonds. I. Nucleophilic Arrack of Ozone. **Journal of the American Chemical Society** 82(7): 1801-1807.
- Sahab, A.F., Hassanien, F.R., El-Nemr, S.E., Abdel-Alim, H.A. and Abdel-Wahhab, M.A. 2013. Effect of Ozone Gaseous on Aflatoxin Degradation and Fat and Protein

- Content in Peanut Seeds. **Journal of Applied Sciences Research** 9(3):2170-2175.
- Selli, S., Prost, C. and Serot, T. 2009. Odour-active and off-odour components in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) extracts obtained by microwave assisted distillation solvent extraction. **Food Chemistry** 114(1): 317-322.
- Sonntag, C. and Gunten, U. 2012. **Chemistry of ozone in water and wastewater treatment: from basic principles to applications**. IWA Publishing, London.
- Thipbharos, P. 2014. Reduction of Earthy-flavour and Geosmin content in Frozen Thai PangaFish (*Pangasius sp.*) Fillets. **KKU Science Journal** 42(2): 380-392. (in Thai)
- Tiwtha, O. and Usawakesmanee, W. 2012. The reduction of fishy odor in salmon skin by washing with salt solution, pp. 1-9. In **1st Mae Fah Luang University Special volume international conference**. Mae Fah Luang University, Chiang Rai.
- Tohmadlae, P., Worawattanamateekul, W. and Hinsui, J. 2019. Tilapia gelatin: elimination of Fishy Odor. **RMUTSV Research Journal** 11(3): 1-8.
- Yampakdee, S., Benjakul, S. and Kristinsson, H.G. 2012. Effect of pretreatments on chemical compositions of mince from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and fishy odor development in protein hydrolysate. **International Aquatic Research** 4(7): 1-6.
- Yufei, C., Hu, H. and Bafang, L. 2016. Identification of Volatile Compounds in Codfish (*Gadus*) by a Combination of Two Extraction Methods Coupled with GC-MS Analysis. **Ocean University of China** 15(3): 509-514.
- Zhang, T., Xue, Y., Li, Z., Wang, Y., Yang, W. and Xue, C. 2016. Effects of ozone on the removal of geosmin and the physicochemical properties offish meat from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*). **Innovative Food Science and Emerging Technologies** 34(2016): 16-23.

การปรับปรุงคุณภาพทางโภชนาการของไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะวงอก

Improving the Nutritional Quality of Ice Cream Supplement with Germinated Red kidney Bean

หฤทัย นามมัน และ อรวรรค์ อุปถัมภ์านนท์*

Hareuthai Namman and Orawan Oupathumpanont *

Received: 29 August 2019, Revised: 14 November 2019, Accepted: 15 January 2020

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมของไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะวงอก ปัจจัยที่ศึกษาในการผลิต คือ อัตราส่วนของน้ำต่อปริมาณถั่วแดงพะวงอก แปรรูปเป็น 2 ระดับคือ 1:1 และ 2:1 และปริมาณน้ำถั่วแดงพะวงอกที่ใช้ทดแทนนมสด แปรรูปเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 60 80 และ 100 วางแผนการทดลองแบบ Factorial experiment in CRD ได้ไอศกรีมทั้งหมด 6 สูตร นำมาตรวจสอบทางกายภาพ พบว่าสูตรที่ 5 มีค่าการละลายช้าที่สุด มีค่าความหนืดสูงสุด และไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะวงอกทั้ง 6 สูตร มีค่าการขึ้นฟูต่ำ ($p>0.05$) การวัดค่าสีทุกสูตรพบว่า มีค่าความสว่าง (L^*) ใกล้เคียงกัน (a^*) และ (b^*) มีค่าความเป็นสีแดงและสีเหลือง การทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า สูตรที่ 5 ได้คะแนนการยอมรับสูงสุด นำไอศกรีมสูตรที่ 5 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า มีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 56.30, 2.59, 0.01, 1.05, 0.31 และ 39.74 ตามลำดับ ตรวจพบสารกาบา 18.63 mg/100g เพิ่มขึ้น 3 เท่าจากเดิม การตรวจสอบทางจุลชีววิทยา พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 45 cfu/กรัม และตรวจไม่พบ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella* spp.

คำสำคัญ: ไอศกรีม, ถั่วแดง, พะวงอก, สารกาบา

สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Home Economics Technology, Faculty of Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Khlong Luang, Pathum Thani 12120, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): orawan_o@rmutt.ac.th

ABSTRACT

The aim of this research was to study the appropriate formula of icecream supplement with germinated red kidney bean juice. There were two factors in the study: 1) the ratio of water to the quantity of germinated red bean quantity at two levels: 1:1 and 2:1 and 2) the quantity of germinated red bean juice used in substitution of fresh milk at three levels of 60, 80 and 100 percent. The experiment was carried out by means of randomized Factorial experiment in CRD which provided six formulas. The physical test of the ice cream for the six formulas was determined and found that formula 5 yielded the slowest melting, and the highest viscosity, but every formula had very low overrun value ($p>0.05$). The measurement of color for the six formulas were nearly the same value of lightness of (L^*), but (a^*) and (b^*) value showed red and yellow. The sensory tests for the six formulas were run and found that only formula 5 was accepted at the highest level. The formula 5 was selected to determine the chemical analysis. The percentages of moisture content, protein, fat, ash, fiber, and carbohydrate (difference) of the formula were found to be 56.30, 2.59, 0.01, 1.055, 0.31, and 39.74 percent respectively. The GABA content was 18.63 mg/100g, about 3 times higher than normal. For the microbiological test, it was found that the total aerobic count was 45 cfu/g. while the *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* spp. were not detected.

Key words: ice-cream, red kidney bean, sprout, GABA

บทนำ

ไอศกรีม (Ice Cream) เป็นผลิตภัณฑ์นมแช่เยือกแข็ง ซึ่งได้จากการนำส่วนผสมของไอศกรีมผ่านการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปพาสเจอร์ไรซ์ บั่นแข็ง มีการเติมอากาศ และบ่มจนแข็ง ไอศกรีมได้รับความนิยมบริโภคกันมาก เนื่องจากประเทศไทยมีอากาศร้อน อีกทั้งไอศกรีมมีลักษณะปรากฏดึงดูดใจ มีรสชาติหวาน มัน เย็น อร่อย ทำให้เป็นที่ชื่นชอบของทุกเพศทุกวัย ส่งผลให้ตลาดไอศกรีมในประเทศไทยเติบโตอย่างต่อเนื่อง (Leelawiriyawong, 2017) แต่ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมีความหวาน และไขมันอิ่มตัวสูง ซึ่งเป็นสาเหตุของการเพิ่มระดับน้ำตาล และคอเรสเตอรอลในเลือด ก่อให้เกิดโรคเบาหวาน โรคไขมันในเส้นเลือด โรคอ้วน และเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณพลังงาน และ

สารอาหารที่พบในไอศกรีมนั้นขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่ใช้ในการผลิต ปัจจุบันผู้ประกอบการไอศกรีมนิยมนำวัตถุดิบ ที่มีภายในประเทศมาประยุกต์ใช้ในส่วนผสม เช่น กล้วย ฝรั่ง ผลไม้ เป็นต้น งานวิจัยนี้ได้เลือก กล้วยชนิดหนึ่ง ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมนำมาผลิตเป็นไอศกรีม ได้แก่ ถั่วแดงหลวง (red kidney bean)

ถั่วแดงหลวง เป็นกล้วยที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจบนพื้นที่สูง ซึ่งมูลนิธิโครงการหลวงได้ให้ความสำคัญนำไปส่งเสริมการเพาะปลูกให้เป็นพืชเศรษฐกิจของเกษตรกรชาวเขา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกษตรกรปลูกเป็นพืชเสริมรายได้ทดแทนฝิ่น และใช้รับประทานในครอบครัว ถั่วแดงเป็นแหล่งอาหารโปรตีนที่มีปริมาณไขมันต่ำ เป็นกล้วยที่มีสารต้านออกซิเดชัน ได้แก่ สารแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็น

สารที่พบในเปลือกเมล็ดของถั่วแดง มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจ และถั่วแดงยังมีเส้นใยอาหารสูง ช่วยลดคอเลสเตอรอล และช่วยป้องกันไม่ให้อัตราน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังจากรับประทานอาหาร ถั่วแดงจึงเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับบุคคลที่ป่วยเป็นโรคเบาหวาน เพราะมีสมบัติในการต้านทานต่ออินซูลินหรือภาวะน้ำตาลในเลือดในระดับหนึ่ง ปัจจุบันมีผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวานเพิ่มมากขึ้น (Chanyachailert, 2019) นอกจากนี้การนำถั่วแดงเพาะงอกเป็นส่วนผสม ยังช่วยให้ คุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น เนื่องจากใน ระยะที่เมล็ดถั่วแดงเริ่มงอกจะเกิดการสร้างฮอร์โมน เพื่อช่วยในการเพิ่มจำนวนและขยายของเซลล์ จึงมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และยังมีสารกาบา (Gamma-Amino Butyric Acid, GABA) ซึ่งเป็นสารป้องกันการเสื่อมของสมอง ช่วยรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท ส่งเสริมการเจริญเติบโตของร่างกาย และฟื้นฟูกล้ามเนื้อให้แข็งแรง (Shelp *et al.*, 1999)

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัย มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาการนำถั่วแดงเพาะงอกมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโดยทดแทนปริมาณนมสด และใช้น้ำตาลพลังงานต่ำในปริมาณที่เหมาะสม ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมเสริมถั่วแดงเพาะงอก พร้อมทั้งศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมที่ผลิตได้ ทำการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม และศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และการยอมรับของผู้บริโภคต่อไอศกรีมเสริมถั่วแดงเพาะงอก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมของไอศกรีมเสริมถั่วแดงเพาะงอก

ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำถั่วแดงเพาะงอก ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ อัตราส่วนของน้ำต่อปริมาณถั่วแดงเพาะงอกโดยแปรผันเป็น 2 ระดับ คือ 1:1 และ 2:1 และปริมาณน้ำถั่วแดงเพาะงอกที่ใช้ทดแทนปริมาณนมสดโดยแปรผันเป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 60, 80 และ 100 วางแผนการทดลองแบบ (Factorial experiment in CRD) จะได้ไอศกรีมเสริมถั่วแดงเพาะงอกทั้งหมด 6 สูตร ดังแสดงตารางที่ 1 และใช้สูตรพื้นฐานในตารางที่ 2 ทำการผลิตไอศกรีมเสริมถั่วแดงเพาะงอก ตามขั้นตอนดังนี้

1.1 การเตรียมถั่วแดงเพาะงอก

นำเมล็ดถั่วแดงมาเพาะงอกในสภาวะที่เหมาะสมโดยคัดแยกเมล็ดที่แตกหรือหักออก แล้วล้างทำความสะอาด นำเมล็ดถั่วแดงไปแช่น้ำในภาชนะที่เตรียมไว้ โดยใส่น้ำให้ท่วมเมล็ดถั่วแดง แช่เป็นเวลา 6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำเมล็ดถั่วแดงที่ได้จากการแช่ไปทำการเพาะให้งอก แช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และเปลี่ยนน้ำทุกๆ 4 ชั่วโมง (Maisont, 2012)

1.2 การเตรียมน้ำถั่วแดงเพาะงอก

นำถั่วแดงเพาะงอกที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบ มาทำความสะอาด แล้วนำไปนึ่งในลังถึง โดยรองด้วยผ้าขาวบางใช้เวลาในการนึ่ง 45 นาที ทำให้น้ำเย็นตัวลง และนำถั่วแดงเพาะงอก มาตีปั่นด้วยเครื่องผสมอาหาร ความเร็ว 25,000 รอบ/นาที ใช้เวลา 2 นาที ใช้อัตราส่วน น้ำ ต่อ ถั่วแดงเพาะงอก 1:1 และ 2:1 เมื่อปั่นเสร็จ กรองด้วยกระชอนจะได้น้ำถั่วแดงเพาะงอกเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรทดลองในการผลิตไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอกทั้ง 6 สูตร

สูตรทดลอง ที่	อัตราส่วนระหว่าง น้ำ : ถั่วแดงพะงอก	ปริมาณร้อยละน้ำถั่วแดงพะงอกทดแทนนมสด	ปริมาณน้ำถั่วแดงพะงอกที่ใช้ ทดแทนนมสด(กรัม) (ปริมาณการผลิต 1000 กรัม)
T1	1 : 1	60	480
T2	2 : 1	60	480
T3	1 : 1	80	640
T4	2 : 1	80	640
T5	1 : 1	100	800
T6	2 : 1	100	800

ตารางที่ 2 แสดงสูตรพื้นฐานของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม

วัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้ (ร้อยละ) โดยน้ำหนัก
1. นมสด	80.00
2. น้ำมันมะพร้าว	2.50
3. ครีมขึ้น	2.50
4. หางนมผง	1.00
5. พาลาทีน ไบโอซูการ์	11.00
6. กลูโคสไซรัป	2.50
7. เจลาติน	0.50

ที่มา: (Yonkrong, 2014)

1.3 การผลิตไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอก
 นำน้ำถั่วแดงพะงอกจากข้อ 1.2 และ
 ครีมขึ้นจากตารางที่ 2 ใส่หม้อตุ๋นตั้งไฟให้ถึง 85
 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 5 นาที แล้วปิดไฟ เติมน้ำตาล
 พาลาทีน หางนมผง กลูโคสไซรัป สารคงตัว และ
 น้ำมันมะพร้าว คนให้เข้ากัน แล้วบรรจุใส่ภาชนะ
 นำไปบ่มในตู้แช่ที่อุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส เป็น
 เวลา 24 ชั่วโมง นำไอศกรีมมาปั่นเพื่อเติมอากาศ และ
 ทำให้แข็งตัว บรรจุใส่ภาชนะ แล้วนำไปบ่มในตู้แช่
 แช่ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นำไอศกรีมทั้ง 6
 สูตร มาศึกษาสมบัติทางกายภาพ และการยอมรับทาง
 ประสาทสัมผัส นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความ

แปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และ
 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple
 Range Test (DMRT) แสดงผลในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่า
 เบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม
**2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และการ
 ยอมรับของผู้บริโภคต่อไอศกรีมถั่วเสริมแดงพะงอก**

2.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การ
 วัดค่า % Overrun โดยวิธีการของ Marshall and
 Arbuckle การวัดอัตราการละลาย โดยวิธีการของ
 Gruinard et al. (1997) การวัดค่าความหนืด

(Viscosity) และการวัดสี (Color value) โดยใช้เครื่อง Portable Colorimeter รุ่น NH310

2.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใย คาร์โบไฮเดรต ตามวิธี AOAC (2012) และวิเคราะห์ปริมาณสารกาบา ด้วยเทคนิค HPLC (High Performance Liquid)

2.3 วิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella* spp. ตามวิธี AOAC (2012)

2.4 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อ ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอก ทำการทดสอบความชอบแบบ 9 ระดับ (9 Point Hedonic Scale) กับผู้บริโภคทั่วไป อายุระหว่าง 15-60 ปี ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำนวนทั้งหมด 100 คน โดยใช้แบบสอบถาม เพื่อประเมินความชอบในลักษณะสำคัญต่างๆ และคะแนนความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การศึกษาสูตรที่เหมาะสมเพื่อนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอก

ผลการศึกษาสูตรที่เหมาะสม ในการผลิต ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอก โดยศึกษาความเข้มข้น ของน้ำถั่วแดงพะงอก ปัจจัยที่ศึกษาคือ อัตราส่วนของน้ำต่อปริมาณถั่วแดงพะงอกโดยแปรผันเป็น 2 ระดับคือ 1:1 , 2:1 และปริมาณน้ำถั่วแดงพะงอกที่ใช้ทดแทนนมสดโดยแปรผันเป็น 3 ระดับคือร้อยละ 60, 80 และ 100 วางแผนการทดลองแบบ Factorial experiment in CRD จะได้ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอกทั้งหมด 6 สูตร เมื่อนำมาตรวจสอบ

คุณภาพทางด้านกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าอัตราการละลาย พบว่าสูตรที่ 5 ที่มีอัตราส่วนของน้ำต่อปริมาณ ถั่วแดงพะงอก 1:1 และมีปริมาณน้ำถั่วแดงพะงอกที่ใช้ทดแทนปริมาณนมสด ร้อยละ 100 มีอัตราการละลายช้าที่สุด เนื่องจากไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอกมีโปรตีนสูง ซึ่งสอดคล้องกับ (Laohasilpsomjit *et al.*, 2007) รายงานว่า โปรตีนช่วยไม่ให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขณะแช่แข็ง และในระหว่างการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่างๆ ช่วยป้องกันการลดปริมาตรของไอศกรีม เนื่องจากการหดตัวในระหว่างการเก็บรักษา ช่วยให้เกิดผลิตภัณฑ์ละลายช้าลง และมีค่าความหนืดสูงสุด เนื่องจากปริมาณของน้ำถั่วแดงพะงอกมีความเข้มข้น ทำให้มีปริมาณของโปรตีนสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Laohasilpsomjit *et al.*, 2007) รายงานว่า อัตราส่วนของน้ำต่อถั่วแดงมีผลต่อค่าความหนืด เนื่องจากถั่วแดงมีปริมาณโปรตีนสูง และไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอกทั้งหมด 6 สูตร มีค่าการขึ้นฟูต่ำ ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Tamaruay, 2009) รายงานว่า เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ไอศกรีมมีค่าการขึ้นฟูต่ำ เมื่อนำมาวัดค่าสี พบว่า ความสว่าง (L^*) มีค่าใกล้เคียงกัน และในส่วนของค่า (a^*) และ (b^*) พบว่า สูตรทั้งหมดมีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองไปในทิศทางเดียวกัน ยกเว้นค่า (b^*) ของสูตรที่ 5 มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้มีผลมาจากน้ำถั่วแดงพะงอกที่ใช้ทดแทนนมสด มีสารแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารสีแดงที่พบในเปลือกเมล็ดของถั่วแดง (Pornchaloempong and Rattanapanone, 2018)

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะวงอก

Formula	ค่า Overruns	ค่าอัตราการ ละลาย	ค่าความหนืด	ค่าสี		
				(L*)	(a*)	(b*)
1	5.00±0.77	7.00 ^c ±1.00	3943.33 ^c ±30.55	25.43 ^{bc} ±2.49	14.71 ^d ±1.09	11.85 ^c ±1.27
2	4.00±0.77	6.00 ^{cd} ±1.00	1270.00 ^f ±17.32	29.93 ^a ±0.69	15.56 ^{bcd} ±0.22	16.68 ^a ±0.43
3	3.66±0.77	12.00 ^b ±3.00	3433.33 ^d ±20.82	24.36 ^c ±1.09	17.22 ^a ±0.17	12.35 ^c ±0.58
4	4.00±0.77	13.33 ^{ab} ±1.53	2863.33 ^c ±5.77	26.79 ^b ±0.28	16.42 ^{ab} ±0.38	14.10 ^b ±0.27
5	4.00±0.77	3.33 ^d ±1.15	12800.00 ^a ±100.00	24.48 ^c ±0.29	15.34 ^{cd} ±0.25	8.57 ^d ±0.39
6	4.33±0.77	15.67 ^a ±1.53	4383.33 ^b ±30.35	25.15 ^{bc} ±0.71	16.09 ^{bc} ±0.16	13.05 ^{bc} ±0.71

หมายเหตุ: a,b,c หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะวงอกที่ผลิตได้ทั้ง 6 สูตร มาประเมินความชอบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน สี กลิ่นรส ความเนียนของเนื้อไอศกรีม การละลายในปาก และความชอบโดยรวม โดยใช้กลุ่ม

ผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นผู้บริโภครทั่วไประหว่าง 100 คน ทำการเสิร์ฟตัวอย่าง 2 รอบ รอบละ 3 สูตร ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะวงอก

สูตรที่	ลักษณะทางประสาทสัมผัส					
	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	สีของไอศกรีม	กลิ่นรสของถั่วแดง	ความเนียนของเนื้อไอศกรีม	การละลายในปาก	ความชอบโดยรวม
1	6.4±1.58 ^{ab}	5.9±1.58 ^b	6.2±1.37 ^{ab}	6.3±1.64 ^{ab}	6.5±1.32 ^{ab}	6.6±1.28 ^{ab}
2	6.5±1.65 ^{ab}	5.7±1.84 ^b	6.3±1.56 ^{ab}	6.5±1.62 ^a	6.7±1.52 ^a	6.8±1.49 ^a
3	6.1±1.61 ^{abc}	5.8±1.62 ^b	5.9±1.76 ^b	6.1±1.71 ^{abc}	6.1±1.66 ^{bc}	6.4±1.53 ^b
4	6.0±1.77 ^{bc}	6.2±1.46 ^b	6.1±1.64 ^b	5.8±1.91 ^{bc}	6.0±1.76 ^{bc}	6.3±1.63 ^b
5	6.6±1.66 ^a	6.9±1.61 ^a	6.7±1.61 ^a	6.6±1.55 ^a	6.7±1.72 ^a	6.8±1.65 ^a
6	5.8±1.76 ^c	6.1±1.70 ^b	5.4±1.89 ^{bc}	5.6±1.84 ^c	5.6±1.86 ^c	5.6±1.91 ^c

หมายเหตุ: a,b,c หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

± หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4 พบว่า ค่าเฉลี่ยคุณลักษณะไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะวงอกมีลักษณะที่ปรากฏ

โดยรวม ความเป็นเนื้อเดียวกัน สี กลิ่นรส ความเนียนของเนื้อไอศกรีม การละลายในปาก และความชอบ

โดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอก ในสูตรที่ 5 มากที่สุด เนื่องจากปริมาณน้ำถั่วแดงพะงอกที่ใช้ทดแทนนมสดร้อยละ 100 มีความเข้มข้นของน้ำต่อปริมาณถั่วแดงพะงอกที่อัตราส่วน 1:1 เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเป็นเนื้อเดียวกัน สี กลิ่นรส ความเนียนของเนื้อไอศกรีมการละลายในปาก ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Laohasilpsomjit *et al.*, 2007) กล่าวว่า ลักษณะไอศกรีมที่ดีจะต้องมีรสชาติอร่อย มีคุณค่าทางโภชนาการ มีเนื้อสัมผัสที่เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน จากผลการทดสอบทางด้านกายภาพและประสาทสัมผัสสรุปได้ว่า ไอศกรีมสูตรที่ 5 มีคะแนนความชอบสูงกว่าสูตรอื่นๆ จึงเลือกไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอกสูตรที่ 5 นำมาศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และการยอมรับของผู้บริโภค ต่อไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอกดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 2

2. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และการยอมรับของผู้บริโภคของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอกสูตรที่ 5

นำไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอกสูตรที่ 5 มาศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และการยอมรับของผู้บริโภคต่อไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอก ดังแสดงในตารางที่ 5

2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอกมีค่า % Overrun เท่ากับ ร้อยละ 4.00 ค่าอัตราการละลาย เท่ากับ ร้อยละ 3.33 ค่าความหนืด เท่ากับ 12800.00 cp. ค่าสี (L^*) (a^*) และ (b^*) มีค่า เท่ากับ 24.48, 15.34, และ 8.57 ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ผลการวิเคราะห์ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้าคาร์โบไฮเดรต และสารกาบา ของไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอก สรุปได้ดังนี้ 56.30, 2.59, 0.01, 0.31, 1.05 และ ร้อยละ 39.74 ตามลำดับ และตรวจพบปริมาณสารกาบาของไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอกเท่ากับ 18.63 mg /100g และปริมาณสารกาบาของไอศกรีมเสริมถั่วแดง เท่ากับ 8.32 mg /100 g ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Shelp *et al.*, 1999) รายงานว่า สารกาบา (GABA) ผลิตจากกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ของกรดอะมิโนกลูตามิก โดยเอนไซม์จะถูกเร่งได้ด้วย สภาพการแช่ และการงอก ซึ่งเป็นสารสำคัญ ช่วยป้องกันการเสื่อมของสมอง ช่วยรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท ส่งเสริมการเจริญเติบโตของร่างกาย และฟื้นฟูกล้ามเนื้อให้แข็งแรง แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารกาบา อาจมีการสูญเสียเล็กน้อยเนื่องจากกระบวนการผลิตไอศกรีมมีการใช้ความร้อน แต่ปริมาณสารกาบาจะถูกทำลายในอุณหภูมิที่มากกว่า 100 องศาเซลเซียส (Komatsuzaki *et al.*, 2007) จะเห็นได้ว่าการพะงอกถั่วแดงทำให้สารกาบามีปริมาณเพิ่มขึ้น 3 เท่า เมื่อเทียบกับไอศกรีมเสริมถั่วแดงที่ไม่ผ่านการพะงอก

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะงอก พบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 45cfu/กรัม และตรวจไม่พบ *Escherichia coli*/ 0.01g *Staphylococcus aureus*/ 0.1g *Salmonella* spp./ 25g ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของประกาศกระทรวงสาธารณสุข (354) พ.ศ. 2556 เรื่อง ไอศกรีม (Ministry of Public Health, 2013) เนื่องจากขั้นตอนการผลิตไอศกรีม มีการพาสเจอร์ไรซ์เข้มข้นส่วนผสมไอศกรีม ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ในการควบคุมปริมาณจุลินทรีย์

ตารางที่ 5 คุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และการยอมรับของผู้บริโภค ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะวงงอกสูตรที่ 5

คุณภาพ	ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะวงงอก	ไอศกรีมเสริมถั่วแดง
ทางกายภาพ		
ค่า % Overrun (ร้อยละ)	4.00	-
ค่าอัตราการละลาย (ร้อยละ)	3.33	-
ค่าความหนืด (cp)	12800.00	-
(L*) (ร้อยละ)	24.48	-
(a*) (ร้อยละ)	15.34	-
(b*) (ร้อยละ)	8.57	-
ทางเคมี		
ความชื้น (ร้อยละ)	56.30	-
โปรตีน (ร้อยละ)	2.59	-
ไขมัน (ร้อยละ)	0.01	-
เส้นใย (ร้อยละ)	0.31	-
เถ้า (ร้อยละ)	1.05	-
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	39.74	-
สารกาบา (mg/100g)	18.63	8.32
ทางจุลชีววิทยา		
Aerobic Plate Count, cfu/g	45	-
<i>Escherichia coli</i> / 0.01g	-	-
<i>Staphylococcus aureus</i> / 0.1g	-	-
<i>Salmonella</i> spp./ 25g	-	-

ที่มา: จากผลการทดสอบ

2.4 การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมถั่วแดงพะวงงอก ทำการสำรวจกลุ่มผู้บริโภคทั่วไป ในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล จำนวน 100 คน โดยแบ่งผลการสำรวจออกเป็น 3 ส่วน แสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

2.4.1 การสำรวจข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงจำนวน 64 คน คิดเป็นร้อยละ 64 อายุของผู้บริโภคส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 21-30 ปี จำนวน 35 คน คิดเป็นร้อยละ 35 การศึกษาของผู้บริโภคส่วนใหญ่อยู่ระดับปริญญาตรี จำนวน 60 คน คิดเป็นร้อยละ 60 ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นนักเรียน/นักศึกษา จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 40 และผู้บริโภคส่วนใหญ่มีรายได้ต่อเดือน น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท จำนวน 38 คน คิดเป็นร้อยละ 38

2.4.2 การสำรวจข้อมูลเชิงพฤติกรรมและทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า เหตุผลที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมในครั้งนี้ คือ ซื้อเพื่อรับประทานเอง คิดเป็นร้อยละ 89 รองลงมา ผู้บริโภครับประทานไอศกรีมเพื่อดับ

กระหาย คลายร้อน คิดเป็นร้อยละ 71 และ เพื่อทดลองชิมผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ คิดเป็นร้อยละ 58 ตามลำดับ ส่วนรูปแบบของไอศกรีมที่ผู้บริโภคนิยมมากที่สุด คือ แบบถ้วย คิดเป็นร้อยละ 38 ส่วนสถานที่ที่ผู้บริโภคเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมมากที่สุด คือ ร้านไอศกรีม คิดเป็นร้อยละ 37 และ

ส่วนผสมทางการตลาดที่เกี่ยวข้องต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีม โดยสอบถามด้านผลิตภัณฑ์ ด้านราคา ด้านบรรจุภัณฑ์ด้านสถานที่จัดจำหน่าย ด้านการตลาด ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลจะทำการแจกแจงเป็นค่าเฉลี่ย ของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของส่วนผสมทางการตลาดที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

ปัจจัย	ค่าเฉลี่ยของส่วนผสมทางการตลาด *
ด้านผลิตภัณฑ์	3.91 ± 0.160
ด้านราคา	3.68 ± 0.172
ด้านบรรจุภัณฑ์	3.55 ± 0.172
ด้านสถานที่จัดจำหน่าย	3.41 ± 0.199
ด้านการตลาด	3.46 ± 0.180

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมถั่วแดงเผาะงอก ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ให้ความสำคัญในด้านผลิตภัณฑ์มากที่สุด โดยค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 3.91 ± 0.160 อยู่ในระดับมาก รองลงมา คือ ด้านราคา และด้านบรรจุภัณฑ์ อยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 3.68 ± 0.172 และ 3.55 ± 0.172 ตามลำดับ ด้านสถานที่จัดจำหน่าย และด้านการตลาด อยู่ในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 3.41 ± 0.199 และ 3.46 ± 0.150 ตามลำดับ ด้านผลิตภัณฑ์ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ ให้ความสำคัญกับคุณค่าทางโภชนาการมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Mahaveero, 2004) รายงานว่า ความสำคัญในกระบวนการผลิต เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีรสชาติที่ดี และได้รับรองในด้านของคุณภาพ ในขณะที่เดียวกันก็เป็นโอกาสของผู้ผลิตรายใหม่ที่จะเข้าสู่ตลาดไอศกรีมได้ ด้านราคาให้ความสำคัญ เรื่องราคาเหมาะสมกับคุณภาพ อยู่ใน

ระดับมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Mahaveero, 2004) รายงานว่า ราคาต้องสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ รสชาติ ปริมาณ บรรจุภัณฑ์ โดยไม่จำเป็นต้องตั้งราคาสูง เพราะผู้บริโภคให้ความสำคัญกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ส่วนด้านบรรจุภัณฑ์ ผู้บริโภคให้ความสำคัญเรื่องการ แสดงวันที่ผลิต/วันหมดอายุ อยู่ในระดับมากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับ (Bhirommuang *et al.*, 2012) รายงานว่า ฉลากอาหารเป็นช่องทางหนึ่งที่แสดงข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งช่วยให้ผู้บริโภคพิจารณาตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารได้ตรงตามความต้องการ และยังช่วยให้ผู้บริโภคไม่บริโภคอาหารที่หมดอายุและลดอันตรายจากการบริโภคอาหารนั้น ด้านสถานที่จัดจำหน่ายผู้บริโภคให้ความสำคัญการจัดจำหน่ายในร้านไอศกรีม เช่น ร้านสเวนเซ่นส์, ร้านไอเบอรี่ เป็นต้น อยู่ในระดับมากที่สุดและด้านการตลาดผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ ให้ความสำคัญเรื่องสถานที่ในการวางจำหน่ายสินค้า อยู่ในระดับมากที่สุด

เนื่องจากร้านไอศกรีม มีหลายสาขาทั่วประเทศ มีที่ จอดรถ มีพนักงานบริการ ทำให้ผู้บริโภคสะดวกต่อการเลือกซื้อสินค้า ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Sukkamnerd, 2005) รายงานว่า สถานที่ที่มีการอำนวยความสะดวกให้กับผู้บริโภค โดยการจัดสถานที่จอดรถให้เพียงพอ มีสินค้าหลากหลายต่อการเลือกซื้อ มีการตกแต่งร้านสีสดใสสวยงาม ก็จะเป็นที่ดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคเพิ่มขึ้น การสำรวจ

ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีมในครั้งนี้ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมถั่วแดง เพาะงอกต่อไป

2.4.3 การทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค ผลการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบ ไอศกรีมเสริมถั่วแดงเพาะงอก ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คะแนนความชอบของผู้บริโภคจำนวน 100 คน

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ*
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	6.96 ± 0.117
สีของไอศกรีม	6.91 ± 0.104
กลิ่นรสถั่วแดง	7.20 ± 0.116
ความเนียนของเนื้อไอศกรีม	7.07 ± 0.106
การละลายในปาก	7.20 ± 0.115
ความคงตัวของไอศกรีม	6.98 ± 0.122
ความชอบโดยรวม	7.34 ± 0.122

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย ± S.D.

ผลการทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่า กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถาม ร้อยละ 73 จะซื้อไอศกรีมเสริมถั่วแดง เพาะงอกที่วางจำหน่าย และเมื่อทราบข้อมูลทางโภชนาการเกี่ยวกับถั่วแดงเพาะงอก ในไอศกรีม เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่ดี ช่วยลดความเสี่ยงจากคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ควบคุมน้ำหนัก ลดความเสี่ยงโรคหัวใจ มะเร็ง ลดน้ำตาลในเลือด และป้องกันการเสื่อมของสมอง จึงเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นี้เพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 88 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Boonporn, 2009) รายงานว่า ผู้บริโภคให้ความสนใจในการเลือกซื้อและการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้นทั้งนี้อาจเป็น

เพราะว่า ผู้บริโภคหันมาให้ความสำคัญในเรื่องสุขภาพของตนเองอีกทั้งกระแสด้านอาหารเพื่อสุขภาพในปัจจุบันได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว จึงทำให้อาหารเพื่อสุขภาพมีความหลากหลาย ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่คิดว่าควรมีการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมถั่วแดงเพาะงอกในร้านขายผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ คิดเป็นร้อยละ 34 และผู้ตอบแบบสอบถามมีความสนใจรับประทานผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมถั่วแดงเพาะงอกเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง คิดเป็นร้อยละ 86 รองลงมา ผู้ตอบแบบสอบถามคิดว่าเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เป็นร้อยละ 75 เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ น่าลอง คิดเป็นร้อยละ 73 ตามลำดับ ปัจจุบันคนไทยเริ่มมีวิถีชีวิตเปลี่ยนแปลงตามยุคสมัย (Songsri,

2012) ส่งผลให้ประชาชนเหล่านั้นหันมาสนใจสุขภาพ และอนามัยของตัวเองมากขึ้น (Nambuddee, 2015) ดังนั้นการผลิตอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีปลอดภัย ไม่มีสารพิษปนเปื้อน ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเสริมถั่วแดงเพาะงอกจึงตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค

สรุป

อัตราส่วนความเข้มข้นของน้ำถั่วแดงเพาะงอกคือ 1:1 และร้อยละที่เหมาะสมของปริมาณน้ำถั่วแดงเพาะงอกที่ใช้ทดแทนนมสด ร้อยละ 100 ในการผลิตไอศกรีม คือ สูตรที่ 5 จะได้ไอศกรีมที่มีลักษณะที่ดี อัตราการละลายช้า ค่าความหนืดสูงสุด ค่าการขึ้นฟูต่ำทุกสูตร การนำไอศกรีมสูตรที่ 5 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า มีปริมาณไขมันต่ำ และมีสารกาบาเพิ่มขึ้น 3 เท่า การทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า สูตรที่ 5 ได้รับคะแนนยอมรับสูงสุด ไอศกรีมเสริมถั่วแดงเพาะงอก จึงเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคอาหารเพื่อสุขภาพในการบำบัดโรค และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบแก่เกษตรกรในประเทศ และเพื่อการส่งออกในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2012. **Official Methods of Analysis, 19th rev.ed.** Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- Bhirommuang, N., Chongsawat, R. and Malai, D. 2012. Perception of Symbols and Use of Information on Food Labels for Food Choice Behavior among Clients of the Out-patient Department of Ramathibodi Hospital. **Journal of Public Health** 42(2): 17-28. (in Thai)
- Boonporn, W. 2009. Health Food Consumption Behaviors of Bangkok Metropolitan Residents. Master of Arts (Home Economics for Community Development) Thesis, Ramkhamhaeng University. (in Thai)
- Chanyachailert, T. 2019. **Red Bean A losing weight secret.** Available Source: <https://goodlifeupdate.com/healthy-body/90561.html>, January 17, 2019. (in Thai)
- Gruinard, J.X., Morse, C.Z, Mori, L., Uatoni, B., Panyam, D. and Kilara, A. 1997. Sugar and Fat effects on sensory properties of ice cream. **Journal of Food Science and Technology** 62: 1087-1094.
- Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. 2007. Effect of Soaking and Gaseous Treatment on GABA content in Germinated Brown Rice. **Journal of Food Engineering** 78(2): 556-560.
- Laohasilpsomjit, S., Tueyma, U. and Pankhamsan, C. 2007. The Development of Soy Milk Ice Cream. **Ubon Ratchathani Rajabhat University Journal** 2: 81-86. (in Thai)
- Leelawiriyawong, S. 2017. **Thailand Food Market Report. Ice Cream Market.** Food Intelligence Center Thailand. Available Source: <http://fic.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?id=76>, January 17, 2019. (in Thai)
- Mahaveero, Y. 2004. Icecream Consumption Behavior of Consumers in Mueang District, Samut Sakhon Province. Master

- of Business Administration Thesis, Chiang Mai University. (in Thai)
- Maisont, S. 2012. **Research Report no Study of the Optimum Conditions of Legume Germination Process on GABA, Total Phenolics, Antioxidant Activity and the Changing During Processing.** Phranakhon Rajabhat University, Bangkok. (in Thai)
- Ministry of Public Health. 2013. **Ice Cream.** Available Source: <http://elib.fda.moph.go.th/fulltext2/.pdf>, January 20, 2019. (in Thai)
- Nambuddee, N. 2015. The Future of Dietary Supplements and Adjustment of Marketing Strategy in Thai. **Journal of Social Sciences Srinakharinwirot University** 18: 353-374. (in Thai)
- Pornchaloempong, P. and Rattanapanone, N. 2018. **Antioxidant.** Food Network Solution. Available Source: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0188/antioxidant>, January 17, 2019. (in Thai)
- Songsri, P. 2012. Gag, Great local Nutrient Plant for Health. **Khon Kaen Agriculture Journal** 40: 1-6. (in Thai)
- Sukkamnerd, W. 2005. Essential Factors Affecting Consumer's Behavior of Consuming Premium Ice Cream in Petrol Station Shop in Mueang District, Nakhonratchasima Province. Master of Business Administration Thesis, Mahasarakham University. (in Thai)
- Shelp, B.J., Bown, A.W., and Mclean, M.D. 1999. Metablism and function of gamma-aminobutyric acid. **Trends in plant Science** 11(4): 446-452
- Tamaruay, K. 2009. Effects of Proteins and Fats on Structural and Physical Characteristics of Carrot Sherbet. Master of Science (Food Science and Technology) Thesis, Chiang Mai University. (in Thai)
- Yonkrong, P. 2014. Application of Coconut Oil Replace Cream in Ice Cream. Master of Home Economics Technology Thesis, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)

ผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อประชาคมสัตว์หน้าดินในหนองหาร จังหวัดสกลนคร

Effect of Environmental Factors on Benthic Invertebrate Community in Nong Han Lake, Sakon Nakhon Province

พิชิตชัย แซงเมฆ* และ สิทธิชัย ฮะทะโชติ

Pichasit Sangmek* and Sittichai Hatachote

Received: 31 January 2020, Revised: 31 March 2020, Accepted: 21 April 2020

บทคัดย่อ

การศึกษาประชาคมสัตว์หน้าดินและความสัมพันธ์กับปัจจัยคุณภาพน้ำและดินตะกอนเพื่อทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีต่อสัตว์หน้าดินในหนองหาร จังหวัดสกลนคร ซึ่งปัจจุบันมีคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่เสื่อมโทรมลงจากการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ โดยเก็บตัวอย่าง 3 ครั้งในช่วงเดือนตุลาคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2560 ผลการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำโดยภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ยกเว้นหลายพื้นที่ในเดือนมิถุนายน 2560 ดินตะกอนในหนองหารมีการสะสมของสารอินทรีย์ค่อนข้างสูงในทุกฤดูกาลและบางพื้นที่มีการสะสมของซัลไฟด์ในดินตะกอนในระดับสูง (สูงกว่า 0.365 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักดินแห้ง) ผลการศึกษาพบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 27 วงศ์จาก 3 ไฟลัม สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่น ได้แก่ ตัวอ่อนริ้นน้ำจืดวงศ์ Chironomidae ซึ่งมีจำนวนและความถี่ในการพบมากที่สุด (ความหนาแน่นเฉลี่ย 359, 349 และ 164 ตัวต่อตารางเมตร และพบความถี่ร้อยละ 66.67, 83.33 และ 41.67 ของสถานีทั้งหมดในเดือนตุลาคม 2559 เดือนกุมภาพันธ์ 2560 และเดือนมิถุนายน 2560 ตามลำดับ) สัตว์หน้าดินมีความหนาแน่นน้อยที่สุดในเดือนมิถุนายน 2560 มีค่าอยู่ในช่วง 0-147 ตัวต่อตารางเมตร ค่าเฉลี่ย 28 ตัวต่อตารางเมตร และมากที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2560 มีค่าอยู่ในช่วง 12-366 ตัวต่อตารางเมตร ค่าเฉลี่ย 95 ตัวต่อตารางเมตร ความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำในดินตะกอนและปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งควรมีการจัดการแหล่งของสารอินทรีย์ที่มาจากการใช้ประโยชน์โดยรอบหนองหารเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรทางน้ำต่อไป

¹ ภาควิชาเกษตรและทรัพยากร คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร 47000

¹ Department of Agriculture and Resources, Faculty of Natural Resources and Agro-Industry, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakonnakhon Province Campus, Sakon Nakhon 47000, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): pichasit.sa@ku.th

คำสำคัญ: สัตว์หน้าดิน, คุณภาพน้ำ, คุณภาพดินตะกอน, หนองหาร จังหวัดสกลนคร

ABSTRACT

A study on benthic invertebrate community and related water and sediment quality aimed to investigate the influence of environmental factors on benthic invertebrates in Nong Han Lake, Sakon Nakhon Province which currently has environmental quality degradation due to land use change. The study was conducted by collecting samples for 3 times during October 2016 to June 2017. The results showed that overall water quality was appropriate for aquatic animals except in many areas in June 2017, while high level of sediment organic matter was found in all seasons and some areas had high sulfides accumulation (higher than 0.365 mg g^{-1} dry weight). Twenty-seven families from 3 phyla of benthic animals were identified. Prominent group of benthic animals was Chironomid larvae with the densities of 359, 349 and 164 individual/ m^{-2} and the frequencies of 66.67, 83.33 and 41.67 % of all stations in October 2016, February 2017 and June 2017, respectively. The lowest density of benthic invertebrate was found in June 2017 with the range of 0-147 individual/ m^{-2} (averaged 28 individual/ m^{-2}) and the highest was found in February 2017 with the range of 12-366 individual/ m^{-2} (averaged 95 individual/ m^{-2}). The density of benthic invertebrates has significant positive correlation with dissolved oxygen and negative correlation with sediment total organic matter ($p < 0.05$). Consequently, there should be a management for organic sources from its utilization around Nong Han Lake for aquatic conservation in the future.

Key words: benthic invertebrates, water quality, sediment quality, Nong Han Lake, Sakon Nakhon Province

บทนำ

สัตว์หน้าดินส่วนใหญ่ประกอบด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่ดำรงชีวิตและหากินบริเวณพื้นผิวหน้าดินหรือฝังตัวภายในดินพื้นท้องน้ำ (Pennak, 1964) เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญในระบบนิเวศแหล่งน้ำ โดยมีบทบาทเป็นทั้งอาหารและผู้บริโภคในห่วงโซ่อาหาร (Butkas *et al.*, 2011) นอกจากนี้ยังสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์บริเวณพื้นท้องน้ำ (Wallace and Webster, 1996) จึงมีความสำคัญในการถ่ายทอดพลังงานและหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศ (Covich *et al.*, 1999) สัตว์หน้าดินแต่ละชนิดมีความทนทานต่อสภาพแหล่งน้ำแตกต่างกันไป (Mandaville, 2002) จึงถูกนำมาใช้

เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพที่แสดงถึงคุณภาพน้ำและ ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ (Rosenberg and Resh, 1993) เนื่องจากสัตว์หน้าดินอาศัยอยู่ระหว่างรอยต่อของมวลน้ำและพื้นท้องน้ำ ทำให้ปัจจัยแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสัตว์หน้าดินมีหลายประการ เช่น ลักษณะทางกายภาพและอุทกวิทยาของแหล่งน้ำ คุณภาพน้ำ สิ่งมีชีวิตภายในระบบนิเวศ และการใช้ประโยชน์ในพื้นที่แหล่งน้ำ เป็นต้น (Allan and Johnson, 1997; McEwen and Butler, 2010) ทั้งนี้สัตว์หน้าดินถือเป็นสิ่งมีชีวิตที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในแหล่งน้ำได้อย่างรวดเร็วจึงได้รับอิทธิพลจากปัจจัยแวดล้อมในแหล่งน้ำค่อนข้างมาก (Breneman *et al.*, 2000)

หนองหาร จังหวัดสกลนคร เป็นแหล่งน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีลักษณะทางกายภาพของพื้นที่หลายรูปแบบ เป็นแหล่งน้ำที่มีความสำคัญทางด้านความหลากหลายทางชีวภาพ (Phongkaew *et al.*, 2014) โดยมีพันธุ์ปลาน้ำจืดมากกว่า 52 ชนิด (Rayan *et al.*, 2014) มีการใช้ประโยชน์นานับประการจากชุมชนโดยรอบ เช่น การทำประมง ซึ่ง Suteemeechaikul *et al.* (2000) รายงานว่ามีผู้ทำประมงในหนองหารทั้งสิ้น 416 ราย ผลจับสัตว์น้ำเฉลี่ย 710 กิโลกรัมต่อวัน การใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม โดยเฉพาะนาข้าว ซึ่งมีพื้นที่รวมมากกว่าร้อยละ 33 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด (Supakosol and Boonrawd, 2020) การผลิตน้ำประปา การเป็นแหล่งท่องเที่ยว (Uengjareansukarn and Gunbua, 2017) ปัจจุบันความเจริญของชุมชนเมืองโดยรอบหนองหารขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาด้านต่างๆ เช่น น้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดไหลลงสู่หนองหารทำให้มีสารมลพิษสะสมมากขึ้น (Sukthanapirat *et al.*, 2017) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในหนองหารจึงส่งผลต่อทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศรวมทั้งสัตว์หน้าดินด้วย

อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับสัตว์หน้าดินในหนองหารนั้นมียกเว้นน้อยและข้อมูลยังไม่เป็นปัจจุบัน รวมทั้งสิ่งแวดล้อมในหนองหารมีการเปลี่ยนแปลงไปจากอดีต งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประชาคมสัตว์หน้าดินในหนองหาร และปัจจัยสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการ

เปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชาคมสัตว์หน้าดินอันเป็นสิ่งมีชีวิตที่สำคัญในระบบนิเวศดังที่กล่าวมาข้างต้น ผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ในการเป็นแนวทางจัดการเพื่ออนุรักษ์ทรัพยากรทางน้ำในหนองหารต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่และระยะเวลาทำการวิจัย

ศึกษาประชาคมสัตว์หน้าดินและปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องในหนองหาร จังหวัดสกลนคร ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ของหนองหารเป็นเขตน้ำตื้น มีพืชน้ำขึ้นอยู่อย่างหนาแน่น สถานีเก็บตัวอย่าง 12 สถานี (ภาพที่ 1) มีลักษณะทางกายภาพและการใช้ประโยชน์แตกต่างกัน ได้แก่ พื้นที่ชุมชนที่มีบ้านเรือนหนาแน่น (สถานี NH1, NH3 และ NH8) พื้นที่เกษตรกรรมโดยมีนาข้าวเป็นหลัก (สถานี NH5, NH9 และ NH10) แหล่งผลิตน้ำประปา (สถานี NH4) เกาะที่อยู่กลางหนองหาร (สถานี NH6 และ NH7) และบริเวณติดต่อกับลำน้ำสาขาที่ไหลลงหนองหาร (สถานี NH2, NH11 และ NH12) ช่วงเวลาศึกษาเป็นตัวแทนของฤดูกาล ได้แก่ เดือนตุลาคม 2559 (ปลายฤดูน้ำหลาก) เดือนกุมภาพันธ์ 2560 (ฤดูแล้ง) และเดือนมิถุนายน 2560 (ฤดูน้ำหลาก) ซึ่งในเดือนมิถุนายนนี้มีปริมาณน้ำฝนมากถึง 455.8 มิลลิเมตร (Royal Irrigation Department, 2018) และมีฝนตกต่อเนื่องจนเกิดอุทกภัยครั้งใหญ่ในเวลาต่อมา



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาประชาคมสัตว์หน้าดินและปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องในหนองหาร จังหวัดสกลนคร

2. การศึกษาคุณภาพน้ำ

ตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ และความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ในภาคสนาม โดยใช้เครื่องวัดคุณภาพน้ำหลายตัวแปรของ YSI รุ่น Professional Plus และเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 1 ลิตรด้วยกระบอกเก็บน้ำ บรรจุในขวดพลาสติกเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในน้ำ ในห้องปฏิบัติการ โดยการกรองผ่านแผ่นใยแก้ว GF/C ของ Whatman ก่อนนำไปทำให้แห้งและชั่งน้ำหนัก ตามวิธีการของ Adams (1990)

3. การศึกษาคุณภาพดินตะกอน

เก็บตัวอย่างดินตะกอนพื้นที่ตื้นน้ำระดับความลึก 0-4 เซนติเมตร โดยใช้แท่งเก็บดินทรงกระบอก (Hand corer) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างจำนวน 1 ครั้งในแต่ละสถานี มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินตะกอน ได้แก่ ปริมาณน้ำในดินตะกอน (Sediment water content, WC) ด้วยวิธีการอบแห้ง (Oven-dried technique) ตามวิธีการของ Meksumpun (2005) ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน (Sediment total organic matter content, TOM) ใช้วิธีการเผาที่ความร้อนสูงประมาณ 550-600 องศา

เซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง (Ignition loss technique) ตามวิธีการของ Parsons *et al.* (1984) และปริมาณซัลไฟด์รวมในดินตะกอน (Acid volatile sulfides content, AVS) ใช้วิธีการเปลี่ยนรูปซัลไฟด์ในดินตะกอนให้อยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้กรดซัลฟิวริก 18 N หลังจากนั้นวัดปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ทั้งหมดผ่าน AVS column (Meksumpun, 2005)

4. การศึกษาสัตว์หน้าดิน

เก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินในบริเวณห่างจากฝั่งที่มีความลึกของน้ำไม่เกิน 1 เมตร สถานีละ 2 ครั้ง โดยใช้ Petersen Grab ขนาดพื้นที่หน้าตัด 30×30 เซนติเมตร นำดินที่เก็บได้มากรองด้วยตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 35 ขนาดช่องตะแกรง 500 ไมโครเมตร เพื่อแยกตะกอนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ไว้ แล้วรักษาสภาพตัวอย่างด้วยน้ำยาฟอมาลินเข้มข้นร้อยละ 10 จากนั้นคัดแยกตัวอย่าง (Sorting) สัตว์หน้าดินภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำ โดยแยกตัวอย่างสัตว์ใส่หลอดบรรจุแล้วรักษาสภาพด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 70 ทำการระบุชนิด (Identification) ตัวอย่างสัตว์หน้าดินถึงระดับวงศ์ (Family) ตามเอกสารของ Edmonson (1959),

Usinger (1963), Brandt (1974) และ Sangpradub and Boonsoong (2006)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยนำเสนอข้อมูลแบบสถิติพรรณนา การเปรียบเทียบความแตกต่างของความหนาแน่นของสัตว์หน้าดิน คุณภาพน้ำและดินตะกอนตามพื้นที่และฤดูกาลศึกษาใช้วิธี One-way ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วยวิธี Fisher's least significant difference (LSD) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์หน้าดินและปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องแต่ละพารามิเตอร์ ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman's rank correlation coefficient) และจัดกลุ่มข้อมูลด้วยการจัดกลุ่ม Cluster analysis (Clarke and Warwick, 1994)

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

1. คุณภาพน้ำและดินตะกอน

การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลทำให้ลักษณะทางกายภาพและคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำมีความแตกต่างกันออกไป (Ishtiyag *et al.*, 2017) อุณหภูมิของน้ำในเดือนกุมภาพันธ์ 2560 ซึ่งเป็นฤดูหนาวมีค่า

ต่ำที่สุดแตกต่างจากช่วงเวลาศึกษาอื่น (ตารางที่ 1) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีค่าค่อนข้างสูง ยกเว้นในเดือนมิถุนายน 2560 ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าเป็นกรดอ่อน ในเดือนมิถุนายน 2560 มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำมากในสถานี NH1, NH2, NH4, NH5, NH6, NH8, NH9 และ NH12 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในน้ำมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.98 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงถึงความขุ่นของน้ำที่มีมากในฤดูน้ำหลาก อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำในหนองหารโดยภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (National Institute of Inland Fisheries, 1987) และเมื่อจำแนกสถานีศึกษาออกเป็นกลุ่มตามประเภทการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่แตกต่างกันได้แก่กลุ่มที่ 1) พื้นที่บ้านเรือนชุมชน (สถานี NH1, NH3 และ NH8) กลุ่มที่ 2) พื้นที่เกษตรกรรม (สถานี NH5, NH9 และ NH10) กลุ่มที่ 3) พื้นที่ติดลำน้ำสาขา (สถานี NH2, NH11 และ NH12) และ กลุ่มที่ 4) พื้นที่เกาะดอนและเขตหางฝั่ง (สถานี NH4, NH6 และ NH7) นั้น พบว่าค่าปัจจัยคุณภาพน้ำในแต่ละกลุ่มสถานีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 1 ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับสัตว์หน้าดินในหนองหาร จังหวัดสกลนคร

ปัจจัยสิ่งแวดล้อม	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (ค่าเฉลี่ย)		
	ตุลาคม 2559	กุมภาพันธ์ 2560	มิถุนายน 2560
อุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส)	29.9-31.6 (30.7) ^a	21.4-26.2 (23.1) ^b	29.3-31.1 (30.1) ^a
ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ	8.21-8.87 (8.48) ^a	8.77-9.70 (9.19) ^b	6.26-7.49 (6.64) ^c
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (มก. ลิ. ⁻¹)	2.08-6.86 (5.02) ^a	4.50-10.77 (7.84) ^b	0.93-6.46 (3.00) ^c
ของแข็งแขวนลอยรวมในน้ำ (มก. ลิ. ⁻¹)	0.36-27.69 (6.67) ^a	1.24-13.25 (4.20) ^a	0.86-72.00 (22.98) ^b
ปริมาณน้ำในดินตะกอน (ร้อยละ)	23.08-95.03 (57.44)	20.41-82.07 (55.41)	20.77-92.56 (54.21)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

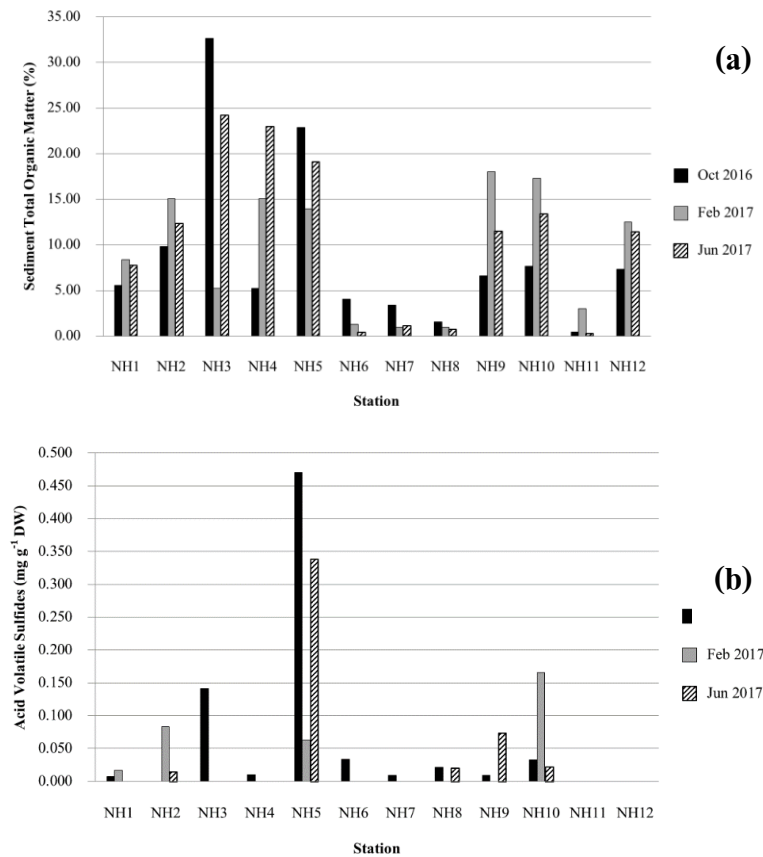
ปัจจัยสิ่งแวดล้อม	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด (ค่าเฉลี่ย)		
	ตุลาคม 2559	กุมภาพันธ์ 2560	มิถุนายน 2560
สารอินทรีย์รวมในดินตะกอน (ร้อยละ)	0.45-32.67 (8.95)	0.98-18.00 (9.31)	0.29-24.26 (10.46)
ซัลไฟด์รวมในดินตะกอน (มก. ก. ⁻¹)	nd*-0.470 (0.061)	nd-0.166 (0.027)	nd-0.339 (0.040)

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

*nd = ความเข้มข้นในระดับที่ไม่สามารถตรวจวัดได้

คุณภาพดินตะกอนพบว่าปริมาณน้ำในดินตะกอนและปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอนมีค่าค่อนข้างสูงในทุกฤดูกาล (ภาพที่ 2) สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่ท้องน้ำในพื้นที่ส่วนใหญ่ที่เป็นดินเหนียวหรือโคลนเลนที่อุ้มน้ำได้ดีและมีสารอินทรีย์สะสมในเนื้อดินมาก ปริมาณซัลไฟด์รวมในดินตะกอนในบางพื้นที่มีระดับสูง เช่น สถานี NH5 ในเดือนตุลาคม 2559 มีปริมาณซัลไฟด์สูงถึง 0.470 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักดินแห้ง ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ส่งผลกระทบต่อสัตว์หน้าดินสูง (Meksumpun and Meksumpun, 2009) โดยการสะสมของปริมาณซัลไฟด์ในดินตะกอนเกิดจากกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไม่มีออกซิเจนเมื่อมีสารอินทรีย์อยู่ในดินตะกอนปริมาณมาก ดังเช่นปริมาณซัลไฟด์และสารอินทรีย์ที่มีความสัมพันธ์ทางบวกต่อกันใน

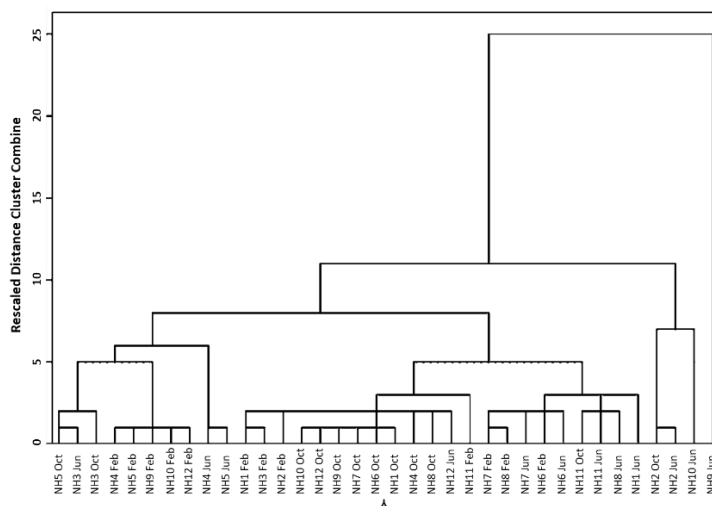
ทะเลสาบของประเทศญี่ปุ่น (Sakai *et al.*, 2013) รวมทั้งลักษณะของพื้นที่ท้องน้ำในสถานี NH5 ที่เป็นโคลนเลนและมีซากพืชน้ำท่วมหนาแน่น มีพืชใต้น้ำและพืชลอยน้ำปกคลุมเป็นบริเวณกว้างทำให้มวลน้ำถ่ายเทได้ยาก อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ทางสถิติไม่พบความแตกต่างของพารามิเตอร์คุณภาพดินตะกอนระหว่างฤดูกาลศึกษา เนื่องจากพื้นที่ท้องน้ำในหนองหารมีการสะสมของซากพืชที่ทับถมกันอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี แต่กลุ่มสถานีที่เป็นแหล่งเกษตรกรรม (สถานี NH5, NH9 และ NH10) มีปริมาณซัลไฟด์ในดินตะกอนสูงและมีความแตกต่างจากกลุ่มสถานีอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) เนื่องจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมการเกษตรมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่ค่อนข้างมาก



ภาพที่ 2 ปริมาณสารอินทรีย์รวมในดินตะกอน (a) และปริมาณซัลไฟด์รวมในดินตะกอน (b) ที่พบในแต่ละสถานีในหนองหาร จังหวัดสกลนคร

เมื่อวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster analysis) สถานีศึกษาตามปัจจัยสิ่งแวดล้อม (ภาพที่ 3) สามารถจำแนกสถานีศึกษาออกเป็น 3 กลุ่ม ที่ระยะ Rescaled distance เท่ากับ 10 ได้แก่ กลุ่มที่ 1: สถานี NH9 เดือนมิถุนายน 2560 มีปัจจัยหลายปัจจัยไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 1.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่างของน้ำเท่ากับ 6.26 ปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในน้ำค่อนข้างสูง มีค่า 72.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีการสะสมของสารอินทรีย์และซัลไฟด์ในดินตะกอนค่อนข้างสูง ซึ่งสถานี NH9 เป็นจุดรวมทางออกของลำห้วยสาขาหลายสายจากทางทิศใต้ของหนองหาร การใช้ประโยชน์เป็นแหล่งเกษตรกรรมทำให้ในช่วงฤดูน้ำหลากมีการไหลของน้ำจากนาข้าวที่มี

สารอินทรีย์ปะปนอยู่ ทำให้มีคุณภาพสิ่งแวดล้อมหลายประการไม่เหมาะสมดังกล่าวข้างต้น กลุ่มที่ 2: สถานี NH2 เดือนตุลาคม 2559 สถานี NH2 เดือนมิถุนายน 2560 และสถานี NH10 เดือนมิถุนายน 2560 ซึ่งทั้งสามสถานีพบปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำ และมีปริมาณของแข็งแขวนลอยรวมในน้ำค่อนข้างสูง และกลุ่มที่ 3: ได้แก่สถานีอื่นๆ ทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยสถานีที่คุณภาพน้ำและดินตะกอนอยู่ในระดับเหมาะสมทั้งหมดตามเกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (National Institute of Inland Fisheries, 1897; Meksumpun and Meksumpun, 2009) และสถานีที่อาจมีคุณภาพน้ำและดินตะกอนบางประการไม่เหมาะสมแต่อยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตมากนัก



ภาพที่ 3 การจัดกลุ่มสถานีศึกษาโดยจำแนกตามค่าปัจจัยสิ่งแวดล้อมในหนองหาร จังหวัดสกลนคร

2. โครงสร้างประชาคมสัตว์หน้าดิน

การวิเคราะห์องค์ประกอบของสัตว์หน้าดินในหนองหาร จังหวัดสกลนคร พบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 3 ไฟลัม (Phylum) 7 ชั้น (Class) 16 อันดับ (Order) 27 วงศ์ (Family) โดยสัตว์ในไฟลัม Arthropoda มีจำนวนสมาชิกมากที่สุด 16 วงศ์ ตามด้วยไฟลัม Mollusca มีสมาชิก 8 วงศ์ และไฟลัม Annelida มีจำนวนสมาชิก 3 วงศ์ โดยจำนวนวงศ์ทั้งหมดที่พบในแต่ละฤดูกาลแสดงในตารางที่ 2

การศึกษาพบว่าเดือนกุมภาพันธ์ 2560 มีสัตว์หน้าดินมากที่สุด 22 วงศ์ และเดือนมิถุนายน 2560 พบสัตว์หน้าดินเพียง 10 วงศ์ สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่นของทั้ง 3 ฤดูกาล ได้แก่ ตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดในวงศ์ Chironomidae ซึ่งพบด้วยความถี่เท่ากับร้อยละ 66.67, 83.33 และ 41.67 ของจำนวนสถานีทั้งหมด ในเดือนตุลาคม 2559 เดือนกุมภาพันธ์ 2560 และเดือนมิถุนายน 2560 ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ ตัวอ่อนรึ้นน้ำเค็มในวงศ์ Ceratopogonidae ซึ่งเป็นสัตว์ในกลุ่มแมลงสองปีก (Diptera) เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2 สัตว์หน้าดินที่พบในแต่ละฤดูกาลในหนองหาร จังหวัดสกลนคร

Phylum	Family	ชื่อสามัญภาษาไทย	ความถี่ที่พบ (ร้อยละ)		
			ตุลาคม 2559	กุมภาพันธ์ 2560	มิถุนายน 2560
Annelida	Naididae	ไส้เดือนน้ำจืด	58.33	16.67	25.00
	Lumbriculidae	ไส้เดือนน้ำจืด	16.67	0.00	8.33
	Hirudinidae	ปลิงควาย	0.00	8.33	0.00
Mollusca	Viviparidae	หอยขม	16.67	0.00	0.00
	Ampullaridae	หอยเชอรี่	0.00	8.33	0.00
	Bithyniidae	หอยขมจิ๋ว หอยไซ	0.00	8.33	0.00
	Thiaridae	หอยเจดีย์	8.33	8.33	0.00
	Buccinidae	หอยนักล่า	0.00	0.00	8.33
	Bulinidae	หอยคัน	0.00	16.67	0.00

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Phylum	Family	ชื่อสามัญภาษาไทย	ความถี่ที่พบ (ร้อยละ)		
			ตุลาคม 2559	กุมภาพันธ์ 2560	มิถุนายน 2560
	Amblemidae	หอยกาบ	8.33	16.67	0.00
	Corbiculidae	หอยทราย	0.00	16.67	8.33
Arthropoda	Caenidae	ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว	0.00	16.67	0.00
	Baetidae	ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว	0.00	8.33	0.00
	Potamanthidae	ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว	8.33	0.00	0.00
	Libellulidae	ตัวอ่อนแมลงปอบ้าน	16.67	8.33	0.00
	Gomphidae	ตัวอ่อนแมลงปอเสือ	0.00	8.33	0.00
	Belostomatidae	แมลงดาสวน	8.33	8.33	0.00
	Corixidae	มวนกรรเชียง	0.00	16.67	0.00
	Psychomyiidae	หนอนปลอกน้ำ	25.00	41.67	16.67
	Ecnomidae	หนอนปลอกน้ำ	8.33	8.33	0.00
	Hydroptilidae	หนอนปลอกน้ำ	0.00	16.67	0.00
	Noteridae	ด้วงน้ำ	0.00	8.33	0.00
	Chironomidae	ตัวอ่อนรึ้นน้ำจืด	66.67	83.33	41.67
	Ceratopogonidae	ตัวอ่อนรึ้นน้ำเค็ม	58.33	75.00	8.33
	Culicidae	ลูกน้ำยุง	0.00	0.00	16.67
	Cyclestheriidae	ไรน้ำกาบหอย	8.33	50.00	25.00
	Palaemonidae	กุ้งฝอย	16.67	50.00	16.67

การพบตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดเป็นสัตว์หน้าดิน กลุ่มเด่นในหนองหารนั้น เหมือนกับงานวิจัยของ Lucca *et al.* (2010) และ de Lima *et al.* (2013) ที่ทำการศึกษาในทะเลสาบของประเทศบราซิล และสอดคล้องกับ Bashir *et al.* (2018) ที่พบว่าตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดเป็นกลุ่มสัตว์หน้าดินที่มีความหนาแน่นมากที่สุด ในทะเลสาบของประเทศอินเดีย ทั้งนี้ ตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดสามารถดำรงชีวิตในพื้นที่ตื้นหลายลักษณะ และสามารถปรับตัวอาศัยอยู่ในเขตตั้งแต่พื้นทรายที่มีสารอินทรีย์ต่ำจนถึงพื้นโคลนที่มีสารอินทรีย์สะสมอยู่มาก (Pinder, 1995) ตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดสามารถบ่งชี้ถึงสภาพแหล่งน้ำที่มีการสะสมของสารอินทรีย์สูง มีความทนทานต่อมลพิษในแหล่ง

น้ำที่เสื่อมโทรมได้ (Soontornprasit, 2012) สามารถอยู่ได้ในแหล่งน้ำนิ่งที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ (Walker, 2001) แม้ว่าหนองหาร จังหวัดสกลนครมีลักษณะทางสัณฐานของพื้นที่ตื้นน้ำหลายรูปแบบแต่ไม่เป็นอุปสรรคต่อการแพร่กระจายของสัตว์กลุ่มนี้ แมลงสองปีกที่พบได้บ่อยเช่นกันในการศึกษารังนี้ ได้แก่ ตัวอ่อนรึ้นน้ำเค็มในวงศ์ Ceratopogonidae ซึ่งเป็นสัตว์ที่ทนทานต่อมลภาวะของแหล่งน้ำได้ดี สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพน้ำได้ (Bartsch and Ingram, 1959)

ในทางตรงกันข้าม หอยสองฝา มีการแพร่กระจายเป็นวงแคบ พื้นที่ที่พบหอยสองฝาได้ทุกฤดูกาลคือ สถานี NH11 ซึ่งติดต่อกับลำน้ำพุ เป็นลำ

น้ำที่มีน้ำไหลเข้าสู่หนองหารตลอดปีจึงเหมาะสมกับรูปแบบการกินของหอยสองฝาซึ่งกรองกินแพลงก์ตอนหรือตะกอนสารอินทรีย์ที่ลอยลอยหรือฟุ้งกระจายในมวลน้ำ (Jørgensen, 1996) ส่วนพื้นที่อื่นนั้น ในช่วงฤดูน้ำหลากจะไม่พบหอยสองฝาเลย อาจเพราะหอยสองฝาเป็นสัตว์ที่มีความทนทานต่อสภาวะขาดออกซิเจนในระดับต่ำ หรือไม่สามารถทนอยู่ได้ในบริเวณที่ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าน้อย (Burgy, 1983) ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ในหนองหารมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำในช่วงฤดูน้ำหลากโดยเฉพาะบริเวณน้ำตื้น

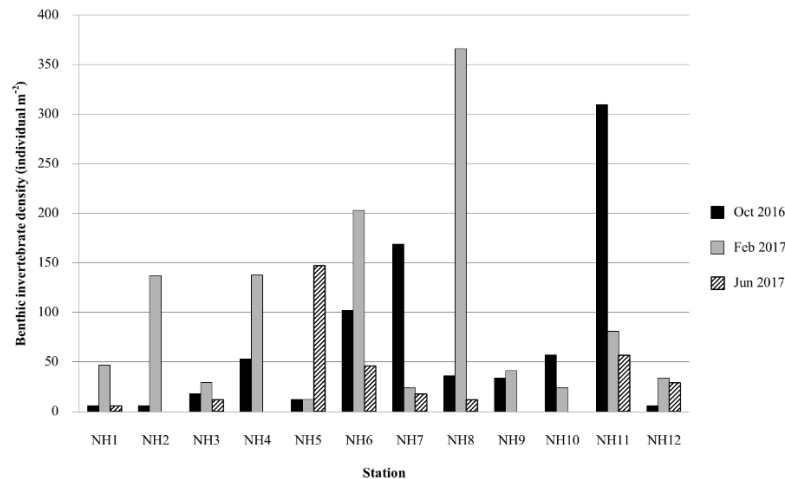
ความหนาแน่นของสัตว์หน้าดิน ในเดือนตุลาคม 2559 มีค่าอยู่ในช่วง 6-310 ตัวต่อตารางเมตร มีค่าเฉลี่ย 68 ตัวต่อตารางเมตร เดือนกุมภาพันธ์ 2560 มีค่าอยู่ในช่วง 12-366 ตัวต่อตารางเมตร มีค่าเฉลี่ย 95 ตัวต่อตารางเมตร และในเดือนมิถุนายน 2560 มีค่าอยู่ในช่วง 0-147 ตัวต่อตารางเมตร และมีค่าเฉลี่ย 28 ตัวต่อตารางเมตร ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสัตว์หน้าดินมีจำนวนน้อยที่สุดในช่วงฤดูน้ำหลากและมากที่สุดในช่วงฤดูแล้ง ความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินที่พบในแต่ละสถานีศึกษา แสดงในภาพที่ 4 ฤดูน้ำหลากโดยปกติแล้วจะเป็นช่วงที่ฝนตกชุก มีปริมาณน้ำไหลลงหนองหารมาก ด้วยลักษณะของหนองหารซึ่งเป็นแอ่งต่ำ และมีทางน้ำระบายออกเพียงเส้นทางเดียว ทำให้ระดับน้ำในหนองสูงขึ้น (Nong Han Study Center, 2018) ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ที่อาศัยบริเวณผิวหน้าดินที่ต้องปรับตัวตามระดับน้ำ รวมทั้งการท่วมหลากของน้ำในบางพื้นที่ติดต่อกับลำน้ำสาขาทำให้กระแสน้ำพัดพาสัตว์หน้าดินออกไปจากพื้นที่นั้นได้ (Death, 2008; O'Leary and Wantzen, 2012) โดยกลุ่มที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือกลุ่ม Epifauna ที่อาศัยอยู่บนพื้นดินไม่ได้ฝังตัวลงไปอยู่ในมวลดินท้องน้ำ สอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Thammakhantha *et al.* (2013) ที่ศึกษาสัตว์หน้าดินในอ่างเก็บน้ำเขื่อนสิริกิติ์พบว่าในฤดูฝนจะมีความหลากหลายและปริมาณสัตว์หน้าดินต่ำที่สุด และการศึกษาของ Soontornprasit (2012) พบว่าการกระจายตัวของแมลงน้ำในก้นวันพะเยาช่วงฤดูฝนถึงต้นฤดูแล้งมีค่าต่ำเนื่องจากอิทธิพลของความลึกและอัตราการไหลของน้ำในแหล่งอาศัย

พื้นที่ศึกษาที่พบความหลากหลายของสัตว์หน้าดินและมีความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินมากในทุกช่วงเวลาศึกษาได้แก่สถานี NH11 ซึ่งเป็นบริเวณทางออกของลำน้ำพุไหลลงสู่หนองหาร โดยลำน้ำพุเป็นลำน้ำสาขาที่มีปริมาตรน้ำไหลลงสู่หนองหารมากที่สุดและมีน้ำไหลเกือบตลอดทั้งปี พื้นที่ท้องน้ำเป็นทรายละเอียด มีพืชใต้น้ำน้อย แตกต่างจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของหนองหารที่พื้นที่ท้องน้ำเป็นดินเหนียวหรือโคลนเลนเต็มไปด้วยซากพืชน้ำตื้น และเป็นพื้นที่เดียวของหนองหารในการวิจัยนี้ที่พบหอยสองฝาในวงศ์ Amblemidae และวงศ์ Corbiculidae จากผลการวิจัยพบว่าหนองหารมีความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินค่อนข้างต่ำ และในเดือนมิถุนายน 2560 มีสถานีที่ไม่พบสัตว์หน้าดินเลย ได้แก่ สถานี NH2, NH4, NH9 และ NH10 ซึ่งสถานีเหล่านี้มีปัจจัยคุณภาพน้ำและดินตะกอนไม่เหมาะสม (National Institute of Inland Fisheries, 1897; Meksumpun and Meksumpun, 2009) ตามผลการจัดกลุ่ม (Cluster analysis) สถานีศึกษาตามปัจจัยสิ่งแวดล้อมดังภาพที่ 3 สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kasetsart University (2004) ที่สำรวจสัตว์หน้าดินในหนองหารพบสัตว์หน้าดิน 3 ไฟลัม มีไส้เดือนน้ำจิวดวงศ์ Tubificidae และตัวอ่อนริ้นน้ำจิวดวงศ์ Chironomidae เป็นสัตว์กลุ่มเด่น ความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินอยู่ในช่วง 0-396 ตัวต่อตารางเมตร เหตุที่ทำให้สัตว์หน้าดินมีปริมาณต่ำเนื่องจากพื้นที่ท้องน้ำมีซากพืชน้ำตื้นถมอยู่มากซึ่งอาจไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและ

สัตว์หลายชนิดปรับตัวไปเกาะติดตามพืชน้ำที่เจริญเติบโตในมวลน้ำด้านบน โดยทั่วไปแล้วแหล่งน้ำที่มีพืชน้ำขึ้นอยู่หลากหลายชนิดจะพบความชุกชุมของสัตว์หน้าดินมากกว่าแหล่งน้ำที่ปราศจากพืชน้ำ

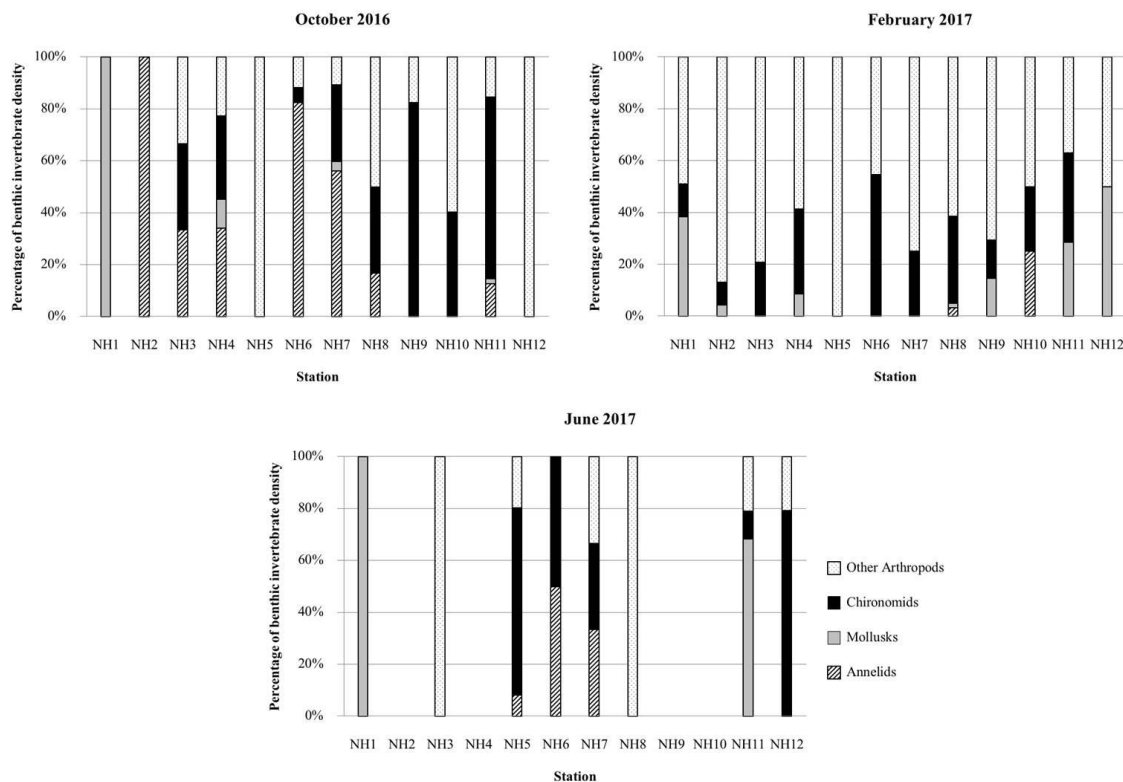
(Peets *et al.*, 1994) แต่หากพืชน้ำเหล่านั้นนั้นตายทับถมกันในปริมาณมากจะทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลงและส่งผลกระทบต่อปริมาณสัตว์หน้าดินในแหล่งอาศัยได้ (Papass, 2007)



ภาพที่ 4 ความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินที่พบในแต่ละสถานีในหนองหาร จังหวัดสกลนคร

โครงสร้างประชาคมสัตว์หน้าดินในหนองหารทั้ง 3 ช่วงเวลาศึกษา แสดงในภาพที่ 5 มีตัวอ่อนร่อนน้ำจืดเป็นสัตว์กลุ่มเด่นซึ่งมีจำนวนและความถี่ในการพบมากที่สุด โดยในเดือนตุลาคม 2559 พบตัวอ่อนร่อนน้ำเค็ม และไส้เดือนน้ำจืด (กลุ่ม Annelids) ในวงศ์ Naididae เป็นจำนวนมาก ซึ่งไส้เดือนน้ำจืดสามารถอยู่ได้ในบริเวณที่มีสารอินทรีย์สูง เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงสภาวะแหล่งน้ำที่เสื่อมโทรมและเกิดมลพิษได้ (Sangpradub *et al.*, 1998; Hanjavanit and Tangpirotewong, 2007) ในเดือนกุมภาพันธ์ 2560 มีความหลากหลายของสัตว์หน้าดินมากที่สุดโดย

นอกจากตัวอ่อนร่อนน้ำจืด ตัวอ่อนร่อนน้ำเค็มแล้ว ยังพบสัตว์กลุ่ม Crustaceans มีจำนวนมากขึ้นอย่างชัดเจน ได้แก่ กุ้งฝอย วงศ์ Palaemonidae เป็นกุ้งที่พบได้ทั่วไปในหนองน้ำ บึง ทะเลสาบ นาข้าว สามารถดำรงชีวิตได้ดีในแหล่งน้ำที่ตื้นและมีอุณหภูมิสูง (Mistakidis, 1968) และไรน้ำกาบหอย วงศ์ Cyclestheriidae ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีแสดงคุณภาพของแหล่งน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลได้ (Rogers, 2009) ขณะที่เดือนมิถุนายน 2560 พบสัตว์หน้าดินน้อยมากเกือบทุกพื้นที่ศึกษา แต่ยังมีตัวอ่อนร่อนน้ำจืดแพร่กระจายอยู่มากที่สุด



ภาพที่ 5 สัดส่วนของสัตว์หน้าดินกลุ่มหลักที่พบในแต่ละสถานีในหนองหาร จังหวัดสกลนคร

3. ความสัมพันธ์ระหว่างสัตว์หน้าดินและปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของน้ำมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยอุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นทำให้การละลายได้ของออกซิเจนในน้ำลดลง และเร่งให้เกิดกระบวนการย่อยสลายที่ใช้ออกซิเจนมากยิ่งขึ้น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีความสัมพันธ์ตรงกันข้ามกับปริมาณของแฉะแขวนลอยรวมในน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยของแฉะแขวนลอยในน้ำนั้นขัดขวางการส่องผ่านของแสงลงสู่มวลน้ำทำให้แพลงก์ตอนพืชสังเคราะห์ด้วยแสงได้น้อยลงส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำ และหากของแฉะแขวนลอยดังกล่าวเป็นอนุภาคอินทรีย์สารจะทำให้มีการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายด้วย ส่วนคุณภาพดินตะกอนนั้นพบว่าปริมาณสารอินทรีย์รวม

ในดินตะกอนมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณน้ำในดินและปริมาณซัลไฟด์รวมในดิน ตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) สำหรับความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินพบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรด-ด่างของน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ตามลำดับ โดยออกซิเจนละลายน้ำมีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์หน้าดินทุกชนิด หากปริมาณออกซิเจนลดลงย่อมส่งผลกระทบต่อความหลากหลายและจำนวนของสัตว์หน้าดินด้วย เช่นกรณีของ Belal *et al.* (2016) ซึ่งศึกษาสัตว์หน้าดินในทะเลสาบของประเทศอียิปต์และพบว่าเมื่อปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงจะทำให้สัตว์หน้าดินมีความชุกชุมน้อยลงเช่นกัน ในการวิจัยครั้งนี้พบว่าเดือนมิถุนายน 2560 มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าในช่วงฤดูกาลอื่นอย่างชัดเจน เป็นผลมาจาก

การไหลหลากของน้ำและตะกอนปริมาณมากทำให้สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจนสิ่งมีชีวิตบางกลุ่มไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

ในช่วงฤดูกาลที่มีความแปรปรวนด้านภูมิอากาศและอุทกวิทยาทำให้คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงย่อมส่งผลให้ความหลากหลายทางชีวภาพและปริมาณของสัตว์หน้าดินผันแปรไปด้วย ดังเช่น การศึกษาของ Basu *et al.* (2018) พบอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงด้านอุทกวิทยาของแหล่งน้ำในประเทศอินเดียซึ่งส่งผลต่อความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ และการศึกษาของ Scrimgeour and Winterbourn (1989) ซึ่งพบว่าสัตว์หน้าดินมีจำนวนน้อยที่สุดหลังจากแหล่งน้ำในประเทศนิวซีแลนด์เกิดน้ำท่วมหนัก สัตว์หน้าดินที่มีความทนทาน และสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดีเท่านั้นที่สามารถดำรงอยู่ได้ นอกจากนี้การศึกษาของ Boonsoong and Sangpradub (2002) พบว่าในพื้นที่เลี้ยงปลาที่มีสารอินทรีย์สะสมอยู่มากและมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำจะมีเพียงสัตว์หน้าดินที่มีความทนทานต่อมลพิษ เช่น หนอนแดงและไส้เดือนน้ำจืดเท่านั้นที่สามารถเพิ่มจำนวนได้ สอดคล้องกับการศึกษานี้ที่พบการคงอยู่ของตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดในเดือนมิถุนายน 2560 ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนสูงมากในรอบหลายปี มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและความเป็นกรด-ด่างต่ำ มีของแข็งแขวนลอยในมวลน้ำมาก นอกจากนี้จากผลการวิจัยยังพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินกับปริมาณน้ำในดินและสารอินทรีย์ในดินตะกอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยหากมีสารอินทรีย์ในระบบพื้นที่ท้องน้ำมากเกินไปย่อมส่งผลต่อการย่อยสลายที่ทำให้ออกซิเจนในน้ำบริเวณผิวหน้าดินลดลง พื้นที่เกือบทั้งหมดของหนองหารถูกปกคลุมไปด้วยพืชน้ำปริมาณมหาศาลทั้งที่ยังมีชีวิตและเป็นซากพืชที่จมลง

สะสมอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำ ทำให้สารอินทรีย์ในดินตะกอนพื้นท้องน้ำในหนองหารอยู่ในระดับสูง ส่งผลให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นในหลายบริเวณ โดยเฉพาะสถานี NH5 ในเขตพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งมวลน้ำไม่มีการถ่ายเทเคลื่อนที่และมีการสะสมของซากพืชปริมาณมาก โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ถือเป็นสารมลพิษที่เป็นอันตรายต่อสัตว์หน้าดิน (Meksumpun, 2005) แม้ว่ากิจกรรมการขุดพรวนดินตามธรรมชาติหรือ bioturbation ของสัตว์หน้าดินจะสามารถช่วยให้สารมลพิษในดินแพร่ออกสู่มวลน้ำด้านบนและเจือจางความเข้มข้นของสารพิษลงได้ แต่สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่นในหนองหารไม่ว่าจะเป็นตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดหรือไส้เดือนน้ำจืดล้วนเป็นกลุ่มที่มีกิจกรรม bioturbation ต่ำทั้งสิ้น (van der Meer *et al.*, 2017)

สรุป

การศึกษาประชาคมสัตว์หน้าดินและความสัมพันธ์กับปัจจัยคุณภาพน้ำและดินตะกอนที่เกี่ยวข้องในหนองหาร จังหวัดสกลนคร พบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 27 วงศ์จาก 3 ไฟลัม โดยมีสัตว์หน้าดินกลุ่มเด่น ได้แก่ ตัวอ่อนรึ้นน้ำจืด ในวงศ์ Chironomidae ซึ่งมีจำนวนและความถี่ในการพบมากที่สุด สัตว์หน้าดินมีความหนาแน่นน้อยที่สุดในช่วงฤดูน้ำหลากเดือนมิถุนายน 2560 และมีความหนาแน่นมากที่สุดในฤดูแล้งเดือนกุมภาพันธ์ 2560 คุณภาพน้ำในหนองหารบริเวณที่เก็บตัวอย่างโดยภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (National Institute of Inland Fisheries, 1987) ยกเว้นหลายพื้นที่ในเดือนมิถุนายน 2560 ที่มีปัจจัยคุณภาพน้ำบางประการต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่สัตว์น้ำจะดำรงชีวิตอยู่ได้ ขณะที่คุณภาพดินตะกอนมีการสะสมของสารอินทรีย์ค่อนข้างสูงในทุกฤดูกาล และ

บางพื้นที่มีการสะสมของซัลไฟด์บริเวณพื้นที่ท้องน้ำในระดับสูงซึ่งส่งผลกระทบต่อสัตว์หน้าดินได้

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นอิทธิพลของปัจจัยแวดล้อมที่มีต่อประชาคมสัตว์หน้าดิน ทั้งปัจจัยที่เกิดจากการสะสมมาเป็นระยะเวลายาวนาน ได้แก่ สภาพภาพของดินตะกอนพื้นที่ท้องน้ำ การทับถมของพืชน้ำที่หนาแน่นทำให้มีสารอินทรีย์สะสมอยู่มากหรือปัจจัยทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ได้แก่ การท่วมหลากของน้ำในฤดูฝน ที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ทั้งนี้ความชุกชุมของสัตว์หน้าดินที่ค่อนข้างต่ำรวมถึงการพบตัวอ่อนรึ้นน้ำจืดซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพแหล่งน้ำที่อาจเกิดความเสื่อมโทรม เป็นสัตว์หน้าดินกลุ่มเด่นในหนองหารนั้น จึงสะท้อนให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นภายในแหล่งอาศัยของสัตว์เหล่านี้ด้วยเช่นกัน การจัดการด้านกายภาพของพื้นที่ท้องน้ำเพื่อลดการสะสมของสารอินทรีย์ ซึ่งอาจเริ่มต้นปรับปรุงแก้ไขในพื้นที่ที่มีปัญหาด้านคุณภาพดินตะกอนมากเป็นอันดับแรก โดยดำเนินการบำบัดให้ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศอื่นน้อยที่สุด และการป้องกันปัญหาคุณภาพน้ำและดินตะกอน ที่มีต้นเหตุมาจากน้ำทิ้งจากการใช้ประโยชน์ของประชาชนโดยรอบหนองหารเอง จึงเป็นแนวทางในการอนุรักษ์น้ำและดินพื้นที่ท้องน้ำ ให้ทรัพยากรสัตว์น้ำในหนองหารได้ดำรงอยู่ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินผ่านมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โครงการยุทธศาสตร์การพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติในหนองหารอย่างสมดุลและยั่งยืน ซึ่งทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- Adams, V.D. 1990. **Water and Wastewater Examination Manual**. CRC Press, Florida, USA.
- Allan, J.D. and Johnson, L.B. 1997. Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems. **Freshwater Biology** 37: 107-111.
- Bartsch, A.F. and Ingram, W.M. 1959. Stream life and the pollution environment. **Public Works** 90: 104-110.
- Bashir, A., Gupta, A. and Aziz, R.U. 2018. Macroinvertebrates of Dal Lake: an effort to assess the diversity, abundance, population density and trophic status. **International Journal of Theoretical & Applied Sciences** 10(1): 117-125.
- Basu, A., Sarkar, I., Datta, S. and Roy, S. 2018. Community structure of benthic macroinvertebrate fauna of river Ichamati, India. **Journal of Threatened Taxa** 10(8): 12044-12055.
- Belal, A.A.M., El-Sawy, M.A. and Dar, M.A. 2016. The effect of water quality on the distribution of macro-benthic fauna in Western Lagoon and Timsah Lake, Egypt. I. **The Egyptian Journal of Aquatic Research** 42(4): 437-448.
- Boonsoong, B. and Sangpradub, N. 2002. Impact of intensive fish cage culture on benthic macroinvertebrates in Chi River, Northeast, Thailand. **KKU Science Journal** 30(4): 228-240. (in Thai)

- Brandt, R.A.M. 1974. The non-marine aquatic mollusca of Thailand. **Archiv für Molluskenkunde** 105: 1-423.
- Breneman, D., Richards, C. and Lozano, S. 2000. Environmental influences on benthic community structure in a Great Lakes Embayment. **Journal of Great Lakes Research** 26(3): 287-304.
- Burky, A.J. 1983. Physiological ecology of freshwater bivalves. In Russel-Hunter, W.D. Ed. **The Mollusca Ecology**. Academic Press, New York.
- Butkas, K.J., Vadeboncoeur, Y. and Vander Zanden, M.J. 2011. Estimating benthic invertebrate production in lakes: A comparison of methods and scaling from individual taxa to the whole-lake level. **Aquatic Sciences** 73(1): 153-169.
- Clarke, K.R. and Warwick, R.M. 1994. **Change in Marine Community; an Approach to Statistic Analysis and Interpretation**. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, UK.
- Covich, A.P., Palmer, M.A. and Crowl, T.A. 1999. The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems: zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling. **BioScience** 49(2): 119-127.
- Death, R.G. 2008. The effect of floods on aquatic invertebrate communities, pp. 103-121. In Lancaster, J. and Briers, R.A., eds. **Aquatic Insects: Challenges to Populations. Proceedings of the Royal Entomological Society's 24th Symposium**. Royal Entomological Society of London, UK.
- de Lima, F.B., Schäfer, A.E. and Lanzer, R.M. 2013. Diversity and spatial and temporal variation of benthic macroinvertebrates with respect to the trophic state of Lake Figueira in the South of Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia** 25(4): 429-441.
- Edmonson, W.T. 1959. **Fresh-Water Biology**. (2nd ed). John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Hanjavanit, C. and Tangpirotewong, N. 2007. Comparision of benthic macroinvertebrate community structure in relation to different types of human disturbance along the Pong river, Khon Kaen Province. **KKU Research Journal** 12: 402-419. (in Thai)
- Ishtiyag, A.N., Anisa, B.K. and Abdul, H. 2017. Evaluation of seasonal variability in surface water quality of Shallow Valley Lake, Kashmir, India, using multivariate statistical techniques. **Pollution** 3(3): 349-362.
- Jørgensen, C.B. 1996. Bivalve filter feeding revisited. **Marine Ecology Progress Series** 142: 287-302.
- Kasetsart University. 2004. **Environmental Impact Assessment Report: Nong Han Rehabilitation Project, Sakon Nakhon Province**. Publications, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Campus. (in Thai)
- Lucca, J.V., Pamplin, P.A.Z., Gessner, A.F., Trivinho-Strixino, S., Spadano-Albuquerque, A.L. and

- Rocha, O. 2010. Benthic macroinvertebrates of a tropical lake: Lake Caçó, MA, Brazil. **Brazilian Journal of Biology** 70(3): 593-600.
- Mandaville, S.M. 2002. **Benthic Macroinvertebrates in Freshwaters-Taxa Tolerance Values, Metrics, and Protocols.** Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, Nova Scotia.
- McEwen, D.C. and Butler, M.G. 2010. The effects of water-level manipulation on the benthic invertebrates of a managed reservoir. **Freshwater Biology** 55: 1086-1101.
- Meksumpun, C. 2005. **Sediment.** Kasetsart University Press, Bangkok. (in Thai)
- Meksumpun, C. and Meksumpun, S. 2009. Development of water and sediment criteria for eutrophication and water pollution assessment: a case study in Tha Chin, Mae Klong, Bang Pakong and Wain riverine and estuarine ecosystems. **Thai Environmental Engineering Journal** 24(1): 129-138. (in Thai)
- Mistakidis, M.N. 1968. FAO Fisheries Report (57) Vol.2, pp. 514. **In Proceedings of the World Scientific Conference on the Biology and Culture of Shrimps and Prawns.** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Mexico City, Mexico.
- National Institute of Inland Fisheries. 1987. **Water quality standard for freshwater resources protection. Technical paper no. 75/1987.** Publications, Department of Fisheries, Bangkok. (in Thai)
- Nong Han Study Center. 2018. **Survey and Master Plan Project Report no The development of tourist routes in Nong Han Islands, Sakon Nakhon Province.** Sakon Nakhon Rajabhat University. (in Thai)
- O'Leary, S.J. and Wantzen, K.M. 2012. Flood pulse effects on benthic invertebrate assemblages in the hypolacustric interstitial zone of Lake Constance. **Annales de Limnologie - International Journal of Limnology** 48(3): 267-277.
- Papas, P. 2007. **Effect of macrophytes on aquatic invertebrates - a literature review.** Technical Report Series No. 158, Department of Sustainability and Environment, Melbourne, Victoria.
- Parsons, T.R, Maita, Y. and Lalli, C.M. 1984. **A Manual of Chemical and Biochemical Methods for Seawater Analysis.** Pergamon Press, New York.
- Peets, R., Miller, A.C. and Beckett, D.C. 1994. **Effects of Three Species of Aquatic Plants on Macroinvertebrates in Lake Seminole, Georgia.** Technical Report A-94-5, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- Pennak, R.W. 1964. **Collegiate Dictionary of Zoology.** The Ronald Press Company, New York.
- Phongkaew, P., Arunyawat, U., Swatdipong, A. and Hongtrakul, V. 2014. Inverted migration of

- rare whisker sheatfish in Nong-Han Lake, northeastern Thailand: Implications for conservation. **Genetics and Molecular Research** 13(3): 7492-7502.
- Pinder, L.C.V. 1995. The habitats of chironomid larvae, pp. 107-135. *In* Armitage, P.D., Cranston, P.S. and Pinder, L.C.V., eds. **The Chironomidae**. Springer, Dordrecht.
- Rayan, S., Ngamsnae, P. and Ngoichansri, S. 2014. Fish community distribution in Nong Han, Sakon Nakhon province. **Khon Kaen Agriculture Journal** 42(Suppl. I.): 762-767. (in Thai)
- Rogers, D.C. 2009. Branchiopoda (Anostraca, Notostraca, Laevicaudata, Spinicaudata, Cyclestherida), pp. 242-249. *In* Likens, G.F., ed. **Encyclopedia of Inland Waters** 2. Amsterdam, Boston.
- Rosenberg, D.M. and Resh, V.H. 1993. **Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates**. Chapman and Hall, New York.
- Royal Irrigation Department. 2018. **Record of Flood Event Influencing by Tropical Storm Sonca, July 24-31, 2017**. Available Source: <http://www.thaiwater.net/current/2017/SONCAjuly2017/body.html>, October 10, 2019.
- Sakai, S., Nakaya, M., Sampei, Y., Dettman, D.L. and Takayasu, K. 2013. Hydrogen sulfide and organic carbon at the sediment - water interface in coastal brackish Lake Nakaumi, SW Japan. **Environmental Earth Sciences** 68(7): 1999-2006.
- Sangpradub, N., Inmuong, Y., Hanjavanit, C. and Inmuong, U. 1998. **Research Report no A Correlation Study between Freshwater Benthic Macroinvertebrate Fauna and Environmental Quality Factors in Nam Pong Basin Thailand Part III**. Thailand Research Fund.
- Sangpradub, N. and Boonsoong, B. 2006. **Identification of Freshwater Invertebrates of the Mekong River and its Tributaries**. Vientiane: Mekong River Commission, Lao PDR.
- Scrimgeour, G.J. and Winterbourn, M.J. 1989. Effects of floods on epilithon and benthic macroinvertebrate populations in an unstable New Zealand river. **Hydrobiologia** 171(1): 33-44.
- Soontornprasit, K. 2012. Use of aquatic insects as bioindicators of water quality in Kwan Phayao, Phayao Province. **Journal of Community Development Research** 5(1): 15-24. (in Thai)
- Sukthanapirat, R., Suttibak, S. and Jaikaew, P. 2017. Assessment of Nong Han Lake, Sakon Nakhon, Thailand by using Water Quality Index. **GMSARN International Journal** 11: 123-128.
- Supakosol, J. and Boonrawd, K. 2020. Hydrologic evaluation and effects of climate change on the Nong Han Lake Basin, northeastern Thailand. **Journal of Water and Climate Change** 11(4): 992-1000.
- Suteemeechaikul, S., Vibulsook, S. and Sricharoendham, B. 2000. **Fisheries**

- activities and catch of Nong Han swamp, Sakon Nakhon Province.** Technical paper no. 18/2000, Department of Fisheries, Bangkok. (in Thai)
- Thammakhantha, S., Choncham, A. and Saen-arsa, A. 2013. **Species composition, abundance and distribution of benthic fauna in the Sirikit Dam.** Technical paper no. 22/2013, Department of Fisheries, Bangkok. (in Thai)
- Uengjareansukarn, W and Gunbua, V. 2017. Plankton community structure in Nong Han, Sakon Nakhon Province. **Burapha Science Journal** 22(Special edition): 309-322. (in Thai)
- Usinger, L. 1963. **Aquatic Insect of California.** University of California Press. Bekerley and Los Angeles.
- van der Meer, T.V., de Baat, M.L., Verdonshot, P.F.M. and Kraak, M.H.S. 2017. Benthic invertebrate bioturbation activity determines species specific sensitivity to sediment contamination. **Frontiers in Environmental Science** 5(83): 1-5. doi: 10.3389/fenvs.2017.00083.
- Walker, I.R. 2001. Midges: Chironomidae and Related Diptera, pp. 43-66. *In* Smol, J.P., Birks, H.J.B. and Last, W.M. eds. **Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Developments in Paleoenvironmental Research vol 4.** Springer, Dordrecht.
- Wallace, J.B. and Webster, J.R. 1996. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. **Annual Review of Entomology** 41: 115-139.

**ปัจจัยอันตรายและอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ
ในการทำดอกไม้ประดิษฐ์ ของกลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้าน
บ้านดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง**

**Hazard Factors and Musculoskeletal Disorders on Making Artificial
Flowers among Home-Based Workers at Banndonfai, Maetha District,
Lampang Province**

อนิรุจน์ มะโนธรรม *

Aniruth Manothum *

Received: 4 February 2020, Revised: 25 March 2020, Accepted: 20 April 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยอันตรายและอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในการทำดอกไม้ประดิษฐ์ของกลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้าน บ้านดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง รูปแบบการวิจัยเป็นเชิงพรรณนาแบบตัดขวาง กลุ่มตัวอย่างจำนวน 164 คน สุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาได้แก่แบบสอบถามและเทคนิคการประเมินร่างกายส่วนบนแบบรวดเร็ว วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยอันตรายด้านกายภาพที่พบมากที่สุดคือ มีการทำงานเกี่ยวข้องกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีความแหลมคม (ร้อยละ 95.7) ด้านสารเคมีคือ มีการจัดเก็บสารเคมีอย่างไม่เหมาะสม (ร้อยละ 92.1) ด้านชีวภาพคือ พื้นที่ปฏิบัติงานมีความเสี่ยงเกี่ยวกับสัตว์มีพิษหรือแมลง (ร้อยละ 83.5) และด้านการยศาสตร์คือ ความสูงของเก้าอี้และสถานีงานไม่เหมาะสม (ร้อยละ 94.5) สำหรับอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ พบมากที่สุดบริเวณหลังส่วนบน (ร้อยละ 92.1) ไหล่ (ร้อยละ 89) และ หลังส่วนล่าง (ร้อยละ 84.1) จากการประเมินด้วยเทคนิคร่างกายส่วนบนแบบรวดเร็ว พบว่ามีคะแนนเท่ากับ 7 หมายถึงมีท่าทางขณะทำงานไม่เหมาะสม มีความเสี่ยงสูงต้องได้รับการปรับปรุง ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าผู้มีส่วนได้เสียต้องตระหนักถึงปัญหาที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยอันตรายและโรคจากการทำงาน รวมทั้งนำข้อมูลที่ได้ไปสู่การส่งเสริมสุขภาพของกลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้าน

คำสำคัญ: ปัจจัยอันตราย, อาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ, ผู้รับงานไปทำที่บ้าน

สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

Department of Industrial Arts, Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University, Mueang, Lampang 52100, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): aniruth_m@hotmail.com

ABSTRACT

This study aimed to investigate hazard factors and musculoskeletal disorders (MSDs) on making artificial flowers among home-based workers at Banndonfai, Maetha District, Lampang Province. The study was a cross-sectional descriptive study. The participants consisted of 164 workers who were selected by purposive sampling technique. The instruments of the study were a questionnaire and rapid upper limb assessment (RULA) techniques. Descriptive statistics were used to carry out the analyses. The results revealed that the most common hazard regarding physical factors, chemical factors, biological factors and ergonomics factors were working with sharp tools (95.7%), improper chemicals storage (92.1%), danger from venomous insects and animals in workplace (83.5%), and improper seat height (94.5%), respectively. In addition, the most common MSDs was found in upper back (92.1%), shoulders (89%), and lower back (84.1%). The result from RULA techniques was 7 scores indicating poor working posture at high risk that required improvement. The results demonstrated that the stakeholder must be aware of problems related to hazard factors and occupational diseases together with promote the health of their home-based workers due to the information obtained.

Key words: hazard factors, musculoskeletal disorders, home-based workers

บทนำ

กลุ่มอาชีพทำดอกไม้ประดิษฐ์ถือเป็นกลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้าน (Home-Based Workers) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มแรงงานนอกระบบ (Informal Workers) ที่กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางทั้งในและต่างประเทศ อาทิ องค์การแรงงานระหว่างประเทศ (International Labour Organization: ILO) ซึ่งได้ให้ความสำคัญกับรูปแบบของ “งานที่มีคุณค่า (Decent Work)” ซึ่งหมายถึงการจ้างงานของลูกจ้างที่เป็นธรรมและการได้รับความคุ้มครองทางสังคม รวมถึงการยกระดับคุณภาพชีวิตในการทำงานอย่างยั่งยืน (ILO, 2013) สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ของรัฐบาลไทยที่มุ่งเน้นการพัฒนาศักยภาพทรัพยากรมนุษย์ ว่าด้วยมิติของการเสริมสร้างให้คนไทยมีสุขภาวะที่ดี สร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการมีสุขภาวะ รวมทั้งการสนับสนุนให้ชุมชนเป็นฐานในการสร้างสุขภาวะที่ดีในทุกพื้นที่ (Office of the

National Economics and Social Development Council, 2018) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันแรงงานกลุ่มดังกล่าวยังคงประสบกับอันตรายจากการทำงานและเผชิญสภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยง อาทิ มีชั่วโมงการทำงานที่ยาวนาน ทำทางและอิริยาบถการทำงานที่ไม่เหมาะสม ประกอบกับรูปแบบการทำงานที่มีข้อจำกัดในการเข้าถึงการให้บริการด้านสาธารณสุขจากภาครัฐ ส่งผลให้กลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้านมีโอกาสในการสัมผัสปัจจัยอันตรายจากการทำงาน โดยเฉพาะการได้รับบาดเจ็บและอาการทางระบบโครงร่างกล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal Disorder: MSDs) ที่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่จะเกิดจากการทำงานที่มีปัจจัยเสี่ยงด้านการยศาสตร์ ซึ่งมีความแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะงานของแต่ละอาชีพ ถึงแม้ว่าการทำงานบางประเภทจะไม่มีอาการออกแรงมากนัก และเป็นการทำงานแบบอยู่กับที่ก็อาจจะเป็นสาเหตุให้เกิดความเจ็บปวดเฉพาะที่ได้

และถ้าต้องทำงานซ้ำเช่นเดียวกันทุกวันเป็นระยะเวลานานก็อาจเกิดความเจ็บปวดถาวรและความเสื่อมของกล้ามเนื้อนั้น โดยอาจรวมไปถึงข้อต่อ เอ็น และเนื้อเยื่ออื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียง (Pomsunthia *et al.*, 2016) นอกจากนี้ยังรวมถึงความเสี่ยงจากการใช้สารเคมีและเครื่องจักร/อุปกรณ์ที่เป็นอันตรายขณะปฏิบัติงาน จากผลการสำรวจของสำนักงานสถิติแห่งชาติ พ.ศ. 2561 พบว่าจากจำนวนผู้ปฏิบัติงานทั้งหมด 38.3 ล้านคนในประเทศไทย เป็นแรงงานนอกระบบหรือผู้ปฏิบัติงานที่ไม่ได้รับความคุ้มครองหรือหรือไม่มีหลักประกันทางสังคม 21.2 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 55.3 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2560 ที่มี 20.8 ล้านคน นอกจากนี้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับค่าตอบแทนแล้วยังพบว่าปัญหาด้านสภาพแวดล้อมในการทำงานเป็นสิ่งที่แรงงานต้องเผชิญอย่างต่อเนื่อง เช่น ปัญหาจากอิริยาบถการทำงาน ร้อยละ 43.4 การสัมผัสฝุ่นควัน กลิ่น ร้อยละ 27.4 และมีแสงสว่างที่ไม่เพียงพอ ร้อยละ 14.6 ในส่วนปัญหาของความไม่ปลอดภัยในการทำงานที่ประสบเป็นส่วนใหญ่คือการได้รับสารเคมีที่เป็นพิษร้อยละ 63.6 เครื่องจักรเครื่องมือที่เป็นอันตรายร้อยละ 20.7 และได้รับอันตรายต่อระบบหู ตา ร้อยละ 5.2 เป็นต้น (National Statistical Office, 2018) สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับอาการระบบทางเดินหายใจของกลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้าน พบว่ากลุ่มแรงงานอาชีพดอกลำไยประดิษฐ์มีความเสี่ยงในการปฏิบัติงาน เช่น การสัมผัสฝุ่นเข้าสู่ร่างกายโดยตรง เป็นต้น (Mankijkarn and Tantipanaporn, 2017)

จังหวัดลำปางเป็นจังหวัดหนึ่งของภาคเหนือที่มีจำนวนแรงงานนอกระบบเกินกว่าครึ่งหนึ่ง

(ร้อยละ 63.60) ของผู้ปฏิบัติงานทั้งสิ้น 406,033 คน (Lampang Provincial Statistical Office, 2018) บ้านดอนไฟ อำเภอแม่ทะ เป็นหนึ่งในพื้นที่ของจังหวัดลำปางที่นอกจากชุมชนส่วนใหญ่จะประกอบอาชีพเกษตรกรรมแล้ว ยังมีอาชีพเสริมที่สามารถสร้างงานและรายได้ให้กับชุมชนคือผู้รับงานไปทำที่บ้านกลุ่มอาชีพทำดอกลำไยประดิษฐ์ โดยจากการสำรวจเบื้องต้นพบว่า ลักษณะการทำงานของสมาชิกกลุ่มจะกระจายตัวอย่างอิสระตามพื้นที่ต่าง ๆ ของหมู่บ้าน สมาชิกจะรับวัสดุอุปกรณ์ในการประดิษฐ์ดอกลำไยจากผู้นำกลุ่มมาทำการผลิตที่บ้านของตนเองซึ่งดัดแปลงที่อยู่อาศัยหรือใช้บริเวณบ้านมาเป็นสถานที่ปฏิบัติงาน และส่งผลผลิตคืนเมื่อทำงานเสร็จสิ้นตามคำสั่ง จากสภาพการณ์ดังกล่าวทำให้เห็นว่ากลุ่มแรงงานในชุมชนมีโอกาสที่จะสัมผัสความเสี่ยงด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงานที่ส่งผลกระทบต่อตนเองรวมถึงสมาชิกในครอบครัวที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมด้วยกันเป็นจำนวนมาก จากสถานการณ์เบื้องต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปัจจัยอันตรายและความผิดปกติของกลุ่มอาการ MSDs และประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของผู้รับงานไปทำที่บ้านกลุ่มอาชีพทำดอกลำไยประดิษฐ์บ้านดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง เพื่อนำผลที่ได้เป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถวางแผนและจัดรูปแบบการเฝ้าระวังด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ลดความเสี่ยงในการทำงาน เพื่อให้แรงงานกลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้านได้รับการดูแลอย่างเป็นระบบและสอดคล้องกับสถานการณ์ที่เป็นจริงต่อไป



ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ดอกไม้ประดิษฐ์กลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้าน บ้านดอนไผ่ จังหวัดลำปาง

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือกลุ่มแรงงานผู้รับงานไปทำที่บ้านกลุ่มอาชีพทำดอกไม้ประดิษฐ์ บ้านดอนไผ่ อำเภอมะเข่ จังหวัดลำปาง ซึ่งมีจำนวนประชากรทั้งหมด 306 คน กำหนดขนาดตัวอย่างจากตารางขนาดกลุ่มตัวอย่างของเกรจซีร์และมอร์แกน (Krejcie and Morgan, 1970) ที่ระดับความคลาดเคลื่อน 0.05 คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ผู้วิจัยเก็บข้อมูลตามคุณสมบัติที่กำหนด คือ คราวเรือนละ 1 คน มีประสบการณ์ในการรับงานไปทำที่บ้านไม่น้อยกว่า 1 ปี และเป็นอาสาสมัครที่มีความพร้อมในการเข้าร่วมโครงการ พบกลุ่มตัวอย่างที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด จำนวน 164 คน

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วย (1) แบบสอบถาม แบ่งเป็น ข้อมูลทั่วไป และข้อมูลเพื่อประเมินปัจจัยอันตรายจากการทำงาน พัฒนาจากกองโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม (Bureau of Occupational and Environmental Diseases, 2019) (2) แบบสำรวจอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูก ในส่วนต่างๆ ของร่างกาย 12 ส่วน พัฒนาจาก Standardized Nordic Questionnaire (Kuorinka *et al.*, 1987) (3) แบบฟอร์มการประเมินร่างกายส่วนบนแบบเร็ว (RULA) ที่ประยุกต์จากแบบประเมิน RULA Employee Assessment Worksheet (McAtamney and Corlett, 1993) เครื่องมือถูกทดสอบคุณภาพความตรงเชิงเนื้อหา (Content

Validity Index: CVI) โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มีค่าเท่ากับ 0.96

4. การเก็บข้อมูลและบันทึกผล

1) ผู้วิจัยประสานความร่วมมือไปยังผู้มีส่วนได้เสียในชุมชนเพื่อขอความร่วมมือในการศึกษาวิจัย

2) ผู้วิจัยศึกษาข้อมูล/สำรวจพื้นที่จริงในเบื้องต้น อาทิ สภาพชุมชน กลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้าน และกระบวนการทำงาน เพื่อประเมินบริบทของพื้นที่จริงตามขอบเขตการศึกษา

3) ผู้วิจัยเก็บข้อมูล อาทิ (1) การสัมภาษณ์ข้อมูลทั่วไปและปัจจัยอันตราย 4 ปัจจัย ประกอบด้วย ภาวะกายภาพ (Physical Hazards) เคมี (Chemical Hazards) ชีวภาพ (Biological Hazards) และการยศาสตร์ (Ergonomics Hazards) (2) อาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูก และ (3) การประเมินด้านการยศาสตร์ด้วยเทคนิค RULA โดยบันทึกท่าทางการทำงานของกลุ่มตัวอย่างด้วยกล้องบันทึกภาพและวิเคราะห์ท่าทางการทำงานเป็นตัวเลขตามแบบฟอร์ม RULA โดยมีค่าระดับคะแนน 1-7

4) ตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของข้อมูลที่ต้องการ

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะใช้โปรแกรม Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) ได้แก่การแจกแจงความถี่ และร้อยละ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การศึกษารั้วนี้มีกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงจำนวน 164 คน จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม SPSS โดยใช้สถิติพรรณนาพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีอายุมากกว่า 60 ปี มากที่สุด (ร้อยละ 56.10) มีประสบการณ์การทำงานอยู่ในช่วง 1-5 ปี (ร้อยละ 52.40) กลุ่มตัวอย่างจบการศึกษาในระดับประถมศึกษา (ร้อยละ 79.30) และไม่เคยได้รับการอบรมด้านความปลอดภัยในการทำงาน (ร้อยละ 95.70) รายละเอียดผลการวิจัย ดังนี้

1. การสัมผัสปัจจัยอันตรายในการทำงานตามการรับรู้ของกลุ่มตัวอย่าง

สำหรับปัจจัยอันตรายในการทำงานตามการรับรู้ของกลุ่มตัวอย่างพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการสัมผัสปัจจัยอันตรายในการทำงานด้านกายภาพ ได้แก่ ทำงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ/อุปกรณ์ที่มีความแหลมคม (ร้อยละ 95.70) การสัมผัสปัจจัยด้าน

สารเคมี ได้แก่ มีการจัดเก็บสารเคมีอย่างไม่เหมาะสม (ร้อยละ 92.10) การสัมผัสปัจจัยด้านชีวภาพ ได้แก่ พื้นที่ปฏิบัติงานมีความเสี่ยงเกี่ยวกับสัตว์หรือแมลงมีพิษ (ร้อยละ 83.50) และการสัมผัสปัจจัยด้านการยศาสตร์ ได้แก่ ความสูงเก้าอี้/สถานีงาน ไม่เหมาะสม (ร้อยละ 94.50) ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งประเด็นดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ ILO (2015) ที่กล่าวว่า กลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้านต้องเผชิญกับความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการประกอบอาชีพที่หลากหลาย เช่น ชั่วโมงการทำงานที่ยาวนาน ทำางการทำงานที่ไม่เหมาะสม การสัมผัสสิ่งแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เช่น ฝุ่น เสียงรบกวน แสงสว่าง การระบายอากาศ สภาพอากาศที่ชื้นโดยปราศจากอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล นอกจากนี้ยังต้องสัมผัสกับสารเคมีอันตรายที่อาจทำให้เกิดปัญหาสุขภาพสำหรับตนเองและสมาชิกในครัวเรือน (International Labour Organization, 2015)

ตารางที่ 1 การสัมผัสปัจจัยอันตรายในการทำงานตามการรับรู้ของกลุ่มตัวอย่าง (n = 164)

ปัจจัยอันตรายในการทำงาน	มี	ไม่มี
	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)
ด้านกายภาพ		
ทำงานในสภาพการทำงานที่มีแสงสว่างไม่เหมาะสม	74 (45.10)	90 (54.90)
มีการใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทำงานที่ไม่เหมาะสม	148 (90.20)	16 (9.80)
พื้นที่ปฏิบัติงานคับแคบ ไม่สะดวกกับการทำงาน	28 (17.10)	136 (82.90)
การจัดเก็บ จัดวางสิ่งของ/อุปกรณ์การทำงานไม่เหมาะสม	138 (84.10)	26 (15.90)
ทำงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ/อุปกรณ์ที่มีความแหลมคม	157 (95.70)	7 (4.30)
ด้านสารเคมี		
มีการใช้สารเคมีในการทำงาน	133 (81.10)	31 (18.90)
มีการจัดเก็บสารเคมีอย่างไม่เหมาะสม	151 (92.10)	13 (7.90)
มีป้าย ฉลาก ที่บ่งบอกรายละเอียดความเป็นอันตรายของสารเคมี	33 (20.10)	131 (79.90)
ขณะปฏิบัติงานมีการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากสารเคมี	15 (9.10)	149 (90.90)
ด้านชีวภาพ		
พื้นที่ทำงานมีความเสี่ยงเกี่ยวกับปัญหาเรื่องเชื้อโรคต่างๆ	30 (18.30)	134 (81.70)

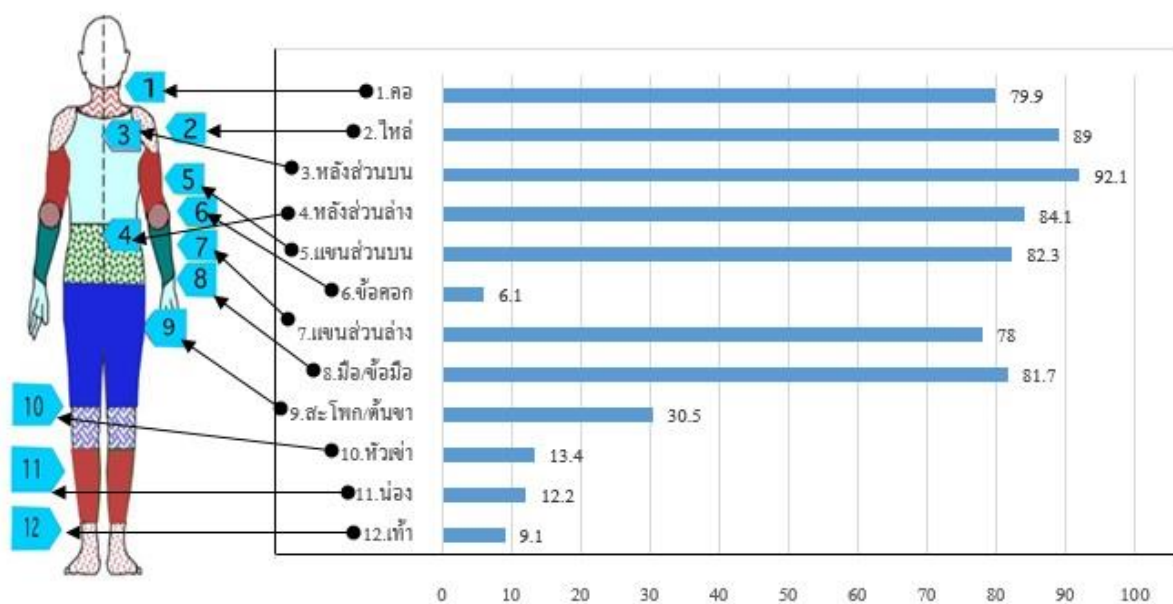
ตารางที่ 1 (ต่อ)

ปัจจัยอันตรายในการทำงาน	มี	ไม่มี
	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)
พื้นที่ปฏิบัติงานมีความเสี่ยงเกี่ยวกับสัตว์หรือแมลงมีพิษ	137 (83.50)	27 (16.50)
ด้านการยศาสตร์		
ทำงานด้วยจังหวะที่รวดเร็ว/เร่งรีบ	97 (59.10)	67 (40.90)
ออกแรงซ้ำที่ข้อมือและแขน	100 (61.00)	64 (39.00)
ความสูงเก้าอี้/สถานีงาน ไม่เหมาะสม	155 (94.50)	9 (5.50)

2. อาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อของกลุ่มตัวอย่าง

จากผลการสำรวจความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในการทำดอกไม้ประดิษฐ์ของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มผู้รับ

งานไปทำที่บ้านส่วนใหญ่มีอาการปวดบริเวณหลังส่วนบน (ร้อยละ 92.1) รองลงมาปวดที่ไหล่ (ร้อยละ 89) หลังส่วนล่าง (ร้อยละ 84.1) และ แขนส่วนบน (ร้อยละ 82.3) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 อาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อของกลุ่มตัวอย่าง

จากภาพที่ 2 กลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้านส่วนใหญ่มีอาการปวดบริเวณหลัง และไหล่ ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากลักษณะงานในช่วงเวลาขณะประกอบชิ้นงาน (การประกอบและตกแต่งดอกไม้ประดิษฐ์) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ท่าทางการทำงานที่ซ้ำๆ และ

ทำอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้กลุ่มตัวอย่างมีการนั่งปฏิบัติงานบนสถานีงาน/เก้าอี้ที่ไม่เหมาะสม โดยจะปรับเปลี่ยนไปตามสภาพพื้นที่ที่เป็นอยู่ ลักษณะการปฏิบัติงานดังกล่าวบางครั้งจะมีการเกร็งและโน้มตัวไปข้างหน้าเพื่อปรับสมดุลระหว่างร่างกายและสถานี

งาน/อุปกรณ์การทำงาน สอดคล้องกับผลการศึกษาของกลุ่มแรงงานนอกระบบกลุ่มเย็บผ้าสำเร็จรูปที่พบว่ามักมีอาการผิดปกติหรือปวดบริเวณหลังและไหล่ เนื่องจากมีลักษณะการทำงานที่ใช้ท่าทาง/อิริยาบถที่ไม่เหมาะสม เช่น การเอื้อมมือหยิบจับอุปกรณ์โดยมีลักษณะการหมุนมือขณะเย็บและมีกิจกรรมที่ต้องใช้แรงกายที่ทำอย่างต่อเนื่องและยาวนาน (Chaiklieng *et al.*, 2017) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของกลุ่มแรงงานผู้ทำหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผาเพสหญิง จังหวัดสุโขทัย ซึ่งพบว่า แรงงานกลุ่มดังกล่าวมีความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกบริเวณหลังและไหล่มากที่สุด ซึ่งสืบเนื่องมาจากท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสมระหว่างปฏิบัติงาน (Kentawai *et al.*, 2019) และในภาพรวมอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในหลายประเทศ (Keawnual *et al.*, 2017)

อย่างไรก็ตาม จากข้อสังเกตพบว่าแม้ประสบการณ์ในการทำงานของกลุ่มตัวอย่างค่อนข้างน้อยคืออยู่ในช่วง 1-5 ปี (ร้อยละ 52.40) แต่อายุของกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ มีอายุมากกว่า 60 ปี (ร้อยละ 56.10) และเป็นเพศหญิงทั้งหมด ประกอบกับต้องทำงานในท่าทางและอิริยาบถที่ไม่เหมาะสม ขณะปฏิบัติงานมีการก้มและโน้มลำตัวไปด้านหลัง และมีการเคลื่อนไหวซ้ำๆ จึงเป็นสาเหตุส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดกลุ่มอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบในแรงงานนอกระบบฯ ที่คนงานส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุเฉลี่ยวัยกลางคนจนถึงสูงอายุ รวมถึงมีการนั่งทำงานในท่าทางที่ไม่เหมาะสมขณะทำงานเป็นเวลานานๆ โดยพบว่าแรงงานกลุ่มดังกล่าวมีปัญหาเกี่ยวกับความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อได้มาก (Sungkhabut and Chaiklieng, 2011)

3. การประเมินท่าทางการทำงานด้วยเทคนิคการประเมินร่างกายส่วนบนแบบรวดเร็ว (RULA)

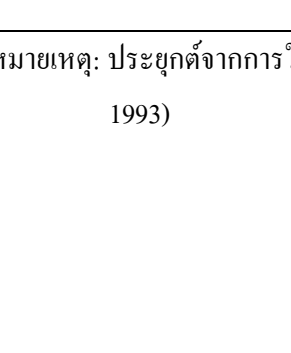
ภาพรวมของการประเมินร่างกายส่วนบนแบบรวดเร็ว (RULA) ในการทำดอกไม้ประดิษฐ์ของกลุ่มตัวอย่างพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีท่าทางขณะทำงานอยู่ในระดับความเสี่ยงสูง มีคะแนนระดับ 7 หมายถึงควรได้รับการปรับปรุงทางด้านการยศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยจากการสังเกตอย่างต่อเนื่อง พบว่ากลุ่มแรงงานจะมีท่าทางการทำงานที่ไม่สมดุลโดยช่วงลำตัว-แขน-มือ มีการเคลื่อนไหวบิดไปมาเพื่อประกอบและตกแต่งดอกไม้ประดิษฐ์ ประกอบกับสถานที่ที่ไม่เหมาะสมทำให้ต้องพยายามสร้างสมดุลระหว่างร่างกายและสถานที่ สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความเมื่อยล้าและความเสี่ยงจากท่าทางการทำงานในพนักงานประกอบข้อต่อที่พบว่า ก่อนทำการปรับปรุงสถานที่มีค่าคะแนนจากการประเมินด้วยเทคนิค RULA เท่ากับ 7 โดยเป็นผลมาจากการสัมผัสความเสี่ยงด้าน การยศาสตร์จากภาระงานที่ทำซ้ำๆ และท่าทางการทำงานที่ฝืนธรรมชาติ (Sirirat and Taptapaporn, 2017) และนอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยเกี่ยวกับการประเมินภาวะทางกายศาสตร์ของเกษตรกรฯ ที่มีค่าคะแนนของ RULA เท่ากับ 7 ซึ่งกลุ่มแรงงานดังกล่าวมีท่าทางในลักษณะที่ฝืนธรรมชาติ อีกทั้งยังมีการทำงานเป็นแบบซ้ำๆ และมีการเคลื่อนไหวไปมาอย่างต่อเนื่อง (Madtharak, 2018)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติม พบว่า ส่วนหนึ่งของปัญหาทางกายศาสตร์ที่ส่งผลให้ระดับคะแนนจากการประเมินด้วยเทคนิค RULA มีค่าความเสี่ยงสูงมาจากสถานที่-เก้าอี้ที่นั่งที่ไม่เหมาะสมทำให้กลุ่มตัวอย่างเมื่อต้องนั่งทำงานเป็นระยะเวลานานจะไม่สามารถปรับเปลี่ยนอิริยาบถ จึงส่งผลให้เกิดท่าทางการนั่งทำงานที่ไม่เหมาะสมและนำไปสู่ปัญหาความเมื่อยล้าในการทำงานได้

สอดคล้องกับผลการศึกษาวิจัยในกลุ่มทอผ้าไหม
จังหวัดสุรินทร์ ที่พบว่าการทำงานที่ไม่เหมาะสม
โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางอาจนำไปสู่อาการ
เมื่อยล้าในส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

เมื่อต้องทำงานบนเก้าอี้ที่มีลักษณะไม่เหมาะสม
พร้อมทั้งส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลง
(Niyomphant, 2014)

ตารางที่ 2 การประเมินร่างกายส่วนบนแบบรวดเร็ว RULA ในขั้นตอนการประกอบดอกไม้ประดิษฐ์ของกลุ่ม
ตัวอย่าง

กิจกรรมการ ประกอบดอกไม้ ประดิษฐ์	การประเมินด้วยเทคนิค RULA	คะแนน
	ขั้นตอนที่ 1 ระดับของแขนช่วงบนอยู่ด้านหน้า ระหว่าง 45-90 องศา มีคะแนนคือ 3 และมีการยกไหล่ จึงเพิ่มอีก 1 คะแนน คะแนนรวมคือ 4	4
	ขั้นตอนที่ 2 แขนส่วนล่างมีการเคลื่อนไหว ยกขึ้นด้านบนท่ามุดตั้งแต่ 100 องศา (เทียบกับแนวตั้ง) มีคะแนนคือ 2	2
	ขั้นตอนที่ 3 มือและข้อมือมีการเคลื่อนไหว มุดตั้งแต่ 15 องศา มีคะแนนคือ 2 และเบี่ยงข้อมือ (ซ้าย-ขวา) จึงเพิ่มอีก 1 คะแนน คะแนนรวมคือ 3	3
	ขั้นตอนที่ 4 ขณะทำงานมีการบิดข้อมือ มีคะแนนคือ 2	2
	ขั้นตอนที่ 5 จากขั้นตอนที่ 1-4 สามารถแปลผลรวม มีคะแนนคือ 5	5
	ขั้นตอนที่ 6 มีท่าทางการเคลื่อนไหวแบบซ้ำๆ มากกว่า 3 ครั้ง/นาที มีคะแนนคือ 1	1
	ขั้นตอนที่ 7 น้ำหนักที่ถือชิ้นงานน้อยกว่า 2 กก. มีคะแนนคือ 0	0
	ขั้นตอนที่ 8 จากขั้นตอนที่ 5-7 สามารถแปลผลรวม มีคะแนนคือ 6	6
	ขั้นตอนที่ 9 ศีรษะก้มไปข้างหน้า มุมระหว่าง 10-20 องศา มีคะแนนคือ 3	3
	ขั้นตอนที่ 10 ลำตัวมีการเอนไปด้านหน้า มุมระหว่าง 0-20 องศา มีคะแนนคือ 2 และบางครั้งมีการเอียงลำตัว จึงเพิ่มอีก 1 คะแนน คะแนนรวมคือ 3	3
	ขั้นตอนที่ 11 ท่าทางการนั่ง (ขาและเท้า) อยู่บนพื้นที่ที่ไม่รองรับ มีคะแนนคือ 2	2
	ขั้นตอนที่ 12 จากขั้นตอนที่ 9-11 สามารถแปลผลรวม มีคะแนนคือ 5	5
	ขั้นตอนที่ 13 มีท่าทางที่ซ้ำซาก มากกว่า 3 ครั้ง/นาที มีคะแนนคือ 1	1
	ขั้นตอนที่ 14 มีการออกแรงน้อยกว่า 2 กก. มีคะแนนคือ 0	0
	ขั้นตอนที่ 15 จากขั้นตอนที่ 12-14 สามารถแปลผลรวม มีคะแนนคือ 6	6
	ขั้นตอนที่ 16 จากขั้นตอนที่ 8 และ 15 สามารถแปลผลรวม มีคะแนนคือ 7	7

หมายเหตุ: ประยุกต์จากการใช้แบบประเมิน RULA Employee Assessment Worksheet (McAtamney and Corlett, 1993)

สรุป

การศึกษาปัจจัยอันตรายและอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในการทำดอกไม้ประดิษฐ์ของกลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้าน บ้านดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง พบว่า ปัจจัยอันตรายด้านสภาพที่พบมากที่สุดคือ มีการทำงานเกี่ยวข้องกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีความแหลมคม (ร้อยละ 95.7) ด้านสารเคมีคือ มีการจัดเก็บสารเคมีอย่างไม่เหมาะสม (ร้อยละ 92.1) ด้านชีวภาพคือ พื้นที่ปฏิบัติงานมีความเสี่ยงเกี่ยวกับสัตว์มีพิษหรือแมลง (ร้อยละ 83.5) และด้านการยศาสตร์คือ ความสูงของเก้าอี้และสถานีงานไม่เหมาะสม (ร้อยละ 94.5) ในส่วนความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ พบมากที่สุดที่บริเวณหลังส่วนบน ไหล่ และหลังส่วนล่าง ตามลำดับ ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่มาจากการใช้ท่าทางการทำงานที่ซ้ำซากและทำงานบนสถานีงาน/เก้าอี้ทำงานที่ไม่เหมาะสม ประกอบกับลักษณะงานเป็นงานหัตถกรรมต้องใช้ทักษะและระยะเวลาการทำงานติดต่อกันยาวนาน ผลการประเมินด้วยเทคนิค RULA พบว่ามีค่าเท่ากับ 7 ซึ่งหมายถึงมีปัญหาทางการยศาสตร์ต้องได้รับการปรับปรุงโดยทันที สำหรับการศึกษาครั้งต่อไปควรใช้เครื่องมือด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรมเพื่อทำการประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ในเชิงปริมาณมากขึ้นเพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูล โดยผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่ากลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้านมีความเสี่ยงในการสัมผัสปัจจัยอันตรายและอาจนำไปสู่อุบัติเหตุและโรคจากการทำงาน หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรส่งเสริมให้มีแนวทางด้านความปลอดภัยในการทำงาน อบรมและสร้างความรู้ความเข้าใจเพื่อนำไปสู่มาตรฐานด้านอาชีพ อนามัยและความปลอดภัยอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง สำหรับทุนสนับสนุนงานวิจัย และขอขอบคุณกลุ่มผู้รับงานไปทำที่บ้าน บ้านดอนไฟ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง สำหรับความร่วมมืออย่างดียิ่ง รวมทั้งขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้แนะนำตลอดระยะเวลาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Bureau of Occupational and Environmental Diseases. 2019. **Documents Related to the Implementation of Surveillance, Prevention, Control of Diseases and Health Hazards from Occupations of Informal Workers / Agricultural Sector.** Available Source: <http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view/414>, December 12, 2019.
- Chaiklieng, S., Kampong, T. and Poochada, W. 2017. Health Risk Assessment on Exposure to Ergonomics Factors among Informal Garment Workers. **The Public Health Journal of Burapha University** 12(1): 99-111.
- International Labour Organization (ILO). 2013. **Decent Work Indicators.** International Labour Office, Switzerland.
- International Labour Organization (ILO). 2015. **Home-Based Workers: Decent Work and Social Protection Through Organization and Empowerment.** International Labour Office, Jakarta.

- Keawnual, A., Lohapoontagoon, B. and Pochana, K. 2017. Prevalence of Work-Related Musculoskeletal Disorders in Various Occupations. **The Public Health Journal of Burapha University** 12(2): 53-64.
- Kentawai, W., Kongtawelert, A., Sujirarat, D. and Bhuanantanondh, P. 2019. Prevalence of Musculoskeletal Disorders among Female Pottery Workers in Khiri Mat, Sukhothai Province, Thailand. **Journal of Science and Technology Mahasarakham** 38(3): 282-291.
- Krejcie, R.W. and Morgan, D.W. 1970. Determining Sample Size for Research Activities. **Education and Psychological Measurement** 30(1): 607-610.
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Bierring-Sorensen, F. and Andersson, G. 1987. Standardized Nordic Questionnaires for the Analysis of Musculoskeletal Symptoms. **Applied Ergonomic** 18(3): 233-237.
- Lampang Provincial Statistical Office. 2018. **The Informal Employment Survey 2018**. Available Source: http://lampang.nso.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=321:25611&catid=105&Itemid=65 7, January 9, 2020.
- Madtharak, W. 2018. Working Loss Reduction of Para Rubber Plantation Farmers Using Ergonomics Assessment: A Case Study in Manung District, Stun Province Area. **The Journal of Industrial Technology** 14(1): 13-21.
- Mankijkarn, P. and Tantipanaporn, T. 2017. Factors Related to Respiratory Symptoms of Home-Based Workers: A Case Study of Handmade Cotton Flower Workers in Promburi District, Singburi Province. **Journal of Safety and Health** 10(36): 34-45.
- McAtamney, L. and Corlett, E.N. 1993. Rula: A Survey Method for the Investigation of Work-Related Upper Limb Disorders. **Applied Ergonomics** 24(2): 91-99.
- National Statistical Office. 2018. **The Informal Employment Survey 2018**. Publications, Labor Statistics Group, National Statistical Office, Bangkok.
- Niyomphant, S. 2014. Design and Work Improvement by Ergonomics Principles: A Case Study of the Woven Gold Brocade Textile of Tha Sawang Village at Surin Province. Master's Thesis in Industrial Engineering, Ubon Ratchathani University.
- Office of the National Economics and Social Development Council (NESDB). 2018. **National Strategy 2018-2037**. Publications, Office of the Secretary of the National Strategy Board, Bangkok.
- Pomsunthia, K., Seaping, C., Thongngam, N., Sanguansitthikul, P., Rahong, S., Poomchaveng, S., Jantaluk, A. and Yingratanasuk, T. 2016. Factors Related to Musculoskeletal Disorders among Fishery Workers at Angsila Pier, Chon Buri Province, pp. 1-13. *In Thailand National*

- Ergonomics Conference 2016.** Ergonomics Society of Thailand, Thammasat University.
- Sirirat, K. and Taptapaporn, S. 2017. Work Improvement to Reduce Fatigue and Working Posture Risks: A Case Study of Staff in the Joints Assembly Process. **Thai Journal of Ergonomics** 1(1): 1-7.
- Sungkhabut, W. and Chaiklieng, S. 2011. Musculoskeletal Disorders among Informal Sector Workers of Hand-Operated Rebar Bender: A Pilot Study. **Srinagarind Medical Journal** 26(3): 225-232.

การพัฒนาชุดติดตั้งเฟืองแพลนเนตารีสำหรับดุมล้อวีลแชร์ ตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย

Development of Planetary Gear Set Mounting for Wheelchair Hubs By Principle Reverse Engineering

นราพงศ์ ช่วยชัย^{1*} อนันตกุล อินทรผดุง² ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน³ และ ดุษณี สุภววรรณกุล²

Narapong Chuaychai^{1*}, Anantakul Intarapadung², Prasert Wirotcheewan³ and Dusanee Supawantanakul²

Received: 21 January 2020, Revised: 30 September 2020, Accepted: 8 December 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดติดตั้งเฟืองแพลนเนตารี (Planetary Gear) สำหรับดุมล้อวีลแชร์ ตามหลักวิศวกรรมย้อนรอยมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังนี้ การศึกษาสภาพการใช้งานวีลแชร์โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้งานวีลแชร์ด้วยวิธีการสัมภาษณ์ถึงกระบวนการใช้งานวีลแชร์ในชีวิตประจำวัน อุปสรรคในการขับเคลื่อนวีลแชร์ในสภาพพื้นที่ขรุขระ พื้นที่ราวยรวมถึงทางลาดเอียง แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์สังเคราะห์เพื่อพัฒนากระบวนการขับเคลื่อน เพื่อช่วยให้ผู้ใช้วีลแชร์ใช้กำลังแขนลดลงจากการเข็นวีลแชร์ โดยการพัฒนาชุดดุมล้อทดแรงต้นแบบ ศึกษากระบวนการทำงานของชุดเฟืองที่ช่วยในการทดแรงโดยเลือกใช้ชุดเฟืองแพลนเนตารีออกแบบและติดตั้งภายในดุมล้อวีลแชร์ จำลองการทำงานชุดดุมล้อทดแรงด้วยคอมพิวเตอร์ (CAD) วิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบดุมล้อวีลแชร์แบบมาตรฐาน จากการศึกษาและพัฒนาชุดดุมล้อทดแรงต้นแบบ โดยการขยายดุมล้อให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 190 มิลลิเมตร ภายในดุมล้อยึดติดกับเฟืองวงแหวน (Ring Gear) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 130 มิลลิเมตร ภายในเฟืองวงแหวนมีชุดเฟืองแพลนเนตารี (Planetary Gear) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร มีจำนวน 3 เฟือง และเฟืองตัวกลาง (Sun Gears) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร ประกอบเป็นชุดเฟืองทดแรงติดตั้งภายในดุมล้อวีลแชร์ ช่วยในการทดแรงจากการเข็นวีลแชร์ ผลการทดลองใช้เปรียบเทียบดุมล้อวีลแชร์แบบมาตรฐานกับดุมล้อวีลแชร์ทดแรงต้นแบบ กับกลุ่มตัวอย่างประเมินผลความพึงพอใจและประเมินความเจ็บปวดกับผู้ใช้วีลแชร์

¹ สาขาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

¹ Department of Technology Management, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220, Thailand.

² คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

² Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220, Thailand.

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800

³ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok 10800, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): ponk1976@gmail.com

จำนวน 50 คน พบว่า คู่มือวีลแชร์ทดแรงดันแบบให้น้ำหนักเบากว่าในการเข็นขึ้นทางลาดชันและจากการประเมินความเจ็บปวด พบว่า คู่มือทดแรงดันแบบให้ความรู้สึกเจ็บปวดน้อยกว่าจากการเข็นในทางขรุขระและในทางที่เป็นพื้นทราย

คำสำคัญ: ชุดเฟืองแพลนเนตารี, วิศวกรรมย้อนรอย, คู่มือวีลแชร์, ระบบขับเคลื่อน, การทดแรง

ABSTRACT

The purpose of the study was to develop the planetary gear installation set used to control the wheelchairs based on reverse engineering principles. It consisted of the following procedures. First, study the use of wheelchairs from the users through the interview relating to the use of the wheelchairs in daily life and problems in moving the wheelchairs on rough surfaces, sand, and slopes. Second, analyze and synthesize the data to develop the driving procedures which would enable the wheelchair users to reduce the arm force. Next, develop the prototype reduction wheelchair hubs. Then study the system of the gear set that helped reduce the force through the use of the planetary gear set with its design and install it in the wheelchair hubs. After that, simulate the work of the reduction wheelchair hubs with computer (CAD) by analyzing and comparing the standard wheelchair hubs and the developed reduction wheelchair hub prototype which expanded the wheelchair hub to the diameter of 190 millimeters in the wheelchair hub attached with the ring gear with a diameter of 130 millimeters. In the ring gear, there was a planetary gear with the diameter of 40 millimeters for 3 gears and a sun gear with the diameter of 60 millimeters. They were assembled to make a reduction gear set to be installed in the wheelchair hubs which could reduce the effort required to use the wheelchairs. Participants were 50 wheelchair-users who were surveyed regarding their satisfaction and their pains after they used the standard wheelchair hubs and the prototype reduction wheelchair hubs. The comparing results indicated that the prototype of reduction wheelchair hubs required less effort to use the wheelchairs on the slope. Moreover, the results pertaining to their pain assessment were found less on rough surfaces and sand.

Key words: planetary gear set, reverse engineering, wheelchair hub, drive system, testing

บทนำ

วีลแชร์เป็นอุปกรณ์เครื่องช่วยที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อส่งเสริมความสามารถด้านการเคลื่อนที่ของบุคคล ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสิทธิมนุษยชนและการดำรงชีวิตอย่างมีศักดิ์ศรี ทั้งนี้ เพื่อให้คนพิการสามารถเป็นสมาชิกที่มีคุณค่าของ

สังคมในการใช้งานวีลแชร์ อย่างไรก็ตามผู้ใช้เกิดปัญหาจากปัจจัยด้านน้ำหนักของวีลแชร์ น้ำหนักผู้ใช้ ชนิดของวีลแชร์ และสภาพพื้นผิวเส้นทางต่างๆ ที่ออกแรงมากน้อยไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดปัญหาในการใช้งาน กล้ามเนื้อแขนเมื่อยล้าเพราะ ต้องส่งกำลังจากแขนและไหล่ในการเข็นบนเส้นทางขรุขระ พื้นทราย

ละเอียดย หรือโคลน ขึ้นบันได และในการเข็นขึ้นลงทางลาดชัน (Chapal and Kylie, 2012) ซึ่งหากต้องเดินทางโดยลำพังมีความยากลำบากจากการที่ต้องเข็นและใช้แรงในการเข็นวีลแชร์ให้ผ่านสภาพพื้นที่ที่คังกล่าว จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเฟืองเข้ามาช่วยในการทดแรงในการเข็นวีลแชร์ตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย

วิศวกรรมย้อนรอยเพื่อพัฒนาคู่มือวีลแชร์เป็นการทำงานในลักษณะย้อนกลับ โดยศึกษาจากคู่มือวีลแชร์แบบมาตรฐานประเมินด้วยความเจ็บปวดพบว่า บุคคลที่ใช้วีลแชร์เป็นหลักในการเคลื่อนไหวมีอาการปวดแขน ไหล่ เนื่องจากใช้แรงมากเกินไปและการเคลื่อนที่ของแรงขับเคลื่อน โดยน้ำหนักของวีลแชร์และน้ำหนักผู้พิการรวมถึงสภาพพื้นผิวเส้นทางต่างๆ ที่ผู้พิการออกแรงมากน้อยไม่เท่ากัน จึงทำให้ผู้พิการเกิดปัญหาในการใช้งาน กล้ามเนื้อแขนเมื่อยล้าต้องใช้แรงในการขับเคลื่อนเพื่อผ่านอุปสรรคของแต่ละสภาพพื้นผิวจึงมีแนวคิดที่จะนำเฟืองทดแรงเข้ามาช่วยในการขับเคลื่อนในการเข็นของผู้ใช้วีลแชร์สามารถช่วยให้ผู้ใช้วีลแชร์เข้าถึงพื้นที่ที่มีความยากลำบากที่ต้องใช้แรงในการเข็นโดยการพัฒนาเฟืองเข้ามาช่วยในการทดแรง

จากการสัมภาษณ์ผู้ใช้วีลแชร์ พบว่าปัญหาเกิดจากปัจจัยด้านน้ำหนักของวีลแชร์ น้ำหนักผู้ใช้งานของวีลแชร์และสภาพพื้นผิวเส้นทางต่างๆ ที่ผู้ใช้ต้องใช้กำลังแขนและไหล่ในการเข็น จึงทำให้เกิดปัญหาในการใช้งานมีอาการปวดกล้ามเนื้อช่วงท้อง กล้ามเนื้อแขนและไหล่เมื่อยล้า เมื่อใช้งานวีลแชร์ไประยะหนึ่งทำให้เกิดอาการบาดเจ็บบริเวณไหล่ หลัง และแขน (Petrozdo and Stepper, 2013) จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาชุดคู่มือทดแรงติดตั้งเฟืองแพลนเนตารีมาช่วยในกระบวนการขับเคลื่อนวีลแชร์โดยพัฒนาตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดติดตั้งเฟืองแพลนเนตารีสำหรับคู่มือวีลแชร์ตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย โดยใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้งานวีลแชร์โดยการสัมภาษณ์และสังเกตวิธีการใช้วีลแชร์ในชีวิตประจำวันและนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์สังเคราะห์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบทดแรงในการขับเคลื่อนวีลแชร์โดยการศึกษาและพัฒนาจากคู่มือเดิมของวีลแชร์ตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย โดยกระบวนการพัฒนาใช้การวิเคราะห์สืบทอดไปจากคู่มือแบบมาตรฐานที่ผู้พิการใช้งานอยู่ โดยมีการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากคู่มือแบบมาตรฐานอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่วัสดุ คุณสมบัติ จนถึงกรรมวิธีการผลิต เป็นการแก้ไขข้อบกพร่องของคู่มือแบบมาตรฐานให้ดียิ่งขึ้น (Tossaporn, 2016) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเป็นตัวช่วยในการออกแบบเขียนแบบ เพื่อนำต้นแบบจำลองการทำงานขับเคลื่อนคู่มือวีลแชร์ ที่ได้ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและนำมาปรับปรุงเป็นชุดคู่มือติดตั้งเฟืองแพลนเนตารีต้นแบบ เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต และนำไปติดตั้งกับวีลแชร์และทดลองใช้ (Rodkwan *et al.*, 2003)

ตอนที่ 1

การออกแบบตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย โดยกระบวนการพัฒนาใช้การวิเคราะห์สืบทอดไปจากคู่มือแบบมาตรฐานอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่วัสดุ คุณสมบัติ จนถึงกรรมวิธีการผลิต โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเป็นเครื่องมือในการออกแบบเขียนแบบ นำแบบที่ได้มาให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องของแบบและจำลองการทำงานของระบบขับเคลื่อน แล้วจึงนำมาสร้างเป็นนวัตกรรมต้นแบบ เพื่อศึกษาถึงกระบวนการผลิตโดยการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่จะช่วยในการสร้าง

ต้นแบบระบบขับเคลื่อนวีลแชร์ ซึ่งแบ่งออกเป็นหัวข้อต่อไปนี้

1. ออกแบบ ร่างต้นแบบ เขียนแบบและจำลองการหมุนของชุดคัมล้อทดแรงจากการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำการร่างต้นแบบเขียนแบบภาพ 2 มิติ เพื่อกำหนดขนาดของคัมล้อวีลแชร์ทดแรงตามที่ศึกษาและเขียนแบบเป็นภาพ 3 มิติ

2. นำแบบที่ได้จากการร่างต้นแบบ ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องของแบบและปรับแก้ตามที่ผู้เชี่ยวชาญเสนอแนะ เพื่อกำหนดขนาดของคัมล้อวีลแชร์ทดแรง

3. นำแบบที่ได้จากข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญมาจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เพื่อดูหลักการทดแรง โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน เป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องในการออกแบบในด้านที่เกี่ยวข้องกับผู้พิการ ด้านการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ วิศวกรเครื่องกล รวมถึงผู้ประกอบการที่ทำงานด้านการผลิตเฟืองมา โดยเฉพาะ มาตรวจสอบแบบและจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ และปรับแก้แบบตามที่คุณเชี่ยวชาญเสนอแนะ

ตารางที่ 1 รายชื่อผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและจำลองการทำงานออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (CAD)

ลำดับที่	รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ	ความเชี่ยวชาญ
1	ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1	การออกแบบฝึกทักษะการทรงตัวคนพิการ
2	ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 2	วิศวกรเครื่องกล
3	ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 3	การออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์
4	ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 4	การออกแบบผลิตภัณฑ์กระบวนการผลิต
5	ผู้เชี่ยวชาญคนที่ 5	กระบวนการผลิตเฟืองทดแรง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 ชุดคัมล้อต้นแบบจากการศึกษา (ก) ร่างต้นแบบชุดเฟืองแพลนเนตารี และ (ข) ภาพต้นแบบที่ได้จากการเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์

ภาพที่ 1 (ก) แบบร่างต้นแบบชุดเฟืองแพลนเนตารี และภาพที่ 1 (ข) ลักษณะของชุดคัมล้อต้นแบบที่ได้จากการศึกษาทฤษฎี เอกสารตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และจากผู้เชี่ยวชาญในด้านต่างๆ

แล้วนำมาออกแบบเขียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ตอนที่ 2

วางแผนกระบวนการผลิตชุดคัมล้อทดแรงต้นแบบตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย โดยศึกษา

กระบวนการผลิตคูล์แบบมาตรฐานและพัฒนาชุดคูล์ทดแรงดันแบบ โดยการขยายส่วนของคูล์เพื่อรองรับชุดเฟืองแพลนเนตารีทดแรง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษากระบวนการผลิตล้อวิลแชร์โดยการวิเคราะห์ตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย เน้นไปที่เรื่องของกระบวนการทดแรง

2. ศึกษากระบวนการนำชุดเฟืองแพลนเนตารีเข้ามาติดตั้งภายในคูล์เพื่อให้เกิดการทดแรงในขณะขับเคลื่อน

3. ลักษณะของชุดเฟืองแพลนเนตารีทดแรงประกอบไปด้วยเฟืองวงแหวน (Ring Gear) ทำจากวัสดุทองเหลืองมีขนาด 53 ฟัน ชุดเฟืองแพลนเนตมี 3 เฟือง (Planet Gear) มีขนาด 15 ฟัน และเฟือง

ตัวกลาง (Sun Gear) มีขนาด 22 ฟัน โดยชุดเฟืองแพลนเนตารีจะสวมยึดอยู่ในตัวเรือนของมัน และหมุนไปเป็นชุดเดียวกัน โดยตัวต้นกำลังจะหมุนด้วยความเร็วรอบน้อยกว่ากำลังงานเอาต์พุต ทำให้ใช้แรงในการเข็นน้อยได้แรงบิดเพิ่มขึ้นโดยใช้สูตรในการคำนวณ (Carvarella *et al.*, 1999)

$$i = \frac{N_1}{N_2} \text{ และ } i = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (1)$$

เมื่อ N_1 = ความเร็วรอบของเฟืองขับ

Z_1 = จำนวนฟันเฟืองขับ

N_2 = ความเร็วรอบเฟืองตาม

Z_2 = จำนวนฟันเฟืองตาม

ตารางที่ 2 ขนาดจำนวนฟัน เส้นผ่าศูนย์กลาง และอัตราทดจากการคำนวณ

ชนิดเฟือง	จำนวนฟัน	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	อัตราทด
เฟืองวงแหวน	53	130	1 : 1.41
เฟืองแพลนเนต	15	40	1 : 0.71
เฟืองตัวกลาง	22	60	1 : 3.4

จากตารางที่ 2 ใช้สูตรหาความเร็วรอบของเฟือง

จากการประเมินต้นแบบโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่า การออกแบบชุดทดแรงช่วยในกระบวนการขับเคลื่อนวิลแชร์ การแก้ปัญหากระบวนการขับเคลื่อนวิลแชร์ในพื้นที่ผิวขรุขระ ควรมีการ

แก้ปัญหาด้วยเทคนิคการทดแรงขับเคลื่อนวิลแชร์ (Reducing the Force) โดยการประยุกต์ชุดเฟืองแพลนเนตารี ชุดเฟืองแพลนเนตารีมีการทดแรงได้มีประสิทธิภาพ เฟืองขับกันพอดี



ภาพที่ 2 ชุดเฟืองแพลนเนตารีที่ได้จากกระบวนการศึกษาตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย

ภาพที่ 2 ชุดเฟืองเพลาบนเนตตารีต้นแบบที่ได้ศึกษาตามกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยที่ได้ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญและนำไปผลิตเป็นชุดคูลล์ทดแรงต้นแบบ นำชุดคูลล์วิลแชร์ต้นแบบที่ได้ไปทดลองเพื่อหาสมรรถนะด้านการขับเคลื่อนโดยทดลองใช้ในสภาพพื้นที่ ที่ผู้ใช้วิลแชร์ใช้ในชีวิตประจำวัน สร้างตารางเปรียบเทียบด้านสมรรถนะการใช้งาน ด้านการทดแรง ควบคุมความปลอดภัยโดยผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัย เพื่อเปรียบเทียบกับระบบขับเคลื่อนแบบคูลล์มาตรฐาน โดยใช้แบบประเมินความเจ็บปวดโดยให้ผู้ใช้วิลแชร์แบบมาตรฐานและวิลแชร์ทดแรงติดตั้งเฟืองเพลาเนตตารี เ็นในทางขรุขระและทางลาดชันที่กำหนดและให้ผู้ใช้วิลแชร์ให้คะแนนความรุนแรงของอาการเจ็บปวด แบบประเมินความเจ็บปวดผิปกติทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อเนื่องจากการใช้วิลแชร์ ให้คะแนนความรุนแรงของอาการที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของร่างกาย

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการพัฒนาชุดติดตั้งเฟืองเพลาเนตตารีสำหรับคูลล์วิลแชร์ตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย

ตอนที่ 1

ผลการออกแบบตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเป็นเครื่องมือในการออกแบบเขียนแบบ นำแบบที่ได้มาให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องของแบบและจำลองการทำงานของระบบขับเคลื่อน แล้วจึงนำมาสร้างเป็นชุดคูลล์วิลแชร์ติดตั้งเฟืองเพลาเนตตารีต้นแบบ แบ่งออกเป็นหัวข้อดังนี้

1. ได้ต้นแบบ และจำลองการทดแรงของชุดคูลล์ติดตั้งเฟืองเพลาเนตตารี เพื่อกำหนดขนาดของคูลล์วิลแชร์ทดแรงตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย

2. นำต้นแบบที่ได้ ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความถูกต้องของแบบและปรับแก้ตามที่ผู้เชี่ยวชาญเสนอแนะ เพื่อกำหนดขนาดของคูลล์วิลแชร์ ติดตั้งเฟืองเพลาเนตตารีตามผู้เชี่ยวชาญเสนอแนะ

3. นำร่างต้นแบบที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญเสนอแนะมาสร้างชุดคูลล์ทดแรงต้นแบบซึ่งสอดคล้องกับการสร้างเสถียรณวิญญูสื่อสาร โดยในการสร้างชิ้นงานใหม่นั้นจะใช้หลักวิศวกรรมย้อนรอยในการออกแบบชิ้นงานขึ้นมาใหม่ โดยมีการออกแบบเลือกใช้อุปกรณ์ด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปและการคำนวณเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน (Tossaporn, 2016)

วางแผนกระบวนการผลิตชุดคูลล์ทดแรงติดตั้งเฟืองเพลาเนตตารีต้นแบบตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย โดยศึกษากระบวนการผลิตคูลล์แบบเดิมและพัฒนาคูลล์ต้นแบบโดยการขยายส่วนของคูลล์เพื่อรองรับชุดเฟืองเพลาเนตตารีทดแรง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. การขยายคูลล์จากต้นแบบเดิมให้มีขนาดโตขึ้นโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร

2. ออกแบบชุดเฟืองทดแรงเพื่อติดตั้งในคูลล์ โดยมีชุดเฟือง 3 ชนิดได้แก่ เฟืองวงแหวน (Ring Gear) เฟืองเพลาเนต 3 ตัว (Planet Gear) และเฟืองกลาง (Sun Gear)

3. อัตราทดโดยการเข้าวิลแชร์ 1 รอบโดยใช้เฟืองวงแหวนเป็นตัวขับเคลื่อนเฟืองภายในจะหมุน 1.41 รอบ ใช้เฟืองตัวเล็กเป็นตัวขับเคลื่อน 1 รอบ ชุดเฟืองภายในจะหมุน 0.71 รอบ และใช้เฟืองตัวกลางเป็นตัวขับเคลื่อน 1 รอบ ชุดเฟืองภายในจะหมุน 3.4 รอบ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 เปรียบเทียบชุดล้อมาตรฐานกับชุดล้อต้นแบบที่ได้จากการพัฒนาตามหลักวิศวกรรมย้อนรอย (ก) ชุดล้อวีลแชร์แบบมาตรฐาน และ (ข) ชุดล้อวีลแชร์ทดแรงติดตั้งเฟืองแพลนเนตารี

ตอนที่ 2

การศึกษาสภาพเทคโนโลยีการใช้งานต้นแบบใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง วิเคราะห์โครงสร้างเทคโนโลยีที่มีปัญหาวิเคราะห์หาส่วนประกอบของโครงสร้างวีลแชร์ที่ได้จากปัญหาของผู้ใช้ (Jarosz, 1996) ให้เห็นถึงกระบวนการทำงานและแก้ปัญหาโดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเฟืองที่ผลิตจากทองเหลืองโดยใช้กระบวนการขึ้นรูปทางกลเป็นผู้ประเมินแบบ

วางแผนกระบวนการผลิตต้นแบบการสนทนากลุ่ม (Focus Group) การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Root Cause Analysis) เป็นการค้นหาสาเหตุของปัญหาหรือความเสี่ยงสำคัญที่เกิดขึ้นโดยการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงหรือสาเหตุจากการเกิดปัญหาการใช้ระบบขับเคลื่อนวีลแชร์ จากการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบชุดล้อแบบมาตรฐานและชุดล้อติดตั้งเฟืองแพลนเนตารีได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 การทดสอบระบบขับเคลื่อนวีลแชร์แบบมาตรฐานเปรียบเทียบกับวีลแชร์ทดแรงเฟืองแพลนเนตารี

ประเด็นในการสัมภาษณ์	ผลจากการสัมภาษณ์	ข้อมูลเชิงเทคนิค
1. การทดสอบในเรื่องอัตราทดแรง	อัตราทดช่วยให้การเข็นเบาขึ้น อย่างชัดเจน แต่วงปั่นมีขนาดเล็ก	การแก้ปัญหาในเรื่องของอัตราทดควรใช้ระบบเฟืองมาช่วยในการทดแรง
2. การทดสอบในเรื่องการขึ้นลงทางลาดชัน	ใช้งานยากเกินไป การขึ้นลงทางลาดชันการทดแรงช่วยให้เบาขึ้นในการขึ้นลง	
3. การทำงานของชุดชุดล้อช่วยทดแรงได้หรือไม่ อย่างไร	ช่วยทดแรงได้ดีในทางตรง ที่พื้นขรุขระ การปรับจุดศูนย์ถ่วงมีการใช้ได้ดี แต่เข็นยากเนื่องจากวงปั่นเลื่อนไปด้านหลัง การใช้งานไม่ยุ่งยาก	วีลแชร์ทดแรงติดตั้งเฟืองแพลนเนตารีช่วยทดแรงได้ในทางตรง ทางขรุขระและดินทรายบดละเอียดเหมาะสมกับสภาพที่ใช้งานในปัจจุบัน

จากตารางที่ 3 นำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้ใช้วีลแชร์ พบว่า วีลแชร์แบบมาตรฐานยังไม่มีติดตั้งชุดเฟืองแพลนเนตตารี ไม่มีการทดแรงวงปั่นที่ติดตั้งกับวีลแชร์ทดแรงทำให้เข็นได้เบาขึ้น แต่วงปั่นมีขนาดเล็กจึงใช้งานไม่สะดวก

จากการสัมภาษณ์ผู้ใช้วีลแชร์ จึงเป็นที่มาของกระบวนการออกแบบชุดล้อทดแรงติดตั้งเฟืองแพลนเนตตารีด้วยการทดสอบการสัมภาษณ์จากผู้ใช้งานวีลแชร์ โดยใช้แบบประเมินความเจ็บปวด (Pain Scale)

0 – 1 ไม่ปวดเลย
มากกว่า 1 – 3 ปวดเล็กน้อย
มากกว่า 3 – 5 ปวดระดับปานกลาง

มากกว่า 5 – 7 ปวดระดับปานกลาง - ปวดมาก

มากกว่า 7 – 9 ปวดมาก

มากกว่า 9 – 10 ปวดมากจนไม่สามารถทนไหวมิใช่

ปัจจัยที่สัมพันธ์กับวีลแชร์ความบกพร่องทางร่างกายและสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการรับรู้การมีส่วนร่วมในกิจกรรมต่าง ๆ ใน 3 สถานที่คือ ที่บ้าน ชุมชน และระหว่างการเดินทางของผู้ที่ได้รับบาดเจ็บไขสันหลัง 7 คน ผลจากการวิจัยพบว่า วีลแชร์เป็นข้อจำกัดมากที่สุดในการมีส่วนร่วมทั้งที่บ้าน ในชุมชน และระหว่างการเดินทาง (Chapalk and Kylie, 2012)

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบระบบขับเคลื่อนวีลแชร์แบบมาตรฐานและวีลแชร์ติดตั้งเฟืองแพลนเนตตารีทดแรง

ลักษณะของวีลแชร์	น้ำหนักในการเข็น การเข็น อัตราทดแรง (ค่าเฉลี่ย)	น้ำหนักในการเข็น วีลแชร์ในสภาพ พื้นผิวขรุขระ (ค่าเฉลี่ย)	น้ำหนักในการเข็น วีลแชร์ในทางลาด ชัน (ค่าเฉลี่ย)	น้ำหนักในการ เข็นวีลแชร์ใน พื้นดินปนทราย (ค่าเฉลี่ย)
วีลแชร์ชุดล้อแบบมาตรฐาน	7	6	8	7
วีลแชร์ติดตั้งเฟืองแพลนเนตตารีทดแรง	3	2	4	3

จากตารางที่ 4 ผลการทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้วีลแชร์ในชีวิตประจำวัน โดยประเมินผลความพึงพอใจและประเมินความเจ็บปวด โดยการเปรียบเทียบวีลแชร์แบบมาตรฐานกับวีลแชร์ทดแรงจำนวน 50 คน พบว่า จากการเปรียบเทียบผลการเปรียบเทียบชุดล้อวีลแชร์มาตรฐานกับชุดล้อวีลแชร์ติดตั้งเฟืองแพลนเนตตารีทดแรง โดยเปรียบเทียบด้านอัตราทดพบว่า ชุดล้อวีลแชร์ทดแรงให้น้ำหนักเบากว่า ซึ่งเฟืองแพลนเนตตารีช่วยให้อัตราทดในการเข็นเบาขึ้น ในการเข็นวีลแชร์ขึ้นทางลาดชันผู้พิการใช้แรงน้อยกว่าวีลแชร์มาตรฐาน การเข็นวีลแชร์ลง

ทางลาดชันผู้พิการควบคุมการไหลลงของวีลแชร์ได้ง่ายกว่าวีลแชร์แบบมาตรฐาน ซึ่งสอดคล้องกับระบบการเปลี่ยนเกียร์อัตโนมัติสำหรับวีลแชร์ โดยการพัฒนาระบบเกียร์อัตโนมัติ (AGS : Automatic Gear-Shift) สำหรับรถเข็นคนพิการด้วยตนเองระบบ AGS มีความเร็ว 3 ระดับ ระดับที่ 1 เกียร์หนึ่งสำหรับทางลาดขึ้นหรือทางลาดลง ระดับที่ 2 เกียร์สองแบบเดิมสำหรับใช้งานในชีวิตประจำวันและระดับที่ 3 เกียร์ที่สามเพื่อการยศาสตร์ที่ดีขึ้นระหว่างการขับเคลื่อนอย่างรวดเร็วระบบ AGS จัดเป็นชุดเสริมสำหรับล้อวีลแชร์ 2 ล้อหลัง ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับ

เปลี่ยนเกียร์ ลดความตึงเครียดของกล้ามเนื้อลด
อาการปวดแขนและไหล่เมื่อใช้เป็นเวลานาน ในการ

เข็นขึ้นทางลาดชัน ใช้กำลังในการเข็นมาก (Daigle *et al.*, 2012)



ภาพที่ 4 วีลแชร์ที่ติดตั้งคัมล้อทดแรง

สรุป

การพัฒนาชุดติดตั้งเฟืองแพลนเนตตารี่
สำหรับคัมล้อวีลแชร์ตามหลักวิศวกรรมย้อนรอยเป็น
ผลการศึกษาจากกระบวนการขับเคลื่อนวีลแชร์

1. จากการใช้งานคัมล้อวีลแชร์ทดแรง
ต้นแบบช่วยให้คนพิการเข็นได้เบากว่าวีลแชร์แบบ
มาตรฐานลดอาการปวดเมื่อยบริเวณแขนจากการ
ขับเคลื่อนทางขรุขระ

2. ลดอาการปวดเมื่อยแขนและไหล่ในการ
เข็นขึ้นทางลาดชันเมื่อใช้กับวีลแชร์ที่ไม่ได้ติดตั้งชุด
คัมล้อในระยะทางที่เท่ากัน

3. การเข็นวีลแชร์ลงทางลาดชันผู้พิการ
ควบคุมความเร็วในการไหลลงของวีลแชร์ได้มั่นคง
กว่าวีลแชร์แบบมาตรฐาน

แนวคิดในการพัฒนาโดยใช้กระบวนการ
ทางวิศวกรรมย้อนรอยที่เน้นผู้ใช้วีลแชร์เป็น
ศูนย์กลางออกแบบพัฒนากลไกเพื่อช่วยในการทด
แรงและสร้างนวัตกรรมต้นแบบตามความต้องการ
ของผู้ใช้ตรวจสอบความสอดคล้องและเหมาะสม
พร้อมกับปรับปรุงนวัตกรรมให้สอดคล้องกับผู้ใช้วีล
แชร์ตามข้อกำหนดของผู้ใช้วีลแชร์และผู้เชี่ยวชาญ
ด้านวิศวกรรมก่อนนำไปทดลองใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนข้อมูลผู้พิการ
ที่ใช้วีลแชร์ จากมูลนิธิเม่าไม้ จังหวัด
นครศรีธรรมราชให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูล
และร่วมทดลองในการใช้คัมล้อทดแรงต้นแบบ
ผู้วิจัยได้ผ่านการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการหลักสูตร
หลักจริยธรรมการวิจัยและปกป้องผู้รับการวิจัย
(Ethical Principles and Human Subject Protection
Course)

เอกสารอ้างอิง

- Carvarella, M., Demelio, G. and Ciavarella, M.
1999. Numerical method for the
optimization of specific sliding, stress
concentration and fatigue life of gears.
International Journal of Fatigue 21: 465-
474.
- Chapal, K., Kylie, M. and World Health
Organization. 2012. **Wheelchair service
training package: basic level**. World
Health Organization. Available Source:

- <https://apps.who.int/iris/handle/10665/7823>
6, March 27, 2019.
- Daigle, S.C., Hsiao-Weckler, E.T. and Sosnoff, J.J. 2012. An evaluation of an automatic gear-shifting system for manual wheelchairs. **Journal of Medical Devices, Transactions of the ASME** 6(1): 9-10.
- Jarosz, E. 1996. Determination of Workspace of Wheelchair Users. **International Journal of Industrial Ergonomics** 17(1): 123-133.
- Petrozzdo, D.P. and Stepper, J.C. 2013. **Successful Reengineering**. Thomson Publishing U.S., New York.
- Rodkwan, S., Rianmora, S., Chianrabutra, S. and Pungyont, J. 2003. An Investigation of CAD Model Development with Reverse Engineering Technique Using the 3D Laser Scanner, pp. 88-89. **In the 3rd PSU-Engineering Conference (PEC-3)**. Faculty of Engineering, Prince of Sonkla University, Songkhla. (in Thai)
- Tossaporn, S. 2016. Reverse Engineering for The Construction of Radio Communication Towers. Co-operative education, Bachelor of Engineering Program in Mechanical Engineering, Siam University. (in Thai)

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกเงาะ 3 สายพันธุ์ในจังหวัดจันทบุรี

Antioxidant Activity of Rambutan Peel Extract from 3 cultivars in Chanthaburi Province

สรลรัตน์ พ่วงบริสุทธิ์* นฤมล มงคลชนวัฒน์ ศิริจันทร์ ตาใจ และ วิทิต เลิศนimitมงคล

Saranrat Phuangbirisut*, Naruemon Mongkontanawat, Sirichan Tachai and Witit Lertnimitmongkol

Received: 11 June 2019, Revised: 27 August 2019, Accepted: 15 January 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกเงาะ 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีชมพู และพันธุ์สีทอง ที่สุ่มจากตลาดผลไม้ในจังหวัดจันทบุรี โดยนำเปลือกเงาะแห้งทำการสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1:10 นาน 3 วัน ทำการสกัด 3 ชั่วโมง นำไปประเหด้วยเครื่องระเหยระบบสุญญากาศแบบหมุน และวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) radical cation decolorization assay และ ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH และ ABTS พบว่า สารสกัดเปลือกเงาะพันธุ์โรงเรียนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 8.795 $\mu\text{g/ml}$ และ 0.374 mg/ml ตามลำดับ ส่วนผลทดสอบความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของสารสกัดเปลือกเงาะ (วิธี FRAP assay) พบว่าเงาะพันธุ์โรงเรียนมีค่า FRAP สูงสุดเท่ากับ 6,740 $\mu\text{mol/g}$ ที่น่าสนใจคือฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกเงาะกับสารมาตรฐานทั้ง 3 วิธี มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่า BHT และ α -Tocopherol และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากเปลือกเงาะเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่น่าสนใจ เนื่องจากองค์ประกอบของสารพฤษเคมีที่สำคัญที่มีคุณสมบัติของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งอาจนำมาใช้ทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายจากการตกค้างของสารเคมีได้ และนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ในอนาคต

คำสำคัญ: สารสกัดเปลือกเงาะ, เงาะพันธุ์โรงเรียน, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการและพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
วิทยาเขตจันทบุรี ตำบลพลวง อำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี 22210

Department of Development and Management Technology, Faculty of Agro-Industry Technology, Rajamangala University of Technology
Tawan-Ok, Chanthaburi Campus, Phluang, Khao Khitchakut, Chantaburi 22210, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): madambuavy@gmail.com Tel: 09 4249 2399

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the antioxidant properties of rambutan peel extract from 3 cultivars such as, Rongrien, Seechompoo and Seetong from Chanthaburi fruit market. Each of dried rambutan peels was extracted in triplicate for 3 days with 1:10 ratio of 95% ethanol and dried by rotary evaporator. Crude extract was evaluated for its antioxidant properties using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) radical cation decolorization assay and ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) assay. Based on DPPH radical scavenging assay and ABTS radical scavenging assay, the antioxidant activity of crude extract from Rongrien cultivar showed significantly highest ($p \leq 0.05$) with $IC_{50} = 8.795 \mu\text{g/ml}$ and 0.374 mg/ml , respectively. Moreover, the crude extract from Rongrien cultivar also had the highest FRAP assay value ($6,740 \mu\text{mol/g}$) when determined by using FRAP assay. Interestingly, the rambutan peel extracts from 3 cultivars exhibited higher antioxidant activity than those control groups (BHT and α -Tocopherol) ($p \leq 0.05$). This research shows that crude extract from the rambutan peel promises to be an interesting source of natural antioxidants due to the composition of important phytochemicals with the properties of bioactive substances which may be used to replace synthetic chemicals added to various products to avoid the danger of chemical residues and development of various products in the future.

Key words: rambutan peel extract, rongrien, antioxidant activity

บทนำ

เงาะ (*Nephelium lappaceum* Linn.) เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่และเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีความชื้นค่อนข้างสูง เงาะในประเทศไทยจึงนิยมปลูกในบริเวณภาคตะวันออกและภาคใต้ โดยมี สายพันธุ์ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในจังหวัดจันทบุรี คือ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีชมพู และพันธุ์สีทอง ความแตกต่างของแต่ละสายพันธุ์ที่เห็นได้ชัด คือลักษณะของเปลือก รสชาติ และลักษณะการนำไปบริโภค เช่น เงาะพันธุ์สีทองจะมีเนื้อค่อนข้างหนา รสชาติอมเปรี้ยว ไม่หวาน จึงนิยมนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เงาะกระป๋องในน้ำเชื่อม พันธุ์โรงเรียนและพันธุ์สีชมพูจะนิยมบริโภคสดเนื่องจากมีรสชาติหวาน และมีเนื้อนุ่มฉ่ำน้ำ การแปรรูปและการบริโภคนี้ทำให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งที่เป็น

เปลือกและเมล็ดเงาะคิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของผล (Teerananont, 2008) จากรายงานวิจัยพบว่า ในเปลือกเงาะมีสารสำคัญคือ แทนนิน (tannin) ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนพวกฟีนอลิก โดยสารสำคัญที่พบมากได้แก่ geraniin (37.9 mg/g), corilagin (0.47 mg/g) และ ellagic acid (0.14 mg/g) ตามลำดับ (Palanisamy *et al.*, 2011; Samuagam *et al.*, 2015) ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกประเภทไฮโดรไลซ์แทนนิน ในกลุ่มแอลลาจิกแทนนิน (ellagitannins) ที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียและเชื้อราได้หลายชนิด ลดการอักเสบของผิวหนัง ลดน้ำตาลในเลือด ลดอาการท้องร่วง และสามารถป้องกันการเกิดมะเร็ง (Cheng *et al.*, 2016; Rohman, 2017) สารสำคัญดังกล่าวสามารถสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล (Thitilertdech *et al.*, 2010)

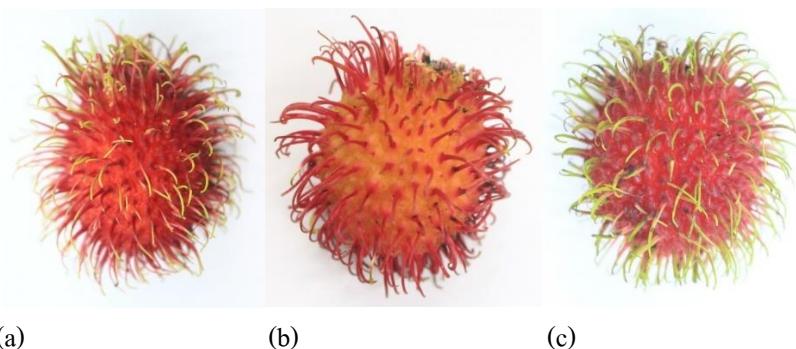
และเอทานอล (Hernández *et al.*, 2017) โดยสารสกัดจากเปลือกเงาะที่สกัดด้วยเมทานอลและเอทานอลพบว่า *geraniin* เท่ากับ 56.8 และ 37.9 mg/g ตามลำดับ โดยสารดังกล่าวมีรายงานว่ามียฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารมาตรฐาน BHT (ทดสอบโดยวิธี DPPH และ lipid peroxidation) (Palanisamy *et al.*, 2011) และสารสกัดเปลือกเงาะที่สกัดด้วยเอทานอลยังมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (762 mg/GAE g extract) สูงกว่าสารสกัดเมล็ดองุ่นในทางการค้าอีกด้วย ทำให้มียฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดเมล็ดองุ่น (Palanisamy *et al.*, 2008) การสกัดแยก *geraniin* สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางยาและอาหารได้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารสำคัญที่สกัดได้จะขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะการสุกของเงาะ (Kondo *et al.*, 2002; Skerget *et al.*, 2005) รวมถึงชนิดของตัวทำละลาย และเทคนิคที่ใช้ในการสกัด (Herrero *et al.*, 2006; Kronholm *et al.*, 2007) จากรายงานของ Palanisamy *et al.* (2008) พบว่าสารสกัดจากเปลือกเงาะเป็นสารที่มีความปลอดภัยสูงและไม่เป็นพิษต่อเซลล์ปกติ (normal cells) (Hidayat *et al.*, 2011) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอาง ด้วยคุณสมบัติที่น่าสนใจนี้ คาดว่าจะสามารถเพิ่มมูลค่าของเปลือกเงาะที่เหลือทิ้งนี้ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจุบันทั่วโลกให้ความสนใจในการใช้สารสกัด

ธรรมชาติจากพืชในผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบของสารพฤกษเคมีที่สำคัญที่มีคุณสมบัติของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งอาจนำมาใช้ทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ที่เดิมลงในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายจากการตกค้างของสารเคมีต่างๆ จากการที่ผู้บริโภคตระหนักถึงอันตรายดังกล่าว จึงหันมานิยมใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติมากขึ้น ทำให้แนวทางการพัฒนามุ่งเน้นไปที่ความพยายามในการนำสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในกลุ่มของสารสกัดที่ได้จากพืชมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เพิ่มมากขึ้น (Wei and Shibamoto, 2007) โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกเงาะจำนวน 3 สายพันธุ์ที่พบมากในจังหวัดจันทบุรี ได้แก่ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีชมพู และพันธุ์สีทอง เพื่อทราบปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมเครื่องสำอางให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

เงาะ 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีชมพู และพันธุ์สีทอง ดังภาพที่ 1 ตัวอย่างทั้งหมดลุ่มจากตลาดผลไม้ในจังหวัดจันทบุรี



ภาพที่ 1 เงาะ 3 สายพันธุ์ (a) พันธุ์โรงเรียน (b) พันธุ์สี่หมพู และ (c) พันธุ์สีทอง

2. การเตรียมสารสกัดจากเปลือกเงาะ

นำเปลือกเงาะสด ล้างให้สะอาด ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง มาทำการสกัดเย็นโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 จำนวน 3 ชั่วโมง โดยนำเปลือกเงาะแห้ง แยกใส่ลงในพลาสติก ตัวอย่างละ 500 กรัม เติมตัวทำละลายเอทานอลลงให้ท่วมตัวอย่าง (ในอัตราส่วน 1:10) แช่ทิ้งไว้ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน แยกสารละลายที่สกัดได้มากรอง ทำการสกัดซ้ำด้วยเอทานอลจนครบ 3 ครั้ง นำสารสกัดที่ได้จากการสกัดทั้ง 3 ครั้ง มาระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่อง rotary evaporator จะได้สารสกัดหยาบด้วย เอทานอล (ethanol crude extract) (Dilokkunanant *et al.*, 2004)

3. การศึกษาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ

(Free radical scavenging assay)

3.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH Radical Scavenging Capacity Assay) ใช้วิธีของ Zhu *et al.* (2006) โดยเตรียมตัวอย่างที่ความเข้มข้น 0 - 20 $\mu\text{g/ml}$ จากนั้นนำตัวอย่างแต่ละความเข้มข้นมา 1 ml เติมสารละลาย DPPH ที่มีความเข้มข้น 0.1 mM ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาตร 1 ml ผสมสารให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้สาร BHT, α -Tocopherol และ Ascorbic acid เป็นสารละลายมาตรฐานในการเปรียบเทียบ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาค่า % DPPH radical scavenging activity ดังสมการ (1)

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของ

ตัวอย่างควบคุม

A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของ

ตัวอย่างทดสอบ

นำค่า % radical scavenging activity ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารทดสอบมาสร้างกราฟเพื่อหาค่า IC_{50} โดยที่ค่า IC_{50} คือความเข้มข้นของสารทดสอบที่ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์

3.2 การเตรียมอนุมูล ABTS (ABTS radical cation: ABTS) คัดแปลงจาก Re *et al.* (1999) โดยนำสารละลาย ABTS เข้มข้น 7 mM ผสมกับสารละลายโปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 2.45 mM เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง วัดการต้านอนุมูลอิสระ โดยนำสารละลาย ABTS มาเจือจางด้วยเอทานอลให้มีค่าการดูดกลืนแสงเป็น 0.70 ± 0.02 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer

ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร จากนั้นผสมตัวอย่างที่ความเข้มข้น 0.1 - 1 mg/ml ปริมาตร 20 μ l ในแต่ละหลอดทดลอง และเติมสารละลาย ABTS ปริมาตร 2 ml ผสมให้เข้ากัน พักไว้นาน 6 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้สาร BHT, α -tocopherol และ Ascorbic acid เป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบ นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้คำนวณเป็น % ABTS radical scavenging activity ดังสมการ (2)

$$\text{ABTS radical scavenging activity (\%)} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100 \quad (2)$$

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม

A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างทดสอบ

นำค่า % ABTS radical scavenging activity ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารทดสอบ มาสร้างกราฟเพื่อคำนวณหาค่า IC_{50} เมื่อค่า IC_{50} คือความเข้มข้นของสารทดสอบที่ยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS ได้ 50 เปอร์เซ็นต์

3.3 การทดสอบการต้านออกซิเดชัน Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay ตามวิธีของ Kubola and Siriamornpun (2008) โดยการเตรียม FRAP reagent โดยการผสม 300 mM ของอะซิเตทบัฟเฟอร์ กับสาร $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ความเข้มข้น 20 μ M ผสมกับสาร TPTZ (2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine) ที่ละลายอยู่ในกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 μ M และน้ำ ผสมให้สารเข้ากัน นำสารละลายของตัวอย่างจำนวน 60 μ l ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำปริมาตร 180 μ l เติมน้ำ FRAP reagent ปริมาตร 1.8 ml ลงในหลอดทดลอง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่

ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันคำนวณจากค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างทดสอบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐาน Ferrous sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) โดยรายงานเป็น μ M ของเฟอร์ริกต่อ 1 g ของสารทดสอบ

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Block Design, CRD) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance; ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดจากเปลือกเงาะ 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีชมพู และพันธุ์สีทอง จากภาพที่ 2 แสดงค่า % radical scavenging activity ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารสกัดเปลือกเงาะ 3 สายพันธุ์ เมื่อนำค่าจากกราฟมาคำนวณหาค่า IC_{50} โดยที่ค่า IC_{50} คือความเข้มข้นของสารทดสอบที่ยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สารสกัดเปลือกเงาะพันธุ์โรงเรียนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 8.795 ± 0.033 μ g/ml ในขณะที่พันธุ์สีชมพูและพันธุ์สีทองที่มีค่า IC_{50} เท่ากับ 9.672 ± 0.036 และ 14.268 ± 0.193 μ g/ml ตามลำดับ นอกจากนี้สารสกัดเปลือกเงาะพันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีชมพู และพันธุ์สีทองยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าสารละลายมาตรฐาน BHT (butylated hydroxytoluene) มีค่า IC_{50} เท่ากับ 110.293 ± 0.414 μ g/ml ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 1 งานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Anshory and Tamimy (2006) รายงานว่า

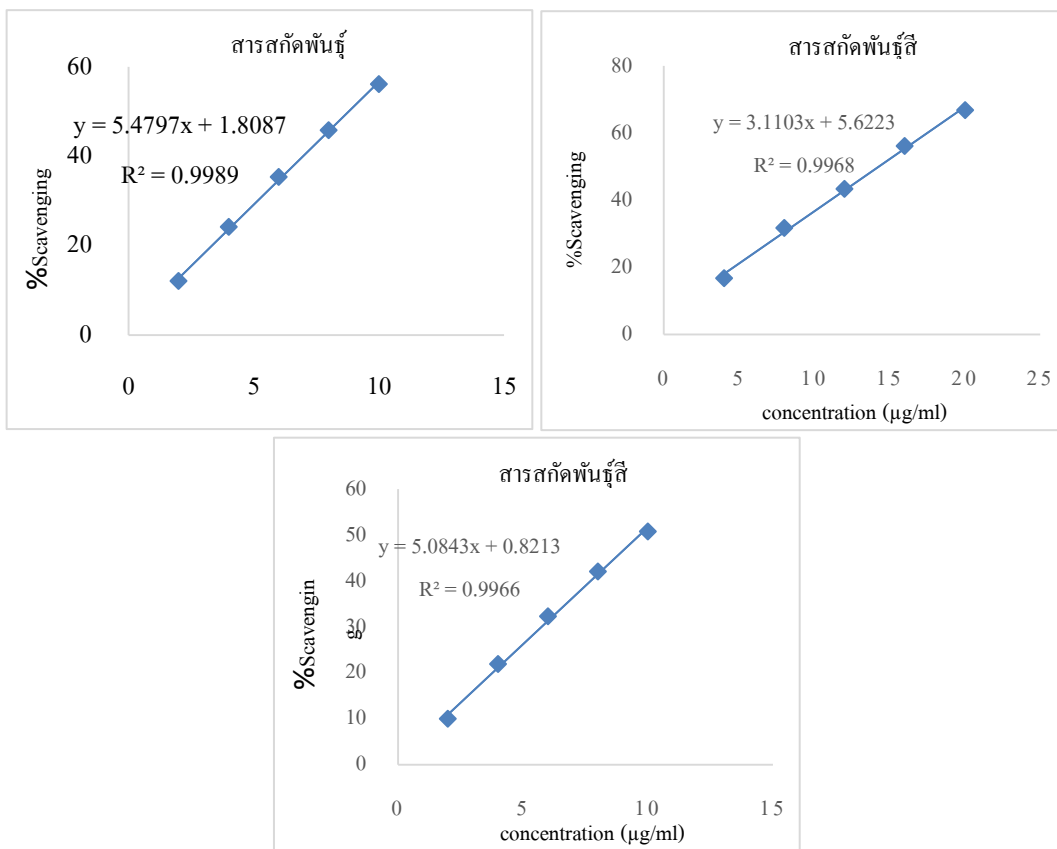
สารสกัดเปลือกเงาะที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลพบว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าวิตามินอี เมื่อทำการทดสอบด้วยวิธี DPPH และ Thitilertdech *et al.* (2010) รายงานว่าสารสกัดเปลือกเงาะที่สกัดโดยใช้ตัวทำละลายเมทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารมาตรฐาน BHT โดยเรียงลำดับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกที่พบในเปลือกเงาะ

เทียบกับสารละลายมาตรฐานที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH ได้ดังนี้ geraniin ($IC_{50} = 0.790 \mu M$) > corilagin ($IC_{50} = 1.420 \mu M$) > Ellagic acid ($IC_{50} = 1.640 \mu M$) > gallic acid ($IC_{50} = 2.490 \mu M$) > BHT ($IC_{50} = 68.800 \mu M$)

ตารางที่ 1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกเงาะ 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีชมพู และพันธุ์สีทอง เทียบกับสารมาตรฐานที่ทดสอบ

ตัวอย่าง	DPPH assay IC_{50} ($\mu g/ml$)	ABTS assay IC_{50} (mg/ml)	FRAP Value (μmol of Fe (II)/g sample)
สารสกัดพันธุ์โรงเรียน	$8.795^c \pm 0.033$	$0.377^c \pm 0.008$	$6,740.003^b \pm 0.439$
สารสกัดพันธุ์สีชมพู	$9.672^c \pm 0.036$	$0.488^d \pm 0.003$	$5,994.994^c \pm 0.393$
สารสกัดพันธุ์สีทอง	$14.268^b \pm 0.193$	$0.792^a \pm 0.004$	$4,435.132^d \pm 0.034$
Ascorbic acid	$4.677^d \pm 0.016$	$0.254^f \pm 0.001$	$11,314.825^a \pm 0.487$
α -Tocopherol	$12.594^{bc} \pm 0.074$	$0.606^b \pm 0.004$	$4,027.705^c \pm 0.943$
BHT	$110.293^a \pm 0.414$	$0.531^c \pm 0.004$	$3,067.342^f \pm 0.081$

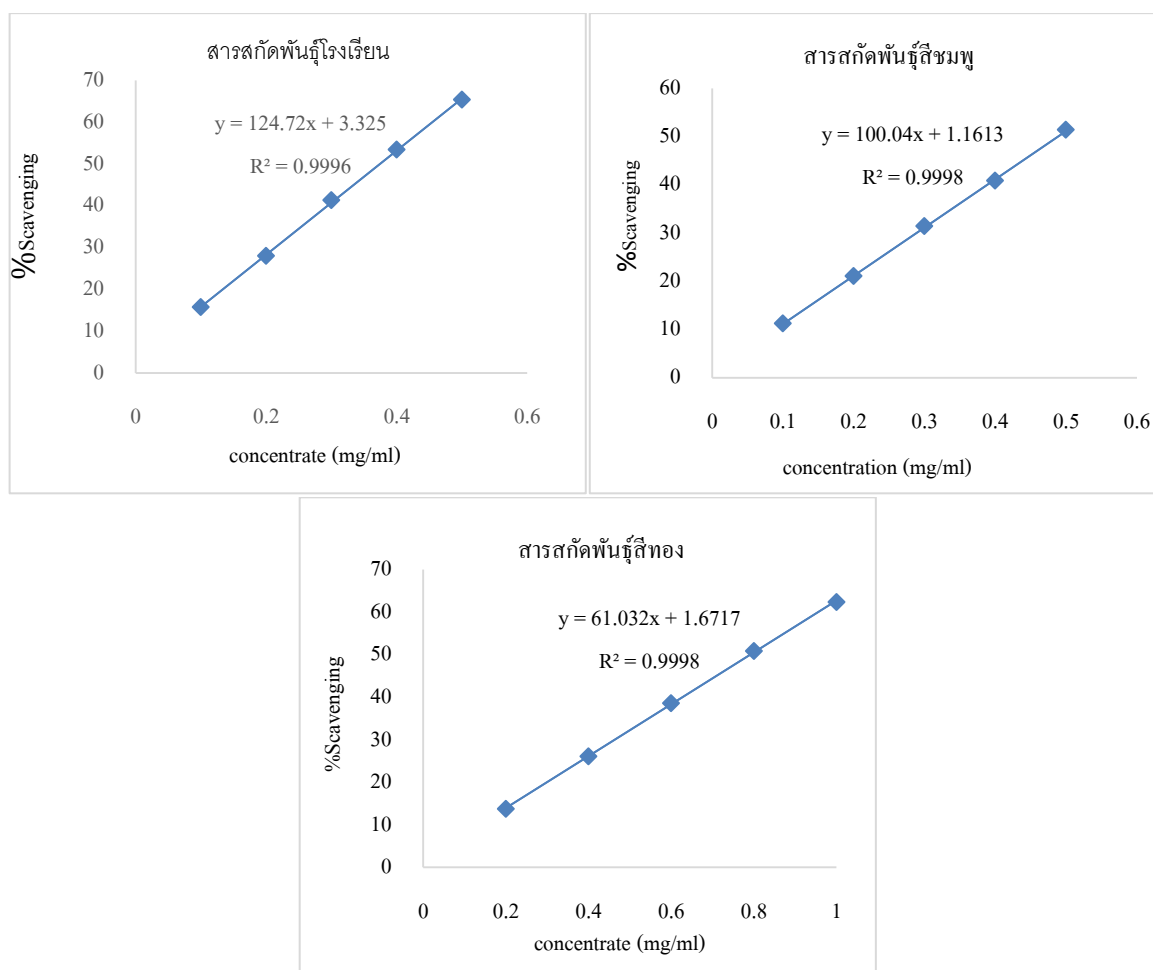
หมายเหตุ ตัวอักษร a - f ที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 2 ค่า % radical scavenging activity ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารสกัดเปลือกเงาะ 3 สายพันธุ์ที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS จากภาพที่ 3 แสดงค่า % ABTS radical scavenging activity ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารสกัดเปลือกเงาะ 3 สายพันธุ์ เมื่อนำค่าจากกราฟมาคำนวณหาค่า IC_{50} โดยที่ค่า IC_{50} คือความเข้มข้นของสารทดสอบที่ยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สารสกัดเปลือกเงาะพันธุ์โรงเรียนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ

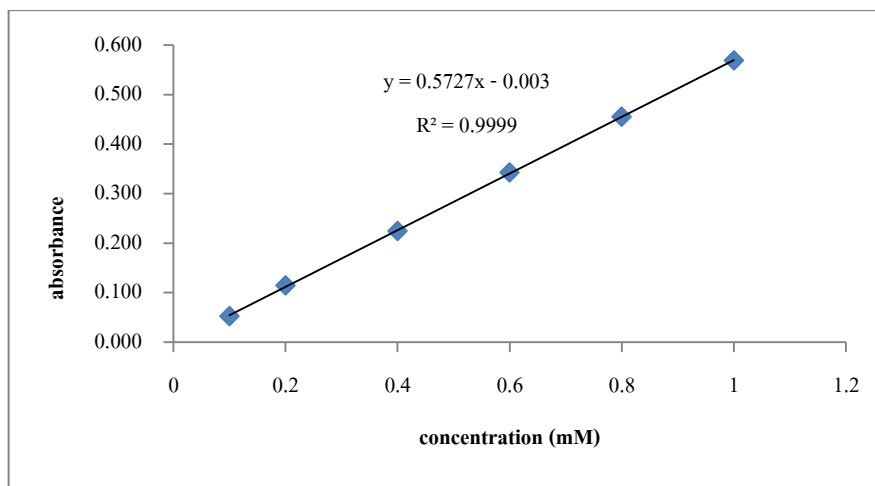
0.377 ± 0.008 mg/ml รองลงมาคือ พันธุ์สีชมพูและพันธุ์สีทองมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.448 ± 0.003 และ 0.792 ± 0.004 mg/ml ตามลำดับ นอกจากนี้สารสกัดเปลือกเงาะพันธุ์โรงเรียนและพันธุ์สีชมพูยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารมาตรฐาน α -Tocopherol และ BHT ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.606 ± 0.004 และ 0.531 ± 0.004 mg/ml ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 3 ค่า % radical scavenging activity ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสารสกัดเปลือกเงาะ 3 สายพันธุ์ที่ทดสอบด้วยวิธี ABTS

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP โดยคำนวณจากค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างทดสอบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐาน Ferrous sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) รายงานค่าเป็น $\mu\text{mol of Fe (II)/g sample}$ ดังภาพที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบสารสกัดเปลือกเงาะทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าพันธุ์โรงเรียนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด โดยมีค่า FRAP เท่ากับ $6,740.003 \pm 0.439 \mu\text{mol of Fe (II)/g sample}$ รองลงมาคือพันธุ์สีชมพูและพันธุ์สีทองที่มีค่า FRAP เท่ากับ $5,994.994 \pm 0.393$ และ $4,435.132 \pm 0.034 \mu\text{mol of Fe (II)/g sample}$

ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Gusman and Tsai (2015) ทดสอบค่า FRAP ของสารสกัดเปลือกเงาะอยู่ในช่วง $3,800.250 \pm 86.490$ ถึง $4,116.500 \pm 88.410 \mu\text{mol Fe II/g sample}$ นอกจากนี้สารสกัดเปลือกเงาะทั้ง 3 สายพันธุ์ ยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารมาตรฐาน α -Tocopherol และ BHT ซึ่งมีค่าเท่ากับ $4,027.705 \pm 0.943$ และ $3,067.342 \pm 0.081 \mu\text{mol of Fe (II)/g sample}$ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐานของสารมาตรฐาน Ferrous sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

จากผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธีพบว่า สารสกัดเปลือกเงาะทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่า IC_{50} แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากเปลือกเงาะทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกแต่ละตัวที่แตกต่างกัน จึงมีผลต่อค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดย Thitilertdecha *et al.* (2010) ได้ศึกษาว่าสารสกัดเปลือกเงาะพันธุ์โรงเรียนมีปริมาณ geraniin มากกว่าพันธุ์สีชมพู มีค่าเท่ากับ 1,011 และ 444 mg/g ตามลำดับ โดยสารสำคัญ geraniin เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ แต่ในพันธุ์สีทองยังไม่มีการศึกษาที่แน่ชัด จึงอนุมานได้ว่าพันธุ์สีทองอาจจะมีปริมาณ geraniin ต่ำที่สุดในสารสกัดเปลือกเงาะทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยลักษณะทางกายภาพได้แก่ สีของเปลือกเงาะทั้ง 3 สายพันธุ์ก็มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด อาจมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระก็เป็นได้

สรุป

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกเงาะ 3 สายพันธุ์ในจังหวัดจันทบุรี คือพันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีชมพู และพันธุ์สีทอง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาทั้ง 3 วิธี

คือ DPPH, ABTS และ FRAP พบว่า ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกเงาะพันธุ์โรงเรียนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 8.795 $\mu\text{g/ml}$, 0.374 mg/ml และมีค่า FRAP เท่ากับ 6,740 $\mu\text{mol/g}$ ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกเงาะกับสารมาตรฐานได้แก่ Ascorbic acid α -Tocopherol และ BHT พบว่าสารสกัดเปลือกเงาะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่า BHT ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) จากผลการวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าสารสกัดจากเปลือกเงาะพันธุ์โรงเรียนเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่น่าสนใจในการต่อยอดเพื่อพัฒนาปรับใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ยา และอาหารได้ นอกจากนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของสารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ของสารสกัดจากเปลือกเงาะเพื่อเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่สนับสนุนทุนการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการและ

พัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
การเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ที่ให้การสนับสนุนการ
ดำเนินงานทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี

เอกสารอ้างอิง

- Anshory, H. and Tamimy, A.S. 2006. Antioxidant activity of ethanol extract of rambutan (*Nephellium lappaceum* L.) fruit peel against DPPH free radical suppression by spectrophotometer (In Bahasa Indonesia). **Scientific Journal of Pharmacy** 3(1): 9-15.
- Cheng, H.S., Ton, S.H. and Kadir, K.D. 2016. Ellagitannin geraniin: A review of the natural sources, biosynthesis, pharmacokinetics and biological effects. **Phytochemistry Reviews** 16: 159-193.
- Dilokkunanant, U., Mongkolsook, Y., Kongkathip, N., Sukatta, U., Rattana, W and Rakthaworn, P. 2004. Antimicrobial activity of betel vine (*piper betle* Linn.) extracts in Thailand, pp. 291-297. *In Proceedings of 42nd Kasetsart University Annual Conference*. Natural Resource and Environmental Economics. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Gusman, J.A. and Tsai, P.J. 2015. Extraction of antioxidant compounds from rambutan (*Nephellium lappaceum* L.) peel as agricultural waste in Taiwan. **Journal of Tropical Crop Science** 2(2): 10-16.
- Hernández, C., Ascacio-Valdés, J., De la Garza, H., Wong-Paz, J., Aguilar, C.N. and MartínezÁvila, G.C. 2017. Polyphenolic content in vitro antioxidant activity and chemical composition of extract from *Nephelium lappaceum* L. (Mexican rambutan) husk. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine** 10(12): 1201-1205.
- Herrero, M., Cifuentes, A. and Ibañez, E. 2006. Sub and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: Plants, food-by-products, algae and microalgae - a review. **Food Chemistry** 98(1): 136-148.
- Hidayat, W.N., Ridhwan, A.W. and Azamn, S. 2011. Promising effect of *Nephelium lappaceum* rind extract as cancer chemopreventive agent through apoptosis and cell cycle arrest mechanisms on human osteosarcoma cells. pp. 163-169. *In Proceedings of the University Malaysia Terengganu 10th International Annual Symposium UNTAS2011*. Faculty of Science and Technology. University of Malaysia, Malaysia.
- Kondo, S., Tsuda, K., Muto, N. and Ueda, J.E. 2002. Antioxidative activity of apple skin or flesh extracts associated with fruit development on selected apple cultivars. **Scientia Horticulturae** 96(1-4): 177-185.
- Kronholm, J., Hartonen, K. and Riekkola, M.L. 2007. Analytical extractions with water at elevated temperatures and pressures. **TRAC Trends in Analytical Chemistry** 26(5): 396-412.
- Kubola, J. and Siriamornpun, S. 2008. Phenolic contents and antioxidant activities of bitter

- gourd (*Momordica charantia* L.) leaf, stem and fruit fraction extracts in vitro. **Food Chemistry** 110: 881-890.
- Palanisamy, U.D., Cheng, H.M., Masilamani, T., Subramaniam, T., Ling, L.T. and Radhakrishnan, A.K. 2008. Rind of the rambutan, *Nephelium lappaceum*, a potential source of natural antioxidants. **Food Chemistry** 109(1): 54-63.
- Palanisamy, U.D., Ling, L.T., Manaharan, T. and Appleton, D. 2011. Rapid isolation of geraniin from *Nephelium lappaceum* rind waste and its anti-hyperglycemic activity. **Food Chemistry** 127(1): 21-27.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine** 26: 1231-1237.
- Rohman, A. 2017. Review article Physico-chemical properties and biological activities of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) fruit. **Research Journal of Phytochemistry** 11(2): 66-73.
- Samuagam, L., Sia, C.M., Akowuah, G.A., Okechukwu, P.N. and Yim, H.S. 2015. In vivo antioxidant potentials of rambutan, mangosteen and langsat peel extracts and effects on liver enzymes in experimental rats. **Food Science and Biotechnology** 24(1). 191-198.
- Skerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Hras, A.R., Simoncic, M. and Knez, Z. 2005. Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. **Food Chemistry** 89(2): 191-198.
- Teerananont, N. 2008. Study of using the rambutan seeds from rambutan in syrup can industrial to produce biodiesel. Master of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)
- Thitilertdech, N., Teerawutgulrag, A., Kilburn, J.D. and Rakariyatham, N. 2010. Identification of major phenolic compounds from *Nephelium lappaceum* L. and their antioxidant activities. **Molecules** 15(3): 1453-1465.
- Wei, A. and Shibamoto, T. 2007. Antioxidant activities and volatile constituents of various essential oils. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 55(5): 1737-1742.
- Zhu, K., Zhou, H. and Qian, H. 2006. Antioxidant and free radical-scavenging activities of wheat germ protein hydrolysates (WGPH) prepared with alcalase. **Process Biochemistry** 41(6): 1296-1302.

ผลของช่วงการเก็บเกี่ยวผล และอายุของผลที่มีต่อการพัฒนาผล และคุณภาพของผลส้มจุก

Effects of Fruit Harvesting and Fruit Age Periods on Fruit Development and Quality of Neck Oranges

สกุรัตน์ หาญศึก* และ สมพร ณ นคร

Sakulrat Hansuek* and Somporn Na Nakorn

Received: 24 February 2020, Revised: 1 May 2020, Accepted: 15 May 2020

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของช่วงการเก็บเกี่ยวผล และอายุผลที่มีต่อการพัฒนาผล และคุณภาพผลส้มจุก วางแผนการทดลองแบบ 2×5 แฟกทอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ 1. ช่วงเวลาที่ต่างกันของการเก็บเกี่ยว (ต้นปี และปลายปี) 2. อายุของผลและการเจริญเติบโตและการพัฒนาของผล 5 ระยะ (5, 6, 7, 8 และ 9 เดือน) ณ สวนส้มจุกของนายคตกอนี เหล่าหมาน ตำบลบ้านนา อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา ในช่วงเดือนมกราคม 2561 ถึงกันยายน 2562 ผลการทดลอง พบว่า การเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลส้มจุก ในช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต้นปี โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวปลายปีมีค่าเฉลี่ยด้านการพัฒนาน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ เส้นผ่านศูนย์กลางของผลไม้ และเส้นรอบวง ในช่วงต้นปีมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าช่วงปลายปี ด้านคุณภาพของผลในช่วงการเก็บเกี่ยวต้นปีมีค่าเฉลี่ยค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS), ค่าปริมาตรกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และอัตราส่วน TSS : TA สูงกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี สำหรับอิทธิพลของอายุผลส้มจุก พบว่า ผลส้มจุกที่มีอายุ 7-8 เดือน มีการเจริญเติบโตและการพัฒนาด้านน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ เส้นผ่านศูนย์กลาง และเส้นรอบวง สูงสุด และคุณภาพของผลในด้านค่า TSS, TA และ TSS: TA สูงสุด ดังนั้น ควรเก็บเกี่ยวผลส้มจุกที่มีอายุ 9 เดือนในช่วงต้นปี จะได้ผลผลิตส้มจุกที่มีพัฒนาการของผลและคุณภาพผลดีที่สุด

คำสำคัญ: อายุผล, การพัฒนาของผล, คุณภาพผล, ส้มจุก

สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตำบลฉ่ำใหญ่ อำเภอกงหรา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

Department of Plant Science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Tamai, Thung Song, Nakhon Si Thammarat 80110, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): sakulrat_s@hotmail.co.th

ABSTRACT

The purpose of the study is to examine effects of fruit harvesting periods and fruit development periods on fruit quality of neck oranges. The experimental design using 2×5 factorial in completely randomized design (CRD) was performed with 2 factors and 5 replications as follows: (1) time of harvesting (the beginning of the year and the end of the year) and (2) age of neck orange fruit (5^{th} 6^{th} 7^{th} 8^{th} and 9^{th} months). The experiment was conducted at the orchard of Mr. Donkonee Lowmhan in the Banna sub-district, Chana district, Songkhla province, Thailand from January 2018 to September 2019. The results showed that the effect of the harvesting time was significantly different from the harvesting time. At the middle of the year, the fruit weight (g), peel weight (g), orange fresh (g), diameter of fruit (cm) and fruit circumference (cm) is higher than a half year later. The fruit quality of the mid-year had higher total soluble solid (TSS), titratable acidity (TA) and TSS/TA ratio than a half later. The finding indicated that fruit age at 7^{th} - 8^{th} months could develop the highest fruit weight (g), peel weight (g), fresh weight (g), diameter of fruit (cm), fruit circumference (cm), and the highest fruit quality as specified by TSS, TA and TSS/TA ratio. Therefore, neck oranges at the 9^{th} month of fruit age should be harvested during the harvesting period in January for the highest fruit development and quality.

Key words: fruit age, fruit development, fruit quality, neck orange

บทนำ

ส้มจุก (Neck orange : *Citrus reticulata* Blanco) จัดอยู่ในกลุ่มแมนดาริน ซึ่งเป็นส้มเปลือกอ่อนเป็นส้มพันธุ์พื้นเมืองอยู่ในเขตภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย ที่เป็นส้มเปลือกอ่อนเช่นเดียวกับส้มโชกุนและส้มเขียวหวาน มีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างจากส้มอื่นคือ บริเวณขั้วผลมีปุ่มยื่นออกมาคล้ายลูกภาษาท้องถิ่นทางภาคใต้เรียกว่า “ส้มแป้นหัวจุก” มีแหล่งปลูกดั้งเดิมอยู่ที่อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา (Lim and Techato, 1992) เกษตรกรรายย่อยนิยมปลูก โดยเฉพาะในกลุ่มเกษตรกรที่นับถือศาสนาอิสลาม เนื่องจากอำเภอจะนะเป็นอำเภอที่ประชากรส่วนใหญ่นับถือศาสนาอิสลาม และสวนส้มจุกทั่วไปจะเป็นสวนผสมผสานแบบธรรมชาติ มีการปลูกพืชหลายชนิดร่วมกัน เช่น ลองกอง มังคุด ทุเรียน กัลยัม มะพร้าว ต่อมาเมื่อได้รับความนิยมจึงมี

การขยายพื้นที่ปลูกไปยังแหล่งอื่นๆ ของจังหวัดสงขลา เช่น อำเภอเทพา อำเภอบางยอ อำเภอนาทวี อำเภอหาดใหญ่ และในเขตภาคใต้ เช่น จังหวัดยะลา นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และชุมพร ในพื้นที่อำเภอจะนะ มีเกษตรกรมาขึ้นทะเบียนเป็นผู้ปลูกส้มจุกจะนะไว้ทั้งสิ้น 65 ราย คิดเป็นพื้นที่ 162 ไร่ โดยเกษตรกรส่วนใหญ่เน้นปลูกส้มจุกจะนะปลอดสารเคมี (Lim and Techato, 1992)

การเก็บเกี่ยวผลส้มจำเป็นต้องใช้ดัชนีในการเก็บเกี่ยวหลายองค์ประกอบในการเก็บเกี่ยว เพราะส้มเป็นไม้ผลที่บ่มไม่สุก (non climacteric) คือผลส้มจะไม่มีการสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้นหลังจากการเก็บเกี่ยวจากต้น การเก็บเกี่ยวผลส้มที่มีอายุอ่อนก่อนกำหนดจะมีรสเปรี้ยว แต่ถ้าหากทิ้งผลส้มไว้บนต้นนานเกินอายุเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมคุณภาพของส้มก็จะลดลง การนับอายุวันตั้งแต่หลังดอกบานจนกระทั่งผลแก่

เก็บเกี่ยวได้ของส้มแต่ละชนิด แต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกัน (Sattapakdee, 1999) ในปัจจุบันพบว่า ส้มจุกที่เกษตรกรปลูกโดยทั่วไปให้ผลผลิตน้อย และคุณภาพของส้มจุกในช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันในรอบปี ส่งผลให้คุณภาพแตกต่างกัน นอกจากนี้การเก็บเกี่ยวผลผลิตโดยไม่ได้คำนึงถึงอายุผลยังเป็นปัญหาที่ทำให้ได้ผลผลิตที่ไม่มีคุณภาพ ดังนั้นการศึกษานี้จึงทดลองเก็บเกี่ยวผลส้มจุกในแต่ละช่วงในรอบปี และศึกษาการพัฒนาของผลส้มจุกในระยะผลที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยว จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการเก็บเกี่ยวผลส้มจุกในเวลาที่ไม่เหมาะสมและมีคุณภาพสูงสุด และทราบช่วงเวลาที่เหมาะสมของการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมในรอบปี

วิธีดำเนินการวิจัย

ดำเนินการทดลอง ณ สวนส้มจุกของนายคณ กอนี เหลาะหมาน ตำบลบ้านนา อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา ในเดือนมกราคม 2561 ถึงกันยายน 2562 วางแผนการทดลองแบบ 2×5 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ 1. ช่วงการเก็บเกี่ยว 2 ช่วง (ต้นปี มกราคม-มีนาคม และปลายปี-กันยายน-พฤศจิกายน) 2. การเจริญเติบโตและการพัฒนาของผล 5 ระยะ (5, 6, 7, 8 และ 9 เดือน) มีสิ่งทดลองรวมทั้งหมด 10 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ (1 ต้น = 1 ซ้ำ) เก็บข้อมูล วิเคราะห์คุณภาพของผลและบันทึกการเจริญเติบโตของผล ดังนี้

1. การพัฒนาของผลที่อายุ 5, 6, 7, 8 และ 9 เดือน

- 1.1 น้ำหนักผล (กรัม)
- 1.2 น้ำหนักเปลือก (กรัม)
- 1.3 น้ำหนักเนื้อ (กรัม)
- 1.4 เส้นรอบวง (ซม.)

1.5 เส้นผ่านศูนย์กลาง (ซม.)

1.6 ความหนาของเปลือก (ซม.)

2. คุณภาพของผลที่อายุ 5, 6, 7, 8 และ 9 เดือน

2.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS)

2.2 ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA)

วิเคราะห์ข้อมูลตามแผนการทดลอง Factorial in CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT โดยใช้โปรแกรม R

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลส้มจุก

1.1 ช่วงการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันในรอบปี

จากศึกษาช่วงการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันในรอบปี 2 ช่วง พบว่า การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปีน้ำหนักผลมากกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักผล 268.26 กรัม และ 241.43 กรัม ตามลำดับ ส้มจุกที่การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปี มีน้ำหนักเปลือกสูงกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเปลือก 78.57 กรัม และ 63.73 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเนื้อของส้มจุกที่การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปี มีน้ำหนักเนื้อสูงกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเนื้อ 187.92 กรัม และ 174.00 กรัม ตามลำดับ เส้นรอบวงของผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส้มจุกที่การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปีและการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี มีค่าเฉลี่ยเส้นรอบวงของผล 24.92 เซนติเมตร และ 24.76 เซนติเมตร ตามลำดับ เส้นผ่านศูนย์กลางของผลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส้มจุกที่การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปีและการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของผล 7.79 เซนติเมตร และ 7.77 เซนติเมตร ตามลำดับ ความหนาของเปลือกมีความแตกต่างกันทางสถิติ ส้มจุกที่การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปี มีความหนาของเปลือก

น้อยกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี มีความหนาของเปลือก 0.40 เซนติเมตร และ 0.45 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และ 2) การออกดอกของส้มจุกหลายครั้งในรอบปี ในแต่ละช่วงของการออกดอกติดผล จะมีผลต่อคุณภาพของผลที่เก็บเกี่ยว โดยคุณภาพของผลขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ช่วงการเก็บเกี่ยวผล และอายุของต้น จากผลการทดลองในครั้งนี้พบว่า ช่วงการเก็บเกี่ยวต้นปี มีน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ เส้นรอบวง เส้นผ่าศูนย์กลาง ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่าช่วงการเก็บเกี่ยวปลายปี เนื่องจากช่วงการเก็บเกี่ยวปลายปีมักเป็นช่วงฤดูฝน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีส่วนสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์แสง ซึ่งใบของพืชเป็นแหล่งหลักในการสังเคราะห์แสง ของพืช โดยทั่วไปอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชยังขึ้นอยู่กับอายุของใบพืชที่แก่เต็มที่และได้รับแสงเต็มที่ ก็จะมีการสังเคราะห์ได้สูงสุด (Kramer and Kozlowski, 1979)

1.2 ช่วงอายุของผลที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาช่วงอายุผลของผลส้มจุกที่แตกต่างกัน 5 ช่วงอายุ คือ 5, 6, 7, 8 และ 9 เดือน พบว่า ผลมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นตามช่วงอายุของผล โดยผลที่มีอายุ 9, 8 และ 7 เดือน มีน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ เส้นรอบวงของผล และเส้นผ่าศูนย์กลางของผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยผลที่มีอายุ 9 เดือนมีค่าเฉลี่ยสูงสุด และค่าเฉลี่ยดังกล่าวมีค่าลดลงในเดือนที่ 8 และ 7 ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และ 2) การพัฒนาของผลในช่วงเดือนที่ 5 และ 6 มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยในเดือนที่ 6 มีน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ เส้นรอบวงของผล และเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมากกว่าในเดือนที่ 5 และยังคงเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนเข้าเดือนที่ 7 ซึ่งอาจเป็นเพราะในช่วงอายุผล 5-7 เดือนเป็นการขยายขนาดของผล และผลมีการเจริญเติบโตเต็มที่เมื่อผลอายุ 7 เดือน ในระหว่างเดือนที่ 7-9 ผลมีการ

พัฒนาทางเคมีที่สูงสุดอีกด้วย Wongchana and Pongmanawat (2003) รายงานว่า การเจริญเติบโตของผลส้มจุกที่เหมาะสมที่สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อมีอายุผล 6.5 ถึง 7 เดือน โดยมีค่าของ TSS สูงสุด มีค่าเฉลี่ย 10.15-10.10 °Brix และมีค่าเฉลี่ยของ TA ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.42-0.39 เปอร์เซ็นต์ การพัฒนาของผลในช่วงที่ผลที่มีอายุ 9, 8 และ 7 เดือน มีน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ ความหนาของเปลือก เส้นรอบวง เส้นผ่าศูนย์กลาง มีอายุเหมาะสมในการเก็บเกี่ยวคือผลมากที่สุด เนื่องจากผลในระยะนี้จะมีขนาดของผล และคุณภาพของผลสูงที่สุด (Na Nakorn and Chalumpak, 2016) และคุณภาพของส้มขึ้นอยู่กับลักษณะภายนอกผล เช่น สีของเปลือก ขนาดของผล เนื้อภายในผลอีกด้วย

2. คุณภาพของผล

2.1 ช่วงการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันในรอบปี

ผลการทดลองช่วงการเก็บเกี่ยวผลของส้มจุกที่แตกต่างกันในรอบปี 2 ช่วง พบว่า การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปีทำให้ ค่าเฉลี่ยของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid, TSS) สูงกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี โดยมีค่าเฉลี่ย 8.67 และ 8.08 °Brix ตามลำดับ และการเก็บเกี่ยวช่วงต้นปีทำให้ปริมาณกรดที่ไตรเครทได้ (Titratable acidity, TA) มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.93 และ 2.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการเก็บเกี่ยวช่วงต้นปียังทำให้อัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตรเครทได้ (TSS:TA ratio) มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี โดยค่าเฉลี่ย 4.18 และ 4.10 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) โดยคุณภาพของผลขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยว อายุของต้น และอายุของผล เป็นต้น คุณภาพของส้มขึ้นอยู่กับลักษณะภายนอกผล เช่น สีของเปลือก ขนาดของผล เนื้อภายในผล และค่าทางชีวเคมีภายในผล เช่น ค่าของแข็งที่ละลายน้ำ ค่า

ปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้ และค่าอัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้ (Saleem *et al.*, 2008) เช่นเดียวกันกับค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลส้มโอทับทิมสยามจะเพิ่มขึ้นตามการพัฒนาของผลจาก 1-7 เดือน และค่าปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้จะมีผลในทางตรงกันข้าม คือปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้จะลดลงเมื่อผลมีอายุมากขึ้น (Na Nakorn *et al.*, 2015)

2.2 ช่วงอายุของผลที่แตกต่างกัน

คุณภาพของผลจากผลการทดลองในช่วงอายุผลที่แตกต่างกัน 5 ช่วงอายุ คือ ต้นส้มจุกที่มีอายุ 5, 6, 7, 8 และ 9 เดือน พบว่า ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลที่มีอายุ 9, 8 และ 7 เดือน มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุด มีค่าเฉลี่ย 8.87, 8.43 และ 8.39 °Brix ตามลำดับ อายุผล 6 และ 5 เดือน มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำที่สุด คือ 7.70 และ 7.00 °Brix ค่าปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้ของต้นที่มีอายุผล 9, 8 และ 7 เดือน มีค่าเฉลี่ยค่าปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้ต่ำสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ 1.31, 1.35 และ 1.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อายุผล 5 เดือน มีค่าค่าปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้สูงสุด 3.11 เปอร์เซ็นต์ และอายุผล 6 เดือน มีค่าปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้รองลงมา มีค่าเฉลี่ย 2.49 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้ของต้นส้มจุกที่มีอายุผล 9, 8 และ 7 เดือน

มีอัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้สูงสุด มีค่าเฉลี่ย 6.77, 6.24 และ 5.11 ตามลำดับ และต้นที่มีอายุผล 6 และ 5 เดือน มีค่าเฉลี่ยมีอัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้ต่ำรองลงมา 3.21 และ 2.32 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) Wongchana and Pongmanawat (2003) รายงานว่าการเจริญเติบโตของผลส้มจุกที่เหมาะสมที่สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อมีอายุผล 6.5 ถึง 7 เดือน โดยมีค่าของ TSS สูงสุด มีค่าเฉลี่ย 10.15-10.10 °Brix และมีค่าเฉลี่ยของ TA ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.42-0.39 เปอร์เซ็นต์ การนับวันตั้งแต่ดอกบานจนกระทั่งผลแก่เก็บเกี่ยวได้ของส้มแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก เช่น ส้มเขียวหวานและส้มโชกุน มีอายุ 9 เดือน และสามารถยืดอายุผลบนต้นได้ 1 เดือน หากยาวนานกว่านี้โอกาสจะเกิดการข้าวสารสูงมาก หมายความว่าใช้เวลา 4.5 เดือน (Sattapakdee, 1999) อายุผลของส้มจุกที่มีอายุ 7-7.5 เดือน และค่าทางชีวเคมีภายในผล เช่น ค่าของแข็งที่ละลายน้ำ ค่าปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้ และค่าอัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้ โดยค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้จะเพิ่มขึ้นตามการพัฒนาของผล จาก 1-7 เดือน และค่าปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้จะมีผลในทางตรงกันข้าม คือปริมาณกรดที่ไตรเทรทได้จะลดลงเมื่อผลมีอายุมากขึ้นได้ (Saleem *et al.*, 2008; Preecha and Na Nakorn, 2018)

Table 1 Fruit weight, peel weight and fresh weight of neck orange during fruit development.

Treatments	Fruit weight (g)	Peel weight (g)	Fresh weight (g)
Harvesting time(A)			
half year	268.26 ^a	78.57 ^a	187.92 ^a
half year later	241.43 ^b	63.73 ^b	174.00 ^b
Age of fruit (B)			
5 months	172.30 ^d	53.80 ^c	118.75 ^d
6 months	219.00 ^c	54.80 ^{bc}	158.25 ^c
7 months	235.76 ^{ab}	70.84 ^{ab}	196.43 ^{ab}
8 months	293.54 ^{ab}	74.65 ^{ab}	208.57 ^{ab}
9 months	310.39 ^a	80.69 ^a	218.82 ^a
Probability level of Significance (ANOVA)			
Harvesting time (A)	0.0097	0.0003	0.0020
Age of fruit (B)	0.0001	0.0001	0.0001
AxB	0.1126	0.2878	0.2285
CV.(%)	20.12	27.62	23.72

Mean values with each column followed by a same letter is not significantly at $p \leq 0.05$ tested by DMRT

Table 2 Fruit circumference, Fruit diameter and Peel thickness of neck orange during fruit development.

Treatments	Fruit circumference (cm)	Fruit diameter (cm)	Peel thickness (cm)
Harvesting time(A)			
half year	24.92 ^a	7.79 ^a	0.40 ^a
half year later	24.76 ^a	7.77 ^a	0.45 ^b
Age of fruit (B)			
5 months	21.58 ^d	6.76 ^d	0.40 ^b
6 months	24.17 ^c	7.46 ^c	0.41 ^b
7 months	24.37 ^{ab}	7.51 ^{ab}	0.41 ^b
8 months	25.78 ^{ab}	8.32 ^{ab}	0.45 ^a
9 months	26.30 ^a	8.87 ^a	0.46 ^a
Probability level of Significance (ANOVA)			
Harvesting time(A)	0.0001	0.0001	0.0036
Age of fruit (B)	0.0001	0.0001	0.0146
AxB	0.4630	0.2010	0.1039
CV.(%)	7.73	7.81	21.78

Mean values with each column followed by a same letter is not significantly at $p \leq 0.05$ tested by DMRT

Table 3 Total soluble solid, Titratable acidity and TSS/TA of neck orange during fruit development.

Treatments	Total soluble solid (^o Brix)	Titratable acidity (%)	TSS/TA
Harvesting time(A)			
half year	8.67 ^a	1.93 ^b	4.18
half year later	8.08 ^b	2.11 ^a	4.10
Age of fruit (B)			
5 months	7.70 ^c	3.31 ^a	2.32
6 months	8.00 ^b	2.49 ^b	3.21
7 months	8.39 ^a	1.64 ^c	5.11
8 months	8.43 ^a	1.35 ^c	6.24
9 months	8.87 ^a	1.31 ^c	6.77
Probability level of Significance (ANOVA)			
Harvesting time(A)	0.0004	0.0082	-
Age of fruit (B)	0.0020	0.0001	-
AxB	0.2373	2658	-
CV.(%)	9.50	14.17	-

Mean values with each column followed by a same letter is not significantly at $p \leq 0.05$ tested by DMRT

สรุป

1. การเก็บเกี่ยวผลส้มจุกควรเก็บเกี่ยวในช่วงต้นปี เนื่องจากมีการเจริญเติบโตของผลด้านน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ เส้นรอบวงของผล เส้นผ่านศูนย์กลางของผล ความหนาของเปลือก รวมถึงมีคุณภาพภายใน ได้แก่ TSS, TA และ TSS:TA ratio มากกว่าการเก็บเกี่ยวผลส้มจุกในช่วงปลายปี

2. การเก็บเกี่ยวผลส้มจุกในช่วงต้นปีและเมื่อผลส้มจุกมีอายุ 9 เดือน จะทำให้พัฒนาการของผลด้านน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ เส้นรอบวงผล เส้นผ่านศูนย์กลางของผล ความหนาของเปลือก รวมถึงคุณภาพด้าน TSS, TA และ TSS:TA ratio มากกว่าการเก็บเกี่ยวผลส้มจุกในช่วงที่อายุเก็บเกี่ยวอื่นๆ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนายคลกอนี เหลาะหมาน ที่ได้สนับสนุนและอนุญาตให้ใช้สวนส้มจุก ณ ตำบลบ้านนา อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา เพื่อทำการทดลองในครั้งนี้ และขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้สนับสนุนงบประมาณเพื่อทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Kramer, P.J. and Kozlowski, T.T. 1979. **Physiology of woody plants.** Academic Press, New York.
- Lim, M. and Techato, S. 1992. The small budding of neck orange in test tube for avoided the tristeza virus. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 14: 231-238.

- Na Nakorn, S., Chalumpak, C. and Sangwiroonton, K. 2015. Effect of crop load on fruit development and fruit quality of pummelo var. Tabtimsiam. **Journal of Agricultural Technology** 11: 2211-2217.
- Na Nakorn, S., and Chalumpak, C. 2016. Effect of tree age and fruit age on fruit development and fruit quality of Pummelo var. Tabtimsiam. **Journal of Agricultural Technology** 12(3): 637-645.
- Preecha, C. and Na Nakorn, S. 2018. Fruit growth and development of pummelo cv. tubtimsiam at the difference tree age and fruit age for the optimal harvesting time under the climate variation. **Journal of Agricultural Technology** 14(7): 1685-1692.
- Saleem, B.A., Malik, A.U., Pervez, M.A., Khan, A.S. and Khan, M.N. 2008. Spring application of growth regulators affects fruit quality of 'Blood red' sweet orange. **Pakistan Journal of Botany** 40:1013-1023.
- Sattapakdee, R. 1999. Physiology and physiology abnormal of citrus, pp 71-73. *In Training of citrus: the selected way to the future” group III*. The office of extension and training, Kasetsart University. (in Thai)
- Wongchana, B. and Pongmanawat, D. 2003. Studies on growth and development of neck orange fruit (*Citrus reticulata* Blanco). **Thai Agricultural Research Journal** 21(2): 97-104. (in Thai)

**ผลของการใช้สมุนไพรพอกเข้าลดอาการปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม
โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลศรีวิชัย อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี**
**The Effects of Thai Herbal Paste for Knee Pain in Elderly Osteoarthritis
at Sriwichai Sub-District Health Promoting Hospital,
Phunphin District, Suratthani Province, Thailand**

รุ่งนภา จันทรา^{1*}, ชลิตา สูดจันทร¹, ชุติกานัญญ์ ตั้งรุ่งเจริญ¹, ญานิกา ทองปา¹, จิตติมา นุชชา¹, จิตติมา ปานไว¹,
 ณิชฐณิชา ทองแถม¹, ณัฐทิกา เกลี้ยงขำ¹, ณัฐธิดา ชำนาญ¹, จรรยา กำเหนิดเกาะ² และ ฌลวย เหลือบรจง¹
 Rungnapa Chanttra^{1*}, Chalita Sudjan¹, Chutikarn Tangrungrachoen¹, Yanika Thongpa¹, Thitima Nutchaya¹,
 Thitima Panwai¹, Nattanicha Tongcham¹, Nattika Kliengkhum¹, Natthida Chamnan¹, Janya Kumnerkoh²
 and Chalouy Luabunjong¹

Received: 9 March 2020, Revised: 24 April 2020, Accepted: 29 April 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความปวดก่อนและหลังการใช้สมุนไพรพอกเข้าของผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม และเพื่อศึกษาความพึงพอใจของการใช้สมุนไพรพอกเข้าในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม กลุ่มตัวอย่างคือ กลุ่มผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลศรีวิชัย อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 30 คน ที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป และมีอาการปวดเข่า เลือกแบบเฉพาะเจาะจง ผู้วิจัยใช้สมุนไพรพอกเข้า ให้กลุ่มตัวอย่าง 1 ครั้ง จากนั้น ให้กลุ่มตัวอย่างกลับไปพอกเข้าที่บ้านอีก 3 ครั้ง เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบวัดระดับความปวดแบบตัวเลขและแบบประเมินความพึงพอใจของการใช้สมุนไพรพอกเข้า วิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าร้อยละและการทดสอบค่าที

ผลการวิจัยพบว่า ผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมที่ได้รับการพอกสมุนไพรที่เข้ามามีระดับการปวดเข่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: อาการปวด, ผู้สูงอายุ, ข้อเข่าเสื่อม

¹ วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีสุราษฎร์ธานี เลขที่ 56/6 หมู่ 2 ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000

¹ Borommarajonani College of Nursing Suratthani, 56/6 Moo 2, Makhamtea, Mueang, Suratthani 84000, Thailand.

² โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลศรีวิชัย อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84130

² Sriwichai Sub-District Health Promoting Hospital, Phunphin, Suratthani 84130, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): rungnapac64@gmail.com

ABSTRACT

The purposes of this research were to compare pain before and after using herbal knee mask and to study the satisfaction of using herbal knee mask in the elderly with osteoarthritis. The study was conducted with 30 elderly with osteoarthritis who aged 60 years and older in Srivichai Subdistrict Health Promoting Hospital, Phunphin District, Suratthani Province. They were purposively selected to participate in the Knee Pain Relief Project. The participants were demonstrated how to use the herbal knee mask for one time, then were asked to use the mask themselves for 3 times. The instruments consisted of the numeric pain rating scale and the satisfaction assessment form. The data was analyzed using percentage and t-test. The result revealed that the level of knee pain after using the herbal knee mask was significantly lower at the 0.01 level and the satisfaction was at the highest level.

Key words: pain, elderly, osteoarthritis

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกมีการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ประชากรผู้สูงอายุ ทำให้การเจ็บป่วยด้วยโรคไม่ติดต่อเรื้อรังเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะโรคข้อเข่าเสื่อมซึ่งเป็นโรคหนึ่งในโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่พบในบุคคลที่มีอายุ 50 ปีขึ้นไป (Annual Report 2019, 2019) และองค์การอนามัยโลกคาดการณ์ว่าจะมีผู้ป่วยกระดูกและข้อเพิ่มขึ้นเป็น 570 ล้านคน ในปี พ.ศ. 2563 ร้อยละ 50 เป็นกลุ่มผู้มีอายุมากกว่า 65 ปี (Karaket *et al.*, 2017) ปัจจุบันแนวโน้มประชากรสูงอายุกำลังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประเทศไทยมีประชากรสูงอายุมากกว่าร้อยละ 10 แสดงถึงการเป็นสังคมแห่งผู้สูงอายุหรือผู้สูงอายุ กำลังจะกลายเป็นประชากรกลุ่มใหญ่ของประเทศ วัยสูงอายุเป็นวัยแห่งความเสื่อมของร่างกายและอวัยวะต่างๆ โดยที่โรคข้อเข่าเสื่อมเป็นปัญหาสุขภาพของผู้สูงอายุที่พบบ่อย และมีอุบัติการณ์ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากสถิติผู้ป่วยโรคกระดูกและข้อในคนไทย พ.ศ. 2553 พบว่าผู้ป่วยโรคนี้มากกว่า 6 ล้านคน โดยข้อที่เสื่อมมากที่สุดคือ ข้อเข่า (Pereira *et al.*, 2011) เนื่องจากข้อเข่าเป็นข้อที่มีขนาดใหญ่และ

ต้องรับน้ำหนักของร่างกายโดยตรง ทั้งยังต้องทำหน้าที่เคลื่อนไหวขณะเดินมากที่สุดทำให้ข้อเสื่อมได้ง่าย

ในช่วงปี พ.ศ. 2554-2557 พบว่ามีผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมมารับบริการในหน่วยบริการระบบหลักประกันสุขภาพแห่งชาติจาก 241,135 ราย เป็น 274,133 ราย เพิ่มขึ้นปีละ 8,250 รายและในช่วงปี พ.ศ. 2557-2559 พบว่ามีผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมที่ได้รับการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าจำนวน 6,353 ราย 8,690 ราย และ 10,736 ราย ตามลำดับ คิดเป็นอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 23 ต่อปี อีกทั้งประเทศไทยกำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุจึงมีแนวโน้มทั้งจำนวนผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมและการได้รับการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเพิ่มขึ้นด้วย (National Health Security Office, 2016)

อาการที่พบได้บ่อยในผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อม คือ ปวดข้อเข่า มีเสียงกรอบแกรบ (Crepitation) ฝืดติดขัดข้อเข่า เป็นระยะเวลาน้อยกว่า 30 นาที และมีข้อเข่าขนาดใหญ่ขึ้นโดยไม่มีการอักเสบบวมร้อน (Narongruengnavin, 2018) หากมีการปฏิบัติตัวและการดูแลที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดอาการที่ปวดที่

รุนแรงใน 1 ถึง 3 ปี เช่น พฤติกรรมการนั่งของๆ นั่งพับเพียบ และภาวะอ้วน (Narin *et al.*, 2015) สำหรับอาการปวดข้อเข่าที่รุนแรงจะมีการอักเสบวมแดงร้อน รวมทั้งอาการปวดข้อเข่าที่เรื้อรังทำให้เกิดความทุกข์ทรมาน ซึ่งในปัจจุบันมีแนวทางการรักษาต่างๆ เพื่อควบคุมอาการปวดที่เกิดขึ้น แนวทางแรกเป็นการใช้ยาแผนปัจจุบัน ได้แก่ ยาบรรเทาอาการปวด ยาต้านการอักเสบของเนื้อเยื่อรอบข้อ ยากล้ามเนื้อ และการฉีดยาเข้าข้อ (Hawkey *et al.*, 1998) แนวทางที่สองคือ กายภาพบำบัด เช่น การออกกำลังกายกล้ามเนื้อคอควอดริเซพส์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับข้อ เข่า การใช้ความร้อนเพื่อบรรเทาอาการปวด และการใช้เครื่องพยุง เป็นต้น เพื่อลดแรงที่มากกระทำต่อข้อเข่า แนวทางที่สาม ประกอบด้วย การให้คำแนะนำเกี่ยวกับลักษณะของโรค การลดน้ำหนัก การมีอิริยาบถที่ถูกต้อง และการประเมนรูปแบบกิจกรรมประจำวันและการทำงานที่เหมาะสม เป็นต้น (Hengkrawit, 2017) แนวทางที่สี่ เป็นการใช้อาการดูแลแบบทางเลือก เพื่อบรรเทาอาการปวดที่เกิดขึ้นด้วยตนเองและเสริมประสิทธิภาพการรักษาในปัจจุบันให้ดียิ่งขึ้น เช่น การนวด การฝังเข็ม และการใช้สมุนไพรในรูปแบบต่างๆ เป็นต้น (Lorenzi, 1999)

ปี พ.ศ. 2561 ผู้สูงอายุในพื้นที่ของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเขาสรีวิชัย มีจำนวน 319 คน ผู้สูงอายุส่วนใหญ่ที่มีมารับบริการพบว่ามักมีอาการปวดเข่าซึ่งจากการสำรวจโดยใช้แบบสัมภาษณ์เพื่อประเมินระดับความรุนแรงของโรคข้อเข่าเสื่อม (Oxford Knee Score) แบบเจาะจงในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีอาการปวดเข่าจำนวน 53 คน และพบว่าผู้สูงอายุเริ่มมีอาการจำนวน 19 คน อยู่ในระดับปานกลางจำนวน 14 คน และระดับรุนแรงจำนวน 11 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 83.02 ของจำนวนกลุ่มผู้สูงอายุที่มีอาการปวดเข่า ปัญหาอาการปวดเข่าพบมากในผู้สูงอายุและอาจส่งผลกระทบต่อ

ชีวิตประจำวันไม่มากนักน้อย จากการทบทวนวรรณกรรมวิธีการลดอาการปวดเข่าในผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมมีทั้งแผนปัจจุบัน แผนไทยและแผนทางเลือก ซึ่งในแผนปัจจุบันจะรักษาโดยวิธีการรับประทานยาลดปวดเพื่อบรรเทาอาการปวด แผนทางเลือกส่วนมากจะใช้วิธีฝังเข็มซึ่งสามารถลดปวดได้เช่นกัน และแผนไทยจะใช้วิธีการประคบและพอกเข่าเพื่อลดอาการปวด ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถทำได้ อาจจะประยุกต์นำสมุนไพรของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเขาสรีวิชัยมาทำการรักษาได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้คิดที่จะศึกษาผลของการใช้สมุนไพรประคบเข่าลดอาการปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม จากการใช้ถุงประคบสมุนไพรที่นำเอาสมุนไพรที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาปรับใช้ประคบหัวเข่าเพื่อลดอาการปวดเข่า ซึ่งทางเลือกใหม่ให้ผู้สูงอายุที่มีอาการปวดเข่าที่สามารถดูแลตนเองได้อย่างถูกต้องสม่ำเสมอ และยังสามารถทำได้ขณะอยู่บ้าน เป็นการส่งเสริมการใช้สมุนไพรในท้องถิ่น ลดค่าใช้จ่าย ลดการใช้ยาแก้ปวด และทำให้ผู้สูงอายุดำเนินชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi Experimental Research) แบบกลุ่มตัวอย่างเดียวทดสอบ ก่อน - หลัง (One Group Pretest- Posttest Design) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลศรีวิชัย อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 55 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลศรีวิชัย อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี เลือกแบบเฉพาะเจาะจง จำนวน 30 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้

ส่วนที่ 1 เครื่องมือดำเนินการทดลอง คือ สมุนไพรพอกเข้า ประกอบด้วย ใบบัวบก ไพล ขมิ้นชัน บอระเพ็ด รากจืด ผักเสี้ยนผี พิมเสน การบูร นำสมุนไพรแต่ละชนิด มาบดละเอียด สำหรับตะไคร้ ขมิ้นชัน ไพล ใบมะขาม นำมาบดหยาบ โดยสมุนไพรแต่ละอย่างจะใช้จำนวน 350 กรัม เท่ากันทุกชนิด และนำไปบรรจุในถุงผ้า

ส่วนที่ 2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย

แบบประเมินระดับความรุนแรงของโรคข้อเข่าเสื่อม (Oxford Knee Score) เป็นแบบประเมินที่พัฒนาโดย กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ในปี พ.ศ. 2557 แบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปประกอบด้วย ข้อมูลเพศ อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา อาชีพ โรคประจำตัว ข้อที่มีการอาการเสื่อม การได้รับอุบัติเหตุ ข้อเข่าในอดีต ประวัติการแพ้ยาสมุนไพร และแผลบริเวณเข่า

ตอนที่ 2 การประเมินระดับความรุนแรงของโรคข้อเข่าเสื่อม (Oxford Knee Score) เป็นแบบประเมินที่พัฒนาโดยกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ในปี พ.ศ. 2557 มีข้อคำถามจำนวน 12 ข้อ แต่ละข้อมีจำนวน 5 คำตอบ มีลำดับค่าคะแนน 0-4 คะแนน ค่าคะแนน 0 หมายถึง มีอาการนั้นมากที่สุด และค่าคะแนน 4 หมายถึง ไม่มีอาการนั้นเลย หรือเป็นปกติโดยคะแนนรวมทั้งหกดมีตั้งแต่ 0-48 คะแนน แบ่งเป็น 4 ระดับ คือเป็นโรคข้อเข่าเสื่อมระดับรุนแรง (0-19 คะแนน) มีอาการโรคข้อเข่าเสื่อมระดับปานกลาง (20-29 คะแนน) เริ่มมีอาการข้อเข่าเสื่อม (30-39 คะแนน) และยังไม่พบอาการผิดปกติ (40-48 คะแนน)

ตอนที่ 3 การสัมภาษณ์ประเมินความรุนแรงของโรคข้อเข่าเสื่อม เป็นแบบประเมิน

วัดระดับความเจ็บปวด (Visual Analogue Scale) โดยจะทำการประเมิน ก่อนการรักษา และหลังการรักษา 3 ครั้ง มีลำดับค่าคะแนน 0-10 คะแนน ค่าคะแนน 0 หมายถึง ไม่ปวด ค่าคะแนน 1.0-2.9 หมายถึง ปวดเล็กน้อย ค่าคะแนน 3.0-5.9 หมายถึง ปวดปานกลาง ค่าคะแนน 6.0-8.9 หมายถึง ปวดมาก และค่าคะแนน 9.0-10 หมายถึง ปวดมากที่สุด

ตอนที่ 4 ความพึงพอใจต่อการใช้สมุนไพรพอกเข้าลดอาการปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม เป็นแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ มีค่าคะแนน 1-5 คะแนน จำนวน 10 ข้อ 50 คะแนน ซึ่งผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์โดยใช้เกณฑ์การแปลผลค่าเฉลี่ย (Best, 1981) ดังนี้

คะแนน 1.0-2.5 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย

คะแนน 2.6-3.5 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

คะแนน 3.6-5.0 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไป ระดับอาการปวดเข่าด้วยสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอาการปวดเข่าก่อน-หลังการพอกเข้าด้วยสมุนไพร โดย หาค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยใช้สถิติ Paired Sample t-test

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการวิจัยจะนำเสนอใน 3 ส่วน คือ 1) ข้อมูลส่วนบุคคล 2) ผลระดับความเจ็บปวดก่อนและหลังใช้สมุนไพรพอกเข้าลดอาการปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม 3) ความพึงพอใจต่อ

การใช้สมุนไพรพอกแผลลดอาการปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม

1. ข้อมูลส่วนบุคคล

เป็นผู้สูงอายุโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลศรีวิชัย อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 80 อายุมากกว่า 70 ปี คิดเป็นร้อยละ 63.33 รองลงมาอายุ 65 - 69 คิดเป็นร้อยละ 23.33 มีสถานภาพสมรส คิดเป็นร้อยละ 86.77 ระดับ

การศึกษา ไม่ได้รับการศึกษา ร้อยละ 90 อาชีพเกษตรกรคิดเป็นร้อยละ 50 โรคประจำตัว โรคความดันโลหิตสูง คิดเป็นร้อยละ 33.33 ไม่มีโรคประจำตัวคิดเป็นร้อยละ 30 และข้อเข่าที่มีอาการเข่าเสื่อมทั้งสองข้างคิดเป็นร้อยละ 50 เข่าขวาเสื่อม คิดเป็นร้อยละ 33.33 ประวัติไม่เคยได้รับอุบัติเหตุคิดเป็นร้อยละ 66.77 เคยได้รับอุบัติเหตุ คิดเป็นร้อยละ 33.33 ไม่มีประวัติการแพ้ยาสลบไหม คิดเป็นร้อยละ 100 ไม่มีแผลบริเวณเข่า คิดเป็นร้อยละ 100 ดังตาราง 1

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของข้อมูลส่วนบุคคล

รายการ	จำนวน (n=30)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	6	20.00
หญิง	24	80.00
อายุ		
60 - 64	4	13.30
65 - 69	7	23.30
70 ขึ้นไป	19	63.30
สถานภาพ		
โสด	4	13.30
สมรส	26	86.70
ระดับการศึกษา		
ไม่ได้ศึกษา	27	90.00
อาชีพ		
ไม่ได้ประกอบอาชีพ	12	40.00
รับราชการ	2	6.70
รับจ้างทั่วไป	1	3.30
เกษตรกรรวม	15	50.00
โรคประจำตัว		
ไม่มีโรคประจำตัว	9	30.00
โรคหัวใจ	1	3.30
โรคเบาหวาน	6	20.00
โรคความดันโลหิตสูง	10	33.30

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รายการ	จำนวน (n=30)	ร้อยละ
อื่นๆ	4	13.30
ข้อเข้าที่มีอาการเข้าเสื่อม		
เข้าซ้าย	5	16.70
เข้าขวา	10	33.30
เข้าทั้งสองข้าง	15	50.00
ประวัติการได้รับอุบัติเหตุ		
ไม่เคย	20	66.70
เคย	10	33.30
ประวัติการแพ้ยาสมุนไพร		
ไม่มี	30	100.00
ผลบริเวณเข้า		
ไม่มี	30	100.00
รับประทานยาแก้ปวด		
ไม่มี	24	80.00
มี	6	20.00

2. ผลระดับความเจ็บปวดก่อนและหลังใช้สมุนไพรพอกเข้าลดอาการปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข้าเสื่อม

ผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข้าเสื่อมมีระดับความเจ็บปวดก่อนและหลังได้รับการพอกเข้าด้วยสมุนไพร (Mean=6.40 และ 4.93 ตามลำดับ) มีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ 0.01 โดยผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข้าเสื่อมได้รับการใช้สมุนไพรพอกเข้ามีระดับการปวดลดลงกว่าก่อนการใช้สมุนไพรพอกเข้าอย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ 0.01 ดังตาราง 2

ตารางที่ 2 ระดับความเจ็บปวดก่อนและหลังใช้สมุนไพรพอกเข้าลดอาการปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข้าเสื่อม

ระดับความเจ็บปวด	Mean	SD	t	p-value
ก่อนการใช้สมุนไพรพอกเข้าลดอาการปวด	6.40	1.85	11.00	0.00**
หลังการใช้สมุนไพรพอกเข้าลดอาการปวด	4.93	1.76		

หมายเหตุ: ** $p < 0.01$

จากผลการศึกษา พบว่า ผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข้าเสื่อมมีระดับอาการปวดลดลงหลังการใช้สมุนไพรพอกเข้าอธิบายได้ว่า สมุนไพรพอกเข้า

ประกอบด้วยไฟโรเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งไฟโรมีฤทธิ์ลดการอักเสบและลดความปวดได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nivatananun (2008) ซึ่งพบว่าไฟโรมี

ฤทธิ์ด้านการอักเสบและระดับความเจ็บปวดได้ดี เทียบเท่าแอสไพริน เนื่องจากมีสาร dimethoxyphenyl butadiene (DMPBD) และสาร (E)-3-(3,4-dimethoxyphenyl) but-3-en-1-ol ที่สามารถยับยั้งการบวมได้ (Ozaki *et al.*, 1991) นอกจากนี้การศึกษาของ Karaket *et al.* (2017) ได้วิจัยเปรียบเทียบระดับความเจ็บปวดก่อนและหลังจากการรักษาโคลนสมุนไพรพอกเย็นร่วมกับการนวดแผนไทยในผู้สูงอายุที่มีอาการปวดเข่า พบว่าอาการปวดเข่าลดลงคะแนนความปวดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมทั้งผลวิจัยของ Poonsuk *et al.* (2018) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของยาพอกสมุนไพรเพื่อบรรเทาอาการปวดเข่าในผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมของผู้สูงอายุ พบว่า ภายหลังการใช้ยาพอกสมุนไพรเพื่อลดระดับความปวดของข้อเข่าจะทำให้อาการปวดลดลงและระดับความสามารถในการทำงานของข้อเข่าดีขึ้นกว่าก่อนการทดลอง จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้จึงสามารถยืนยันได้ว่าสมุนไพรพอกเข่าที่มีส่วนประกอบของไพลเป็นส่วนประกอบหลักสามารถลดอาการปวดในผู้ป่วยที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมได้

3. ความพึงพอใจต่อการใช้สมุนไพรพอกเข่าลดอาการปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม

ผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมที่ใช้สมุนไพรพอกเข่าลดอาการปวด มีความพึงพอใจในภาพรวมในระดับมากที่สุด (Mean=4.56,SD=0.53) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ด้านการใช้สมุนไพรมีความพึงพอใจมากที่สุด (Mean=4.65,SD=0.50)

รองลงมาเป็นด้านตัวสมุนไพร (Mean=4.53,SD=0.58) และด้านประโยชน์ของสมุนไพร (Mean=4.45,SD=0.45) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อในแต่ละด้านพบว่า

ด้านด้านตัวสมุนไพรมีความพึงพอใจมากที่สุด (Mean=4.53,SD=0.58) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า ข้อที่มีคะแนนมากที่สุดคือ มีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า มีประสิทธิภาพ ไม่ฟุ่มเฟือย (Mean=4.63,SD=0.49) รองลงมาคือ มีการใช้ทรัพยากรในท้องถิ่น (Mean=4.50,SD=0.68) และความเหมาะสมของสมุนไพรที่นำมาใช้ (Mean=4.46,SD=0.57) ตามลำดับ

ด้านการใช้สมุนไพรมีความพึงพอใจมากที่สุด (Mean=4.65,SD=0.50) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า ข้อที่มีคะแนนมากที่สุดคือ ขั้นตอนการพอกสมุนไพรไม่ยุ่งยากซับซ้อน (Mean=4.83,SD=0.37) รองลงมาคือ ผู้ใช้สามารถใช้ได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย (Mean=4.76,SD=0.43) มีประโยชน์ สะดวกสามารถนำไปใช้ได้จริง (Mean=4.63,SD=0.49) และความเหมาะสมของระยะเวลาในการพอกสมุนไพร (Mean=4.36,SD=0.55) ตามลำดับ

ด้านประโยชน์ของสมุนไพรมีความพึงพอใจมากที่สุด (Mean=4.45,SD=0.45) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า ข้อที่มีคะแนนมากที่สุดคือ ลดปริมาณค่าใช้จ่ายทางการแพทย์ (Mean=4.66,SD=0.47) รองลงมาคือ อาการปวดข้อลดลงหลังจากพอกสมุนไพร (Mean=4.23,SD=0.72)

รายละเอียด ดังตาราง 3

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจต่อการใช้สมุนไพรพอกแก้ลดอาการปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม

รายการ	Mean	SD	ระดับ
1. ตัวสมุนไพร			
1.1 ความเหมาะสมของสมุนไพรที่นำมาใช้	4.46	0.57	มาก
1.4 มีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า มีประสิทธิภาพ ไม่ฟุ่มเฟือย	4.63	0.49	มากที่สุด
1.5 มีการใช้ทรัพยากรในท้องถิ่น	4.50	0.68	มากที่สุด
ภาพรวม	4.53	0.58	มากที่สุด
2. การใช้สมุนไพร			
2.1 ความเหมาะสมของระยะเวลาในการพอกสมุนไพร	4.36	0.55	มาก
2.2 มีประโยชน์ สะดวก สามารถนำไปใช้ได้จริง	4.63	0.49	มากที่สุด
2.3 ผู้ใช้สามารถใช้ได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย	4.76	0.43	มากที่สุด
2.4 ขั้นตอนการพอกสมุนไพรไม่ยุ่งยากซับซ้อน	4.83	0.37	มากที่สุด
ภาพรวม	4.65	0.50	มากที่สุด
3. ประโยชน์ของสมุนไพร			
3.1 อาการปวดข้อลดลงหลังจากพอกสมุนไพร	4.23	0.72	มาก
3.2 ลดปริมาณค่าใช้จ่ายทางการแพทย์	4.66	0.47	มากที่สุด
ภาพรวม	4.45	0.45	มาก
รวมทั้งหมด	4.56	0.53	มากที่สุด

จากผลการศึกษา พบว่า ผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมที่ใช้สมุนไพรพอกแก้ลดอาการปวด มีความพึงพอใจภาพรวมในระดับมากที่สุด อธิบายได้ว่า การใช้สมุนไพรพอกเขามีคุณลักษณะที่เป็นของ ห่อหุ้มสามารถใช้สะดวก และนำไปใช้ที่บ้าน ซึ่งใช้ง่าย ไม่ยุ่งยากและขั้นตอนการใช้ไม่ซับซ้อน ผู้สูงอายุสามารถทำได้เองโดยไม่มีอันตรายต่อตัวผู้สูงอายุ และสามารถลดอาการปวดข้อเขาได้หลักจากพอกสมุนไพรพอกเขาไปแล้ว ทำให้ผู้สูงอายุรู้สึกสบาย ผู้สูงอายุที่ใช้สมุนไพรพอกเขาจึงมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

สรุป

การใช้สมุนไพรพอกแก้ลดอาการปวดในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมสามารถลดอาการปวดบริเวณข้อเขาได้ ทั้งนี้ผู้สูงอายุสามารถนำไปใช้ได้เอง

ได้ที่บ้านโดยไม่ต้องเดินทางมาพบบุคลากรทางสุขภาพ ซึ่งผู้สูงอายุในชุมชนอาจจะมีข้อจำกัดของการเดินทางที่ต้องอาศัยให้ญาตินำมาให้บริการที่สถานบริการ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางและลดปริมาณยาแก้ปวดได้ ซึ่งบุคลากรทางสุขภาพควรนำยาพอกสมุนไพรมาประยุกต์ใช้ในหน่วยบริการสาธารณสุขที่ผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อมแทนการใช้ยาแก้ปวดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ นางสาวสุภรณันท์ เทพไชย แพทย์แผนไทย และ ดร. วิริยา โพธิ์ขวาง ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือวิจัย ตลอดจนกลุ่มตัวอย่างที่ให้ข้อมูลวิจัย ซึ่งทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Annual Report 2019. 2019. **Division of Non-Communicable Disease, Department Disease Control, Ministry of Health.** Publications, Graphic and Designs Publishing, Bangkok. (in Thai)
- Best, J.W. 1981. **Research in Education.** (4th ed). Prentice – Hall Inc, New Jersey.
- Hawkey, C., Kahan, A., Steinbruck, K., Alegre, C., Baumelou, E., Begaud, B., Dequeker, J., Isomaki, H., Littlejohn, G., Mau, J. and Papazoglou, S. 1998. Gastrointestinal tolerability of meloxicam compared to diclofenac in osteoarthritis patients. **British Journal of Rheumatology** 37(9): 937-945.
- Hengkrawit, S. 2017. Prevention and Postponement of the Early Elderly form Osteomyelitis Knee in Nakorn Pathom Province. **Journal of Health Science** 26(1): 105-110. (in Thai)
- Karaket, S., Suyarach, N., Jaidee, P., Kasmek, S., Prompao, S. and Prawang, P. 2017. Comparative Study of Pain Level before and after Cool Herbal Mud Treatment with Thai Massage in Elderly with Knee Pain. **Chiangrai Medical Journal** 9(2): 115-124. (in Thai)
- Lorenzi, E.A. 1999. Complementary/Alternative Therapies so many choices. **Geriatric Nursing Journal** 20(3): 125-133.
- Narin, R., Taunrat, W. and Booncheang, W. 2015. Development of a Community Participation Program for Caring Older Adults with Knee. **Osteoarthritis Nursing Journal** 42(3): 170-181. (in Thai)
- Narongruengnavin, P. 2018. **Essentials in clinical rheumatology.** City Print, Bangkok. (in Thai)
- National Health Security Office. 2016. **Guideline of Total Knee Replacement for Assess to Health Service.** Available Source: <https://www.hfocus.org/content/2016/12/13154>, June 26, 2018. (in Thai)
- Nivatananun, W. 2008. Anti-inflammatory activity of some compounds found in Zingiber Cassumunar roxb. Master Thesis of Science, Chiang Mai University. (in Thai)
- Ozaki, Y., Kawahara, N. and Harada, M. 1991. Anti-inflammatory effect of Zingiber cassumunar Roxb. And its active principles. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin** 39(9): 2353-2356.
- Pereira, D., Peleteiro, B., Araújo, J., Branco, J.C., Santos, R.A. and Pereira, E.D.C. 2011. The effects of osteoarthritis definition on prevalence and incidence estimates: a systematic review. **Osteoarthritis and Cartilage** 19(11): 1270-1285.
- Poonsuk, P., Songphasuk, S., Jantha, M., Nimpitakpong, N. and Jiratsatit, K. 2018. Effectiveness of Herbal Poultice for Knee Pain Relief in Patients with Osteoarthritis of Knee. **Thammasat Medical Journal** 18(1): 104-111.

การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ของการใช้ประโยชน์ที่ดินและคุณภาพน้ำบริเวณลุ่มน้ำประแสร์ จังหวัดระยอง

Geoinformatics Applications in Spatial Relation Assessment of Land Use and Water Quality in the Prasae Watershed, Rayong Province

ประสาร อินทเจริญ^{1*} ภัทรารุช ไทยพิชิตบุรพา¹ อนุกูล บุรณประทีปรัตน์¹ และ ธวัชชัย นาอูดม²
Prasarn Intacharoen^{1*}, Patrawut Thaipichitburapha¹, Anukul Buranapratheprat and Tawatchai Na-u-dom²

Received: 9 February 2020, Revised: 9 February 2020, Accepted: 20 April 2020

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศถูกนำมาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเชื่อมโยงกับคุณภาพน้ำบริเวณลุ่มน้ำประแสร์ตอนล่างและนำไปใช้สนับสนุนการตัดสินใจเพื่อบริหารจัดการเชิงพื้นที่อย่างเป็นระบบ งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินและคุณภาพน้ำ และพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินกับคุณภาพน้ำบริเวณลุ่มน้ำประแสร์ตอนล่าง โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-8 จำแนกการใช้ที่ดินเป็น 4 ประเภท คือ ป่าไม้/พืชพรรณ ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำและพื้นที่ว่างเปล่า ผลการวิเคราะห์ให้ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) 88.81% มีค่าความสอดคล้องการวิเคราะห์ (Kappa coefficient) 0.76 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินกับคุณภาพน้ำ ในกลุ่มของสารอาหารละลายน้ำ 5 ประเภท ได้แก่ แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ฟอสเฟต และซิลิเกต พบว่าความสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินกับไนไตรท์ มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยสูงที่สุด ($R^2 = 0.91$) ดังสมการ

$$\text{ไนไตรท์ (NO}_2\text{-N)} = -0.269 - 0.0474 (\text{พืชพรรณ}) - 0.256 (\text{แหล่งน้ำ}) + 0.449 (\text{พื้นที่ว่างเปล่า})$$

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินตามช่วงเวลาโดยใช้ แบบจำลอง CA-Markov พบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างชัดเจนในปี พ.ศ. 2566 เนื่องจากการขยายตัวของชุมชน โดยพบว่าพื้นที่ชุมชน/สิ่งปลูกสร้างและพื้นที่ว่างเปล่ามีโอกาสที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไป ส่วนกิจกรรมการใช้ที่ดินที่มีความคงที่มากที่สุดคือแหล่งน้ำและพืชพรรณ

¹ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

¹ Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Saensuk, Mueang, Chonburi 20131, Thailand.

² คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว ตำบลวัฒนานคร อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว 27160

² Faculty of Science and Social Science, Burapha University, Sakaeo Campus, Wattanakorn, Sakaeo 27160, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): prasarni@buu.ac.th Tel: 09 5918 9941

คำสำคัญ: กลุ่มน้ำประแสร์, การใช้ประโยชน์ที่ดิน, แบบจำลอง ca-markov, คุณภาพน้ำ

ABSTRACT

Geoinformatics technology was used to study land use changes linking to water qualities in the lower Prasae watershed. The obtained results could support the decision in spatial management. Three research aims included to evaluate land use changes, to analyze the spatial relationship of land uses and water qualities and to develop a spatial model based on land uses and water qualities in the lower part of Prasae watershed. Land use types based on Landsat satellite imageries was classified as vegetation area, community/build-up area, water area, and bare land area. Overall accuracy of the classified results was more than 88%, and Kappa coefficient was 0.77. The regression analysis between land uses and water qualities based on five nutrient parameters including ammonia, nitrite, nitrate, phosphate and silicate was analyzed. Relationship between land use and nitrite had the highest regression coefficient ($R^2 = 0.91$) as in the following equation:

$$\text{Nitrite (NO}_2\text{-N)} = -0.269 - 0.0474 (\text{Vegetation}) - 0.256 (\text{Water}) + 0.449 (\text{Bare-land}).$$

Land used changes was analyzed by the CA-Markov model, it was found that urbanization would be significant land use changes in 2023. Community/build-up and bare land area would obviously change while vegetation and water area would be mostly stable.

Key words: Prasae watershed, land used, ca-markov model, water quality

บทนำ

พื้นที่แนวชายฝั่งทะเลเป็นบริเวณที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นบริเวณที่เชื่อมต่อระหว่างทะเลและแผ่นดิน ดังนั้นกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ย่อมมีอิทธิพลต่อคุณภาพน้ำในลำน้ำ ซึ่งการศึกษาถึงอิทธิพลของกิจกรรมที่เกิดขึ้น จึงเป็นสิ่ง ที่ควรมีการเฝ้าระวังและติดตามการเปลี่ยนแปลงที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำ (Rodríguez-Romero *et al.*, 2018) กลุ่มน้ำประแสร์เป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญแห่งหนึ่งของกลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก โดยแม่น้ำประแสร์ มีความยาวประมาณ 26 กิโลเมตร ไหลออกสู่ทะเลที่อำเภอแกลง จังหวัดระยอง อาณาเขตของกลุ่มน้ำประแสร์ ทิศเหนือติดกลุ่มน้ำบางปะกง ทิศใต้ติดอ่าวไทย ทิศตะวันออกติดกลุ่มน้ำวังโตนดและพังราด

ส่วนทิศตะวันตกติดกลุ่มน้ำระยอง (Department of Marine and Coastal Resources, 2013a) มีลักษณะระบบนิเวศที่หลากหลาย ซึ่งแม่น้ำสายหลักจะเป็นระบบนิเวศของน้ำจืด ตอนล่างของแม่น้ำเป็นระบบนิเวศน้ำกร่อยและบริเวณปากแม่น้ำ ประแสร์เป็นระบบนิเวศทางทะเล อีกทั้งยังมีทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่สำคัญ เช่น ป่าชายเลน หาดทรายเลน ปะการัง รวมทั้งสัตว์ทะเลหายากบางชนิดที่เข้ามาอาศัยหากินในบริเวณชายฝั่ง สภาพปัญหาหลักๆ ของพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเรื่องของคุณภาพดินเสื่อมโทรมทั้งในเรื่องของสภาพดินเค็ม ดินเปรี้ยว ตลอดจนสภาพการสูญเสียของ หน้าดิน ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ผ่านมาพื้นที่ส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ด้านเกษตรกรรมโดยเฉพาะการปลูกยางพาราและไม่

ผลอื่นๆ ซึ่งส่งผลให้มีการนำปุ๋ยและสารเคมีต่างๆ มาใช้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนที่สามารถส่งผลต่อ แหล่งน้ำได้ (Thaipichitburapa and Buranapratheprat, 2017)

จากผลการติดตามคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำบริเวณชายฝั่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทะเลประเภทที่ 1 และมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 ทั้งนี้ยกเว้นบริเวณด้านในแม่น้ำ พบว่ามีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำกว่ามาตรฐาน ค่าความสกปรกในรูปบีโอดีสูงเกินมาตรฐานและปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดมีค่าเกินมาตรฐาน นอกจากนี้ยังพบว่าด้านบนของปากแม่น้ำและบริเวณปากแม่น้ำบางสถานี มักพบว่ามีค่าสารอาหารบางตัวสูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน (Pollution Control Department, 2019) เช่น ฟอสเฟต แอมโมเนีย และไนเตรท ซึ่งบ่งชี้ว่าลุ่มน้ำแห่งนี้ยังคงมีปัญหาด้านการปล่อยน้ำทิ้ง น้ำเสียจากแหล่งต้นน้ำและกลางน้ำ ที่มีทั้งน้ำทิ้งจากครัวเรือน ชุมชน น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท และน้ำที่ชะล้างผ่านพื้นที่เกษตรกรรมต่างๆ การเฝ้าระวังรักษาลุ่มน้ำประสาธน์นั้นต้องอาศัยความร่วมมือของชุมชนและเครือข่ายในพื้นที่ เนื่องจากเคยประสบปัญหาน้ำเสียจากการสร้างสนามกอล์ฟไหลลงสู่แหล่งน้ำเมื่อปี พ.ศ. 2535 ซึ่งต้องใช้เวลาลหลายปีกว่าน้ำจะคืนสภาพ นอกจากนี้ใน พ.ศ. 2551 เกิดน้ำเสียอย่างรุนแรงในเวลาไล่เลี่ยกันถึง 3 ครั้ง ซึ่งคาดว่ามีการ ลักลอบ ทิ้งเศษเหลือ ทิ้งจาก โรงงาน อุตสาหกรรม ทำให้ปลาในกระชังเสียหายกว่า 4 ล้านบาท (Saithong, 2009) ปัญหาคุณภาพน้ำมีแนวโน้มส่งผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของทรัพยากรและความหลากหลายทางชีวภาพของลุ่มน้ำประสาธน์ จึงเป็นเรื่องเร่งด่วนที่ต้องมีระบบการบริหารจัดการอย่างบูรณาการ โดยอาศัยศักยภาพของผู้นำชุมชนของกลุ่มอนุรักษ์ในพื้นที่เป็นแกนหลักในการจัดการป่าชายเลน (Department of Marine and Coastal Resources, 2013b)

การทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำ ตั้งแต่ท้ายเขื่อนประสาธน์จนถึงบริเวณ ปากแม่น้ำประสาธน์ สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินผลกระทบที่สามารถเชื่อมโยงกับสถานภาพความอุดมสมบูรณ์ของป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดินจากบริเวณแหล่งต้นน้ำของลุ่มน้ำย่อยประสาธน์ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันพร้อมทั้งการทำนายการเปลี่ยนแปลงในอนาคต อีกทั้งยังทำให้ทราบถึงสถานการณ์ของคุณภาพน้ำบางประการในบริเวณลุ่มน้ำประสาธน์ ที่สามารถวิเคราะห์ได้จากกระบวนการภูมิสารสนเทศโดยนำไปสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่แสดงความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำกับกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งการศึกษาวิเคราะห์ในลักษณะนี้ยังไม่มีการศึกษา ยังขาดข้อมูลเพื่อประเมินความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ และยังไม่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินและคุณภาพน้ำ ในบริเวณลุ่มน้ำภาคตะวันออก ดังเช่นการศึกษาของ Gyawali *et al.* (2013) และ Gyawali *et al.* (2015) ในบริเวณลุ่มน้ำอุตะเกา จังหวัดสงขลา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อนำไปใช้ในการเฝ้าระวังและการติดตามสภาวะแวดล้อมต่อไป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำประสาธน์ ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินกับคุณภาพน้ำในบริเวณลุ่มน้ำประสาธน์ตอนล่างตามฤดูกาล และพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่ในบริเวณ ลุ่มน้ำประสาธน์ตอนล่างโดยใช้ระบบเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการวิจัยของการศึกษานี้มีการดำเนินการสองส่วนคือ 1) การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-8 และ 2) การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในภาคสนาม ตั้งแต่ด้านล่างของอ่างเก็บน้ำประแสร์จนถึงบริเวณปากแม่น้ำประแสร์ (ภาพที่ 1) ทั้งนี้มีการจำแนกจากลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) ใน 2 ช่วงเวลาคือ พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2561 ซึ่งการจำแนกข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณลุ่มน้ำประแสร์ แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มของพืชพรรณ (พื้นที่ป่าไม้และการเกษตร) กลุ่มของชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง กลุ่มของแหล่งน้ำ และกลุ่มของพื้นที่ว่างเปล่า เป็นต้น ผลจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจะถูกนำไปใช้ทำนายลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov (Limgomonvilas, 2014) สำหรับการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำและใช้ในการอธิบายถึงกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Gyawali *et al.*, 2015) ได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน-ไนเตรต ออโรฟอสเฟต ซิลิกา ตะกอนแขวนลอย และคลอโรฟิลล์-เอ ตามวิธี

วิเคราะห์ในตารางที่ 1 นอกจากนี้ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำเบื้องต้นในภาคสนาม ได้แก่ ความลึกของลำน้ำ ความขุ่น อุณหภูมิ ความเค็ม ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำและความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ ด้วยเครื่องตรวจวัดภาคสนาม ตามสถานีตรวจวัดที่กำหนด จำนวน 12 สถานี ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 2 ครั้ง ตามฤดูกาล คือ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 (ฤดูฝน) และ เดือนเมษายน พ.ศ. 2562 (ฤดูแล้ง)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินกับคุณภาพน้ำ จำนวน 12 สถานี ซึ่งทำการศึกษาเฉพาะเขตลุ่มน้ำประแสร์ตอนล่างเท่านั้น (พื้นที่ได้เชื่อมจนถึงปากแม่น้ำประแสร์) ทำการตรวจวัด โดยใช้ชุดเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำในภาคสนาม (Handheld multi-parameter measurement: YSI pro2030) ชุดเครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ เครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GARMIN รุ่น GPSmap 60CSx) และระบบปฏิบัติการภูมิสารสนเทศเพื่อการประมวลผล แปลผลและแสดงผล ข้อมูลเชิงพื้นที่ (QGIS version 3.40 และ IDRISI: Terrset) ซึ่งเก็บข้อมูลครอบคลุมในพื้นที่ของแม่น้ำประแสร์ และลำน้ำสาขาบางส่วน (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณลุ่มน้ำประแสร์ตอนล่าง

การวิเคราะห์และประเมินผลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณลุ่มน้ำประแสร์ เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงสภาวะการเปลี่ยนแปลงไปของสภาพแวดล้อมทั้งในบริเวณแหล่งต้นน้ำและบริเวณโดยรอบของลำน้ำประแสร์ไปจนถึงปากแม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเล ทั้งในเรื่องของป่าไม้/พืชพรรณ/เกษตรกรรม ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ และพื้นที่โล่งว่างเปล่าที่ไม่ได้มีการใช้ประโยชน์อย่างถาวร ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา มีการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำแนกซึ่งผลการ

วิเคราะห์ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนในการทำนายการเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคต โดยใช้แบบจำลอง CA-Markov นอกจากนี้ทำการจำแนกพื้นที่ของลุ่มน้ำประแสร์ออกเป็น 16 ลุ่มน้ำย่อย และนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำและการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา จำนวน 9 ลุ่มน้ำย่อย โดยใช้เทคนิคทางสถิติ (Crosstabulation) และสร้างแบบจำลองเชิงสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำและการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เหมาะสมเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่สำคัญในอนาคต

ตารางที่ 1 วิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (μM)	Phenol-hypochloride (Grasshoff <i>et al.</i> , 1999)
2) ไนไตรท์-ไนโตรเจน (μM)	Diazotization (Strickland and Parsons, 1972)
3) ไนเตรท-ไนโตรเจน (μM)	Cadmium reduction + Diazotization (Strickland and Parsons, 1972)
4) ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (μM)	Ascorbic acid (Strickland and Parsons, 1972)
5) ซิลิเกต-ซิลิกอน (μM)	Silicomolybdate (Strickland and Parsons, 1972)
6) ตะกอนแขวนลอย (mg/l)	GF/C Filter (APHA, 1992)
7) คลอโรฟิลล์-เอ (mg/l)	Spectrophotometer method (Strickland and Parsons, 1972)
8) อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	Handheld multi-parameter measurement
9) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (mg/l)	Handheld multi-parameter measurement

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ และเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณแม่น้ำประแสร์ จำนวน 12 สถานี พบว่า มีความหลากหลายในการใช้ประโยชน์เชิงพื้นที่ โดยบริเวณตอนบนของพื้นที่ ได้แก่ บริเวณตำบลชุมแสง อำเภอวังจันทร์ และ ตำบลกระแสน อำเภอแกลง ส่วนมากจะเป็นพื้นที่ทำการเกษตร โดยเฉพาะยางพารา สวนทุเรียน เงาะ มังคุด และสวนผลไม้อื่นๆ ส่วนบริเวณพื้นที่ตอนกลางของแม่น้ำ (ตำบลบ้านนาและตำบลทางเกวียน อำเภอแกลง) ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินเริ่มเปลี่ยนไป มีลักษณะเป็นกิ่งชุมชนกิ่งเมืองมากขึ้น มีพื้นที่ราบสำหรับการเพาะปลูกข้าว มีชุมชนขนาดเล็กกระจายตัวออกไปรอบๆ มีหมู่บ้านจัดสรร ตลาด โรงเรียน โรงพยาบาล ที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ ส่วนตอนล่างของแม่น้ำ (ตำบลปากน้ำประแสร์ อำเภอแกลง) มีการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ส่วนใหญ่โดยชุมชน ซึ่งตั้งอยู่ติดกับบริเวณตอนกลาง และถัดลงมาจะเป็นพื้นที่ที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เช่น การทำนากุ้งและบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอื่นๆ เป็นต้น พื้นที่ตอนล่างซึ่งอยู่ติดกับปากแม่น้ำและทะเล ส่วนมากเป็นพื้นที่ชุมชนประมงที่อยู่ติดริมแม่น้ำ บริเวณชายฝั่งทะเลยังพบพื้นที่ป่าชายเลน ทั้งที่เป็นป่าปลูกและป่าที่มีอยู่เดิมตามธรรมชาติ เพื่อสงวนรักษาไว้ให้เป็นพื้นที่อนุรักษ์ของชุมชน

ข้อมูลสภาพแวดล้อมทางน้ำ ประกอบด้วย การวิเคราะห์และตรวจวัดคุณภาพน้ำทั่วไป พบว่า อุณหภูมิของน้ำในฤดูฝนมีค่าอยู่ในช่วง 28.9-31.0 องศาเซลเซียสและฤดูแล้งมีค่าอยู่ในช่วง 28.4-35.0 องศาเซลเซียส ค่าของอุณหภูมิทั้งสองฤดูกาลพบว่ามีค่าในช่วงค่าปกติของแหล่งน้ำทั่วไป ซึ่งในช่วงฤดูแล้งจะมีค่าสูงกว่าฤดูฝน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามค่าระดับความชื้นหรือเปลี่ยนแปลงตามสภาวะภูมิอากาศโดยทั่วไป ค่าความเค็มของน้ำบริเวณแม่น้ำ

ประแสร์ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงบริเวณปากแม่น้ำในฤดูฝนพบว่าความเค็มของน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.0-10.0 psu. โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่บริเวณปากแม่น้ำที่สถานี PS11 และในช่วงฤดูแล้ง ค่าอยู่ในช่วง 0.0-24.30 psu. ซึ่งค่าสูงสุดอยู่ที่ 3 สถานีสุดท้ายก่อนที่น้ำจะไหลลงสู่ทะเลทั้งสองฤดูโดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความเค็มนี้ในบริเวณสถานีปากแม่น้ำนั้นเกิดมาจากการขึ้นลงของน้ำทะเล สำหรับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแม่น้ำประแสร์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่ค่อนข้างต่ำและใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (4 มก./ลิตร) อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตว่าบริเวณที่น้ำไหลผ่านเขตชุมชนลงมานั้น มักจะพบว่ามีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง เพราะได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลและในช่วงที่เก็บข้อมูลนั้นเป็นช่วงเวลาน้ำลง ค่าพีเอชของทั้งลำน้ำพบว่า มีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (พีเอช อยู่ในช่วง 5-9) ปริมาณสารแขวนลอยรวมบริเวณแม่น้ำประแสร์พบว่าลักษณะของตะกอนบริเวณใกล้ปากแม่น้ำจะเป็นตะกอนของสิ่งมีชีวิตคล้ายแพลงก์ตอน ส่วนสารแขวนลอยที่พบในบริเวณตอนต้นของแม่น้ำจะเป็นพวกตะกอนของดินที่ถูกชะล้างมาจากฝั่ง โดยเฉพาะที่สถานี PS1 จะเป็นบริเวณที่รับน้ำมาจากคลองธรรมชาติ ไม่มีระบบการกักน้ำเหมือนแม่น้ำประแสร์ซึ่งมีอ่างเก็บน้ำเป็นตัวกักตะกอน ทำให้ตะกอนที่ไหลเข้ามามีปริมาณค่อนข้างมากและมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาถึงความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำเปรียบเทียบกับคลอโรฟิลล์-เอ พบว่า แม่น้ำประแสร์มีระดับความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ ในระดับปานกลาง (Mesotrophic; $3.24 < \text{Chl-a} \leq 11.03 \mu\text{g/L}$)

ปริมาณธาตุอาหารละลายน้ำ ได้แก่ปริมาณของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ตั้งแต่ต้นน้ำประแสร์จนถึงบริเวณปากแม่น้ำ ในช่วงฤดูฝนพบว่ามีค่าสูงอยู่

ในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ที่เป็นแหล่งที่ตั้งของชุมชน และเป็นคลองที่มีการเชื่อมต่อกับพื้นที่เลี้ยงกุ้งซึ่งแอมโมเนียม-ไนโตรเจน เป็นปัจจัยที่สะท้อนถึงลักษณะของการใช้ประโยชน์จากชุมชนและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สำหรับฤดูแล้งเกือบทุกสถานีมีค่าต่ำกว่าช่วงฤดูฝน ปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจน เป็นปัจจัยที่สะท้อนถึงกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางธรรมชาติ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.42-12.43 ไมโครโมลาร์ ซึ่งปกติจะพบในพื้นที่มีสารอินทรีย์ค่อนข้างสูงและกระบวนการย่อยสลายเพิ่งเริ่มเกิดขึ้นหรือในบริเวณที่มีออกซิเจนค่อนข้างต่ำไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าสูงสุดอยู่ในสถานี PS2 ซึ่งอยู่บริเวณตอนต้นของแม่น้ำ มีที่มาจากแหล่งของการใช้ปุ๋ยรวมทั้งการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในรูปแบบที่มีออกซิเจน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วไนเตรท-ไนโตรเจนจะเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืชโดยเฉพาะในกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำต่างๆ สำหรับในฤดูแล้ง พบว่ามีค่าต่ำกว่าฤดูฝนเกือบทุกสถานี ปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.08-7.10 ไมโครโมลาร์ ซึ่งมีแหล่งที่มาจากหลายแหล่ง เช่น การใช้ปุ๋ย การชะล้างหน้าดิน น้ำทิ้งจากการซักล้างจากชุมชน เป็นต้น สำหรับแม่น้ำประแสร์ ปริมาณของฟอสเฟต น่าจะมาจากการใช้ปุ๋ยเคมีบริเวณต้นน้ำและการซักล้างจากชุมชนในบริเวณเมือง และชุมชนประมงเป็นหลัก ในฤดูแล้ง พบว่ามีค่าต่ำกว่าฤดูฝนเกือบทุกสถานี ปริมาณซิลิเกต-ซิลิกอน พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 29.06-133.11 ไมโครโมลาร์ โดยมีแหล่งที่มาจากการกัดเซาะของดินและหินจากบริเวณขอบฝั่ง รวมถึงการละลายออกมาจากดินพื้นที่ท้องน้ำ ซึ่งบริเวณตอนบนของแม่น้ำประแสร์จะมีปริมาณซิลิเกตที่สูงและต่ำสุดบริเวณตอนนอกของปากแม่น้ำซึ่งอยู่ติดกับทะเล ในฤดูแล้งมีค่าสูงบริเวณตอนกลางของลำน้ำ ทั้งนี้พบว่าคุณภาพน้ำ

โดยรวมมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เช่น ค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยรวม มีค่าเฉลี่ยในฤดูแล้งน้อยกว่าฤดูฝน ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Gyawali *et al.* (2013) ที่มีการศึกษาบริเวณลุ่มน้ำอุตะเกา จังหวัดสงขลา แต่จะมีผลที่ตรงกันข้ามกับปริมาณของไนโตรท-ไนเตรทและซิลิเกต

ความสัมพันธ์เชิงสถิติของคุณภาพน้ำบริเวณลุ่มน้ำประแสร์ตอนล่าง จากจำนวนพารามิเตอร์ของการตรวจวัดคุณภาพน้ำทั้งหมด 12 พารามิเตอร์ โดยมีค่าปัจจัยพื้นฐานจำนวน 7 พารามิเตอร์ และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ในน้ำอีก 5 พารามิเตอร์ ในตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของข้อมูลคุณภาพน้ำในแม่น้ำประแสร์ ที่ตรวจวัดในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำส่วนใหญ่จะมีการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณตามเวลาไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) ยกเว้นค่าของตะกอนแขวนลอยในน้ำ ปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจน ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน และปริมาณของซิลิเกต-ซิลิกอน เป็นต้น ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (r) ของคุณภาพน้ำในช่วงฤดูฝน พบว่าค่าของคุณภาพน้ำส่วนใหญ่ไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กันมากนัก ยกเว้นปริมาณตะกอนแขวนลอยที่มีความสัมพันธ์สอดคล้องกันค่อนข้างสูงกับปริมาณไนโตรท ($r=0.92$) และไนเตรท ($r=0.86$) คุณภาพน้ำในช่วงฤดูแล้ง พบว่าปัจจัยของตะกอนแขวนลอยรวม ยังคงเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงกับกลุ่มของสารอินทรีย์ละลายน้ำ ทั้งแอมโมเนีย ($r=0.80$) ไนโตรท ($r=0.89$) ไนเตรท ($r=0.72$) และฟอสเฟต ($r=0.86$) (ตารางที่ 3 และ 4) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของปริมาณตะกอนแขวนลอยกับปริมาณของไนโตรทและไนเตรท ของทั้ง 2 ฤดูกาลแล้ว มีความสัมพันธ์สอดคล้องกันค่อนข้างสูงเนื่องจากสารอินทรีย์ที่อาศัยรวมอยู่กับตะกอน จากความผันแปรของคุณภาพน้ำ

กลุ่มสารอินทรีย์ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและซิลิเกต มีความแตกต่างกันนั้นพบว่าค่าสหสัมพันธ์ในช่วงฤดูฝนของสารอาหารละลายน้ำมีค่าน้อยมากเนื่องจากในฤดูฝนมีน้ำท่าไหลลงสู่ลำน้ำทำให้มีการเคลื่อนที่ของสารอาหารไปตามกระแสน้ำ ขณะที่ในฤดูแล้ง

ปริมาณน้ำท่ามีน้อยการไหลของมวลน้ำมีน้อยทำให้เกิดระยะการพำนักของน้ำมีมาก จึงมีโอกาสทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวธรณีเคมีเกิดขึ้นได้มากเช่นกัน ซึ่งเป็นไปตามที่งานวิจัยของ Thaipichitburapa and Buranapratheprat (2017) ที่ได้อธิบายไว้

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของข้อมูลคุณภาพน้ำในแม่น้ำประแสร์ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

พารามิเตอร์		ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	F	P
อุณหภูมิ (°C)	Mean	29.88	31.21	39.36	0.931
	SD	0.69	1.97		
ความเค็ม (psu)	Mean	1.14	5.14	2.19	0.097
	SD	2.93	9.60		
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	Mean	4.72	3.68	0.485	0.879
	SD	1.22	0.99		
ความเป็นกรด-ด่าง	Mean	7.38	7.53	0.324	0.964
	SD	0.30	0.31		
ความโปร่งแสง (m)	Mean	0.24	0.63	0.467	0.892
	SD	0.16	0.59		
ตะกอนแขวนลอยรวม (mg/l)	Mean	42.79	31.58	7.585	0.001
	SD	48.56	39.52		
คลอโรฟิลล์ เอ (mg/l)	Mean	4.87	5.67	1.166	0.396
	SD	1.88	4.22		
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (μM)	Mean	24.34	15.58	0.989	0.503
	SD	18.80	24.08		
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (μM)	Mean	2.56	1.69	18.905	0.000
	SD	3.37	4.19		
ไนเตรท-ไนโตรเจน (μM)	Mean	34.89	17.44	3.604	0.019
	SD	20.38	26.76		
ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (μM)	Mean	2.16	1.62	0.786	0.651
	SD	1.81	2.92		
ซิลิเกต-ซิลิกอน (μM)	Mean	66.82	58.51	2.792	0.046
	SD	29.76	37.80		

ตารางที่ 3 ค่าสหสัมพันธ์ (r) ของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในฤดูฝน (ตุลาคม พ.ศ. 2561)

	Temp	Sal	DO	pH	Tran	TSS	Chl	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	Si
Temp	1											
Sal	-0.349	1										
DO	0.241	-0.018	1									
pH	-0.355	-0.260	-0.629	1								
Tran	-0.034	0.344	-0.510	0.423	1							

ตารางที่ 3 (ต่อ)

	Temp	Sal	DO	pH	Tran	TSS	Chl	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	Si
TSS	0.263	-0.111	0.095	-0.507	-0.380	1						
Chl	0.226	-0.320	-0.558	0.227	0.079	0.606	1					
NH ₄	-0.341	-0.134	0.094	0.433	0.134	-0.039	0.066	1				
NO ₂	0.399	-0.138	0.152	-0.420	-0.212	0.923	0.666	0.102	1			
NO ₃	0.031	-0.180	0.316	-0.441	-0.452	0.859	0.347	0.307	0.791	1		
PO ₄	0.154	-0.206	0.495	-0.133	-0.476	-0.104	-0.441	0.189	-0.123	0.125	1	
SiO ₃	0.462	-0.246	0.028	-0.247	-0.204	0.570	0.571	-0.325	0.653	0.213	-0.270	1

ตารางที่ 4 ค่าสหสัมพันธ์ (r) ของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในฤดูแล้ง (เมษายน พ.ศ. 2562)

	Temp	Sal	DO	pH	Tran	TSS	Chl	NH ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	SiO ₃
Temp	1											
Sal	0.726	1										
DO	0.270	0.153	1									
pH	-0.879	-0.651	-0.201	1								
Tran	-0.300	-0.238	0.113	0.510	1							
TSS	-0.273	-0.013	-0.463	0.283	0.205	1						
Chl	-0.224	-0.163	0.048	0.448	0.213	-0.002	1					
NH ₄	-0.291	-0.134	-0.519	0.400	0.393	0.799	0.347	1				
NO ₂	-0.310	-0.129	-0.484	0.408	0.438	0.894	0.376	0.983	1			
NO ₃	-0.377	-0.297	-0.516	0.406	0.213	0.717	0.199	0.892	0.830	1		
PO ₄	-0.218	0.011	-0.520	0.321	0.367	0.858	0.266	0.979	0.965	0.868	1	
SiO ₃	-0.468	-0.554	-0.461	0.525	0.254	0.530	0.178	0.613	0.538	0.817	0.590	1

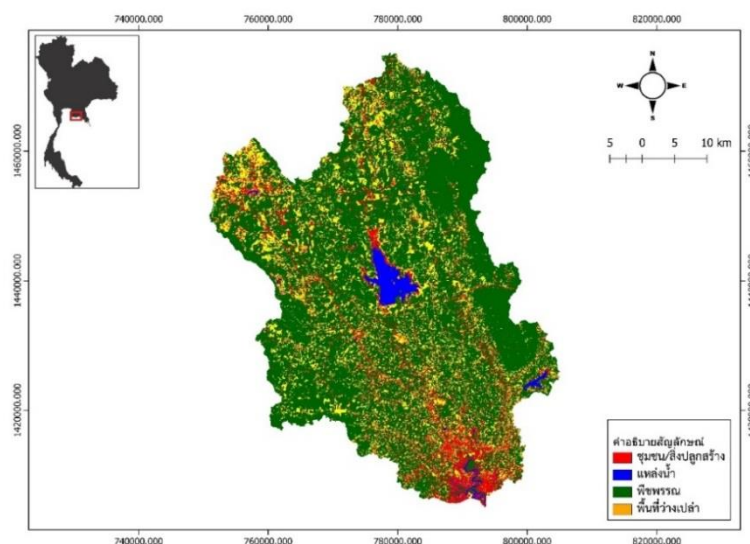
หมายเหตุ จากตารางที่ 3-4: Temp = อุณหภูมิ Sal = ความเค็ม DO = ออกซิเจนละลายน้ำ pH = ความเป็นกรด-ด่าง

Tran = ความโปร่งแสง TSS = ตะกอนแขวนลอยรวม Chl = คลอโรฟิลล์-เอ NH₄ = แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

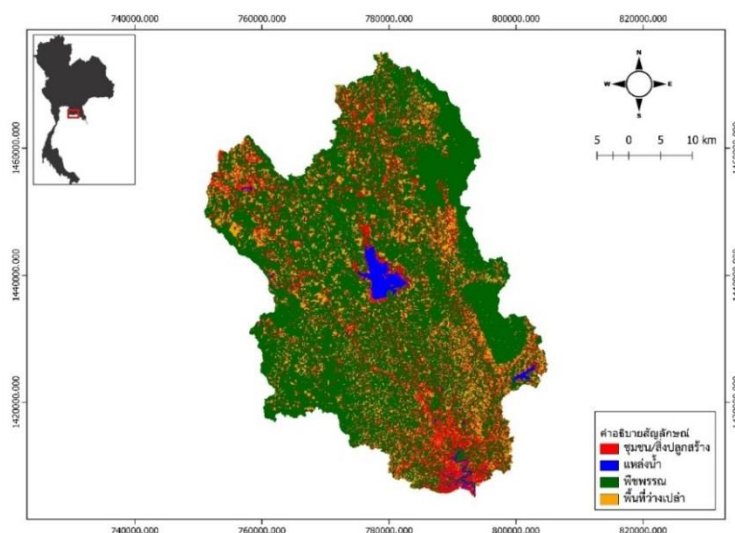
NO₂ = ไนไตรท์-ไนโตรเจน NO₃ = ไนเตรท-ไนโตรเจน PO₄ = ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส SiO₃ = ซิลิเกต-ซิลิกอน

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่จำนวน 2 ช่วงเวลา คือใน พ.ศ. 2556 และ 2561 โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-8 ได้ทำการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำประแสร์ ออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ พื้นที่พืชพรรณ (Vegetation) พื้นที่ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง (Built-up) พื้นที่แหล่งน้ำ (Water) และพื้นที่ว่างเปล่า (Bare Land) ดังแสดงผลในภาพที่ 2 และ 3 พบว่ามีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) เท่ากับร้อยละ 88.81 และให้ผล

ของค่าความสอดคล้องการวิเคราะห์ของข้อมูล (Kappa coefficient) เท่ากับร้อยละ 0.76 ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งผลที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าการศึกษาของ Hua (2017) ทั้งนี้เนื่องจากมีความแตกต่างกันเกี่ยวกับการจำแนกประเภทของข้อมูล ที่ได้จำแนกเป็นพื้นที่ของพืชพรรณ พื้นที่ไม่ใช่พืชพรรณ พื้นที่เขตอุตสาหกรรม พื้นที่เปิดโล่ง พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่สำหรับการทำฟาร์ม จึงทำให้มีความแตกต่างกับงานวิจัยนี้



ภาพที่ 2 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำประแสร์ พ.ศ. 2556



ภาพที่ 3 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำประแสร์ พ.ศ. 2561

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำประแสร์ พ.ศ. 2561

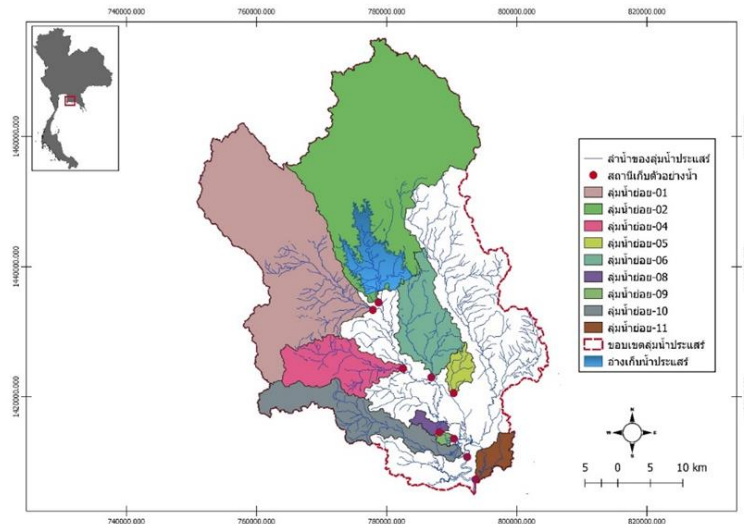
ข้อมูลจากการแปลผล (2561)	ข้อมูลอ้างอิงจากภาคสนาม					รวม	User's
	กิจกรรม	พืช	ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	แหล่งน้ำ	พื้นที่ว่างเปล่า		
	พืชพรรณ	95	0	0	2	97	0.98
	ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	3	13	1	1	18	0.72
	แหล่งน้ำ	0	0	3	0	3	1.00
	พื้นที่ว่างเปล่า	7	2	0	16	25	0.64
	รวม	105	15	4	19	143	-
	Producer's	0.91	0.87	0.75	0.84	-	88.81

Overall Accuracy 88.81%, Kappa Coefficient 0.76

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำ ที่มีเป้าหมายเพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำตั้งแต่ท้ายเขื่อนของอ่างเก็บน้ำประแสร์จนถึงบริเวณปากแม่น้ำประแสร์จะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ ทั้งยังสามารถแสดงการเชื่อมโยงกับสถานภาพและความอุดมสมบูรณ์ของป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดินจากบริเวณแหล่งต้นน้ำของกลุ่มน้ำย่อย ดังนั้นจึงทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นกลุ่มน้ำย่อย (sub-watershed) จำนวน 9 กลุ่มน้ำย่อย ดังแสดงในภาพที่ 4 สำหรับผลของการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียมใน พ.ศ. 2561 พบว่า ขนาดของกลุ่มน้ำย่อยมีความแตกต่างกันตามลักษณะของภูมิประเทศ โดยพื้นที่ในกลุ่มน้ำย่อยที่ 2 มีพื้นที่มากที่สุด (614.00 ตร.กม.) บริเวณนี้พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่สูง ที่ครอบคลุมที่ตั้งของเขื่อนประแสร์ และพื้นที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยพืชพรรณและการเกษตรประมาณร้อยละ 71.52 รองลงมาเป็นพื้นที่ของชุมชน/สิ่งปลูกสร้างประมาณร้อยละ 13.20 พื้นที่ว่างเปล่าและพื้นที่แหล่งน้ำประมาณร้อยละ 10.97 และ 4.50 ตามลำดับ ขนาดของพื้นที่กลุ่มน้ำย่อย ที่มีพื้นที่มากเป็นอันดับสองคือ พื้นที่กลุ่มน้ำย่อยที่ 1 มีพื้นที่ประมาณ 473.50 ตร.กม. โดยมีลักษณะของกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินที่คล้ายๆ กับ กลุ่มน้ำย่อยที่ 2 ส่วนพื้นที่กลุ่มน้ำย่อยที่ 9 ที่มีขนาดเล็ก

ที่สุดมีพื้นที่ประมาณ 4.55 ตร.กม. บริเวณนี้พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นชุมชนที่อยู่อาศัย (ร้อยละ 53.37)

การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple regression analysis: Stepwise) เป็นผลที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำและแปลผลการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณกลุ่มน้ำประแสร์ตอนล่าง ด้วยเทคนิคทางด้านภูมิสารสนเทศและนำข้อมูลมาพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่ โดยมุ่งเน้นที่ผลของการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ละลายน้ำในแหล่งน้ำเป็นหลัก เนื่องจากจะมีผลในเชิงปฏิบัติของการวางแผนบริหารจัดการต่อไป ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาแบบจำลองถดถอยแบบพหุคูณของสารอินทรีย์ละลายน้ำในแหล่งน้ำกับการใช้ประโยชน์ที่ดินแล้วพบว่า กิจกรรมที่มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน-ไนโตรเจน จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด ($R^2=0.91$) ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการนำแบบจำลองนี้ไปใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในลำน้ำประแสร์ (สมการที่ 2) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกิจกรรม 3 ด้าน คือ กิจกรรมด้านการเกษตร (พืชพรรณ) กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่แหล่งน้ำและสถานภาพพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ว่างเปล่า เป็นต้น และแบบจำลองที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในระดับปานกลางที่สามารถนำไปใช้ทำนายค่าไนโตรเจน-ไนโตรเจน ได้ในระดับ ปานกลาง ($R^2=0.61$)



ภาพที่ 4 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณปลายลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำประแสร์ตอนล่าง

โดยใช้กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำ และสถานภาพพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ว่างเปล่า (สมการที่ 3) และแบบจำลองแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (สมการที่ 1) มีค่าอยู่ในระดับพอใช้ ($R^2=0.48$) และแบบจำลองของซิลิเกต-ซิลิกอน (สมการที่ 4) ($R^2=0.55$) ส่วนฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ไม่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมใดๆ (non-correlation) เนื่องจากกลุ่มของฟอสเฟตมีคุณสมบัติในการยึดติดกับอนุภาคดินได้ดี จึงมีส่วนน้อยมากที่จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำกลุ่มขององค์ประกอบไนโตรเจนจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกิจกรรม

ทางการเกษตรและสัดส่วนของพืชพรรณ (Ding *et al.*, 2015) เช่น พื้นที่ปลูกยางพาราและไม้ผลต่างๆ เนื่องจากมีการใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตและปริมาณของปุ๋ยไนเตรทก็จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำได้โดยง่ายเพราะดินมีความสามารถในการดูดซับปริมาณของไนเตรทไว้ได้น้อยมาก ทั้งนี้รวมถึงกิจกรรมของชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Pollution Control Department (2018) และ Ding *et al.* (2015) ที่ได้รายงานว่ากิจกรรมของน้ำทิ้งที่เกิดจากชุมชนและบ้านเรือนนั้นจะเป็นกลุ่มของสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 6 แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของการใช้ประโยชน์ที่ดินกับสารอาหารละลายน้ำ

คุณภาพน้ำ	แบบจำลอง	R^2	สมการที่
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_4\text{-N}$)	$= 9.75 - 0.342(\text{Vegetation}) + 2.442(\text{Bare-land})$	0.48	1
ไนไตรท์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$)	$= -0.269 - 0.0474(\text{Vegetation}) - 0.256(\text{water})$	0.91	2
ไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$)	$= 18.08 - 2.567(\text{water}) + 1.037(\text{Bare-land})$	0.61	3
ซิลิเกต-ซิลิกอน ($\text{SiO}_3\text{-Si}$)	$= 49.83 - 0.737(\text{Vegetation}) + 4.96(\text{Bare-land})$	0.55	4
ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ($\text{PO}_4\text{-P}$)	= non-correlation		5

ผลการวิเคราะห์การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโดยการเปรียบเทียบข้อมูลรายจุดภาพ (pixel by pixel) ที่ได้จากการแปลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมโดยใช้ข้อมูล 2 ช่วงเวลา เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เปลี่ยนจากกิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งไปเป็นกิจกรรมอื่นๆ (Changes “-from, -to”) ซึ่งใช้แบบจำลอง Markov Chain model สำหรับการวิเคราะห์และอธิบายสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภท และทำนายความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงที่มีโอกาสจะเกิดขึ้นในอนาคต ทั้งนี้ได้ผลของการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 5 สำหรับผลของการวิเคราะห์แบบเมทริกซ์ โดยใช้เทคนิควิธี Crosstabulation เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2556 กับ

พ.ศ. 2561 ในตารางที่ 7 นั้น พบว่าการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของพืชพรรณและชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง มีพื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.16 และ 30.63 ตามลำดับ ขณะที่พื้นที่ของแหล่งน้ำและพื้นที่ว่างเปล่ามีขนาดพื้นที่ลดลง ร้อยละ 11.67 และ 21.53 ตามลำดับ ซึ่งพื้นที่ของชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง มีโอกาสแตกต่างกันในอนาคต (พ.ศ. 2566) ดังแสดงในตารางที่ 8 ทั้งนี้พบว่าใน พ.ศ. 2566 ทุกกิจกรรมมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะพื้นที่พืชพรรณหรือป่าไม้ เนื่องจากปัจจุบันแนวโน้มของการอนุรักษ์และรักษาไว้ของพื้นที่สีเขียวมากขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเก็บกักปริมาณคาร์บอน ดังเช่นพื้นที่ป่าชายเลน ทั้งนี้จะยกเว้นพื้นที่ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง มีโอกาสที่จะเปลี่ยนแปลงลดลงประมาณร้อยละ 1.49 (31.81 ตร.กม.) เนื่องจากพื้นที่ถูกปรับเปลี่ยนไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

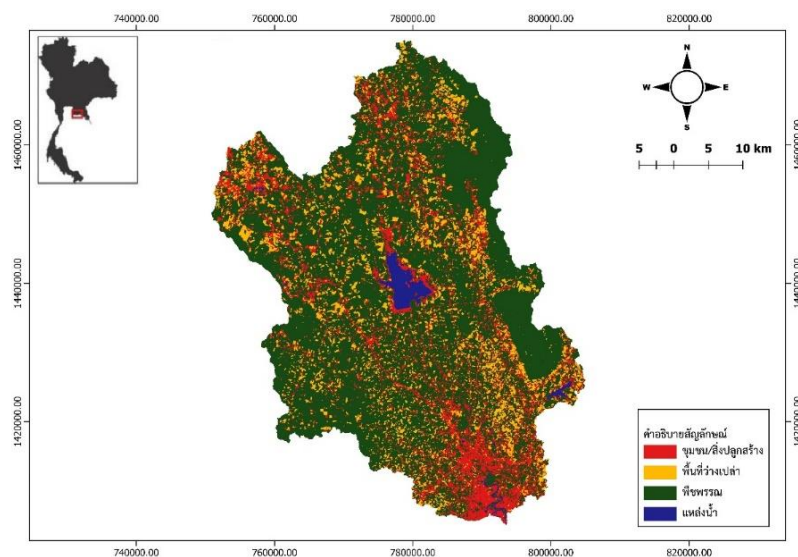
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2556 และ 2561 ด้วยวิธี Crosstabulation

การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2556 (ตร.กม.)	การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2561 (ตร.กม.)					
	พืชพรรณ	ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	แหล่งน้ำ	พื้นที่ว่างเปล่า	รวม	
	พืชพรรณ	1,193.50	96.64	1.32	166.71	1,458.17
	(ร้อยละ)	81.98	36.22	2.99	45.50	
	ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	109.99	138.20	5.83	94.56	348.58
	(ร้อยละ)	7.55	51.79	13.21	25.81	
	แหล่งน้ำ	0.40	1.86	36.49	0.26	39.00
	(ร้อยละ)	0.03	0.70	82.63	0.07	
	พื้นที่ว่างเปล่า	151.96	30.14	0.51	104.90	287.52
	(ร้อยละ)	10.44	11.30	1.16	28.63	
	รวม	1,455.85	266.84	44.16	366.43	2,133.28
(ร้อยละ)	100.00	100.00	100.00	100.00		
พื้นที่เปลี่ยนแปลง	2.33	81.73	-5.15	-78.90		
(ร้อยละ)	0.16	30.63	-11.67	-21.53		

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ทำนายการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจาก พ.ศ. 2561 และ 2566 ด้วย

CA-Markov model

กิจกรรม	พ.ศ. 2561		พ.ศ. 2566		พื้นที่เปลี่ยนแปลง	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พืชพรรณ	1,473.65	69.08	1,453.61	68.14	20.04	0.94
ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	338.28	15.86	370.29	17.35	-31.81	-1.49
แหล่งน้ำ	38.47	1.80	35.11	1.65	3.26	0.15
พื้นที่ว่างเปล่า	282.88	13.26	274.37	12.86	8.51	0.4
รวม	2,133.28	100.00	2,133.28	100.00		



ภาพที่ 5 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มน้ำประแสร์ ใน พ.ศ. 2566

สรุป

ผลของการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบในการตัดสินใจขององค์กรที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อวางแผนบริหารจัดการ การใช้ประโยชน์เชิงพื้นที่ ที่จะมีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำกล่าวคือ การใช้ประโยชน์ที่ดินเปลี่ยนไปคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน ผลจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในกลุ่มน้ำประแสร์ตอนล่าง ในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 ซึ่งเป็นตัวแทนของฤดูฝนและในเดือนเมษายน 2562 ที่เป็นตัวแทนของฤดูแล้งนั้น พบว่าคุณภาพน้ำส่วนใหญ่มี

ค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เช่นค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยรวม โดยค่าเฉลี่ยในฤดูแล้งน้อยกว่าฤดูฝน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของปริมาณตะกอนแขวนลอยกับปริมาณของไนโตรเจนและไนเตรท ของทั้ง 2 ฤดูกาลมีความสัมพันธ์สอดคล้องกันค่อนข้างสูง ส่วนค่าซีเมนต์มีความแตกต่างกันกับฤดูแล้งที่ส่วนใหญ่มีค่าสูงมาก การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจำนวน 2 ช่วงเวลา และจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณกลุ่มน้ำประแสร์ ออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

พื้นที่พืชพรรณ พื้นที่ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่ว่างเปล่า ได้ผลการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับร้อยละ 88.81 และให้ผลของค่าความสอดคล้องของข้อมูลเท่ากับ 0.76 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำและการใช้ประโยชน์ที่ดิน การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำโดยใช้จุดเก็บตัวอย่างตามพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยจำนวน 9 สถานี จากทั้งหมด 12 สถานี นำผลจากการจำแนกของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณลุ่มน้ำประแสร์ ทั้ง 4 ประเภท มาสร้างแบบจำลองถดถอยแบบพหุคูณกับข้อมูลคุณภาพน้ำในกลุ่มของปริมาณแร่ธาตุอาหารละลายน้ำ 5 ประเภทนั้น พบว่าพื้นที่ว่างเปล่าจะมีความเกี่ยวข้องกับแร่ธาตุอาหารละลายน้ำ ยกเว้นปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส

การพัฒนาแบบจำลองเชิงพื้นที่เพื่อนำไปใช้ประมาณการค่าสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำที่แปรเปลี่ยนตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินสามารถนำไปใช้ในการวางแผนบริหารจัดการเชิงพื้นที่ต่อไป โดยเฉพาะการประมาณค่าของ ปริมาณไนโตรเจนในโตรเจน ที่ให้ค่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R^2) ค่อนข้างสูงโดยสามารถพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมด้านการเกษตร (พืชพรรณ) การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพื้นที่แหล่งน้ำ ตลอดจนลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของพื้นที่โล่งหรือพื้นที่ว่างเปล่า เป็นต้น แต่แบบจำลองนี้จำเป็นต้องมีการเก็บตัวอย่างและมีการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการนำไปใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่จริง ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาโดยใช้แบบจำลอง CA-Markov พบว่าผลของการเปลี่ยนแปลงในช่วง 5 ปี ย้อนหลัง มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนโดยเฉพาะในช่วง พ.ศ. 2556 ถึง 2561 เนื่องจากการขยายตัวของชุมชน มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจ

สังคมเปลี่ยนไปทำให้ลักษณะการประกอบอาชีพมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน โดยแบบจำลองของ CA-Markov สามารถนำมาใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของในอนาคต (พ.ศ. 2566) ได้

ข้อเสนอแนะ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ควรใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ที่ดีกว่านี้ กล่าวคือ ดาวเทียม Landsat มีความละเอียดละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร อาจจะเปลี่ยนไปใช้ดาวเทียมไทยโชติ ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 15 เมตร หรือดาวเทียมดวงอื่นที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ดีกว่า จะทำให้ผลการจำแนกข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นและเพื่อความแม่นยำของการสังเคราะห์ข้อมูล ควรเพิ่มจำนวนครั้งในการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำในภาคสนาม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2561 ของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

เอกสารอ้างอิง

- APHA. 1992. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater including Sediment and Sludge (18thed).** American Public Health Association, American Water Works Association and the Water Environment Federation, Washington DC., USA.
- Department of Marine and Coastal Resources. 2013a. **Overview of Prasae River.** Available Source: <https://www.dmcr.go.th/>

- miniprojects/58/22440, January 15, 2019.
(in Thai)
- Department of Marine and Coastal Resources.
2013b. **Prasae Watershed**. Available
Source: https://km.dmcr.go.th/th/c_218/d_2541, February 10, 2020. (in Thai)
- Ding, J., Jiang, Y., Fu, L., Lui, Q., Peng, Q. and Kang, M. 2015. Impacts of land use on surface water quality in a subtropical river basin: a case study of the Dongjiang River Basin, Southeastern China. **Water** 7(8): 4427-4445.
- Grasshoff, K., Kremling, K. and Ehrhardt, M. 1999. **Methods of Seawater Analysis (3rded)**. Weinheim, Wiley-VCH, Germany.
- Gyawali, S., Techato, K. and Monprapussan, S. 2015. Assessing the impact of land use on water quality across multiple spatial scales in U-tapao River Basin, Thailand. **Journal of Institute of Science and Technology** 20(2): 54-60.
- Gyawali, S., Techato, K., Monprapussan, S. and Yuangyai, C. 2013. Integrating land use and water quality for environmental based land use planning for U-tapao River Basin, Thailand. **Procedia-social and behavioral sciences** 91: 556-563.
- Hua, A.K. 2017. Application of CA-Markov model and land use/land cover changes in Malacca river watershed, Malaysia. **Applied ecology and environmental research** 15(4): 605-622.
- Limgomonvilas, T. 2014. Prediction of Lamtakong Watershed Land Use in 2024 with CA-MARKOV Model. **Journal of Social Sciences Srinakharinwirote University** 17(17): 94-113. (in Thai)
- Pollution Control Department. 2018. **Wastewater and Sources of Pollution**. Ministry of Natural Resources and Environment. Available Source: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_water.htm, November 20, 2018. (in Thai)
- Pollution Control Department. 2019. **Water Quality Standard**. Ministry of Natural Resources and Environment. Available Source: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water.html, December 15, 2019. (in Thai)
- Rodríguez-Romero, A.J., Rico-Sánchez, A.E., Mendoza-Martínez, E., Gómez-Ruiz, A., Sedeño-Díaz, J.E. and López-López, E. 2018. Impact of Changes of Land Use on Water Quality, from Tropical Forest to Anthropogenic Occupation: A Multivariate Approach. **Water** 10(11): 1518.
- Saithong, T. 2009. **Five District Network of Prasae Basin**. Available Source: <https://pttinternet.pttplc.com/greenglobe/2552/community-02.html>, December 11, 2018. (in Thai)
- Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. 1972. **A Practical Handbook of Seawater Analysis**. Fisheries Research Board of Canada Bulletin 167, Ottawa.
- Thaipichitburapa, P. and Buranapratheprat, A. 2017. **Research Report no Development of Aquatic Ecological Model for**

**Carrying Capacity Assessment: A Case
study Prasae River, Thailand. Burapha**

University. (in Thai)

ผลของช่วงการเก็บเกี่ยวผล อายุต้น และระยะการพัฒนาผล ที่มีต่อคุณภาพผลส้มโอทับทิมสยาม

Effects of Fruit Harvest Periods, Tree Ages and Fruit Development Periods on Fruit Quality of Pomelo cv. Tubtim Siam

ชัยสิทธิ์ ปรีชา* และ สมพร ณ นคร

Chaisit Preecha* and Somporn Na Nakorn

Received: 26 August 2019, Revised: 7 January 2020, Accepted: 15 January 2020

บทคัดย่อ

ผลของช่วงการเก็บเกี่ยวผล อายุต้น และระยะการพัฒนาผลที่มีต่อคุณภาพผลส้มโอทับทิมสยาม ทำการทดลองในช่วงเวลาที่ต่างกันของการเก็บเกี่ยว (ต้นปี และปลายปี) ที่อายุของต้นที่แตกต่างกัน 3 ช่วงอายุ (5, 10 และ 15 ปี) และที่อายุการเจริญเติบโตและการพัฒนาของผล 5 ระยะ (6, 6.5, 7, 7.5 และ 8 เดือน) ณ สวนส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม ตำบลคลองน้อย อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช เริ่มทำการทดลองในเดือนมกราคม 2560 ถึงกันยายน 2561 ผลการทดลอง พบว่าผลส้มโออายุ 6.5 7 และ 7.5 เดือน มีการเจริญเติบโตการพัฒนาด้านน้ำหนักผล (กรัม) น้ำหนักเปลือก (กรัม) น้ำหนักเนื้อ (กรัม), เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.) และเส้นรอบ (ซม.) และมีค่า TSS, TA และ TSS /TA สูงสุด ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยว จากผลการทดลองนี้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างเป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมให้แก่เกษตรกรที่ปลูกส้มโอทับทิมสยาม เพื่อให้ได้ผลผลิตที่คุณภาพเป็นที่ต้องการของตลาดและผู้บริโภค แก้ปัญหาให้เกษตรกรที่เก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเวลาที่ไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตามในส่วนของคุณภาพของส้มโอไม่มีเครื่องมือวัด ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการชี้วัดคุณภาพการเก็บเกี่ยวส้มโอ การวิจัยต่อไปจึงควรหาตัวชี้วัดความขม

คำสำคัญ: อายุต้น, อายุผล, การพัฒนาของผล, คุณภาพผล, ส้มโอ

สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตำบลฉ่ำใหญ่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

Department of Plant Science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thum Yai, Thung Song, Nakhon si Thammarat 80110, Thailand.

* ผู้เขียนที่ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): skpreecha@yahoo.co.uk

ABSTRACT

Effects of harvest periods, tree ages and fruit development periods on fruit quality of pomelo cv. Tubtim Siam were studied. The experiment was done at different harvest time (the beginning of the year, and the end of the year), different tree ages (5, 10 and 15 years old) and different fruit age (6th, 6.5th, 7th, 7.5th and 8th months). The study was conducted from January, 2017 to September, 2018 at the orchard in Pak Panang district, Nakhon Si Thammarat province, Thailand. The result showed that the fruit age at 6.5th, 7th, and 7.5th months was the highest development period of fruit weight (g), peel weight (g), pomelo fresh(g), diameter of fruit (cm) and fruit circumference (cm) and reflecting the highest of fruit quality as indicated of TSS, TA and TSS/TA ratio which pinpointed the optimal harvesting period. The research result can provide harvest index scheme for farmers to produce their product to satisfy the demand of market and customers. It also can solve the incorrect harvest time. However, there is no instrument to measure pomelo bitterness. The future research should be done for the bitter index as it is one of the important factors which affects the fruit quality.

Key words: tree age, fruit age, fruit development, fruit quality, pomelo

บทนำ

ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม หรือพันธุ์มรดก มีถิ่นกำเนิดเดิมใน อำเภอยะรัง จังหวัดปัตตานี แล้วแพร่กระจายไปยังอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราชจนกลายเป็นส้มโอที่มีชื่อเสียงอีกพันธุ์หนึ่งในปัจจุบัน การปลูกส้มโอในแหล่งปลูกดั้งเดิม ส่วนใหญ่เป็นสวนขนาดเล็กปะปนกับส้มโอพันธุ์อื่นๆ เช่น ขาวทองดี โรดี และ บานหยา หรือไม้ผลอื่นๆ เช่น มังคุด ทุเรียน ลองกอง และ เงาะ จากลักษณะการปลูกดังกล่าว ทำให้ส้มโอไม่ได้รับการปฏิบัติดูแลรักษาที่ดีเพียงพอ จึงให้ผลผลิตต่ำเพียง 500-700 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี และให้คุณภาพผลผลิตไม่ดี ทำให้เกษตรกรขายได้เพียงผลละ 20-30 บาท (Kaewtubtim, 2014) จากข้อมูลปีเพาะปลูก 2557 พบว่า เกษตรกร ในตำบลคลองน้อย เกาะหวด คลองกระปือ ปากพนังตะวันตก ท่าพญา ปากแพรก และบ้านเพิง มีพื้นที่ปลูกส้มโอทับทิมสยาม จำนวน 1,400 ไร่ มีจำนวนผลผลิตประมาณ 595,870 ผล หากคิด

เฉลี่ยจากสวนผลละ 200 บาท ก็จะมีรายได้ปีละประมาณ 119 ล้านบาท (Nakhon Si Thammarat Provincial Agriculture Office, 2014) ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามจะออกดอกติดผล จำนวน 3 ครั้งในรอบปี คือเดือน มกราคม พฤษภาคม และเดือนกันยายน ในปัจจุบันพบว่า คุณภาพของผลผลิตของแต่ละช่วงในรอบปีมีคุณภาพที่ความแตกต่างกัน และนอกจากนั้นยังมีปัญหาด้านอายุผลที่เก็บเกี่ยว ทำให้ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวต่ำกว่าหรือเกินกว่าอายุที่เหมาะสมจึงทำให้ได้ผลผลิตที่ไม่มีคุณภาพ อาจเป็นผลมาจากราคาที่สูงเกินไปทำให้เกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิตก่อนเวลาในขณะที่ผลผลิตยังไม่ได้คุณภาพ ดังนั้นหากได้ศึกษาทดลองผลของช่วงการเก็บเกี่ยวผล อายุของต้นที่มีผลต่อคุณภาพของผล และระยะการพัฒนาผลที่เหมาะสมต่อคุณภาพผลส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม เพื่อแก้ปัญหาช่วงการเก็บเกี่ยวผล ทราบอายุของต้นที่มีผลต่อคุณภาพของผล และระยะการพัฒนาของผลที่มีคุณภาพและเหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยว เพื่อการเก็บ

เกี่ยวผลที่มีคุณภาพได้ในช่วงการเก็บเกี่ยวผลที่เหมาะสม อายุต้นที่เหมาะสม และการพัฒนาของผลที่เหมาะสม

วิธีดำเนินการวิจัย

ดำเนินการทดลอง ณ สวนส้มโอของนายวิรัตน์ สุขแสง ตำบลคลองน้อย อำเภอปากพะนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ระหว่างเดือนมกราคม 2560 ถึง เดือนกันยายน 2561 วางแผนการทดลองแบบ $2 \times 3 \times 5$ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ดังนี้ 1. ช่วงการออกดอก 2 ช่วง (ต้นปี-มกราคม และปลายปี-กันยายน) 2. ช่วงอายุของต้นส้มโอ (5 10 และ 15 ปี) 3. การเจริญเติบโตและการพัฒนาของผล 5 ระยะ (6 6.5 7 7.5 และ 8 เดือน) มีสิ่งทดลองรวม ทั้งหมด 30 สิ่งทดลองทำการทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ (1 ต้น = 1 ซ้ำ) ใช้วิธีวิเคราะห์ข้อมูลตามแผนการทดลอง Factorial in CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT โดยใช้โปรแกรม R

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลส้มโอ

1.1 ช่วงการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันในรอบปี

จากผลการทดลองช่วงการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันในรอบปี 2 ช่วง คือ การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปี พบว่า น้ำหนักผลสูงกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปีแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักผล 1962.65 กรัม และ 1760.05 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเปลือก พบว่า น้ำหนักเปลือกมีความแตกต่างกันทางสถิติ ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามที่การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปี มีน้ำหนักเปลือกสูงกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเปลือก 620.27 กรัม และ 564.45 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเนื้อ พบว่า น้ำหนักเนื้อ มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามที่การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปี มีน้ำหนักเนื้อ สูงกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเนื้อ 1406.69 กรัม และ 1228.21 กรัม ตามลำดับ เส้นรอบวงของผล พบว่า เส้นรอบวงมีความแตกต่างกันทางสถิติ ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามที่การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปี มีเส้นรอบวงมากกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี มีค่าเฉลี่ยเส้นรอบวงของผล 54.25 เซนติเมตร และ 52.98 เซนติเมตร ตามลำดับ เส้นผ่าศูนย์กลางของผล พบว่า เส้นผ่าศูนย์กลางของผล มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามที่การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปี มีเส้นผ่าศูนย์กลางของผลมากกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางของผล 17.71 เซนติเมตร และ 17.04 เซนติเมตร ตามลำดับ ความหนาของเปลือก พบว่า ความหนาของเปลือกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามที่การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปี มีความหนาของเปลือก มากกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี มีความหนาของเปลือก 1.53 เซนติเมตร และ 1.45 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และ 2)

1.2 ช่วงอายุของต้นที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองช่วงอายุของต้นที่แตกต่างกัน 3 ช่วงอายุ คือ ต้นส้มโอทับทิมสยามที่มีอายุ 5 10 และ 15 ปี พบว่า น้ำหนักผลของต้นที่มีอายุ 15 10 และ 5 ปี มีน้ำหนักผลแตกต่างกันทางสถิติกับต้นที่มี 15 น้ำหนักผลสูงสุด รองลงมาต้นที่มีอายุ 10 ปี และต้นที่มีอายุ 5 ปี น้ำหนักผลต่ำสุด มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักผล 2033.57 กรัม 1927.28 กรัม และ 1779.63 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเปลือกของต้นที่มีอายุ 15 10 และ 5 ปี มีน้ำหนักเปลือกแตกต่างกันทางสถิติต้นที่มีอายุ 15 ปี มีน้ำหนักเปลือกสูงสุด รองลงมาต้นที่มีอายุ 10 ปี และต้นที่มีอายุ 5 ปี มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเปลือก 620.27 กรัม 587.10 กรัม และ 561.53 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเนื้อ ต้นที่มีอายุ 15 10 และ 5 ปี พบว่า มีน้ำหนักเนื้อ แตกต่างกันทางสถิติ ต้นที่มีอายุ

15 ปี มีน้ำหนักเนื้อสูงสุด รองลงมาต้นที่มีอายุ 10 ปี และต้นที่มีอายุ 5 ปี มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเนื้อ 1412.49 กรัม 1215.23 และ 1337.81 กรัม ตามลำดับ เส้นรอบวงของผล ต้นที่มีอายุ 15 10 และ 5 ปี มีเส้นรอบวงของผลแตกต่างกันทางสถิติ ต้นที่มีอายุ 15 ปี มีเส้นรอบวงของผลสูงสุด รองลงมาต้นที่มีอายุ 10 ปี และต้นที่มีอายุ 5 ปี มีค่าเฉลี่ยเส้นรอบวงของผล 55.09 เซนติเมตร 53.53 เซนติเมตร และ 54.78 เซนติเมตร ตามลำดับ เส้นผ่านศูนย์กลางของผล ต้นที่มีอายุ 15 10 และ 5 ปี มีเส้นผ่านศูนย์กลางของผลแตกต่างกันทางสถิติ ต้นที่มีอายุ 15 ปี มีเส้นผ่านศูนย์กลางของผลสูงสุด มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของผล 17.53 เซนติเมตร 17.10 เซนติเมตร และ 17.56 เซนติเมตร ตามลำดับ ความหนาของเปลือกของต้นที่มีอายุ 15 10 และ 5 ปี มีความหนาของเปลือกไม่มีแตกต่างกันทางสถิติของต้นที่มีอายุ 15 10 และ 5 ปี มีค่าเฉลี่ยความหนาของเปลือก 1.50 เซนติเมตร 1.49 56 เซนติเมตร และ 1.48 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และ 2)

1.3 ช่วงอายุของผลที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองช่วงอายุผลที่แตกต่างกัน 5 ช่วงอายุ คือ ต้นส้มโอทับทิมสยามที่มีอายุผล 6 6.5 7 7.5 และ 8 เดือน พบว่า น้ำหนักผลของผลที่มีอายุ 7 7.5 8 และ 6.5 เดือน มีน้ำหนักผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักผล 1900.04 1987.33 1969.40 และ 1940.84 กรัม ตามลำดับ และผลที่มีอายุ 6 เดือน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักผลต่ำสุด 1786.24 กรัม น้ำหนักเปลือกของผลที่มีอายุ 6.5 8 6 7 และ 7.5 เดือน มีน้ำหนักเปลือกไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเปลือก 604.36 594.29 584.93 584.22 และ 583.20 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเนื้อของผลที่มีอายุ 7.5 8 6 และ 7 เดือน มีน้ำหนักเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเนื้อ 1402.49 1373.36 1333.09 และ 1314.82 กรัม ตามลำดับ และ

ผลที่มีอายุ 6 เดือน มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักเนื้อต่ำสุด 1199.09 กรัม เส้นรอบวงของผลที่มีอายุ 7.5 6.5 7 6 และ 8 เดือน มีเส้นรอบวงของผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยเส้นรอบวงของผล 54.43 54.25 54.07 53.82 และ 52.41 เซนติเมตร ตามลำดับ เส้นผ่านศูนย์กลางของผลที่มีอายุ 6.5 6 7 7.5 และ 8 เดือน มีเส้นผ่านศูนย์กลางของผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของผล 17.47 17.43 17.36 และ 17.26 เซนติเมตร ตามลำดับ ความหนาเปลือกของผลที่มีอายุ 6.5 6 7 7.5 และ 8 เดือน มีความหนาเปลือกของผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยความหนาเปลือกของผล 1.54 1.54 1.50 1.45 และ 1.43 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และ 2) ในภาคใต้ของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกไม้ผลเมืองร้อน แต่มีไม้ผลหลายชนิดได้มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตตามการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล เช่น มังคุด มีการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตตามความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ และความแปรปรวนของสภาพมีผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านชีวจักร ผลผลิต และคุณภาพของมังคุด (Apiratikorn and Sdoodee, 2012) ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศทำให้ส้มโอทับทิมสยามที่ปลูกในเขตลุ่มน้ำปากพนังออกดอกหลายครั้งในรอบปี ในแต่ละช่วงของการออกดอกติดผล จะมีผลต่อคุณภาพของผลในขณะที่เก็บเกี่ยว โดยคุณภาพของผลขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยว อายุของต้น แลอายุของผล เป็นต้น คุณภาพของส้มขึ้นอยู่กับลักษณะภายนอกผล เช่น สีของเปลือก ขนาดของผล เนื้อภายในผล และค่าทางชีวเคมีภายในผล เช่น ค่าของแข็งที่ละลายน้ำ ค่าปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ และค่าอัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Ahmed *et al.*, 2006; Saleem *et al.*, 2008)

2. คุณภาพของผล

2.1 ช่วงการเก็บเกี่ยวที่ต่างกันในรอบปี

จากผลการทดลองช่วงการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันในรอบปี 2 ช่วง พบว่า การเก็บเกี่ยวช่วงต้นปีมีคุณภาพผลสูงกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี ในด้านค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid, TSS), ส่วนปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (Titratable acidity, TA) มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี และอัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (TSS:TA ratio) ค่าเฉลี่ยสูงกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงปลายปี โดยค่าเฉลี่ยความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง มีค่าเฉลี่ยค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ 10.02 และ 9.87 °Brix ตามลำดับ ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ 0.48 และ 0.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ

อัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (TSS:TA ratio) 20.87 และ 19.35 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) (Ahmed *et al.*, 2006; Saleem *et al.*, 2008) ได้อธิบายถึงส้มที่มีคุณภาพขึ้นอยู่กับลักษณะภายนอกผล เช่น สีของเปลือก ขนาดของผล เนื้อภายในผล และค่าทางชีวเคมีภายในผล เช่น ค่าของแข็งที่ละลายน้ำ ค่าปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ และค่าอัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ ซึ่งเป็นไปตามรายงานของ Na Nakhon *et al.* (2018) ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้จะเพิ่มขึ้นตามการพัฒนาของผล จาก 1-7 เดือน และค่าปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้จะมีผลในทางตรงกันข้าม คือปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้จะลดลงเมื่อผลมีอายุมากขึ้น

ตารางที่ 1 น้ำหนักผล (กรัม) น้ำหนักเปลือก (กรัม) และน้ำหนักเนื้อ (กรัม) ของส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามในช่วงการเก็บเกี่ยวที่ต่างกันในรอบปี อายุของต้น และอายุผลแตกต่างกัน

Treatments	Fruit weight(g)	Peel weight(g)	Fresh weight(g)
Harvesting time(A)			
The beginning of the year	1962.65 ^a	620.27 ^a	1406.69 ^a
The end of the year	1760.05 ^b	564.45 ^b	1228.21 ^b
Age of tree (B)			
5 year-old	1779.63 ^b	561.53 ^b	1215.23 ^b
10 year-old	1927.28 ^a	587.10 ^{ab}	1337.81 ^a
15 year-old	2033.57 ^a	620.27 ^a	1412.49 ^a
Age of fruit(C)			
6 months	1789.24 ^b	584.22	1199.09 ^b
6.5 months	1940.84 ^a	604.36	1333.09 ^a
7 months	1900.04 ^{ab}	584.93	1314.82 ^{ab}
7.5 months	1987.33 ^a	583.20	1402.49 ^a
8 months	1969.40 ^a	594.29	1373.36 ^a

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Treatments	Fruit weight(g)	Peel weight(g)	Fresh weight(g)
Probability level of Significance (ANOVA)			
Harvesting time (A)	0.0012	0.0279	0.0013
Age of tree (B)	0.2254	0.3504	0.0253
Age of fruit (C)	0.4633	0.7918	0.2960
AxB	0.5921	0.3884	0.1695
AxC	0.5589	0.7201	0.5537
BxC	0.4407	0.4696	0.2725
AxBxC	0.9809	0.9700	0.5574
CV (%)	18.77	24.28	22.30

Mean values with each column followed by a same letter are not significantly at $p \leq 0.05$ tested by DMRT

ตารางที่ 2 เส้นรอบวง (เซนติเมตร) เส้นผ่าศูนย์กลาง (เซนติเมตร) และความหนาของเปลือก (เซนติเมตร) ของส้มโอ พันธุ์ทับทิมสยามในช่วงการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันในรอบปี อายุของต้น และอายุผลแตกต่างกัน

Treatments	Fruit circumference (cm)	Fruit diameter (cm)	Peel thickness (cm)
Harvesting time (A)			
The beginning of the year	54.25 ^a	17.71 ^a	1.53
The end of the year	52.98 ^b	17.04 ^b	1.45
Age of tree (B)			
5 year-old	53.53 ^b	17.10 ^b	1.48
10 year-old	54.78 ^a	17.53 ^a	1.49
15 year-old	55.09 ^a	17.56 ^a	1.50
Age of fruit (C)			
6 months	52.41 ^b	17.47	1.54
6.5 months	54.25 ^a	17.47	1.54
7 months	54.07 ^a	17.43	1.50
7.5 months	54.43 ^a	17.36	1.45
8 months	53.89 ^b	17.26	1.43
Probability level of Significance (ANOVA)			
Harvesting time (A)	0.2277	0.0047	0.5138

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Treatments	Fruit circumference (cm)	Fruit diameter (cm)	Peel thickness (cm)
Age of tree (B)	0.2395	0.0450	0.9500
Age of fruit (C)	0.3292	0.9145	0.5804
AxB	0.3909	0.2042	0.2489
AxC	0.5986	0.9567	0.9152
BxC	0.5862	0.7519	0.9053
AxBxC	.08880	0.9825	0.8241
CV (%)	9.36	7.13	16.40

Mean values with each column followed by a same letter are not significantly at $p \leq 0.05$ tested by DMR

2.2 ช่วงอายุของต้นที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองช่วงอายุของต้นที่แตกต่างกัน 3 ช่วงอายุ คือ ของต้นส้มโอทับทิมสยามที่มีอายุ 5 10 และ 15 ปี พบว่า ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของต้นที่มีอายุ 10 และ 15 มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้แตกต่างกันทางสถิติกับต้นที่มีอายุ 5 ปี และมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้มีค่าเฉลี่ย 10.03 และ 10.02 °Brix ตามลำดับ และต้นที่มีอายุ 5 ปี มีค่าเฉลี่ยค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำสุด 9.70 °Brix ปริมาณกรดที่ไตรเครทได้ พบว่า ต้นที่มีอายุ 15 และ 10 มีปริมาณกรดที่ไตรเครทได้แตกต่างกันทางสถิติกับต้นที่มีอายุ 5 ปี และมีปริมาณกรดที่ไตรเครทได้ต่ำสุด มีค่าเฉลี่ยปริมาณกรดที่ไตรเครทได้ 0.49 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนต้นที่มีอายุ 5 ปี ปริมาณกรดที่ไตรเครทได้สูงสุด 0.51 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตรเครทได้ของต้นส้มโอทับทิมสยามที่มีอายุ 10 ปี มีอัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไตรเครทได้สูงสุด รองลงมา ต้นที่มีอายุ 15 ปี มีค่าเฉลี่ย 20.06 และ 19.64 ตามลำดับ และต้นที่มีอายุ 5 ปี มีปริมาณกรดที่ไตรเครทได้ต่ำสุด มีค่าเฉลี่ย 16.96 (ตารางที่ 3) จากผลการทดลองในครั้งนี้ พบว่า ต้นที่มีอายุมากกว่าจะมี

คุณภาพสูงกว่า คือต้นที่มีอายุ 15 และ 10 ปี มีน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ เส้นรอบวง เส้นผ่าศูนย์กลาง ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไตรเครทได้ สูงกว่าต้นที่มีอายุ 5 ปี เนื่องจากต้นพืชที่มีอายุน้อยกว่า จะมีทรงพุ่มที่เล็กกว่า จำนวนใบต่อต้นน้อยกว่า ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีส่วนสัมพันธ์กับอัตราการสังเคราะห์แสง ใบของพืชเป็นแหล่งหลักในการสังเคราะห์แสงของพืช โดยทั่วไปอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชยังขึ้นอยู่กับอายุของใบพืชจากใบพืชอายุน้อยและค่อยพัฒนาแก่เต็มที่ ที่จะมีการสังเคราะห์ได้สูงสุด (Kramer and Kozlowski, 1979) และจากการรายงานของ Dong *et al.* (2005) พบว่า *Prunus salicina* ที่มีอายุ 5-10 ปี มีกรด ascorbic สูงกว่าต้นที่มีอายุ 20-30 ปี แต่ต้นที่อายุ 20-30 ปี มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงกว่า และมีรสชาติดีกว่า

2.3 ช่วงอายุของผลที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองช่วงอายุผลที่แตกต่างกัน 5 ช่วงอายุ คือ ต้นส้มโอทับทิมสยามที่มีอายุผล 6 6.5 7 7.5 และ 8 เดือน พบว่า ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ของต้นที่มีอายุผล 6.5 7.5 7 และ 8 เดือน มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ มีค่าเฉลี่ย 10.06 10.29

9.94 และ 9.84 ⁰Brix ตามลำดับ อายุผล 6 เดือน มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำที่สุด 9.70 ⁰Brix ค่าปริมาณกรดที่ไทรเตรทได้ของต้นที่มีอายุผล 7 8 7.5 และ 6.5 เดือน มีค่าเฉลี่ยค่าปริมาณกรดที่ไทรเตรทได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ 0.47 0.47 0.49 และ 0.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อายุผล 6 เดือน มีค่าค่าปริมาณกรดที่ไทรเตรทได้สูงสุด 0.58 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไทรเตรทได้ของต้นส้มโอทับทิมสยามที่มีอายุผล 7 7.5 และ 8 เดือน มีอัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไทรเตรทได้ มีค่าเฉลี่ย 21.14 21.00 และ 20.93 ตามลำดับ และต้นที่มีอายุผล 6.5 และ 6 เดือน มีค่าเฉลี่ยมีอัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไทรเตรท

ได้ต่ำรองลงมา 18.98 และ 16.72 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) จากการรายงานผลการทดลองผลของอายุผลของส้มโอทับทิมสยามที่มีอายุผล 6 6.5 7 และ 7.5 เดือน มีการพัฒนาของผลในด้านน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ ความหนาของเปลือก เส้นรอบวง เส้นผ่าศูนย์กลาง พบว่า ผลที่มีอายุเหมาะสมในการเก็บเกี่ยวคือผลที่มีอายุ 7-7.5 เดือน เนื่องจากผลในระยะนี้จะมีขนาดของผล และคุณภาพของผลสูงที่สุด (Na Nakorn *et al.*, 2015) เช่นเดียวกับการทดลองในครั้งนี้อายุของผลส้มโอทับทิมสยามที่มีอายุเหมาะสมในการเก็บเกี่ยวจะมีอายุตั้งแต่ 6.5-7.5 เดือน มีการเจริญเติบโตของผลด้านน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ ความหนาของเปลือก เส้นรอบวง เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดและมีคุณภาพสูงสุดอีกด้วย

ตารางที่ 3 ของแข็งที่ละลายน้ำได้ (⁰brix) ปริมาณกรดที่ไทรเตรท (%) และอัตราส่วนระหว่างค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้กับปริมาณกรดที่ไทรเตรทได้ของผลส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามในช่วงการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันในรอบ ปี อายุของต้นและอายุผลแตกต่างกัน

Treatments	Total soluble solid (⁰ brix)	Titrateable acidity (%)	TSS:TA
Harvesting time (A)			
The beginning of the year	10.02 ^a	0.48 ^b	20.87
The end of the year	9.87 ^b	0.51 ^a	19.35
Age of tree (B)			
5 year-old	9.84 ^b	0.51	16.96
10 year-old	10.03 ^a	0.50	20.06
15 year-old	10.02 ^a	0.49	19.64
Age of fruit (C)			
6 months	9.70 ^b	0.58 ^a	16.72
6.5 months	10.06 ^{ab}	0.53 ^{ab}	18.98
7 months	9.94 ^{ab}	0.47 ^b	21.14
7.5 months	10.29 ^a	0.49 ^b	21.00
8 months	9.84 ^{ab}	0.47 ^b	20.93

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Treatments	Total soluble solid (^o brix)	Titrateable acidity (%)	TSS:TA
Probability level of Significance (ANOVA)			
Harvesting time (A)	0.0112	0.0147	-
Age of tree (B)	0.0224	0.6917	-
Age of fruit (C)	0.0232	0.0145	-
AxB	0.5462	0.7496	-
AxC	0.9866	0.7678	-
BxC	0.8981	0.5308	-
AxBxC	0.9834	0.8906	-
CV (%)	12.88	13.44	-

Mean values with each column followed by a same letter are not significantly at $p \leq 0.05$ tested by DMRT

สรุป

1. ช่วงการเก็บเกี่ยวผลส้มโอทับทิมสยามในช่วงต้นปี จะมีการเจริญเติบโตของผลด้านน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ เส้นรอบวงของผล เส้นผ่าศูนย์กลางของผล ความหนาของเปลือกมากกว่าการเก็บเกี่ยวผลส้มโอในช่วงปลายปี และผลมีคุณภาพทางด้านชีวเคมีมากกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงส้มโอในช่วงปลายปี

2. อายุของต้นส้มโอทับทิมสยามที่อายุ 15 และ 10 ปี จะมีการเจริญเติบโตของผลด้านน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ เส้นรอบวงของผล เส้นผ่าศูนย์กลางของผล ความหนาของเปลือกมากกว่าต้นที่มีอายุ 5 ปี และผลมีคุณภาพทางด้านชีวเคมีมากกว่าต้นที่มีอายุ 5 ปี

3. อายุของผลส้มโอทับทิมสยามที่อายุ 6.5 และ 7.5 เดือน จะมีการเจริญเติบโตของผลด้านน้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ เส้นรอบวงของผล เส้นผ่าศูนย์กลางของผล ความหนาของเปลือกมากกว่าผลที่มีอายุ 6 และ 8 เดือน และผลมี

คุณภาพทางด้านชีวเคมีมากกว่าผลที่มีอายุ 6 และ 8 เดือน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนายวิรัตน์ สุขแสง ที่ได้สนับสนุนและอนุญาตให้ใช้สวนส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม ณ ตำบลคลองน้อย อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อทำการทดลองในครั้งนี้ และขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้สนับสนุนงบประมาณเพื่อทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Ahmad, S., Thompson, A.K., Perviez, M.A., Anwar, N. and Ahmad, F. 2006. Effect of fruit size and temperature on the shelflife and quality of ripe banana fruit. **Journal of Agricultural Research** 44: 47-58

- Apiratikorn, S. and Sdoodee, S. 2012. The impact of climatic variability on phonological change, yield and fruit quality of mangosteen in Patthalung province, Southern Thailand. **Kasetsart Journal** 46: 1-9.
- Dong, H., Jones, S., Obreza, T. and Rouse, B. 2005. Influence of various phosphorous and potassium rates on juice vitamin C, β -carotene, lycopene and sugar concentrations of Flame grapefruit, pp. 372-375. *In Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. Florida State Horticultural Society Citrus Research and Education Center, Station Road Lake Alfred, FL, U.S.A.
- Kaewtubtim, M. 2014. Effects of Fruit Maturity, Tree Age, Nitrogen and Zinc on Fruit Quality of Pummelo cv. Tubtim Sayam. Ph.D. Thesis of Science, Walailak University. (in Thai)
- Kramer, P.J. and Kozlowski, T.T. 1979. **Physiology of woody plants**. Academic Press, New York.
- Na Nakhon, S., Inthamane, W., Kaewnual, T., Reangtem, T. and Kaewnual, C. 2008. **Research Report on The developing network of farmers growing pummelo in Pakpanung basin to product quality pummelo**. The Thailand Research Fund (TRF). (in Thai)
- Na Nakorn, S., Chalumpak C. and Sangwiroonton, K. 2015. Effect of crop load on fruit development and fruit quality of pummelo var. Tabtimsiam. **Journal of Agricultural Technology** 11(8): 2211-2217.
- Nakhon Si Thammarat Provincial Agriculture Office. 2014. **Report of growing area of pummelo Tabtim Siam cultivar in Pakpanung district**. Academic documents, Nakhon Si Thammarat Provincial Agriculture Office. (in Thai)
- Saleem, B.A., Malik, A.U., Pervez, M.A., Khan, A.S. and Khan, M.N. 2008. Spring application of growth regulators affects fruit quality of 'Blood red' sweet orange. **Pakistan Journal of Botany** 40: 1013-1023.

การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือหัวปลากะตักเสริมโปรตีน และแคลเซียมในผลิตภัณฑ์อาหาร

Utilization of Anchovy Head Residues Supplemented with Protein and Calcium in Food Products

พรเพ็ญ อาสนศักดิ์¹ สุธาสิณี คงทอง¹ และ สุภายิต ชูกลิ้น^{2*}

Pornpen Arsanahsark¹, Suthasinee Kongthong¹ and Supasit Chooklin^{2*}

Received: 25 February 2020, Revised: 6 May 2020, Accepted: 8 December 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ประโยชน์วัสดุเศษเหลือหัวปลากะตักต้มตากแห้งเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและจุลินทรีย์ของหัวปลา พบว่า ความชื้น โปรตีน แคลเซียมและโซเดียมคลอไรด์เท่ากับร้อยละ 31.07, 36.46, 2.70 และ 8.65 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ตามลำดับ จำนวนเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดเท่ากับ 3.3×10^7 จำนวนโคโลนีต่อกรัม และตรวจไม่พบรา และยีสต์และ *E. coli* ก่อนจะนำหัวปลาไปปรับปรุงคุณภาพโดยการล้างด้วยน้ำสะอาด (หัวปลา : น้ำ ในอัตราส่วน 1 : 10 น้ำหนักต่อปริมาตร) และต้มตากแห้ง พบว่า ปริมาณความชื้น โปรตีน แคลเซียมและโซเดียมคลอไรด์เท่ากับร้อยละ 11.96, 52.49, 5.57 และ 1.85 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ตามลำดับ โดยความชื้นและโซเดียมคลอไรด์ลดลง ส่วนโปรตีนและแคลเซียมเพิ่มขึ้นหลังผ่านการล้างและต้มตากแห้ง ส่วนปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดมีค่าลดลงจาก 3.3×10^7 จำนวนโคโลนีต่อกรัม เป็น 3.6×10^3 จำนวนโคโลนีต่อกรัม ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารที่กำหนด ราและยีสต์และ *E. coli* ไม่มีการตรวจพบหลังการล้างและต้มตากแห้ง เมื่อนำหัวปลาดมตากแห้งแล้วไปเติมในผลิตภัณฑ์ขนม 3 ชนิด คือ ผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนและผลิตภัณฑ์ขนมข้าวพองปรุงรสด้วยแกงไทย (แกงกั่ว แกงเขียวหวาน และแกงคั่วกลิ้ง) และผลิตภัณฑ์ขนมกรอบปรุงรสดั้งเดิมและเติมหัวปลา นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคด้วยวิธี Hedonic 5 Scales Scoring test พบว่า ผู้บริโภคให้ความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด เติมหหัวปลา โดยรสแกงเขียวหวานและรสคั่วกลิ้งสูงสุด

คำสำคัญ: วัสดุเศษเหลือ, หัวปลากะตักต้มตากแห้ง, ขนมขบเคี้ยว

¹ สาขาวิชาแปรรูปสัตว์น้ำ วิทยาลัยประมงดินสุลานนท์ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90100

¹ Department of Fish Processing, Tinsulanonda Fisheries College, Muang, Songkhla 90100, Thailand.

² สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

² Department of Food Science and Technology, Faculty of Agro - Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thungyai, Nakhon Si Thammarat 80240, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): supasit.c@rmutsv.ac.th

ABSTRACT

This research aimed at exploring the utilization of boiled dried anchovy heads, which were the residues from local food production. Chemical and microbial properties of the anchovy heads were analyzed before being washed, boiled and dried. The findings showed that moisture, protein, calcium and sodium were 31.07, 36.47, 36.46, 2.70 and 8.65 (%w/w), respectively. The total bacteria count was 3.3×10^7 CFU /g but mold and yeast were not detected in the analysis. After that, anchovy heads were washed with water at the ratio of anchovy heads to water at 1:10 (w/v) and then boiled and dried. It was found that moisture, protein, calcium and sodium were 11.96, 52.49, 5.57 and 1.85 (%w/w), respectively. Moisture and sodium chloride decreased but protein and calcium increased after washing, boiling and drying. The total bacteria count decreased from 3.3×10^7 CFU/g to 3.6×10^3 CFU/g. However, it is still accepted by the standard of local food production. Mold, yeast and *E. coli* were not detected. Then, the boiled dried anchovy heads were fortified in three food products: rolled wafer, puffed rice snack and extruded snack. The first two snacks were mixed with Thai curry paste in three flavors (hot curry, green curry and yellow curry paste) and the extruded one was in original and fortified anchovy head flavors. The results also showed that the most satisfied food product among the consumers was anchovy heads with green curry and yellow curry paste when a 5-hedonic scale testing of consumers was used.

Key words: residue material, boiled dried anchovy heads, snacks

บทนำ

ประเทศไทยเผชิญกับปัญหาการทำประมงมากเกินไป (Overfishing) ปลากระดี่ซึ่งเป็นแหล่งแคลเซียมของคนรักสุขภาพก็เป็นปลาชนิดหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากการทำการประมงที่มากเกินไป (Green World Foundation, 2017) จากรายงานของกรมประมงปี 2561 มีปริมาณการจับปลากระดี่มากถึง 25,276 ตัน (Department of Fisheries, 2018) และในปัจจุบันการจับปลากระดี่ของไทยก็มีแนวโน้มลดลงซึ่งได้รับผลกระทบจากการออกกบฏบัญชีที่มีการควบคุมการทำประมงปลากระดี่อย่างเข้มงวดจึงทำให้ปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ ดังนั้นจึงมีการนำเข้าปลากระดี่จากประเทศกัมพูชาอย่างต่อเนื่องเพื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ เช่น ผลิตภัณฑ์น้ำปลา

และปลากระดี่ตากแห้ง เป็นต้น (Department of Fisheries, 2018) ดังนั้นเพื่อเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรปลากระดี่จึงควรใช้ประโยชน์ปลากระดี่สำหรับให้เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์และให้เกิดมูลค่าสูงสุดโดยจำกัดวัสดุเศษเหลือจากการแปรรูปให้น้อยที่สุดซึ่งจังหวัดสงขลาในชุมชนหัวเขาแดงมีการทำการประมงจับปลากระดี่และนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลากระดี่ต้มตากแห้งเพื่อจำหน่ายในประเทศและส่งไปประเทศมาเลเซีย บรูไน และสิงคโปร์ ในราคากิโลกรัมละ 230 บาท เป็นปริมาณมากทุกปี และในกระบวนการผลิตปลากระดี่ต้มตากแห้งนี้มีวัสดุเศษเหลือในหลายขั้นตอน ได้แก่ น้ำต้มปลา ตะกอนจากน้ำต้มปลา และหัวปลาซึ่งวัสดุเศษเหลือเหล่านี้จะถูกขายไปเพื่อใช้ประโยชน์แตกต่างกัน เช่น ทำปุ๋ย และทำปลาป่น วัสดุเศษเหลือที่สำคัญและมีศักยภาพที่จะ

นำมาใช้เป็นอาหารมนุษย์ได้ คือ หัวปลาคะตักที่ประกอบไปด้วยเนื้อปลาและกระดูกปลาที่มีคุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนและแคลเซียมแต่ผลิตภัณฑ์ปลาคะตักต้มตากแห้งที่ส่งไปต่างประเทศมีรสเค็มมาก ดังนั้นหัวปลาที่เป็นวัสดุเศษเหลือจึงมีรสเค็มและมีลักษณะปรากฏไม่ดีจะถูกขายไปเพื่อใช้ประโยชน์ทำเป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืชหรือสำหรับทำปลาป่นอาหารสัตว์ในราคาโลกรัมละ 14 บาท จากการศึกษาใช้ประโยชน์ปลาคะตัก เช่น

Kurniaty *et al.* (2018) พัฒนาขนมขบเคี้ยว (Fish stick) ที่อุดมไปด้วยโปรตีนและแคลเซียมจากแป้งปลาคะตักท้องถิ่น โปรตีนไอโซเลตจากถั่วเหลืองและถั่วแรมบารา พบว่า สูตรขนมขบเคี้ยวที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบสูงสุด (F3) มีปริมาณโปรตีนและแคลเซียมเท่ากับร้อยละ 14.91 และ 181.31 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ตามลำดับ

Piotrowicz and Mellado (2015) ศึกษาคุณภาพทางเคมี ทางเทคโนโลยีและทางโภชนาการของไส้กรอกแปรรูปด้วยซูริมิปลาคะตัก (Argentine anchovy) พบว่า ไส้กรอกจากซูริมิปลาคะตักด้วยกรดฟอสฟอริกมีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน และโซเดียมเท่ากับร้อยละ 63.6, 15.5, 3.6 และ 12.5 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ตามลำดับ ส่วนไส้กรอกทางการค้ามีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน และโซเดียมเท่ากับร้อยละ 64.8, 13.0, 3.8 และ 15.6 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค จะเห็นว่าไส้กรอกจากซูริมิปลาคะตักด้วยกรดฟอสฟอริกมีค่าโปรตีนสูงและไขมันต่ำเปรียบเทียบกับไส้กรอกทางการค้า

การนำหัวปลาเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์เพื่อเป็นอาหารของมนุษย์โดยนำมาเติมในผลิตภัณฑ์ขนมสำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่รักสุขภาพที่ต้องการโปรตีนและแคลเซียมอย่างเช่น ขนมข้าวพองที่ผู้สูงอายุชอบรับประทาน ขนมทองม้วนที่ผู้บริโภคทุกเพศทุกวัยชอบรับประทานและขนมกรอบพองที่เด็กและ

วัยรุ่นชอบรับประทานแต่การเติมหัวปลาคะตักลงในผลิตภัณฑ์อาหารจะทำให้กลิ่นของขนมไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจึงควรปรุงรสของขนมเติมหัวปลาด้วยรสแกงไทย เช่น แกงคั่ว แกงเขียวหวานและคั่วกลิ้ง เพื่อผู้บริโภคจะได้รับคุณค่าของพืชสมุนไพรที่เป็นส่วนผสมอยู่ในเครื่องแกงไทยด้วย ผลิตภัณฑ์ขนมเติมหัวปลาที่ได้นี้จะเป็นทางเลือกใหม่ของผู้บริโภคที่รักสุขภาพและช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติไปพร้อมกันกับการอนุรักษ์วัฒนธรรมด้านอาหารไทยอีกด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการใช้ประโยชน์วัสดุเศษเหลือหัวปลาคะตักต้มตากแห้งเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและจุลินทรีย์ของหัวปลาคะตักก่อนและหลังต้มและตากแห้งและศึกษาผลของหัวปลาคะตักต้มตากแห้งแล้วต่อปริมาณโปรตีนและแคลเซียมและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร (ขนมทองม้วน ขนมข้าวพองและขนมกรอบพอง) ที่ปรุงรสด้วยแกงไทย (แกงคั่ว แกงเขียวหวานและคั่วกลิ้ง) สำหรับผู้บริโภคที่ต้องการแหล่งโปรตีนและแคลเซียม รวมทั้งการเพิ่มมูลค่าของอาหารไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัสดุเศษเหลือหัวปลาคะตักต้มตากแห้ง

นำวัสดุเศษเหลือหัวปลาคะตักแห้งมาเติมน้ำโดยใช้อัตราส่วนของวัสดุเศษเหลือหัวปลาคะตักต่อน้ำเท่ากับ 1:10 โดยน้ำหนัก จากนั้นคนให้ทั่ว หากมีวัสดุแปลกปลอม เช่น เศษหอย เศษปลาชนิดอื่น เศษขี้ เป็นต้น ให้คัดแยกออก จากนั้นนำเศษหัวปลาคะตักมาต้มและตากแห้ง หัวปลาคะตักที่ต้มตากแห้งแล้วนำไปวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์คุณภาพของวัสดุเศษเหลือหัวปลา กะตักต้มตากแห้ง

การศึกษาคูณภาพของวัสดุเศษเหลือหัวปลา
กะตักต้มตากแห้งเพื่อนำไปใช้เติมในผลิตภัณฑ์
อาหารโดยศึกษาดังต่อไปนี้

2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

2.1.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยวิธี ชั่ง
ตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ในภาชนะสำหรับหา
ความชื้นและนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศา
เซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ใน
โถดูดความชื้นหลังจากนั้นชั่งน้ำหนัก อบซ้ำจน
น้ำหนักผลต่าง 2 ครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
แล้วจึงคำนวณหาปริมาณความชื้น (Association of
Official Chemists (AOAC), 2000)

2.1.2 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี
Combustion method (In house method based on
AOAC, 2016) ทำได้โดยการเผาไหม้ตัวอย่างเป็นการ
นำ ตัวอย่างมาเผาไหม้ในสถานะที่มีออกซิเจนอยู่ร้อยละ
99 ที่อุณหภูมิ 950-1,000 องศาเซลเซียส แล้วจึงใช้
ตัวตรวจวัดในการวัดหาปริมาณค่าการนำความร้อน
เพื่อนำไปแปลงค่าเป็นปริมาณโปรตีน

2.1.3 วิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมด้วยวิธี
Inductively Couple Plasma-Optical Emission
Spectrometer (ICP-OES) (In house method based on
AOAC, 2016) ชั่งตัวอย่างแล้วเติมสารละลายกรด
นำไปย่อยบนเตาให้ความร้อนจนตัวอย่างเหลือ
ปริมาณครึ่งหนึ่ง นำสารละลายมากรองด้วยกระดาษ
กรอง ที่ไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น นำ
ตัวอย่างสารละลายไปวิเคราะห์ด้วย ICP-OES

2.1.4 วิเคราะห์ปริมาณเกลือ (NaCl) ด้วยวิธี
Argentometric method เตรียมตัวอย่าง เติมน้ำกลั่น
ปรับพีเอชของสารละลายตัวอย่าง (7-8) ด้วยกรด

H_2SO_4 เติม K_2CrO_4 ไทเทรตด้วยสารละลาย $AgNO_3$
จนกระทั่งได้ตะกอนสีเหลืองอมส้ม (สีอิฐ)
(Kajhonjaratkul *et al.*, 2018)

2.2 วิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

2.2.1 เชื้อแบคทีเรียทั้งหมด (Total bacterial)
ด้วยวิธี Bacteriological Analytical Manual (2020)
โดยใช้ Plate count agar (PCA) บ่มที่อุณหภูมิ 37
องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2.2.2 เชื้อราและยีสต์ (Mold and yeast) ด้วย
วิธี Bacteriological Analytical Manual (2017) โดยใช้
Potato dextrose agar (PDA) บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศา
เซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

2.2.3 เชื้ออีโคไล (*E. coli*) ด้วยวิธี
Bacteriological Analytical Manual (2018) โดยวิธี
Most probable number (MPN) บ่มที่อุณหภูมิ 37
องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3. การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเติมหัวปลากะตักต้มตาก แห้ง

3.1 ผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วน

ดำเนินการศึกษาโดยใช้วัสดุเศษเหลือหัว
ปลากะตักต้มตากแห้ง (ข้อ 1) มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์
ขนมทองม้วนที่มี 4 รสชาติ ได้แก่ รสดั้งเดิม รสแกง
คั่ว รสแกงเขียวหวานและรสคั่วกลิ้ง โดยมีสูตรการ
ผลิตดังตารางที่ 1 และมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

นำแป้งสาลีที่ผ่านการร่อนแล้วผสมกับ
น้ำตาลทราย คลุกเข้าให้ทั่วแล้วทำเป็นหลุมตรงกลาง
นำไปใส่ดอกแล้ว หวักเกี๊ยว น้ำปูนใสและเครื่องแกงเท
ใส่ลงในหลุมจากนั้นคนส่วนผสมให้เข้ากันอย่างช้าๆ
ใส่หัวปลากะตักต้มตากแห้งปั่นแล้วลงไปแล้วคนให้
เข้ากัน ตักใส่พิมพ์ทองม้วน ร่อนแป้งสุก (ใช้เวลา
30 วินาที) ขนมทองม้วนที่ได้จะร้อนไม่ติดผิวหน้า
พิมพ์ นำออกมาจากพิมพ์

ตารางที่ 1 สูตรการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนเค็มหัวปลารสเงงไทย

ส่วนผสม (กรัม)	รสชาติ			
	ดั้งเดิม	แกงคั่ว	แกงเขียวหวาน	คั่วกลิ้ง
แป้งสาลี	400	400	400	400
กะทิ	250	250	250	250
ไข่ไก่	130	130	130	130
น้ำตาลทราย	200	200	200	200
น้ำปูนใส	10	10	10	10
เครื่องแกง	20	20	20	20
หัวปลากะตักแห้งป่น	0	70	70	70

ที่มา: คัดแปลงจาก Sriwong (2016)

3.2 ผลิตภัณฑ์ขนมข้าวพอง

ดำเนินการศึกษาโดยใช้วัสดุเศษเหลือหัวปลากะตักต้มตากแห้ง (ข้อ 1) มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขนมข้าวพองที่มี 4 รสชาติ ได้แก่ รสดั้งเดิม รสแกงคั่ว รสแกงเขียวหวาน และรสคั่วกลิ้ง โดยมีสูตรการผลิตดังตารางที่ 2 และมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

นำข้าวเหนียวแช่น้ำไว้เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นจึงนำไปนึ่งให้สุก ข้าวเหนียวที่นึ่งสุกแล้วร่อน

ให้แตกเป็นเม็ดแล้วนำไปตากแดดให้แห้ง ทอดให้พอง ใช้เวลาประมาณ 10 วินาที เมล็ดข้าวจะพองและมีสีน้ำตาลอ่อนทั้งเมล็ดและจะลอยขึ้นอยู่บนผิวหน้าของน้ำมัน แล้วผสมกันกับส่วนผสมของน้ำตาล ไขมันคั่ว และเครื่องแกงที่เคี้ยวไฟอ่อนแล้วจนเหนียว นำข้าวที่ได้มาใส่ในถาดแล้วตัดเป็นชิ้น

ตารางที่ 2 สูตรการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมข้าวพองเค็มหัวปลารสเงงไทย

ส่วนผสม (กรัม)	รสชาติ			
	ดั้งเดิม	แกงคั่ว	แกงเขียวหวาน	คั่วกลิ้ง
ข้าวเหนียว	300	300	300	300
น้ำตาลโตนด	250	250	250	250
เบะแซ	20	20	20	20
เครื่องแกง	20	20	20	20
หัวปลากะตักแห้งป่น	0	40	40	40

ที่มา: คัดแปลงจาก Deemmart *et al.* (2018)

3.3 ผลิตภัณฑ์ขนมกรอบพอง

ดำเนินการศึกษาโดยใช้วัสดุเศษเหลือหัวปลากะตักต้มตากแห้ง (ข้อ 1) มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์

ขนมกรอบพองที่มี 2 รสชาติ ได้แก่ รสดั้งเดิม และเค็มหัวปลา โดยมีสูตรการผลิตดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สูตรการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมกรอบพองเดิมหัวปลา

ส่วนผสม (กรัม)	รสชาติ	
	ดั้งเดิม	เดิมหัวปลา
เกล็ดข้าวโพด	460	460
แป้งข้าวเจ้า	400	400
น้ำมันพืช	30	30
น้ำตาลทราย	50	50
น้ำ	50	50
แคลเซียมคาบอเนต	10	10
หัวปลากะตักบด	0	50

ที่มา: ดัดแปลงจาก Chooklin *et al.* (2019)

ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมกรอบพอง ดังนี้

นำส่วนผสม (ตารางที่ 3) มาปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นแล้วนำส่วนผสมทั้งหมดไปเติมในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูคู่ (Twin screw extruder) ด้วยสภาวะการผลิต คือ อุณหภูมิที่บาร์เรล (1-6) เป็น 60 110 120 140 120 และ 120 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหน้าคายเท่ากับ 140 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 450 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนส่วนผสมเท่ากับ 11 รอบต่อนาที

3.4 การศึกษาผลของชนิดการปรุงรสแกงไทยที่ผสมในผลิตภัณฑ์อาหารต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์อาหารทั้ง 3 ชนิด (ข้อ 3.1-3.3) นำมาปรุงรสแกงไทย (แกงคั่ว แกงเขียวหวาน และคั่วกลิ้ง) แล้วนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ Scoring test 5 point (1 = น้อยเกินไป 3 = เหมาะสม 5 = มากเกินไป) ผู้ทดสอบชิม 10 คน วิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ (Apintanapong and Ieowsakulrat, 2012)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อก (RCBD : Randomized complete block design)

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วน และขนมข้าวพองด้วย Analysis of variance และความแตกต่างด้วย DMRT (Duncan's multiple range test) ส่วนผลิตภัณฑ์ขนมกรอบพอง วิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ T-test

4.การศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบเคมีและคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อาหาร

การศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบเคมีและคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อาหารโดยวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบเคมีและคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อาหารทั้ง 3 ชนิด (ข้อ 3) นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่เดิมหัวปลากะตักบด

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการวิเคราะห์คุณภาพของหัวปลากะตักต้มตากแห้ง

1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีหัวปลากะตักต้มตากแห้งที่ผ่านการการล้างทำความสะอาด แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า ปริมาณความชื้นและปริมาณของโซเดียมคลอไรด์มีผลต่างลดลงร้อยละ

ละ 19.11 และ 6.80 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ตามลำดับ ในขณะที่โปรตีนและแคลเซียมมีผลต่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.02 และ 2.87 น้ำหนักต่อน้ำหนัก นั้นแสดงว่าการล้างและต้มตากแห้งจะลดองค์ประกอบทางเคมี โดยเฉพาะความชื้นและปริมาณโซเดียมคลอไรด์ได้ ปริมาณโซเดียมคลอไรด์สามารถลดลงได้เนื่องจากการล้างจะทำให้โซเดียมคลอไรด์ถูกชะล้างออกมาจากหัวปลากะตัก ส่วนการตากแห้งทำให้ความชื้นที่มีในหัวปลากะตักแห้งระเหยออกทำให้ค่าความชื้นลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Lertphattanakom (2001) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากปลายข้าวหอมมะลิ ถั่วลิสงและปลากะตัก พบว่า ปลากะตักแช่น้ำเพื่อลดความเค็มให้มีปริมาณเกลือเหลือร้อยละ 1.9 - 2.2 น้ำหนักต่อน้ำหนัก เช่นเดียวกับ Suwannarak (2003) ศึกษาดัชนีคุณภาพปลากะตักต้มตากแห้ง พบว่า การต้มและตากแห้งมีผลทำให้ปริมาณความชื้นลดลงจากร้อยละ 78 - 80 เป็น 33 - 45

น้ำหนักต่อน้ำหนัก ปริมาณเกลือเพิ่มสูงขึ้นจากร้อยละ 0.84 - 2.27 เป็นร้อยละ 6.77 - 10.36 น้ำหนักต่อน้ำหนัก Dewi (2002) วิเคราะห์องค์ประกอบเคมี (น้ำ โปรตีน ไขมันและเถ้า) ของปลากะตักแปรรูป พบว่า องค์ประกอบเคมีของปลากะตักสด (ร้อยละ 82.10, 11.60, 1.30 และ 1.32 น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ปลากะตักต้ม (ร้อยละ 80.06, 12.81, 1.55 และ 1.05 น้ำหนักต่อน้ำหนัก) และปลากะตักต้มตากแห้ง (ร้อยละ 62.80, 29.60, 2.78 และ 1.28 น้ำหนักต่อน้ำหนัก) และ Kim and Heu (2002) ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของปลากะตักต้มตากแห้งทางการค้าด้วยวิธีการจับแตกต่างกัน พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของปลากะตักต้มตากแห้ง คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และความเค็มมีค่าระหว่าง 23.2 - 25.2, 51.5 - 52.5, 7.1 - 7.2, 15.8 - 16.8, 0.32 - 0.46 และ 6.8 - 7.4 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ ส่วนแคลเซียมมีค่าระหว่าง 1.91 - 2.41 กรัม/100 กรัม

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของหัวปลากะตักต้มตากแห้ง

องค์ประกอบเคมี	ปริมาณ (ร้อยละน้ำหนักต่อน้ำหนัก)		ผลต่าง (ร้อยละน้ำหนักต่อน้ำหนัก)
	ก่อน	ต้มและตากแห้ง	
ความชื้น	31.07	11.96	-19.11
โปรตีน	36.47	52.49	16.02
แคลเซียม	2.70	5.57	2.87
โซเดียมคลอไรด์	8.65	1.85	-6.80

1.2 วิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของหัวปลากะตักต้มตากแห้ง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของหัวปลากะตักต้มตากแห้งแสดงดังตารางที่ 5 พบว่า ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดมีค่าลดลง ส่วนราและยีสต์ และ *E. coli* ไม่มีการตรวจพบหลังการล้างและต้มตากแห้ง สอดคล้องกับ Suwannarak (2003) ศึกษา

ดัชนีคุณภาพปลากะตักต้มตากแห้ง พบว่า การต้มและตากแห้งมีผลทำให้ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดลดลงจาก 1.6×10^5 จำนวนโคโลนีต่อกรัม เหลือ 1.5×10^4 จำนวนโคโลนีต่อกรัม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากกระบวนการต้มและตากแห้งจึงส่งผลให้ปริมาณแบคทีเรียลดลง

ตารางที่ 5 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของหัวปลากะตักต้มตากแห้ง

รายการ	ชนิดหัวปลา	
	ก่อน	ต้มและตากแห้ง
แบคทีเรียทั้งหมด (จำนวนโคโลนีต่อกรัม)	3.3×10^7	3.6×10^3
ราและยีสต์ (จำนวนโคโลนีต่อกรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ
<i>E. coli</i> (จำนวนที่เป็นไปได้มากที่สุดต่อกรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ

Karim *et al.* (2017) ศึกษาการวิเคราะห์คุณภาพปลากะตักที่ถูกตากแห้ง พบว่า ปลากะตักที่ผ่านการตากแห้งแล้วจะมีองค์ประกอบทางเคมี คือ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และเกลือร้อยละ 10.66, 57.69, 5.50, 23.97 และ 3.26 น้ำหนักต่อน้ำหนักตามลำดับ ส่วนปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและยีสต์และราเท่ากับ 3.50 และ 2.56 จำนวนโคโลนีต่อกรัมตามลำดับ

2. ผลของชนิดการปรุงรสแกงไทยที่ผสมใน

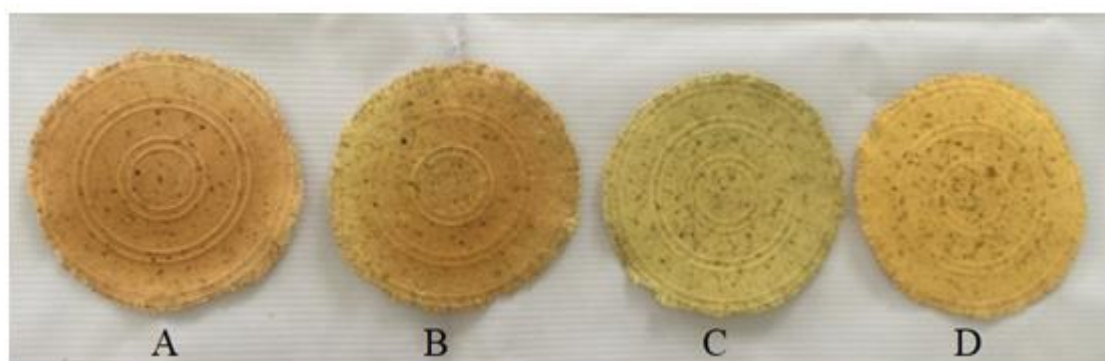
ผลิตภัณฑ์อาหารต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลการศึกษาผลิตภัณฑ์อาหาร (ขนมทองม้วน ขนมข้าวพองและขนมกรอบพอง) เติมหั้วปลาและปรุงรสแกงไทย 4 ชนิด ได้แก่ รสดั้งเดิม รสแกงคั่ว รสแกงเขียวหวานและรสคั่วกลิ้ง แล้วนำไป

ทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ Scoring test 5 point ผู้ทดสอบชิม 10 คน (Apintanapong and Ieowsakulrat, 2012) ได้ผลการศึกษาดังนี้

2.1 ผลิตกัณฑ์ขนมทองม้วนเติมหัวปลารสแกงไทย

ผลิตกัณฑ์ขนมทองม้วนเติมหัวปลารสคั่วกลิ้งดั้งเดิมและรสแกงไทยที่แตกต่างกัน 3 รสชาติ คือ รสแกงคั่ว รสแกงเขียวหวาน และรสคั่วกลิ้ง ได้ผลิตกัณฑ์ที่มีลักษณะดังภาพที่ 4 ซึ่งมีคุณลักษณะปรากฏของขนมทองม้วนเติมหัวปลารสแกงไทยมีความแตกต่างกัน (ภาพที่ 4A - D) และมีผลคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้บริโภคดังตารางที่ 6 พบว่า ผู้บริโภคให้ความชอบรวมต่อผลิตกัณฑ์ทองม้วนเติมหัวปลารสแกงเขียวหวานและรสคั่วกลิ้งสูงสุด



ภาพที่ 4 ผลิตกัณฑ์ขนมทองม้วนเติมหัวปลารสแกงไทย

(A: รสดั้งเดิม B: รสแกงคั่ว C: รสแกงเขียวหวาน และ D: รสคั่วกลิ้ง)

ตารางที่ 6 ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนเติมหัวปลารสแกงไทย

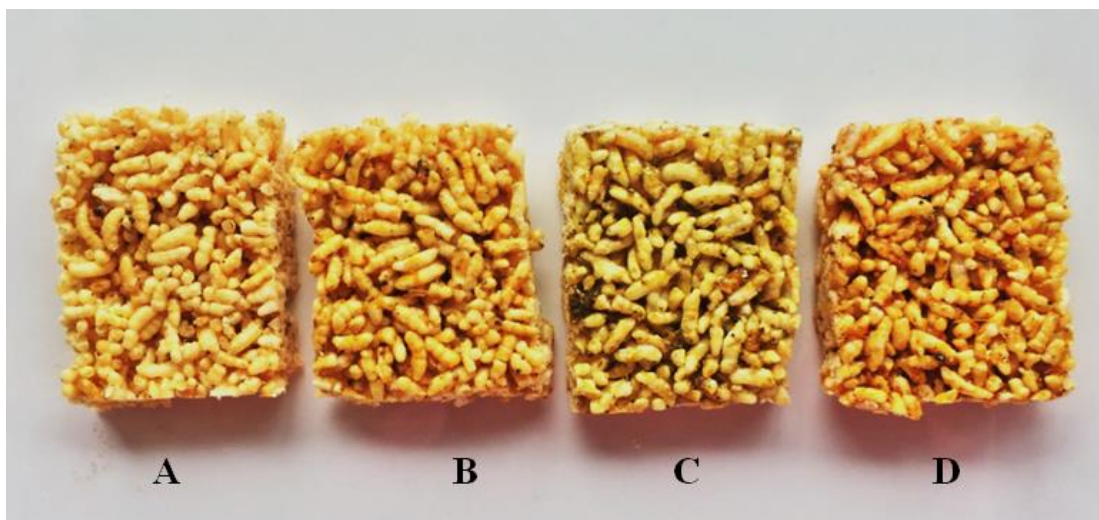
รสชาติ	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
ดั้งเดิม	4.1 ^a	3.6 ^b	3.3 ^c	4.7 ^a	3.2 ^c
แกงคั่ว	4.4 ^a	3.7 ^b	3.9 ^b	4.6 ^a	3.8 ^b
แกงเขียวหวาน	3.2 ^b	4.5 ^a	4.5 ^a	4.5 ^b	4.7 ^a
คั่วกลิ้ง	3.9 ^a	4.5 ^a	4.5 ^a	4.5 ^b	4.5 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b และ c ในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Suttiprapa *et al.* (2019) ศึกษาการเสริมปลา กะตักผงและแป้งข้าวกล็องในผลิตภัณฑ์ขนม ทองม้วนรสน้ำพริกเผา พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับ ปริมาณปลา กะตักผงทอดกรอบที่เสริมลงใน ผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนที่ร้อยละ 20 และปริมาณแป้ง ข้าวกล็องทดแทนแป้งสาลีอัตรารส่วน 25:75 มีคุณลักษณะที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วน และผู้บริโภคให้การยอมรับปริมาณน้ำพริกเผาที่ร้อยละ 10

2.2 ผลิตภัณฑ์ขนมข้าวพองเติมหัวปลารสแกงไทย

ผลิตภัณฑ์ขนมข้าวพองเติมหัวปลารส แกงคั่วและรสแกงไทยที่แตกต่างกัน 3 รสชาติ คือ รส แกงคั่ว รสแกงเขียวหวาน และรสคั่วกลิ้ง ได้ ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดังภาพที่ 5 ซึ่งมีคุณลักษณะ ปรากฏของขนมข้าวพองเติมหัวปลารสแกงไทยมีความ แตกต่างกัน (ภาพที่ 5A - D) และมีผลคะแนนเฉลี่ย ความพึงพอใจของผู้บริโภคดังตารางที่ 7 พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมต่อผลิตภัณฑ์ข้าว พองเติมหัวปลารสแกงไทยสูงกว่ารสดั้งเดิม เนื่องจาก ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า รสชาติแกงไทยไม่ แตกต่างกัน



ภาพที่ 5 ผลิตภัณฑ์ขนมข้าวพองเติมหัวปลารสแกงไทย
(A: รสดั้งเดิม B: รสแกงคั่ว C: รสแกงเขียวหวาน และ D: รสคั่วกลิ้ง)

ตารางที่ 7 ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมข้าวพองเติมหัวปลารสแกงไทย

รสชาติ	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
ดั้งเดิม	4.2 ^a	3.1 ^b	3.3 ^b	4.6 ^a	3.4 ^b
แกงคั่ว	3.2 ^b	3.6 ^{ab}	4.1 ^a	4.7 ^a	3.8 ^{ab}
แกงเขียวหวาน	3.0 ^b	4.6 ^a	4.3 ^a	4.5 ^b	4.2 ^{ab}
คั่วกลิ้ง	4.5 ^a	4.1 ^{ab}	4.1 ^a	4.5 ^b	4.4 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษร a และ b ในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจข้าวพองที่ปรุงรสมากกว่ารสดั้งเดิม เช่นเดียวกับการศึกษาของ Jaroenkit (2012) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองจากข้าวกล้องงอกสังขยัดเมืองพัทลุงที่ปรุงหน้าด้วยปลาหมึกของ โดยใช้เทคนิคไมโครเวฟในการทำแห้ง พบว่า ข้าวพองปรุงหน้าด้วยเนื้อปลาทะเลโดยปลาที่ใช้ในการปรุงหน้าผลิตภัณฑ์ข้าวพองเป็นปลาหมึกด้วยรสชาติที่ผู้บริโภคต้องการ คือ รสต้มยำ รสสาหร่ายทะเล รสน้ำพริกเผาและรสอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 20, 18, 15, 15 และ 1 ตามลำดับ

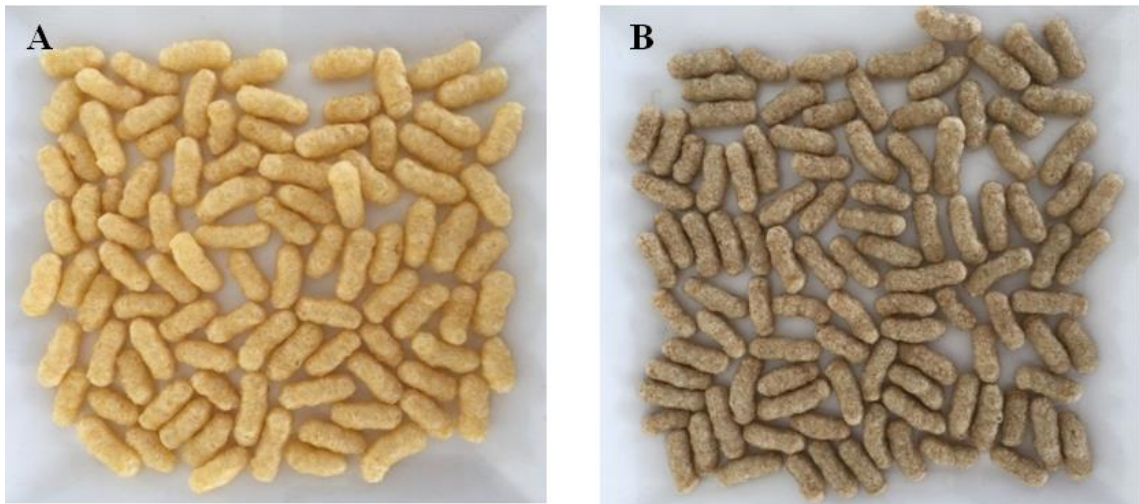
2.3 ผลิตภัณฑ์ขนมกรอบพองเติมหัวปลา

ผลิตภัณฑ์ขนมกรอบพองรสดั้งเดิมและรสเติมหัวปลาได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะดังภาพที่ 6 ซึ่งมีคุณลักษณะปรากฏของขนมกรอบพองเติมหัวปลามีความแตกต่างกัน (ภาพที่ 6A และ 6B) และมีผลคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้บริโภคดังตารางที่ 8 พบว่า ผู้บริโภคให้ความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ขนม

กรอบพองเติมหัวปลาดีกว่ารสดั้งเดิม เมื่อพิจารณาการศึกษาการใช้ปลาในขนมกรอบพอง ดังนี้

Goes *et al.* (2015) ศึกษาเอกซทรูเดตสแนคด้วยการเติมปลาป่น (ปลานิล ปลาแซลมอน ปลาทูน่าและปลาซาร์ดีน) แตกต่างกัน พบว่า การเติมปลาป่นร้อยละ 9 จากปลานิล ปลาแซลมอนและปลาทูน่าจะช่วยทำให้ขนมขบเคี้ยวข้าวโพดมีคุณค่าทางอาหารที่ดีขึ้นและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวข้าวโพดที่เติมปลาป่นจากปลานิลและปลาแซลมอนดีกว่าขนมขบเคี้ยวเติมปลาป่นจากปลาทูน่าและปลาซาร์ดีน

Kurniaty *et al.* (2018) พัฒนาขนมขบเคี้ยว (Fish stick) ที่อุดมไปด้วยโปรตีนและแคลเซียมจากแป้งปลากระดูกท้องฉิน โปรตีนไอโซเลตจากถั่วเหลืองและถั่วแรมบารา พบว่า สูตรขนมขบเคี้ยวที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบสูงสุด (F3) มีปริมาณโปรตีนและแคลเซียมเท่ากับร้อยละ 14.91 และ 181.31 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ผลิตภัณฑ์ขนมกรอบพอง (A: รสดั้งเดิม B: รสเดิมหัวปลา)

ตารางที่ 8 ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมกรอบพองเดิมหัวปลา

รสชาติ	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
ดั้งเดิม	4.2 ^a	3.5 ^b	2.8 ^b	2.8 ^b	2.4 ^b
เดิมหัวปลา	3.8 ^b	4.1 ^a	4.0 ^a	3.5 ^a	3.8 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษร a และ b ในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. ผลการศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบเคมีและ

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์

ผลการศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบเคมีและคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โดยการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของโปรตีนและแคลเซียมของผลิตภัณฑ์ขนมทั้ง 3 ชนิด คือ ผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนเดิมหัวปลารสแกงเขียวหวาน ผลิตภัณฑ์ขนมข้าวพองเดิมหัวปลารสแกงเขียวหวาน และขนมกรอบพองเดิมหัวปลา เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ขนมดั้งเดิมที่ไม่ได้เติมหัวปลา ได้ผลดังตารางที่ 9 พบว่า การเติมหัวปลาในผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด ทำให้ปริมาณโปรตีนและแคลเซียมเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ดั้งเดิม โดยขนมทองม้วนปริมาณโปรตีนและแคลเซียมเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.76 และ 0.37 น้ำหนักต่อน้ำหนัก

ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Hemthanon (2007) ศึกษาการพัฒนาทองม้วนแป้งข้าวกล้องเสริมแคลเซียมและวิตามินเอ พบว่า ทองม้วนแป้งข้าวกล้องเสริมแคลเซียมและวิตามินเอที่ได้รับการยอมรับกับทองม้วนสูตรพื้นฐานมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นจาก 215.45 มิลลิกรัม เป็น 417.00 มิลลิกรัม เพิ่มขึ้นร้อยละ 93.54 วิตามินเอเพิ่มขึ้นจาก 171.17 RE เป็น 1,337.17 RE เพิ่มขึ้นร้อยละ 681.19 และจากการศึกษาของ Kampairojsuwan and Luekhajon (2011) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนเสริมถั่วเหลืองและฟักทอง พบว่า ขนมทองม้วนที่พัฒนาแล้วมีโปรตีนเพิ่มขึ้น 15.27 (ร้อยละน้ำหนักต่อน้ำหนัก) (5.50 กรัม เป็น 6.34 กรัม) ของสูตรต้นแบบ ส่วนวิตามินเอเพิ่มขึ้น 13,828.57 (ร้อยละน้ำหนักต่อน้ำหนัก) (0.70 ไมโครกรัม เป็น 97.50 ไมโครกรัม) ของสูตรต้นแบบ

ส่วนขนมข้าวพองและขนมกรอบพองมีปริมาณโปรตีนและแคลเซียมเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.26 และ 0.22 และ 3.52 และ 0.13 น้ำหนักต่อน้ำหนักตามลำดับ ในขนมข้าวพองและขนมกรอบพองเสริมโปรตีนจากปลาจะมีปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ

6.38 - 11.85 น้ำหนักต่อน้ำหนักและแคลเซียมเท่ากับร้อยละ 0.08 - 0.63 น้ำหนักต่อน้ำหนัก ตามลำดับ (Yaisatit, 2005; Lertphattanakom, 2001; Goes *et al.*, 2015; Kuna *et al.*, 2013)

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีน และแคลเซียมในผลิตภัณฑ์ชนิดไม่เค็มและหลังเค็มหัวปลา

ชนิดผลิตภัณฑ์		ปริมาณ (ร้อยละน้ำหนักต่อน้ำหนัก)	
		โปรตีน	แคลเซียม
ขนมทองม้วน	ดั้งเดิม	1.44	0.04
	เค็มหัวปลา	5.20	0.41
	ผลต่าง	3.76	0.37
ขนมข้าวพอง	ดั้งเดิม	3.83	0.01
	เค็มหัวปลา	7.09	0.23
	ผลต่าง	3.26	0.22
ขนมกรอบพอง	ดั้งเดิม	6.42	0.28
	เค็มหัวปลา	9.94	0.41
	ผลต่าง	3.52	0.13

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ขนมทั้ง 3 ชนิด คือ ผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนเค็มหัวปลารสแกงเขียวหวาน ผลิตภัณฑ์ขนมข้าวพองเค็มหัวปลารสแกงเขียวหวานและขนมกรอบพองเค็มหัวปลาได้ผลดังตารางที่ 10 พบว่าผลิตภัณฑ์ขนมทั้ง 3 ชนิด เค็มหัวปลามีการตรวจพบแบคทีเรียทั้งหมด ราและยีสต์แต่ไม่เกินมาตรฐานตาม Thai community product standard (2009) ส่วน *E.*

coli ไม่ตรวจพบ จากการศึกษาค้นคว้าของ Suttiwapa *et al.* (2019) ศึกษาการเสริมปลากระดูกผงและแป้งข้าวกล้องในผลิตภัณฑ์ขนมทองม้วนรสน้ำพริกเผา พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้าคาร์โบไฮเดรตและแคลเซียมร้อยละ 5.32, 12.79, 21.43, 2.74, 57.72 และ 226.76 มิลลิกรัม/100 กรัม ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10 จำนวนโคโลนีต่อกรัม และยีสต์และราน้อยกว่า 10 จำนวนโคโลนีต่อกรัม

ตารางที่ 10 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ขนมเค็มหัวปลา

ชนิดจุลินทรีย์	ผลิตภัณฑ์อาหาร		
	ขนมทองม้วน	ขนมข้าวพอง	ขนมกรอบพอง
แบคทีเรียทั้งหมด (จำนวนโคโลนีต่อกรัม)	<250	1.3×10^3	<10
ราและยีสต์ (จำนวนโคโลนีต่อกรัม)	<100	<100	<100
<i>E. coli</i> (จำนวนที่เป็นไปได้มากที่สุดต่อกรัม)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ

สรุป

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีหัวปลากะตักต้มตากแห้ง พบว่า หัวปลากะตักต้มตากแห้งจะมีปริมาณแคลเซียมและโปรตีนที่สูง เนื่องจากการต้มและตากแห้งหัวปลากะตักจะเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนและแคลเซียม ส่วน ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดมีค่าลดลง ราและยีสต์และ *E. coli* มีการตรวจพบหลังการต้มและตากแห้ง เมื่อนำหัวปลาต้มและตากแห้งแล้วไปเติมในผลิตภัณฑ์อาหาร 3 ชนิด คือ ขนมทองม้วนเติมหัวปลาและขนมข้าวพองเติมหัวปลาปรุงรสด้วยแกงไทย (รสแกงคั่ว รสแกงเขียวหวาน และรสคั่วกลิ้ง) และขนมกรอบพองเติมหัวปลาพบว่า ผู้บริโภคให้ความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์อาหารทั้ง 3 ชนิด เติมหัวปลา ปรุงรสแกงเขียวหวานและรสคั่วกลิ้งสูงสุด ดังนั้นการประยุกต์ใช้หัวปลากะตักต้มตากแห้งเป็นแหล่งของโปรตีนและแคลเซียมเสริมลงไป ในขนมทั้ง 3 ชนิด ทำให้เป็นแหล่งอาหารทางเลือกสำหรับผู้ต้องการ โปรตีนและแคลเซียมจะได้เลือกบริโภค รวมทั้งเป็นการส่งเสริมหรือเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ขนมไทยให้เพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Association of Official Chemists (AOAC). 2000. **Official method of analysis of analysis of Association of Official Analytical Chemists.** (17thed). Association of Official Analytical Chemists Internation. Gaithersburg, USA.
- Association of Official Chemists (AOAC). 2016. **Official method of analysis of analysis of Association of Official Analytical Chemists.** (20thed). Association of Official Analytical Chemists Internation. Gaithersburg, USA.
- Apintanapong, M. and Ieowsakulrat, S. 2012. Vacuum fried broccoli production and consumer acceptance evaluation. **Agricultural Science Journal** 43(2): 105-108. (in Thai)
- Bacteriological Analytical Manual. 2017. **Yeasts, Molds and Mycotoxins.** Available Source: <http://WWW.fda.gov/food/laboratory-methods-food>, July 5, 2020.
- Bacteriological Analytical Manual. 2018. **Escherichia coli.** Available Source: <http://WWW.fda.gov/food/laboratory-methods-food>, July 5, 2020.
- Bacteriological Analytical Manual. 2020. **Aerobic plate count.** Available Source: <http://WWW.fda.gov/food/laboratory-methods-food>, July 5, 2020.
- Chooklin, S., Thippuech, T. and Sae-ngae, S. 2019. Effect of indigenous brown rice flour ratio from southern on quality of snack food by extruder, pp. 2248-2255. *In Proceedings of 16th KU KPS National conference.* Kasetsart University, Nakhon Phatom. (in Thai)
- Deeammart, J., Phasuk, S. and Tisadilok, S. 2018. Product Development of Sticky Rice Crisp Substitute Rice Berry Crisp with Bar Rice Berry, pp. 362-366. *In Proceedings of the 6th Academic Science and Technology Conference.* Huachiew Chalermprakiet University, Samut Prakan. (in Thai)
- Department of Fisheries. 2018. **Control of Anchovy Import in Area of Trad Province.** Available Source: <http://WWW.fisheries.go.th>, February 24, 2020.

- Dewi, E.N. 2002. Chemical analysis during the processing of dried salted anchovy. **Journal of Coastal Development** 5(2): 55-65.
- Goes, E.S.R., Souza, M.L.R., Campelo, D.A.V., Yoshida, G.M., Xavier, T.O., Moura, L.B. and Monteiro, A.R.G. 2015. Extruded snacks with the addition of different fish meals. **Food Science and Technology** 35(4): 683-689.
- Green World Foundation. 2017. **The End of a Little Fish**. Available Source: <http://WW.W.greenworld.or.th>, February 24, 2020.
- Hemthanon, N. 2007. Development of brown rice golden rolls fortified with calcium and vitamin A. Master of Arts (Home Economics for Community Development), Ramkhamhaeng University. (in Thai)
- Jaroenkit, P. 2012. Product development of rice crispies made of Sangyod Muang Phatthalung rice with dried round scad fish seasoning by using microwave techniques for drying. Master of Science, Walailak University. (in Thai)
- Kampairojsuwan, W. and Luekhajon, P. 2011. **Research Report on Developing products of Khanom Thongmuan supplemented with Soybean and Pumpkin**. Rajamangala University of Technology Srivijaya. (in Thai)
- Kajhonjaratkul, M., Hanvaganawong, K. and Srithonglang, W. 2018. Determination of sodium chloride contents in Thai fish sauce products. **Thai Science and Technology Journal** 28(2): 208-218. (in Thai)
- Kim, J.S and Heu, M.S. 2002. Quality comparison of commercial boiled - dried anchovies by different catch methods. **Fisheries Science and Technology** 5(30): 245-250.
- Kuna, A., Devi, N.L and Kalpana, K. 2013. Utilization of fish powder in ready - to - eat extruded snacks. **Fishery Technology** 50: 245-250.
- Kurniaty, W., Angkasa, D. and Fadhillah, R. 2018. Development of a protein and calcium rich snack food made from a local anchovy (*Stolephorus* spp.) flour, soy protein isolate and Bambara groundnut (*Vigna subterranea*) flour. **Nutrition and Food Sciences Research** 5(4): 23-30.
- Karim, N.U., Sufi, N.F.A. and Hasan, S.M.Z.S. 2017. Quality analysis of anchovies, *Stelophorus commersonii*, dried in drying racks. **Journal of Sustainability Science and Management** 3(Special Issue): 111-118.
- Lertphattanakom, P. 2001. Development of snack food from small broken fragrance rice, peanut and anchovy. Master of Science, Kasetsart University. (in Thai)
- Piotrowicz, I.B.B. and Mellado, M.M.S. 2015. Chemical, technology and nutritional quality of sausage processed with surimi. **International Food Research Journal** 22(5): 2103-2110.
- Sriwong, M. 2016. **Formula and method of thong muan**. Available Source: <http://>

- WWW.thaismescenter.com, June, 22, 2020.
- Suwannarak, W. 2003. The quality index of boiled dried anchovies. Master of Science (Fishery Products), Kasetsart University. (in Thai)
- Suttiaprapa, B., Koedree, P. and Putthipanyaporn, S. 2019. The fortification of ground anchovy and brown rice flour in Kanom Tong Muan flavored with chilli paste, pp. 461-469. *In Proceedings of 57th Kasetsart University Annual Conference*. Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Thai industrial standards institute. 2009. **Thai community product standard (Thai desserts)**. Available Source: <http://WWW.tcps.tisi.go.th>, January, 23, 2021.
- Yaisatit, C. 2005. Using the common anchovy for supplementation of calcium in Kao - Tan. Bachelor of Science (Food Science and Technology), Chandrakasem Rajabhat University. (in Thai)

ศึกษากระบวนการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภคน ในบรรจุภัณฑ์อ้อนตัว (Retort Pouch)

The Study Process on Ready to Eat Stir-Fried Chan Noodles with Crab in Flexible Package (Retort Pouch)

นิภาพร กังคะวิสุทธิ* และ ทองจวน คุณพุทธิรพี

Nipaporn Kangkawisut* and Tongjuan Khunputtirapee

Received: 14 June 2019, Revised: 30 May 2020, Accepted: 8 December 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์อ้อนตัว (retort pouch) โดยทำการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการอบก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูก่อนการบรรจุที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กำหนดระยะเวลาในการอบ 5 ระยะ คือ Control, 15, 30, 45 และ 60 นาที ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางกายภาพและทางเคมี พบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการอบเท่ากับ 60 นาที เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่ทำให้คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีมีแนวโน้มที่ดี รวมทั้งมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม มีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกด้านสูงสุด จากนั้นศึกษาระยะเวลาในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส กำหนดระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 4 ระยะ คือ 15, 20, 25 และ 30 นาที พบว่าช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้ออุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส คือระยะเวลา 25-30 นาที การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่าระยะเวลาการฆ่าเชื้อที่นานขึ้นมีผลต่อคุณภาพด้านสีแดง (a) โดยค่าสีแดงสูงขึ้น ลักษณะของเส้นที่เหนียวมากขึ้น ไม่นิ่มละ ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้ทดสอบยอมรับ การวิเคราะห์ด้านทางเคมี พบว่าค่าความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีแนวโน้มที่ลดลง ส่งผลให้สามารถเก็บรักษาได้นาน และมีความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ตามข้อกำหนดของประกาศ Notification of the Ministry of Public Health No.355 B.E. (2013) ดังนั้นระยะเวลาฆ่าเชือนาน 25 นาที จึงมีความเหมาะสมมากกว่าเมื่อพิจารณาในด้านต้นทุนการผลิต

คำสำคัญ: บรรจุภัณฑ์อ้อนตัว, ก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์, พร้อมบริโภค

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการและพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตฉะเชิงเทรา ตำบลพลวง อำเภอเขาฉกรรจ์ จันทบุรี 22210

Department of Development and Management Technology, Faculty of Agro-Industry Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chanthaburi Campus, Phluang, Khao Khitchakut, Chantaburi, 22210, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (corresponding author, e-mail): nipapornmuk20@gmail.com Tel: 08 2647 4656

ABSTRACT

The objectives of this research were to examine the processing step ready-to-eat stir-fried Chan noodles with crab in flexible package (retort pouch) and to explore the optimum time for baking Chan noodles stir-fried with crab before packing at 60 °C. The baking time was specified into 5 periods (Control, 15, 30, 45 and 60 minutes). Results on sensory evaluation and physical chemical quality showed that the optimum baking time was 60 minutes because this duration yielded the best overall physical properties chemical quality and sensory evaluation scale in term of color, flavor, texture, and overall preference with the most accepted for all attributes. The sterilization time was set at a temperature of 105 °C and assigned into 4 periods (15, 20, 25 and 30 minutes). The optimum period for sterilization at 105°C was 25-30 minutes. Physical quality analysis indicated that longer sterilization period increased (a) value. In addition, noodles passing longer sterilization periods will have the texture that are stickier and not soft. These features are accepted by the consumers. Chemical quality analysis revealed that the moisture (a_w) and pH values tend to decrease resulting in a long shelf life and have microbial safety in accordance with the regulations of Notification of the Ministry of Public Health No.355 B.E. (2013). Therefore, sterilization for 25 minutes is more appropriate when considering the cost of production.

Key words: retort pouch, chan noodles, ready to eat

บทนำ

“เส้นจันท์ผัดปู”เป็นเมนูพื้นบ้านของจังหวัดจันทบุรี ที่มีชื่อเสียงมานานเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางลักษณะของเมนูนี้เป็นเมนูก๋วยเตี๋ยวผัดเส้นสีส้ม (Anonymous, 2019) ก๋วยเตี๋ยวผัดเส้นสีส้มเป็นเอกลักษณ์ รสชาติออกหวานเปรี้ยว ความขึ้นชื่อของก๋วยเตี๋ยวผัดปูส่วนหนึ่งเกิดจากการใช้ก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อเสียงของจันทบุรี เพราะมีความเหนียวนุ่มเมื่อนำมาผัดรวมกับน้ำปรุงรสจึงได้รสชาติที่กลมกล่อม (Anonymous, 2014) เส้นจันท์ ทำมาจากแป้งข้าวเจ้า เส้นมีความเหนียวนุ่มไม่เปื่อยยุ่ยเหมือนเส้นก๋วยเตี๋ยวอื่นๆ ซึ่งนอกจากเมนูผัดไทยแล้ว เส้นจันท์ยังถูกนำไปเป็นส่วนผสมหลักของก๋วยเตี๋ยวเนื้อเลียง และก๋วยเตี๋ยวผัดปู อาหารจานเด็ดของจังหวัดจันทบุรี (Anonymous, 2013)

รีทอร์ทเพาซ์และการใช้ในอาหาร รีทอร์ทเพาซ์ (retort pouch) คือบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดหนึ่ง ที่จัดเป็นบรรจุภัณฑ์ทนร้อนชนิดอ่อนตัว (flexible packaging) ทำจากฟิล์มหลายชนิดมาเชื่อมประสาน (laminate) ขึ้นรูปเป็นถุง (pouch) เป็นบรรจุภัณฑ์สามารถปิดผนึกสนิท (hermetically sealed container) มีความแข็งแรง สามารถทนต่อความร้อนและความดันสูงได้ ใช้บรรจุอาหารที่ต้องการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (thermal processing) ระดับการฆ่าเชื้อทางการค้าได้เหมือนกับกระป๋อง โดยมักฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อภายใต้แรงดัน (retort) ชนิด water spray retort อาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อสามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ เช่นเดียวกับอาหารกระป๋อง รูปแบบและการผลิต

รีทอร์ทเพาซ์ ได้แก่ ถุงแบบต่างๆ ทั้งแบบ 4 ตะเข็บ 3 ตะเข็บ ถุงทรงหมอน หรือถุงตั้งได้ และถาด

พลาสติกพร้อมฝาเปิดออก (plastic tray and peelable lid) นิยม ใส่แกง เนื้อ ใส่ซอส และอาหารสำเร็จรูป พร้อมบริโภค สามารถอุ่นอาหารในถาดและบริโภคอาหารโดยไม่ต้อง เปลี่ยนจาน อำนวยความสะดวกให้ผู้บริโภคได้มากกว่าถุง ขวดจังก์ของรีทอร์ทเพาซ์ นั้น ได้แก่ มีการลงทุนเบื้องต้น ก่อนข้างสูง เช่น เครื่องฆ่าเชื้อ (retort) การควบคุมกระบวนการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อจะยุ่งยากซับซ้อนกว่า เช่น จำเป็นต้องควบคุมปริมาณอากาศที่เหลืออยู่ในช่อง หรือถุง ความหนาแน่นข้างของช่อง ส่วนผสมของไอน้ำและอากาศในเครื่องฆ่าเชื้อ ตลอดจนขั้นตอนแบบพิเศษภายในเครื่องฆ่าเชื้อ ที่จะต้องเอื้ออำนวยต่อการหมุนเวียนและกระจายความร้อนภายในเครื่องดังกล่าว และช่องหรือถุงมักจะถูกทิ่มแทงหรือทำให้นึกขาดได้ง่าย จำเป็นจะต้องอาศัยการปกป้องจากภาชนะบรรจุชั้นนอก เช่น กล่องกระดาษอีกชั้นหนึ่ง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในระหว่างการขนส่ง (Pornchaloempong and Rattanapanone, 2011a) หลักการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารพร้อมรับประทานในรีทอร์ทเพาซ์นั้นคล้ายกับอาหารกระป๋อง กล่าวคือ เป็นการนำอาหารที่เตรียมถึงสุก (Pre-cooked) นำไปเข้าเครื่องฆ่าเชื้อจุลินทรีย์อันเป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเน่าเสีย โดยบรรจุภัณฑ์

รีทอร์ทเพาซ์มีคุณสมบัติในการป้องกันไม่ให้อากาศและเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปสัมผัสกับอาหาร หลังจากผลิตภัณฑ์อาหารผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อแล้ว ด้วยคุณสมบัติเด่นเหล่านี้ ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้นาน 12-24 เดือน โดยไม่ต้องอาศัยการแช่เย็นหรือใช้วัตถุกันเสีย ปัจจุบันภาครัฐมีนโยบายผลักดันให้ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม สนับสนุนส่งเสริมแนวทางการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เพื่อเพิ่มศักยภาพทางการแข่งขันของอุตสาหกรรมอาหารในระดับโลก ซึ่งนอกจากการสรรค์สร้างประเภทอาหารและมุมมอง

ด้านตลาดใหม่ๆ แล้ว เทคโนโลยีการผลิตอาหารพร้อมรับประทานในรีทอร์ทเพาซ์ ถือเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอาหารไทยที่สามารถช่วยพัฒนานวัตกรรมอาหารในรูปแบบที่หลากหลาย และนำไปประยุกต์ต่อยอดธุรกิจอาหารไทยได้ในอนาคต (Hongsaprabhas, 2017) จากการศึกษาข้อมูลด้านการผลิตอาหารไทยและต่างประเทศบรรจุในรีทอร์ทเพาซ์ พบว่ามีการวิจัยและพัฒนาเป็นจำนวนมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาหารในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ประเภทนี้กำลังได้รับความนิยมสูง โดยมีรายละเอียดดังนี้ ผลิตภัณฑ์ข้าวต้มบรรจุรีทอร์ทเพาซ์ ฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องได้นาน 8 สัปดาห์ (Kampen, 2011) ผลิตภัณฑ์ต้มยำในบรรจุภัณฑ์รีทอร์ทเพาซ์ ฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 30, 40, 50 นาที มีค่า F_0 เท่ากับ 7.7, 8.8 และ 12.1 นาที ตามลำดับ เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วันตรวจไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมดในทุกกระดับ การฆ่าเชื้อ และได้รับการยอมรับ ความชอบทุกด้านจากผู้ทดสอบ (Sawardsuk, 2016) เตรียมลูกแพร์ในน้ำเชื่อมหั่นชิ้นบรรจุในรีทอร์ทเพาซ์ โดยนำลูกแพร์มาเติมน้ำตาล วิตามินซีและกรดซิตริกเพื่อปรับปริกซ์และ pH ก่อนบรรจุและปิดสนิท นำไปสเตอริไลซ์ในรีทอร์ทตามกระบวนการที่กำหนด (Potter *et al.*, 1982) พบว่าแพร์หั่นชิ้นที่บรรจุและผ่านการฆ่าเชื้อในรีทอร์ทเพาซ์ให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีกว่าแพร์หั่นชิ้นที่ฆ่าเชื้อในกระป๋อง (Clark *et al.*, 2002) ด้วยเอกลักษณ์ของก้วยเตี๋ยเส้นจันท์ผัดปูที่เป็นของดีเมืองจันทน์ แต่ด้วยการพกพาหรือการซื้อเป็นของฝากเป็นไปได้ยาก เนื่องด้วยอายุของผลิตภัณฑ์สั้น ไม่สามารถเก็บไว้ได้นานทำให้ไม่สามารถนำไปเป็นของฝากได้ ปัจจุบันตลาดของผลิตภัณฑ์ก้วยเตี๋ยเส้นจันท์ผัดปูมีการพัฒนาเป็นรูปแบบน้ำผัดปูสำเร็จรูปออกมาจำหน่ายเป็นของดีเมืองจันทน์ควบคู่

ไปกับก๊วยเตี๋ยวเส้นจันท์แบบต่าง ๆ ตามร้านจำหน่ายสินค้าพื้นเมือง เมื่อจะรับประทานต้องนำก๊วยเตี๋ยวเส้นจันท์มาผัดกับน้ำผัดปู เพื่อลดขั้นตอนการผัดและเพิ่มความสะดวกในการรับประทาน ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นข้อดีของบรรจุภัณฑ์อ้อนตัว (retort pouch) คือสามารถเก็บรักษาอาหารไว้ได้นานด้วยการยืดอายุการเก็บรักษามาเป็นใช้ให้เกิดประโยชน์กับผลิตภัณฑ์ก๊วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปู โดยได้พัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับก๊วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภคบรรจุบรรจุภัณฑ์อ้อนตัว (retort pouch) นอกจากจะรับประทานเป็นอาหารว่างหรือแทนอาหารมื้อใดมื้อหนึ่งแล้วสามารถหาซื้อไปเป็นของฝากหรือนำกลับไปรับประทานเองที่บ้าน ซึ่งเป็นการขยายตลาดสินค้าของดีของเมืองจันท์ให้นักท่องเที่ยวทั่วไปได้รู้จักและเป็นสร้างรายได้ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดจันทบุรี

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการอบก๊วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปู

เตรียมก๊วยเตี๋ยวเส้นจันท์โดยแช่น้ำประมาณ 15 นาทีเพื่อให้เส้นนิ่ม เตรียมส่วนของปูม้าโดยทำความสะอาดและตัดแต่งให้เป็นชิ้น เตรียมน้ำปรุงรส ก๊วยเตี๋ยวผัดปูประกอบด้วย พริกแห้ง หอมแดง โขลกให้ละเอียดพักไว้ เทน้ำมันใส่กระทะพอร้อน นำน้ำพริกที่โขลกละเอียดใส่ลงไป ผัดให้มีกลิ่นหอมใส่น้ำตาล น้ำมะขามเปียกที่กรองแล้ว เกลือเล็กน้อย รอจนเดือด นำปูม้าที่เตรียมไว้ใส่ลงกระทะผัดรวมกับน้ำปรุงรสให้ปูพอสุก จากนั้นนำเส้นจันท์ที่เตรียมไว้ผัดตามลงไปจนน้ำปรุงรสและเส้นเข้ากันได้ดี ใส่ใบกุยช่าย และถั่วงอกผัดพอสุก (Anonymous, 2014)

นำก๊วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมรับประทานมาอบด้วยเครื่องอบแห้งชนิดลมร้อนแบบถาด (ยี่ห้อ Binder รุ่น FD240) ที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เพื่อไล่ความชื้นออกจากก๊วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูก่อนการบรรจุบรรจุภัณฑ์อ้อนตัว (retort pouch) โดยศึกษาระยะเวลาในการอบ 5 ระยะ คือ Control, 15, 30, 45 และ 60 นาที แล้วนำก๊วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูที่ผ่านกระบวนการอบด้วยเครื่องอบแห้งชนิดลมร้อนแบบถาด บรรจุในบรรจุภัณฑ์อ้อนตัว (retort pouch) ในปริมาณ 100 กรัมต่อถุง ปิดผนึกและฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นำมาตรวจสอบคุณภาพดังนี้

1.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scaling ในด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design: RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

1.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าสี L a b ด้วยเครื่องวัดค่าสี Color meter (Model ZE-2000, NIPPON, Japan) โดยแสดงค่าสีในระบบ CIE L a b ซึ่งค่า L แสดงถึงค่าความสว่าง ค่า a แสดงถึงค่าสีแดง และค่า b แสดงถึงค่าสีเหลือง การวิเคราะห์ค่าแรงดึงด้วยเครื่อง Texture analyzer (Model TA plus, Lloyd instruments, Hampshire, UK) การวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น ตามวิธีมาตรฐานของ Association of Official Chemists (A.O.A.C) (2000) การวิเคราะห์ค่าแอมโมเนียมไนโตรเจน (a_w) โดยใช้เครื่อง Water activity meter (Decagon Devices Inc., Pullman, Wash, USA) การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วย pH meter (Model C3010, Consort, UK) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design: CRD) เปรียบเทียบความ

แตกต่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

2. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ก๊วยเตี๋ยวล้วนเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว (retort pouch)

นำ ก๊วยเตี๋ยวล้วนเส้นจันท์ผัดปูที่ผ่านกระบวนการศึกษาระยะเวลาก๊วยเตี๋ยวล้วนเส้นจันท์ผัดปูที่ได้รับคะแนนความชอบที่สูงที่สุด มาศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว (retort pouch) กำหนดช่วงอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อ 105 องศาเซลเซียส ระยะเวลาดังกัน 4 ระยะ ดังนี้ 15, 20, 25 และ 30 นาทีตามลำดับ นำมาตรวจสอบคุณภาพดังนี้

2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scaling ในด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design: RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพคุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าสี L a b ด้วยเครื่องวัดค่าสี Color meter (Model ZE-2000, NIPPON, Japan) โดยแสดงค่าสีในระบบ CIE L a b ซึ่งค่า L แสดงถึงค่าความสว่าง ค่า a แสดงถึงค่าสีแดง และค่า b แสดงถึงค่าสีเหลือง การวิเคราะห์ค่าแรงดึงด้วยเครื่อง Texture analyzer (Model TA plus, Lloyd instruments, Hampshire, UK) การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วย pH meter (Model C3010, Consort, UK) การวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้นตามวิธีมาตรฐานของ A.O.A.C (2000) การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (a_w) โดยใช้เครื่อง

Water activity meter (Decagon Devices Inc., Pullman, Wash., USA) และการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด วิเคราะห์ (Total plate count) ตามวิธีของ A.O.A.C (2000) วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design: CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลของการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการอบก๊วยเตี๋ยวล้วนเส้นจันท์ผัดปู

1.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุดที่ระยะเวลาการอบ คือ 60 นาที มีระดับคะแนน 7.17 ไม่มีความความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับระยะเวลาการอบ 30 นาทีและ 45 นาที แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) กับ Control ระยะเวลาการอบ 15 นาที ด้านกลิ่นรส พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุดที่ระยะเวลาการอบ 60 นาที มีระดับคะแนน 7.23 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับเวลาการระยะเวลา 15 นาทีและ 45 นาที แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) กับ Control ระยะเวลาการอบ 30 นาที ด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุดที่ระยะเวลาการอบ 60 นาที มีระดับคะแนน 7.43 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) กับ Control ระยะเวลาการอบ 15 นาที 30 นาที และ 45 นาที ด้านความชอบรวม พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุดที่ระยะเวลาการอบ 60 นาที มีระดับคะแนน 7.20 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) กับ Control ระยะเวลา

การอบ 15 นาที 30 นาที และ 45 นาที กล่าวคือผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการผลิตจนสุกพร้อมรับประทาน ซึ่งมีลักษณะของน้ำปรุงรสที่ประกอบไปด้วยน้ำตาลและน้ำมะขามเปียก เคลือบเส้นก๋วยเตี๋ยว ฆ่าเชื้อ แบบ Steam retort ภายใต้แรงดัน เป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อน ระหว่างการฆ่าเชื้ออาหารไอน้ำอ้อมตัวภายใน steam retort เมื่อสัมผัสกับบรรจุภัณฑ์ จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (condensate) และคายความร้อนแฝง (latent heat) ให้กับบรรจุภัณฑ์ (Pornchaloempong and Rattanapanone, 2011b) ส่งผลให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีลักษณะ นุ่ม และ จับตัวเป็นก้อน สอดคล้องกับการ

อบแห้งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ขึ้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย (Soponronnarit, 1997) นอกจากช่วยลดความชื้นในอาหารแล้วยังช่วยเพิ่มความเข้มข้นของน้ำปรุงรสที่เคลือบเส้นก๋วยเตี๋ยว ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสความชอบรวมดีที่สุด ดังนั้นการประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยรวมพบว่า การอบก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูด้วยเครื่องอบแห้งชนิดลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ผู้ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุด ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์อ้อมตัว (retort pouch) ในการศึกษา ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการอบก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปู ด้วยเครื่องอบแห้งชนิดลมร้อนแบบถาด

ระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	คุณภาพทางประสาทสัมผัส			
	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
control	6.33±1.45 ^{bc}	6.43±1.17 ^b	5.17±1.20 ^d	6.47±1.28 ^b
15 นาที	6.00±1.51 ^c	7.03±0.85 ^a	5.70±1.03 ^c	6.27±1.17 ^b
30 นาที	6.80±1.03 ^{ab}	6.47±1.20 ^b	5.97±0.96 ^c	6.43±1.38 ^b
45 นาที	6.63±1.19 ^{ab}	7.17±0.95 ^a	6.53±0.81 ^b	6.17±1.26 ^b
60 นาที	7.17±0.79 ^a	7.23±0.97 ^a	7.43±0.91 ^a	7.20±0.76 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษร a-d ที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

1.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์

การประเมินคุณภาพทางกายภาพ โดยทำการวิเคราะห์ค่าสี L a b ด้วยเครื่องวัดค่าสี Color meter (Model ZE-2000, NIPPON, Japan) โดยแสดง

ค่าสีในระบบ CIE L a b พบว่า Control มีค่าความสว่าง (L) มากที่สุด เท่ากับ 34.56 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับ ระยะเวลาการอบ 15 นาที 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที ค่าที่แสดงถึงความเข้มของสีแดง (a) พบว่าระยะเวลาการอบ 60

นาที่ มีค่าสีแดง (a) มากที่สุด เท่ากับ 18.93 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับ Control และระยะเวลาการอบ 15 นาที 30 นาที และ 45 นาที ค่าที่แสดงถึงค่าสีเหลือง (b) พบว่าระยะเวลาการอบ 15 นาที มีค่าสีเหลือง (b) มากที่สุด เท่ากับ 53.96 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับ Control และระยะเวลาการอบ 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที การวิเคราะห์ค่าแรงดึง พบว่าระยะเวลาการอบ 60 นาที มีค่าแรงดึงมากที่สุด เท่ากับ 21.37 N มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับ Control และระยะเวลาการอบ 15 นาที 30 นาที และ 45 นาที การวิเคราะห์ค่าความชื้น พบว่า Control มีค่าความชื้นมากที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 39.56 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับ ระยะเวลาการอบ 15 นาที 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (a_w) พบว่า Control มีค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (a_w) มากที่สุด เท่ากับ 0.68 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับ ระยะเวลาการอบ 15 นาที 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่า Control มีค่ากรด-ด่าง (pH) มากที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 5.27 มี

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับ ระยะเวลาการอบ 15 นาที 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที จากการประเมินคุณภาพทางกายภาพคุณภาพทางเคมีร่วมกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าระยะเวลาอบแห้งชนิดลมร้อนแบบถาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์คือการอบแห้งที่ระยะเวลา 60 นาที กล่าวคือผู้ทดสอบให้การยอมรับมากที่สุดทั้งด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัสและความชอบรวม การลดปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยการอบแห้งชนิดลมร้อนแบบถาด มีผลทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมียุติที่เข้มข้นซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการสอดคล้องกับเส้นก๋วยเตี๋ยวจะมีสีเข้มข้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง (Pichaiyongvong *et al.*, 2011) และส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอคทีวิตี (a_w) ลดลงทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น เพราะเป็นระยะที่ปลอดภัยจากการเสื่อมเสียของจุลินทรีย์ สอดคล้องกับการลดปริมาณน้ำจะทำให้ค่า a_w ลดลงให้อยู่ในช่วง 0.3-0.8 จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมีส่วนใหญ่ที่เกิดในอาหารได้ (Rattanapanone, 2011)

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปู พร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์อ้อนตัว (retort pouch) ในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการอบก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปู

ระยะเวลาในการอบเส้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	ค่าสี			แรงดึง (N)	ความชื้น (ร้อยละ)	a_w	pH
	L	a	b				
control	34.56±0.03 ^a	18.29±0.04 ^c	51.28±0.05 ^c	13.15±1.61 ^d	39.56±1.61 ^a	0.68±1.02 ^a	5.27±1.21 ^a
15 นาที	31.32±0.06 ^b	17.60±0.11 ^d	53.96±0.06 ^a	15.04±1.57 ^c	36.99±1.02 ^b	0.70±1.02 ^a	4.77±1.12 ^b
30 นาที	30.52±0.01 ^c	17.59±0.05 ^d	52.61±0.02 ^b	18.47±1.16 ^b	33.98±1.01 ^c	0.70±1.01 ^a	4.90±1.10 ^b
45 นาที	29.73±0.02 ^d	18.70±0.06 ^b	51.29±0.04 ^c	18.55±1.38 ^c	33.71±1.01 ^c	0.67±1.02 ^a	4.53±1.06 ^c
60 นาที	28.68±0.08 ^c	18.93±0.03 ^a	49.46±0.16 ^d	21.37±1.23 ^a	28.50±1.03 ^d	0.62±1.01 ^b	4.47±1.06 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษร a- d ที่ต่างกันในแต่ละแถวกัน หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2. ผลของการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ถ้วยเตี่ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภคนในบรรจุภัณฑ์อ้อนตัว (retort pouch)

2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ถ้วยเตี่ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภคนในบรรจุภัณฑ์อ้อนตัว (retort pouch) ที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที มีระดับคะแนนความชอบ ด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมมากที่สุด คือ 7.80 7.90 7.57 และ 7.53 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับเวลา 15 นาที 20 นาที และ 30 นาที ตามลำดับ กล่าวคือระยะเวลาในการฆ่าเชื้อที่ต่างกัน

มีผลทำให้ลักษณะของเส้นถ้วยเตี่ยวมีความแตกต่างกันทั้งทางด้านสี กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส เมื่อได้รับความร้อนในระยะเวลาสั้นที่ 15 นาที และ 20 นาที ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์คือมีความเข้มของสีเส้นถ้วยเตี่ยวน้อย เมื่อเทียบทั้ง 4 ตัวอย่าง ทำให้เป็นลักษณะที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับ และเมื่อฆ่าเชื้อในระยะเวลา 30 นาที สีของเส้นถ้วยเตี่ยวมีความเข้มขึ้นจนเป็นสีคล้ำ เกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลในช่วง a_w ประมาณ 0.6-0.8 (Rattanapanone, 2011) จากผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า การฆ่าเชื้อที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที เป็นช่วงระยะเวลาที่เหมาะสมและผู้ทดสอบให้การยอมรับทั้งทางด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมมากที่สุดดังแสดงตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ถ้วยเตี่ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภคนในบรรจุภัณฑ์อ้อนตัว (retort pouch) ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อของผลิตภัณฑ์

ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการฆ่าเชื้อที่ 105 องศาเซลเซียส	คุณภาพทางประสาทสัมผัส			
	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
15 นาที	6.97±1.13 ^b	6.50±1.25 ^c	6.00±1.07 ^c	6.60±1.22 ^{bc}
20 นาที	6.70±1.26 ^{bc}	6.30±1.49 ^c	7.00±1.10 ^b	7.03±1.07 ^b
25 นาที	7.80±0.71 ^a	7.90±0.72 ^a	7.57±0.96 ^a	7.53±0.90 ^a
30 นาที	6.33±1.21 ^c	7.17±0.75 ^b	6.33±1.03 ^c	6.37±1.13 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษร a- d ที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์

การประเมินคุณภาพทางกายภาพ โดยทำการวิเคราะห์ค่าสี L a และ b ด้วยเครื่องวัดค่าสี Color meter (Model ZE-2000, NIPPON, Japan) โดยแสดงค่าสีในระบบ CIE L a b พบว่า ระยะเวลาฆ่าเชื้อ 15

นาที มีค่าความสว่าง (L) มากที่สุด เท่ากับ 30.11 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 20 นาที 25 นาที และ 30 นาที ค่าที่แสดงถึงความเข้มของสีแดง (a) พบว่าระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 30 นาที มีค่าความเข้มของสีแดง (a) มากที่สุด เท่ากับ 20.84 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับ ระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 25 นาที

แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 15 นาที และ 20 นาที ค่าที่แสดงถึงค่าสีเหลือง (b) พบว่าระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 15 นาที มีค่าสีเหลือง (b) มากที่สุด เท่ากับ 52.52 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 20 นาที 25 นาที และ 30 นาที การวิเคราะห์ค่าแรงดึง พบว่าระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 30 นาที มีค่าแรงดึงมากที่สุด เท่ากับ 25.19 N มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 15 นาที 20 นาที และ 25 นาที การวิเคราะห์ค่าความชื้น พบว่าระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 15 นาที มีค่าความชื้นมากที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 36.15 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 20 นาที แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับระยะเวลาการอบ 25 นาที และ 30 นาที การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) พบว่า ระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 15 นาที มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) มากที่สุด เท่ากับ 0.65 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 20 นาที แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับระยะเวลาการอบ 25 นาที และ 30 นาที การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) พบว่า ระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 15 นาที มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มากที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 4.81 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับระยะเวลาการฆ่าเชื้อ 20 นาที 25 นาที และ 30 นาที ดังแสดงตารางที่ 4 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ก๊วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อทั้ง 4 ระยะ (15 นาที 20 นาที 25 นาที และ 30

นาที) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดภายหลังการฆ่าเชื้อเสร็จและหลังจากการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 20 วัน ผลปรากฏว่าไม่พบโคโลนีของจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดของ Notification of the Ministry of Public Health (No.355) B.E. (2013) อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่มีความเป็นกรดต่ำ ซึ่งต้องไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์เมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิปกติ จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสร่วมกับคุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมีคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า ช่วงระยะเวลาในการฆ่าเชื้อที่ดีที่สุด คือ การฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสนาน 25-30 นาที เป็นช่วงเวลาที่ดีที่สุด โดยเมื่อพิจารณาค่าสีแดง (a) พบว่ามีค่ามากที่สุด ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาล และเป็นลักษณะปรากฏที่ผู้ทดสอบยอมรับ และเมื่อพิจารณาด้านความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีแนวโน้มที่ลดลง ส่งผลให้สามารถเก็บรักษาได้นานมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า เส้นก๊วยเตี๋ยวเมื่อผ่านระยะเวลาการฆ่าเชื้อนานขึ้น จะมีลักษณะของเส้นที่เหนียวมากขึ้น ไม่ นิ่ม เละ ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้ทดสอบยอมรับ สอดคล้องกับถ้าเส้นก๊วยเตี๋ยวที่มีแรงดึงมากแสดงว่ามีความเหนียวมาก (Naivikul, 1989) ดังนั้นระดับการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสนาน 25 นาที จึงมีความเหมาะสมมากกว่าเมื่อพิจารณาในด้านต้นทุนการผลิต ผู้วิจัยจึงเลือกเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์ก๊วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์อ้อนตัว (retort pouch)

ตารางที่ 4 ผลการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภคน ในบรรจุภัณฑ์ อ่อนตัว (retort pouch) ในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อของผลิตภัณฑ์

ระยะเวลาในการ อบเส้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	ค่าสี			แรงดึง (N)	ความชื้น	a _w	pH
	L	a	b				
15 นาที	30.11±0.03 ^a	17.34±0.01 ^c	52.52±0.03 ^a	17.34±1.01 ^c	36.15±0.02 ^a	0.65±0.01 ^a	4.81±0.07 ^a
20 นาที	29.94±0.06 ^b	17.96±0.02 ^b	52.13±0.03 ^b	22.43±0.89 ^b	32.19±1.29 ^a	0.61±0.04 ^{ab}	4.67±0.02 ^b
25 นาที	29.51±0.00 ^c	20.15±0.05 ^a	50.89±0.00 ^c	23.57±1.59 ^b	28.49±0.01 ^b	0.60±0.01 ^b	4.43±0.06 ^c
30 นาที	27.19±0.04 ^d	20.84±0.01 ^a	47.86±0.02 ^d	25.19±2.12 ^a	28.20±0.18 ^b	0.59±0.01 ^b	4.38±0.03 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษร a- d ที่ต่างกันในแต่ละแถวเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

สรุป

จากการศึกษากระบวนการผลิตก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภคนในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว (retort pouch) พบว่าสถานะในการผลิตที่ดีที่สุดคือการอบก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ก่อนการบรรจุในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว (retort pouch) และฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที มีคุณภาพทางกายภาพทางเคมีและทางจุลินทรีย์โดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดีและปลอดภัยตามข้อกำหนดของ Notification of the Ministry of Public Health (No.355) B.E. (2013) และได้รับการยอมรับของผู้ทดสอบชิมมากที่สุด ก๋วยเตี๋ยวเส้นจันท์ผัดปูพร้อมบริโภคนในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว (retort pouch) เป็นผลิตภัณฑ์ที่สะดวกต่อการรับประทานและเก็บในสถานะปกติได้เหมาะสำหรับการนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อจำหน่ายในรูปแบบของฝากพื้นเมืองของจังหวัดจันทบุรี

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ที่ได้ให้การสนับสนุนการทำวิจัยด้วยเงินงบประมาณผลประโยชน์ประจำปี 2558 ซึ่งเป็น

โครงการวิจัย มีระยะเวลาการดำเนินการรวม 1 ปี และขอกราบขอบพระคุณ รองอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ที่ได้ให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรีทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยทำให้งานวิจัยดังกล่าวสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Anonymous. 2013. **Chewy Chan Noodles**. Available Source: <http://www.aoi.com/content/130712154006>, May 10, 2020.
- Anonymous. 2014. **“Stir-Fried Chan Noodles”**. About Chan. Available Source: [http://www.eculture.rbru.ac.th/ID8-Stir-Fried Chan Noodles](http://www.eculture.rbru.ac.th/ID8-Stir-Fried-Chan-Noodles), May 10, 2020.
- Anonymous. 2019. **Stir-Fried Chan Noodles with Famous Food that Has Been around for Long Time of Chanthaburi**. Available Source: [https://thai.tourismthailand.org/Articles/Stir-Fried Chan Noodles with Famous food that has been around for long](https://thai.tourismthailand.org/Articles/Stir-Fried-Chan-Noodles-with-Famous-food-that-has-been-around-for-long)

- time of Chanthaburi, May 7, 2020. (in Thai)
- Association of Official Chemists (A.O.A.C). 2000. **Official method of analysis of analysis of Association of Official Analytical Chemists.** 17th ed. Association of Official Analytical Chemists Internation, Gaitherburg.
- Clark, S., Warner, H., Rodriguez, J.J., Olives, G.I., Sepulveda, D., Bruins, R. and Barbosa Canovas, G.V.B. 2002. Residual gas and storage conditions affect sensory quality of diced pears in flexible retortable pouches. **Food Quality and Preference** 13: 153-162.
- Hongsaprabhas, T. 2017. Ready-to-eat food products in retort pouch. **Food Focus Thailand** 12(137): 44-45. (in Thai)
- Kampen, W. 2011. Production of Sterilized Rice Juice Containing Retort Pouch. Master's of Arts, Ramkhamhaeng University. (in Thai)
- Naivikul, O. 1989. **Cereal Chemistry.** Food Science and Technology, Faculty of Agro-Industry. Publications, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Notification of the Ministry of Public Health (No.355) B.E. 2013. **Title: Food in a Hermetically Sealed Container.** Available Source: http://food.fda.moph.go.th/law/data/announ_moph/P355.pdf, May 7, 2020. (in Thai)
- Pichaiyongvong, S. and Ruchikachorn, N. and Pandolsuk, S. 2011. **Prepare Food of Science.** Publisher M&M Laser Print Limited Partnership, Bangkok. (in Thai)
- Pornchaloempong, P. and Rattanapanone, N. 2011a. **Retort Pouch.** Available Source: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0473/retort-pouch>, May 2, 2020. (in Thai)
- Pornchaloempong, P. and Rattanapanone, N. 2011b. **Steam Retort.** Available Source: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1569/steam-retort>, May 2, 2020. (in Thai)
- Potter, K.M., Tung, M.A. and Kitson, J.A. 1982. Quality of processed peach slices stored in flexible pouches. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal** 15: 96-100.
- Rattanapanone, N. 2011. **Food Chemistry.** Publisher Odeon Store, Bangkok. (in Thai)
- Sawardsuk, P. 2016. Effect of heating time on physical properties of Thai Style stewed mackerel in salty soup packed in retort pouch. **Khon Kaen Agriculture Journal** 44(2): 257-264. (in Thai)
- Soponronnarit, S. 1997. **Drying of Seeds and Certain foods.** (7th ed). King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok. (in Thai)

การพัฒนาอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน

The Development to Screening Device for Diabetic Peripheral Neuropathy

อรุณรักษ์ ตันพานิช^{1*} ดุษณี สุภวรรธนกุล¹ พิชชุต บัญญัติ² และ จริญญา จันทน³

Aroonrak Tunpanit¹, Dusanee Supawantanakul¹, Phichet Banyati² and Charoon Chantan³

Received: 1 October 2019, Revised: 10 November 2019, Accepted: 3 January 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน เพื่อช่วยคัดกรองภาวะชาปลายเท้าสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานในระยะแรกเริ่มก่อนจะเกิดแผลเท้า ซึ่งอุปกรณ์สามารถตรวจคัดกรองได้ง่ายและรวดเร็ว มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยใช้ทฤษฎี TRIZ ในการพัฒนาอุปกรณ์ยื่นถ่ายภาพเท้าและพัฒนาระบบด้วยกระบวนการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อประมวลผลภาพและระบบประเมินความเสี่ยงโรคเบาหวาน (Risk score) ใช้เกณฑ์การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยมีเกณฑ์การเข้าและคัดออก (Selection Criteria) ซึ่งกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวานมีประวัติอยู่ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลท่าจีน อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งจำนวน 450 คน โดยแทนค่าลงในสูตรการปรับขนาดของกลุ่มตัวอย่าง มีจำนวน 50 คน และคนปกติจำนวน 50 คน ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 10 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 1,000 เซตข้อมูล ผลการวิจัย พบว่าอุปกรณ์แข็งแรง ปลอดภัยสามารถรองรับน้ำหนักของผู้ป่วยโรคเบาหวานได้มากกว่า 200 กิโลกรัม สามารถตรวจคัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีภาวะชาปลายเท้าว่ามีภาวะชาได้ถูกต้องร้อยละ 100 (Sensitivity) และคัดกรองคนปกติว่าไม่ชาปลายเท้าได้ถูกต้องร้อยละ

¹ ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (การจัดการเทคโนโลยี) คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เลขที่ 9 ถนนแจ้งวัฒนะ เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10220

¹ Doctor of Philosophy (Technology Management), Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University, 9 Changwattana Road, Bangkok, Bangkok 10220, Thailand.

² กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข 88/7 ซอยบำรุงราชมงคล ถนนติวานนท์ จังหวัดนนทบุรี 11000

² Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health, 88/7 Bumratnaradul, Tivanond Road, Nonthaburi 11000, Thailand.

³ ธนาคารกสิกรกลุ่มเทคโนโลยีทางธุรกิจ (KBTG), กสิกร บิซิเนส-เทคโนโลยี กรุ๊ป เลขที่ 46/6 อาคาร KBTG ถนนปิ่นเกล้า อำเภอปทุมธานี จังหวัดนนทบุรี 11120

³ Kasikorn Business Technology Group (KBTG), Kasikorn Business-Technology Group 46/6 KBTG Building, Popular Road, Pak Kret, Nonthaburi 11120, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): aroonrak1982@windowslive.com

100 (Specificity) ผลการประเมินการยอมรับนวัตกรรมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 อยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งอุปกรณ์การคัดกรองใช้งานได้ง่าย มีความรวดเร็วในการประมวลผลและผลการคัดกรองได้อย่างครบถ้วน เพื่อให้ผู้ป่วยโรคเบาหวานตระหนักถึงการดูแลเท้าไม่ให้เกิดแผลเท้าและลดจำนวนผู้พิการจากการถูกตัดเท้า รวมถึงโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลมีเทคโนโลยีสำหรับคัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวานเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ผู้ป่วยโรคเบาหวาน, การเรียนรู้ของเครื่อง, การพยากรณ์, การคัดกรอง

ABSTRACT

The purposes of this research were to design and develop the screening device for diabetic peripheral neuropathy for monitoring the foot numbness for diabetics in the initial stages before the foot ulcers. For this reason, the present study aimed 1) to design and develop the screening equipment for numbness in the feet for diabetic patients in the initial stages before the foot ulcers and to 2) evaluate the screening device performance for diabetic peripheral neuropathy by using the TRIZ theory to develop the digital photographic foot posture and system with machine learning for image processing and diabetes risk assessment with risk score. The purposive sampling with selection criteria comprised two groups of patients with diabetes in Tha Chin Sub district Health Care Center, Hat Yai, Songkhla Province. 450 people had substituted the values into the sizing formula of the sample, accounting for the samples of 50 people and 50 normal people. The data were collected 10 times including 1,000 records. The research found that the strong and safe device supports the weight of diabetics over 200 kilograms. The device can screen diabetic patients with numbness in feet correctly 100% (sensitivity) and normal people without numbness in feet correctly 100% (specificity). The innovation acceptance evaluation result which is equal to 4.60 is at the highest level. The device equipment is easy to use with fast processing and complete screening results. Diabetic patients are aware of foot care to prevent foot ulcers and the number of disabled people from foot amputation is reduced as the Tha Chin Sub-district Health Care Center has more technology for screening patients with diabetes.

Key words: diabetes patient, machine learning, prediction, screening

บทนำ

โรคเบาหวานเป็นโรคที่คุกคามสุขภาพของประชากรทั่วโลกและมีจำนวนผู้ป่วยเพิ่มขึ้นทุกปี จากจำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวาน 108 ล้านคน ในปี พ.ศ. 2523 เพิ่มขึ้นเป็น 422 ล้านคน ในปี พ.ศ. 2557 และกำลังเป็นปัญหาในประเทศกำลังพัฒนา ในปี

พ.ศ. 2558 ผู้ป่วยโรคเบาหวานทั่วโลกที่มีจำนวน 415 ล้านคน โดยทุก 6 วินาที จะมีผู้เสียชีวิตจากโรคเบาหวานและยังพบว่าจำนวน 1 ใน 11 คนป่วยเป็นโรคเบาหวานโดยไม่รู้ตัวและคาดว่าใน พ.ศ. 2583 จะมีผู้ป่วยเป็นโรคเบาหวานถึง 642 ล้านคน (Nitiyanan, 2017) ส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิต

ของประชาชนในประเทศที่มีรายได้ปานกลางและรายได้น้อยที่อุปกรณ์ตรวจคัดกรองโรคเบาหวานไม่เพียงพอ (Wintergert *et al.*, 2020) ซึ่งผู้ป่วยโรคเบาหวาน คือ ผู้ที่มีภาวะระดับน้ำตาลในเลือดสูงเกิน 125 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร (mg/dL) ติดต่อกันเป็นระยะเวลา 5 ปีขึ้นไป (Srinapakorn and Derojanavong, 2003) การที่ผู้ป่วยโรคเบาหวานมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงติดต่อกันเป็นเวลานานนี้จะส่งผลให้เกิดพยาธิสภาพของอวัยวะหลายส่วน อันเนื่องจากเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวานมีความเข้มข้นทำให้ไม่สามารถไปเลี้ยงส่วนปลายของอวัยวะต่างๆ เกิดผลกระทบต่อยาเสพติด การรับรู้ความรู้สึกต่างๆ เมื่อระดับน้ำตาลในเลือดสูงเกิดปัญหาในการทำงานของการเผาผลาญอาหารเมื่อผู้ป่วยไม่ได้รับการรักษาจะส่งผลต่อเลือดฝอยและอวัยวะต่างๆ ผู้ป่วยโรคเบาหวานมีภาวะแทรกซ้อน (Sawada *et al.*, 2020) โดยเฉพาะอาการชาบริเวณปลายเท้า ผลกระทบต่อพยาธิสภาพในผู้ป่วยโรคเบาหวาน เมื่อเลือดไม่สามารถไปเลี้ยงที่ส่วนปลายของอวัยวะดังกล่าวได้จึงทำให้เกิดแผลติดเชื้อและนำไปสู่การตัดเท้าในที่สุด (Supawatanakul, 2011) ซึ่งมีการรายงานสภาวะการเกิดแผลที่เท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวานมีโอกาสดูแลเสียเท้าถึง 40 เท้าของคนปกติ (Sakunasing, 2012) จากประเด็นปัญหาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าประชาชนยังขาดการความรู้ความเข้าใจในการดูแลตนเอง จึงจำเป็นต้องหามาตรการมาช่วยสนับสนุนควบคู่กับการให้ความรู้เรื่องการดูแลตนเองของผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Bureau of Non-communicable Diseases, Department of Disease Control Ministry of Public Health (ThaiNCD), 2018) ซึ่งองค์การอนามัยโลกได้รายงานว่าโรคเบาหวานที่เท้าสามารถป้องกันได้ร้อยละ 85 ด้วยวิธีการคัดกรองความเสี่ยง (Gibson *et al.*, 2013) โดยนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาประยุกต์เพื่อลดความ

ซับซ้อนของกระบวนการตรวจคัดกรองโรคเบาหวานในระยะแรกเริ่มอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ (Micheletti *et al.*, 2016) เพื่อให้ผู้ป่วยโรคเบาหวานได้เห็นเท้าของตนเองและตระหนักถึงการใส่ใจสุขภาพเท้า (Kaeutunkum and Punyayun, 2013) ด้วยการถ่ายภาพเท้าขณะยืนเพื่อให้เห็นแรงกดทับและเห็นโครงสร้างเท้าก่อนที่จะเกิดแผลเท้า โดยต้องการให้มีฟังก์ชันการแปลงภาพสี RGB ให้เป็นภาพระดับเทา (RGB to Gray Scale) ภาพที่มีสีเส้นต่างๆ เป็นภาพที่อยู่ในระบบปริภูมิสีแบบ RGB คือสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีฟ้า (Blue) (Russ, 2011)

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน และการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน ด้านความตรงของเครื่องมือและประเมินการยอมรับอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวานในระยะแรกเริ่ม (Screening test) โดยใช้ ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์กรรมได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Genrich S. Altshuller's 90% ของปัญหาในทางเทคนิคทั้งหลายที่พบ คือปัญหาเดิมๆ ที่เคยมีผู้แก้ไขสำเร็จแล้ว ณ ที่ใดที่หนึ่งมาก่อน (Pholanan *et al.*, 2011) เพื่อให้โรงพยาบาลมีอุปกรณ์ตรวจคัดกรองภาวะชาปลายเท้าที่เพียงพอต่อจำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวานที่เพิ่มขึ้นสามารถใช้ซ้ำๆ ได้หลายครั้งและตรวจคัดกรองอย่างรวดเร็ว ผู้ป่วยโรคเบาหวานสามารถทราบผลการตรวจและเห็นโครงสร้างเท้าของตนเองทั้งสองข้างเพื่อป้องกันมิให้เกิดโรคแทรกซ้อนจากเบาหวานก่อนเกิดแผลติดเชื้อและนำไปสู่การตัดเท้าในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของ

ผู้ป่วยโรคเบาหวาน ผู้วิจัยได้แบ่งวิจัยเป็น 3 ระยะ ได้แก่

การวิจัยระยะที่ 1 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้า

ผู้วิจัยศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์อื่นตรงสำหรับถ่ายภาพฝ่าเท้าและลงพื้นที่ ณ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลท่าจีน ตำบลน้ำน้อย อำเภอลำดวน จังหวัดสงขลา เนื่องจากอุปกรณ์คัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวานไม่เพียงพอต่อผู้ป่วยที่เพิ่มขึ้นและเพื่อเพิ่มเทคโนโลยีให้เพียงพอต่อจำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวาน ผู้วิจัยจึงใช้แนวคิดการแก้ไขปัญหาเชิงนวัตกรรม ด้วยทฤษฎี TRIZ ของ Altshuller เพื่อกำหนดฟังก์ชันที่เป็นประโยชน์ (Useful Function) เพื่อพัฒนาเพิ่มเติมให้

สมบูรณ์และลดฟังก์ชันที่เป็นโทษ (Harmful Function) เพื่อต้องการแก้ไขหรือกำจัดออกจากระบบ ซึ่งมี 39 ตัวแปรและการค้นหาวิธีแก้ปัญหา 40 หลักการพื้นฐานในการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ โดยกำหนดคุณลักษณะที่เป็นประโยชน์ ข้อที่ 2 น้ำหนักวัตถุซึ่งไม่เคลื่อนที่เพราะเป็นการตรวจภาวะชาปลายเท้าขณะยืนโดยน้ำหนักบนเท้าทั้งสองข้างตามหลักกายวิภาคศาสตร์และคุณลักษณะที่ต้องการเปลี่ยน (ความขัดแย้ง) ข้อที่ 11 แรงดึง แรงดัน ข้อที่ 14 ความแข็งแรง ข้อที่ 28 ความแม่นยำในการวัดและ ข้อที่ 38 โดยวัสดุที่รองรับน้ำหนักจะต้องน้ำหนักเบาแต่รองรับน้ำหนักได้ไม่แตกหักและเห็นภาพได้อย่างชัดเจน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแก้ไขความขัดแย้งทางเทคนิค

รูปแบบที่ต้องการให้เปลี่ยน	ผลที่ไม่พึงประสงค์ (ความขัดแย้ง)									
	1. น้ำหนักวัตถุ		11. แรงดึง แรงดัน	...	14. ความแข็งแรง	...	28. ความแม่นยำในการวัด	...	38. ระดับการเป็นอัตโนมัติ	
1. น้ำหนักของวัตถุเคลื่อนที่										
2. น้ำหนักของวัตถุไม่เคลื่อนที่			✓		✓		✓		✓	
11. แรงดึง แรงดัน										
39. ผลผลิตภาพ										

จากตารางที่ 1 ผู้วิจัยได้คำนึงถึงการตรวจคัดกรองภาวะชาปลายเท้าด้วยวิธีการถ่ายภาพเท้าขณะยืน จึงได้กำหนดเป็นตัวแปรในข้อที่ 2 คือน้ำหนักของวัตถุไม่เคลื่อนที่ ส่วนรูปแบบที่ต้องการ

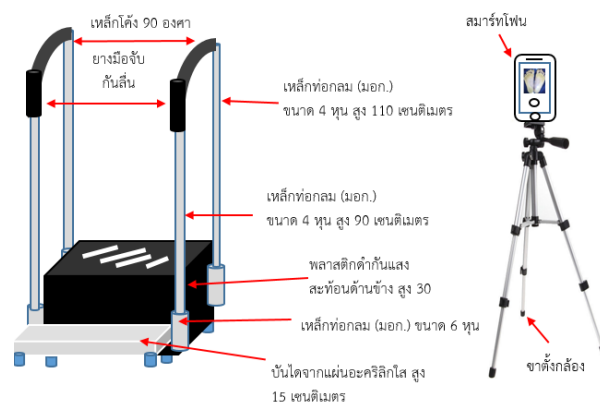
ให้เปลี่ยน คือ วัสดุที่รองรับน้ำหนักตัวที่แข็งแรง มีความยืดหยุ่นและมองเห็นภาพได้อย่างชัดเจนซึ่งเป็นหลักการประดิษฐ์คิดค้นและคำอธิบายดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเลือกใช้วัสดุสำหรับพัฒนาอุปกรณ์ตรวจฝ่าเท้าผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีภาวะชาปลายเท้า

การเลือกจุดเด่นของ อุปกรณ์	ขนาด/ วัสดุ	คำอธิบาย
ขนาด (กว้าง × ยาว × สูง)	40 × 45 × 30 cm	เท้าผู้ป่วยโรคเบาหวานมีขนาดใหญ่กว่าคนปกติและกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล เลนส์มีความหนา จึงต้องเลือกขนาดความสูงเพื่อให้มีระยะสำหรับจับภาพ
โครงสร้างภายนอก	เหล็กกล่อง และ เหล็กฉาก	โครงสร้างเหล็กที่เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) มีความแข็งแรง มั่นคง น้ำหนักรองรับน้ำหนักได้มาก
วัสดุรองรับ	อะคริลิกแบบใส หนา 12 mm	แผ่นอะคริลิกใสความหนา 12-14 มิลลิเมตร ผ่านการทดสอบจากห้องปฏิบัติการทางเคมี สามารถรองรับค่าสัมประสิทธิ์การแตกหัก 700 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
การเชื่อมต่อ	กล้องถ่ายรูป ดิจิทัล	กล้องถ่ายภาพเชื่อมต่อด้วยแอปพลิเคชัน ความละเอียด 20 ล้านพิกเซล แอปพลิเคชันควบคุมการถ่ายภาพด้วยมือถือ การปรับโฟกัส ค่าแสง เทคนิคการตัดแสง
เทคนิคที่ใช้ รองรับน้ำหนัก	กล้องถ่ายรูป 700 กิโลกรัมต่อ ตารางเมตร	โดยนำภาพเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ มากกว่า 200 กิโลกรัม
ต้นทุน	-	2,500 บาท

จากตารางที่ 2 ผู้วิจัยเลือกใช้โครงสร้างเหล็ก ซึ่งมีความแข็งแรงมีบันไดและปิดมุมทั้งสี่ด้านเพื่อป้องกันแสงสะท้อนจากภายนอก ใช้วัสดุรองรับน้ำหนักด้วยแผ่นอะคริลิกขนาด 12 มิลลิเมตร สามารถรองรับน้ำหนักได้มากกว่า

200 กิโลกรัมและเพิ่มราวจับสำหรับขึ้น ลงเพื่อความปลอดภัยโดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลเชื่อมต่อกับโทรศัพท์สมาร์ทโฟนสำหรับถ่ายภาพเท้า



ภาพที่ 1 การออกแบบอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพฝ่าเท้าขณะยืน

จากการเลือกวัสดุในข้างต้น จึงนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์สำหรับยื่นถ่ายภาพฝ่าเท้าโดยใช้แผ่นอะคริลิกแบบใสทำให้เห็นแรงกดทับได้อย่างชัดเจน รวมถึงบางตำแหน่งของฝ่าเท้าที่มีแรงกดมาก เพื่อให้

เห็นภาพเท้าด้วยวิธีการประเมินแสดงระดับสีเทาโดยแสดงถึงความเข้มของสี โดยสีดำเป็นส่วนที่มีความเข้มของสีน้อยและสีขาวจะมีความเข้มของสีมากขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดบิตที่ใช้เก็บสี ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพแสดงระดับสีเทา (Russ, 2011)

$$\text{Pixel}(x,y) = (R+G+B)/3$$

สมการที่ 1

$\text{Pixel}(x,y)$ = ตำแหน่งของ Pixel ณ ตำแหน่ง x, y

Red = ระดับของแสงสีแดง, Green = ระดับของแสงสีเขียว, Blue = ระดับของแสงสีน้ำเงิน

การประเมินความเสี่ยงในเวลานั้น เป็นการประเมินความเสี่ยงรูปแบบนี้ใช้สำหรับการตรวจคัดกรอง (Screening) เพื่อค้นหาผู้ป่วยเบาหวานที่ยังไม่มีอาการและให้การรักษาได้ตั้งแต่ระยะเริ่มแรก การศึกษาในประเทศไทย (Keesukphan *et al.*, 2007)

ซึ่งมีตัวแปร 3 อย่าง คือ 1) อายุ 2) ดัชนีมวลกาย (Body Mass Index, BMI) และ 3) ประวัติการเป็นโรคความดันโลหิตสูง มีความสัมพันธ์กับการตรวจพบโรคเบาหวาน โดยใช้คะแนนประเมินความเสี่ยงโรคเบาหวาน (Risk score) ดังสมการที่ 2

$$\text{Risk Score} = (3 \times \text{อายุ}) + (5 \times \text{BMI}) + (50 \times \text{ประวัติโรคความดันโลหิตสูง})$$

สมการที่ 2

ตัวอย่างการแทนค่าในสมการที่ 2 โดยใช้ อายุเป็นปี ดัชนีมวลกาย (BMI, body mass index) เป็น กก./ม.² และประวัติโรคความดันโลหิตสูงเป็น 0 (ไม่มีประวัติ) หรือ 1 (มีประวัติ) เกณฑ์ตัดสินคือ ผลรวมมากกว่า 240 แสดงว่า บุคคลมีความเสี่ยงต่อโรคเบาหวานสูง (Diabetes Association of Thailand under the Patronage of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn (DMTHAI), 2014)

การวิจัยระยะที่ 2 การประเมินระบบประมวลผลภาพและการพัฒนาระบบ

การประเมินระบบประมวลผลภาพโดยใช้กระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องที่ช่วยในการคาดการณ์สถานการณ์ต่างๆ ในอนาคต โดยกระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) สามารถหาวิธีที่จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุดและสามารถเรียนรู้จากข้อมูลใหม่ๆ ซึ่งมีรูปแบบการเรียนรู้ 3 รูปแบบ (Han *et al.*, 2008) คือ

1. การเรียนรู้แบบมีผู้สอน หรือ มีผู้แนะนำ (Supervised Learning) คือ มีผู้ควบคุมคอยแยก

ประเภท หรือ บอกผลลัพธ์ที่ควรจะเป็นไว้ล่วงหน้า จึงใช้ข้อมูลตัวอย่างฝึกสอน นำไปผ่านขั้นตอนวิธี สำหรับสร้างรูปแบบ

2. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน หรือ ไม่มีผู้แนะนำ (Unsupervised Learning) เป็นการเรียนรู้ของ เครื่องมือที่ไม่สามารถทราบคำตอบได้ชัดเจน ซึ่งต้อง ให้เครื่องมือหาวิธีสร้างโครงสร้างข้อมูลที่ไม่รู้จัก (Unknown Structure)

3. การเรียนรู้แบบเสริมแรง (Reinforcement Learning) คือ เครื่องมือรูปแบบนี้เป็น Artificial Intelligence (AI) มากที่สุด เพราะจะเรียนรู้และ เปลี่ยนไปตามสิ่งแวดล้อมซึ่งจะทำการพัฒนาและ ศึกษารูปแบบการเรียนรู้ฝึกฝน

การพัฒนาระบบประมวลผลภาพด้วย กระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง ผู้วิจัยใช้เกณฑ์การ เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยมีเกณฑ์การเข้าและคัดออก (Selection Criteria) กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 กลุ่มผู้ป่วย โรคเบาหวาน ณ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำ ตำบลท่าจีน ตำบลน้ำน้อย อำเภอหาดใหญ่ จังหวัด สงขลา ซึ่งมีจำนวน 450 คน ทำการแทนค่าลงในสูตร การปรับขนาดของกลุ่มตัวอย่างแบบทราบประชากร ได้จำนวน 50 คน ซึ่งเป็นโรคเบาหวานระยะเวลา 5 ปี ขึ้นไป มีภาวะชาปลายเท้าแต่ไม่ถูกตัดด้วยจะทำการ เก็บข้อมูลจำนวน 10 ครั้ง ซึ่งเกณฑ์ช่วงอายุตั้งแต่ 35-70 ปี น้ำหนักตั้งแต่ 60-80 กิโลกรัมและกลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มคนปกติจำนวนที่เท่ากัน 50 คน รวมทั้งสิ้น

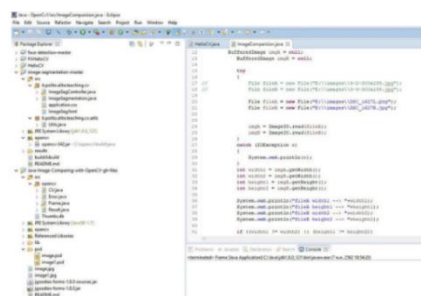
1,000 เขตข้อมูล เมื่อบันทึกภาพฝ่าเท้า ทำการ แบ่งเป็นภาพเท้าซ้ายและขวา จะได้ทั้งสิ้น 2,000 ภาพ และลบส่วนที่ไม่ต้องการของภาพออกด้วยโปรแกรม JAVA ดังภาพที่ 3

กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องด้วยโปรแกรม RapidMiner Studio 7.3 สำหรับการทดลองเพื่อ เปรียบเทียบหาค่าความถูกต้องที่สูงที่สุดและค่าการ ทำนาย (Predict) ที่มีความแม่นยำเพื่อประเมินว่ามี ภาวะชาปลายเท้าหรือไม่มีภาวะชา ผู้วิจัยได้เลือก 3 รูปแบบ (Model) สำหรับการทดลอง ได้แก่

1. รูปแบบต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) ซึ่งเป็น กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อ ประกอบการตัดสินใจ ซึ่งมีเทคนิคที่สามารถจำแนก ผลออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ประกอบกับกระบวนการ ตัดสินใจทำให้สามารถคาดการณ์ (Predict) และแสดง ค่าความถูกต้อง

2. โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เป็นกระบวนการเรียนรู้ข้อมูลด้วยวิธีการ คำนวณเข้าไปซ้ำมาเพื่อให้ค่ามีความถูกต้องสูงสุด โดยจำลองกระบวนการคิดของมนุษย์

3. การเรียนรู้แบบเบย์ (Bayesian Learning) เป็นการทดลองโดยใช้เทคนิคความน่าจะเป็นเพื่อหา สมมติฐานใดที่ถูกต้องที่สุด เมื่อมีข้อมูลใหม่เข้ามา จะถูกนำมาปรับเปลี่ยนโดยผนวกกับความรู้เดิมเพื่อ ทำนายค่าตัวอย่างที่มีความน่าจะเป็นสูงสุด (Patcharawongsakda, 2015)



ภาพที่ 3 การลบส่วนที่ไม่ต้องการของภาพออกด้วยโปรแกรม JAVA

การพัฒนาระบบประเมินความเสี่ยงโรคเบาหวาน (Risk score) ระบบประเมินความเสี่ยงโรคเบาหวาน (Risk Score) ซึ่งเป็นกระบวนการด้านการตรวจคัดกรอง (Screening) ซึ่งใช้กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องและทำนาย (Predict) ที่เพื่อค้นหา

ผู้ป่วยโรคเบาหวานที่ยังไม่มีอาการเพื่อให้การรักษาได้ตั้งแต่ระยะเริ่มแรก โดยใช้ข้อมูลอายุ, เพศ, ดัชนีมวลกาย (Body Mass Index, BMI), เส้นรอบเอว, ความดันโลหิตและประวัติการเป็นโรคเบาหวาน ดังสมการที่ 3

$$\text{Risk Score} = (3 \times \text{อายุ}) + (5 \times \text{BMI}) + (50 \times \text{ประวัติโรคความดันโลหิตสูง})$$

สมการที่ 3

การเตรียมข้อมูล ผู้วิจัยได้ทำหนังสือขออนุญาตเพื่อลงพื้นที่ ณ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลท่าจีน ตำบลน้ำน้อย อำเภอลำพูน จังหวัดสงขลา เก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อบันทึกข้อมูลชื่อ นามสกุล น้ำหนัก

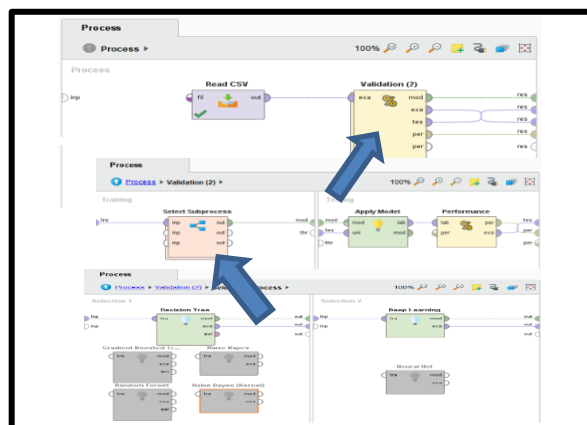
ส่วนสูงและจำนวนครั้งที่เก็บบันทึกข้อมูล ซึ่งมีกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 2 กลุ่ม คือ คนปกติและผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีภาวะขาดน้ำตาล เพื่อให้กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องจดจำรูปแบบเพื่อพัฒนาโปรแกรม ดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5



ลำดับ	รหัส	ชื่อ	อายุ	เพศ	น้ำหนัก	ส่วนสูง	รอบเอว	ความดันโลหิต	ประวัติเบาหวาน
1	HON01-01		37	ชาย	70	173	33	ไม่มี	ไม่มี
2	HON02-01		35	ชาย	49	155	26	ไม่มี	ไม่มี
3	HON03-01		37	ชาย	40	155	35	ไม่มี	ไม่มี
4	HON04-01		40	ชาย	71	156	38	ไม่มี	ไม่มี
5	HON05-01		40	ชาย	54	160	32	ไม่มี	ไม่มี
6	HON06-01		41	ชาย	57	157	30	ไม่มี	ไม่มี
7	HON07-01		42	ชาย	48	157	34	ไม่มี	ไม่มี

ID	SEX	Age	Wight	Height	Waistline	Pressure	Profile
HON01-01	1	37	70	173	33	0	0
HON02-01	2	35	49	155	26	0	0
HON03-01	2	37	40	155	35	0	0
HON04-01	2	40	71	156	38	0	0
HON05-01	2	40	54	160	32	0	0
HON06-01	2	41	57	157	30	0	0
HON07-01	2	42	48	157	34	0	0
HON08-01	2	42	48	157	30	0	0
HON09-01	2	50	54	159	30	0	0

ภาพที่ 4 การแปลงข้อมูลจากโปรแกรม Excel เป็นนามสกุล .csv



ภาพที่ 5 การประเมินความเสี่ยงโรคเบาหวาน (Risk score)

การวิจัยระยะที่ 3 การประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์คัดกรองภาวะขาดน้ำตาล

อุปกรณ์ถ่ายภาพฝ่าเท้าขณะยืนสามารถประยุกต์ใช้กับการตรวจสอบความผิดปกติของ

โครงสร้างเท้าซึ่งสอดคล้องกับการประเมินด้วยสายตาจากเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลท่าจีน ตำบลน้ำน้อย อำเภอลำพูน จังหวัดสงขลา โดยแสดงให้เห็นภาพถ่ายโครงสร้าง

เท้าที่ชัดเจนและผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีภาวะชาปลายเท้าสามารถเห็นโครงสร้างเท้าและแรงกดทับ ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดภาวะชาปลายเท้าในอนาคต สอดคล้องกับ Petsarb (2012) พบว่า วิธีการยื่นตรวจวัดแรงกดฝ่าเท้าขณะยืน สามารถเห็นน้ำหนักแรงกดจากน้ำหนักตัว ทำให้เห็นภาพฝ่าเท้าทั้งสองข้างได้ชัดเจน โดยอุปกรณ์ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญว่ามีความปลอดภัยสำหรับยื่นตรวจเพื่อถ่ายภาพฝ่าเท้าที่น้ำหนักไม่เกิน 200 กิโลกรัม ซึ่งเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลท่าจีน ตำบลน้ำน้อย อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

สามารถตรวจคัดกรองภาวะชาปลายเท้าได้อย่างรวดเร็ว ลดเวลาและคัดกรองภาวะชาปลายเท้าแก่ผู้ป่วยโรคเบาหวาน ในระดับแรกเริ่ม

ผลการพัฒนาระบบประมวลผลภาพด้วยกระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง โดยการกำหนดค่าโดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอนด้วยกระบวนการประมวลผลภาพด้วยค่า Gray Scale โดยเปรียบเทียบจำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ Trees, Neural Net และ Bayesian โดยทำการทดลองจำนวน 9 ครั้ง และประมวลผลจำนวน 10 รอบ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประมวลผลภาพด้วยวิธีการต่างรูปแบบ (Model) และต่างขั้นตอนวิธี (Algorithm) จำนวน 10 รอบ

Model	Algorithm	Accuracy	Runtime	Max depth	Confidence	Kappa
Trees	Random Tree	90.15	26.52	20	0.25	0.848
Trees	Random Forest	98.83	21.08	20	0.25	0.982
Trees	Decision Stump	79.55	20.57	-	-	0.650
Trees	Decision Tree	98.95	21.01	20	0.25	0.984
Trees	Gradient Boos Tree	99.31	35.03	20	-	0.989
Neural Net	Deep Learning	78.37	22.07	-	10 (momentum)	0.634
Neural Net	Improve Neural Net	96.99	22.30	-	0.9 (momentum)	0.953
Bayesian	Simple Distribution	83.14	31.55	-	-	0.738
Bayesian	Kernel Distribution	97.79	35.06	-	-	0.965

จากตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบการประมวลผลภาพด้วยวิธีการต่างรูปแบบและต่างขั้นตอนวิธี จำนวน 10 รอบ ที่มีค่าความถูกต้อง (Accuracy) สูงสุด คือ รูปแบบ Trees ใช้ขั้นตอนวิธี Gradient Boos Tree ค่าความถูกต้องร้อยละ 99.31 ค่า Kappa เท่ากับ 0.989 ใช้ระยะเวลา 35 นาที 03 วินาที สอดคล้องกับ Burget *et al.* (2010) พบว่า คุณสมบัติของโปรแกรม RapidMiner Studio 7.3 มีความสามารถสำหรับคัดกรองภาพ (Image

Classification) โดยใช้กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ผลการพัฒนาระบบประเมินความเสี่ยงโรคเบาหวาน (Risk score) โดยการนำเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องแบบมีผู้สอน สำหรับประมวลผลความเสี่ยงโรคเบาหวาน (Risk score) โดยเปรียบเทียบจำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ Trees, Neural Net และ Bayesian การทดลองทำจำนวน 9 ครั้ง ด้วยการประมวลผลแบบ 10 รอบ, Training Set = 70% และ Test Set = 30% ดังตารางที่ 4

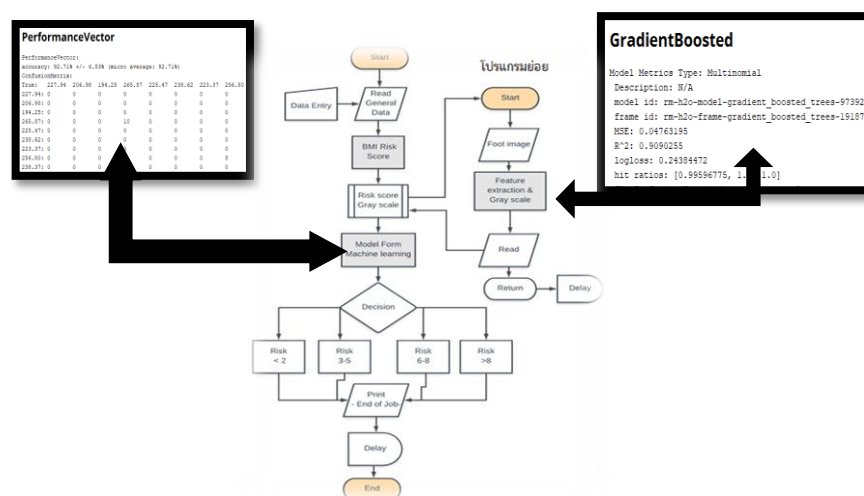
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลประเมินความเสี่ยงโรคเบาหวาน (Risk score)

Model	Algorithm	Accuracy	Runtime	Predict	Risk	Wight Mean	Kappa	Classificati on Error
Trees	Decision Tree	28.97	1.42	Good	Yes	11.23	0.283	71.03
Trees	Random Forest	92.78	1.30	Good	Yes	35.86	0.926	7.28
Trees	Gradient Boos Tree	89.08	6.02	Good	Yes	34.48	0.889	10.92
Trees	Random Tree	8.56	0.10	Bad	Yes	3.31	0.076	91.44
Trees	Decision Stump	0.32	0.30	Bad	Yes	0.12	0.003	99.68
Neural Net	Deep Learning	85.28	2.01	Good	Yes	32.91	0.849	14.88
Neural Net	Improve Neural Net	69.85	11.12	Bad	Yes	26.90	0.692	30.42
Bayesian	Simple Distribution	93.03	2.21	Middle	Yes	35.98	0.929	6.97
Bayesian	Kernel Distribution	88.16	2.41	Bad	Yes	33.22	0.880	11.84

จากตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบการประมวลผลด้วยวิธีการต่างรูปแบบและต่างขั้นตอนวิธี ค่าความถูกต้องที่ดีที่สุด คือ รูปแบบ Trees ใช้ขั้นตอนวิธี Random Forest ค่า Accuracy 92.78 ค่า Kappa เท่ากับ 0.926 โดยมีค่า Predict เท่ากับ Good ซึ่งมี Run Time เท่ากับ 1 นาที 30 วินาที และค่าการทำนายมีความแม่นยำ สอดคล้องกับ Koklu and Unal (2013) พบว่า การเก็บรวบรวมข้อมูลผู้ป่วยเบาหวานด้วยเทคนิคการดึงข้อมูลแบบแยกประเภท เพื่อค้นหาข้อมูลที่ซ่อนอยู่เป็นความรู้ทางสถิติด้วยเทคนิค

ปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในการแพทย์เป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับวินิจฉัยได้

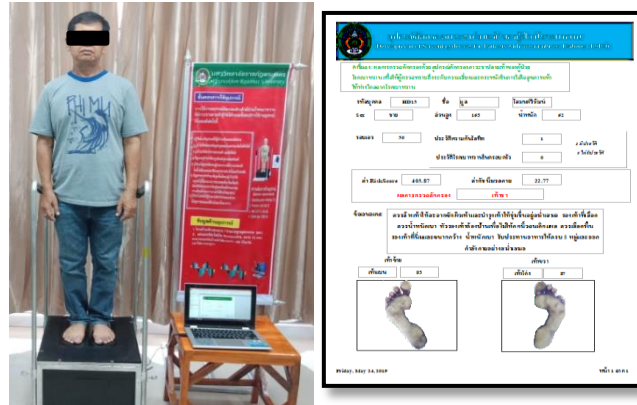
เมื่อได้ขั้นตอนวิธีด้านการประมวลผลภาพและประเมินความเสี่ยงโรคเบาหวาน (Risk score) ด้วยโปรแกรม Java Image Processing และโปรแกรม RapidMiner Studio 7.3 ทำการติดตั้งในระบบปฏิบัติการ Windows Application ซึ่งเป็นระบบออฟไลน์ โดยผู้วิจัยได้นำขั้นตอนวิธีจากการประมวลผลภาพ Gray Scale และประเมินความเสี่ยงโรคเบาหวาน (Risk score) สำหรับพัฒนาเป็นโปรแกรม ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการพัฒนาและนำขั้นตอนวิธีไปใช้

จากการพัฒนาอุปกรณ์และขั้นตอนวิธีสำหรับคัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวานผู้วิจัยได้นำอุปกรณ์สำหรับยื่นตรวจถ่ายภาพเท้าเชื่อมต่อกับโปรแกรมที่พัฒนาขั้นตอนวิธีโดยใช้เป็นกล้องเว็บแคมเชื่อมต่อแทนกล้องถ่ายภาพดิจิทัล โดยผู้วิจัยได้ทำการสุ่มจากกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัย

เดิม ณ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลท่าจีน ตำบลน้ำน้อย อำเภอลาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จำนวน 30 คน และคนปกติจำนวน 30 คน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน



ภาพที่ 7 ผลการตรวจคัดกรองภาวะชาปลายเท้า

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการวิจัยระยะที่ 1 การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้า

อุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวานได้ผ่านการประเมินด้านความตรงของอุปกรณ์และการยอมรับนวัตกรรมจากผู้เชี่ยวชาญทางระบบสารสนเทศว่าสามารถคัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีภาวะชาปลายเท้าได้จริง โดยทดลองกับกลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวานกลุ่มตัวอย่างเดิม จำนวน 30 คน ผลการคัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีภาวะชา โดยแสดงผลการทำนายว่าเท้าชา ครบทั้ง 30 คน

ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบความไว (Sensitivity) สามารถคัดกรองผู้ป่วยที่มีภาวะชาปลายเท้าได้คิดเป็นร้อยละ 100 ผู้วิจัยได้นำไปทดลองกับกลุ่มคนปกติซึ่งไม่มีภาวะชาปลายเท้า จำนวน 30 คน แสดงผลการคัดกรองว่าเท้าไม่ชาทั้ง 30 คน ซึ่งสอดคล้องกับความจำเพาะ (Specificity) สามารถคัดกรองคนปกติว่าไม่มีภาวะชาได้คิดเป็นร้อยละ 100 ซึ่งเป็นค่าที่แม่นยำและสามารถจำแนกประเภทของโครงสร้างเท้า ผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าจากการพัฒนาจากงานวิจัยและอุปกรณ์เดิม ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบการใช้อุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้า

รายการ	อุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้า แบบเดิม	อุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้า ของผู้ป่วยโรคเบาหวาน
1. ระยะเวลาในการตรวจ /คน	15-20 นาที	3 นาที
2. การใช้งานอุปกรณ์ตรวจ ภาวะชาปลายเท้า	ทุก 10 นาทีต้องหยุดพัก เพื่อให้เส้นเอ็นคืนรูป	ใช้อย่างต่อเนื่อง
3. การประเมินภาวะชา	ใช้ความชำนาญในการตรวจและ ประเมินผล	อุปกรณ์แสดงผลการคัดกรอง โดยอัตโนมัติ
4. การบันทึกข้อมูลและ แสดงผล	จัดเก็บในสมุดบันทึกการตรวจคัด กรองผู้ป่วยโรคเบาหวาน	บันทึกลงในคอมพิวเตอร์และ ส่งพิมพ์ข้อมูลย้อนหลัง
5. การคาดเดาผลการตรวจ	ผู้ป่วยสามารถคาดเดาการตรวจทำ ให้ไม่ทราบว่าชาหรือไม่ชา	เครื่องประมวลผลโดยอัตโนมัติ จากข้อมูลและภาพฝ่าเท้า
6. ต้นทุนของอุปกรณ์ / อายุ การใช้งาน	2,000 -5,000 บาท / อายุการใช้งาน 2-3 ปี ขึ้นอยู่กับการ เสื่อมสภาพของเส้นเอ็น	4,500 บาท / อายุการใช้งานไม่จำกัด
7. ความรู้พื้นฐานของผู้มี หน้าที่ตรวจคัดกรองภาวะชา	ต้องเข้ารับการอบรมขั้นตอนการ ตรวจคัดกรอง	ใช้คอมพิวเตอร์เบื้องต้น และ แสดงผลการตรวจแบบอัตโนมัติ

จากตารางที่ 5 สรุปผลการเปรียบเทียบการใช้
ใช้อุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วย
โรคเบาหวาน กับอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้า
เดิม พบว่าอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของ
ผู้ป่วยโรคเบาหวานสามารถใช้ตรวจภาวะชาปลายเท้า
และแสดงผลการตรวจโดยอัตโนมัติใช้ระยะเวลาใน
การตรวจเร็วกว่าอุปกรณ์เดิม สามารถบันทึกข้อมูล
เป็นแบบดิจิทัลและส่งพิมพ์ข้อมูลประวัติการตรวจ
คัดกรองภาวะชาปลายเท้าย้อนหลัง โดยระบบรหัส
ผู้ป่วยโรคเบาหวาน ผลการตรวจสามารถบอก
ลักษณะเท้าและภาวะชาหรือไม่ชาปลายเท้า สามารถ
ลดการคาดเดาผลการตรวจจากผู้ป่วยโรคเบาหวาน
รวมถึงมีข้อเสนอแนะในการดูแลเท้าของผู้ป่วย
โรคเบาหวาน ซึ่งผู้ใช้ระบบต้องมีความรู้เรื่องการใช้
คอมพิวเตอร์เบื้องต้นและการทำงานของระบบเป็น

แบบอัตโนมัติ ใช้งานได้ง่าย ลดระยะเวลาในการ
ตรวจคัดกรองภาวะชาปลายเท้า

ผลการวิจัยระยะที่ 2 การประเมินระบบ ประมวลผลภาพและการพัฒนาระบบ

ผลการศึกษาการประมวลผลภาพด้วยค่า
Gray Scale โดยเปรียบเทียบจำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่
Trees, Neural Net และ Bayesian พบว่า ค่าการ
ประมวลผลภาพของเท้าปกติ (Normal Foot) มีค่า
Gray Scale ≥ 123.874 เท้าโก่ง (Cove Foot) ค่า Gray
Scale ≤ 85.535 และค่าเท้าแบน (Flat Foot) ค่า Gray
Scale ≤ 76.449 ซึ่งสอดคล้องกับ (Patcharawongsakda,
2014) นิยามถึงค่า Gray Scale ที่มีค่าใกล้เคียง 0 มีค่า
ความเข้มของภาพ

ผลการประเมินความเสี่ยงโรคเบาหวาน
(Risk score) โดยเปรียบเทียบจำนวน 3 รูปแบบ
ได้แก่ Trees, Neural Net และ Bayesian ด้วย

กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องสามารถจำแนกเป็นระดับความเสี่ยงของภาวะชาปลายเท้าจำนวน 4 ระดับ ได้แก่ ประเภทที่ 1) ผลคะแนนรวมน้อยกว่า 2 ระดับความเสี่ยงโรคเบาหวานน้อย ประเภทที่ 2) ผลรวม 3-5 ระดับความเสี่ยงโรคเบาหวานเพิ่มขึ้น ประเภทที่ 3) ผลรวม 6-8 ระดับความเสี่ยงโรคเบาหวานสูง และ ประเภทที่ 4) ผลคะแนนมากกว่า 8 ระดับความเสี่ยงโรคเบาหวานสูงมาก

ผลการวิจัยระยะที่ 3 การประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้า

ผลการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวานด้านความตรงของเครื่องมือและประเมินการยอมรับอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการประเมินประสิทธิภาพอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน

คุณลักษณะของอุปกรณ์	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1. ยอมรับ	4	80.00
2. เฉยๆ	1	20.00
3. ไม่ยอมรับ	0	0.00

จากตารางที่ 6 ภาพรวมการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง โดยเป็นเจ้าหน้าที่ประจำโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลท่าจีน ตำบลน้ำน้อย อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งมีหน้าที่ตรวจผู้ป่วยโรคเบาหวาน จำนวน 5 คน ผลการประเมินพบว่า

อุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวานมีประสิทธิภาพ จำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 80 และเฉยๆ จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 20 เมื่อเรียงตามรายชื่อจากแบบประเมินผลการยอมรับนวัตกรรมอยู่ในระดับมาก ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลประเมินการยอมรับอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน

คุณลักษณะของอุปกรณ์	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	แปลผล	ลำดับที่
อุปกรณ์การคัดกรองใช้งานได้ง่าย	4.60	0.55	มากที่สุด	1
มีความรวดเร็วในการประมวลผลข้อมูล	4.60	0.55	มากที่สุด	1
ผลการคัดกรองมีความครบถ้วนสำหรับใช้งาน	4.60	0.55	มากที่สุด	1
หน้าโปรแกรมมีรูปแบบที่สวยงาม	3.60	0.55	มาก	4
เฉลี่ย	4.28	0.67	มาก	

จากตารางที่ 7 ผลการยอมรับนวัตกรรมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.28 แปลผลอยู่ในระดับมาก เมื่อตาม

รายชื่อพบว่าอุปกรณ์การคัดกรองใช้งานได้ง่าย มีความรวดเร็วในการประมวลผลและผลการคัดกรอง

มีความครบถ้วนระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 สอดคล้องกับ Perveen *et al.* (2016) พบว่าการวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจำแนกข้อมูลเพื่อทำนายโรคเบาหวานสามารถป้องกันและการคาดการณ์ของโรคเบาหวานจะเพิ่มขึ้น ซึ่งการประเมินความเสี่ยงเพื่อตรวจหาผู้ป่วยโรคเบาหวานในระยะแรกช่วยป้องกันการเกิดผู้ป่วยโรคเบาหวานที่ถูกต้องและครบถ้วนตามแนวทางเวชปฏิบัติสำหรับโรคเบาหวานและเป็นประโยชน์สำหรับการป้องกันการเพิ่มจำนวนผู้ป่วยโรคเบาหวานในประชากรคนไทย (DMTH, 2017) ซึ่งข้อมูลถูกบันทึกเป็นฐานข้อมูลทางการแพทย์สามารถนำมาใช้สนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการทำนายและพยากรณ์โรคเบาหวาน โดยมีความแม่นยำและสามารถประเมินความไวและความจำเพาะเพื่อตรวจสอบและการวินิจฉัยโรค ซึ่งผู้วิจัยได้ผ่านการอบรมหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์และผ่านการรับรองเอกสารการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมในมนุษย์ที่เป็นมาตรฐานสากล

ผลการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน และประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ด้านความตรงของเครื่องมือและการยอมรับอุปกรณ์ ซึ่งใช้กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องจึงต้องเก็บข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลภาพเท้าซ้ำๆ เพื่อให้โปรแกรมได้เรียนรู้รูปแบบและประเมินค่าความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 90 สำหรับการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎี TRIZ เพื่อลดความขัดแย้งในการพัฒนานวัตกรรม ผู้วิจัยเลือกใช้โครงสร้างหลักที่มีความแข็งแรงรองรับน้ำหนักได้มาก มีบันไดและราวจับสำหรับขึ้น-ลง และใช้แผ่นอะคริลิกที่มีความยืดหยุ่นมากกว่ากระจกไม่แตกง่าย อุปกรณ์สามารถถอดประกอบเมื่อต้องการเคลื่อนย้าย ภาพที่ถ่ายผ่านอุปกรณ์มีความคมชัด สามารถประมวลผลได้โดยไม่

ต้องเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องคอมพิวเตอร์ควรมีระบบประมวลผลในระดับกลาง ถึงระดับสูง เพื่อให้ระบบประมวลผลคัดกรองได้รวดเร็ว สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน ด้านความตรงและการยอมรับอุปกรณ์ ผู้วิจัยเลือกใช้กลุ่มผู้ร่วมวิจัยเดิมทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มคนปกติจำนวน 30 คน และกลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีภาวะชาปลายเท้าจำนวน 30 คน ซึ่งลงนามยินยอมเข้าร่วมวิจัย ผลการใช้อุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน ซึ่งตรวจคัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีภาวะชาปลายเท้า ว่ามีภาวะชาได้ร้อยละ 100 สอดคล้องด้านความไว (Sensitivity) และประเมินคนปกติ ว่าไม่มีภาวะชาปลายเท้าได้ร้อยละ 100 สอดคล้องด้านความจำเพาะ (Specificity) ด้านการประเมินการยอมรับอุปกรณ์คัดกรองภาวะชาปลายเท้าของผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยอุปกรณ์ผ่านการประเมินจากแพทย์และผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน และการประเมินด้านการพัฒนาระบบจำนวน 3 ท่าน จากนั้นจึงนำไปประเมินการยอมรับอุปกรณ์จากเจ้าหน้าที่ประจำโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลท่าจีน ตำบลน้ำน้อย อำเภอลำดวน จังหวัดสงขลา ที่มีหน้าที่ดูแลผู้ป่วยโรคเบาหวาน พบว่ายอมรับอุปกรณ์คิดเป็นร้อยละ 80 ว่าอุปกรณ์สามารถคัดกรองภาวะชาปลายเท้าได้จริงตลอดเวลาในการตรวจคัดกรองและสามารถค้นหาข้อมูลได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ควรเพิ่มข้อเสนอแนะด้านการดูแลสุขภาพเท้าในรายงานผล เพื่อให้ผู้ป่วยได้ดูแลตนเอง

สรุป

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้กระบวนการเรียนรู้ของเครื่องโดยเปรียบเทียบรูปแบบ (Model) และขั้นตอนวิธี (Algorithm) โดย

เปรียบเทียบวิธีการทดลองที่แสดงผลค่าความถูกต้องสูงสุด และค่าการทำนาย (Predict) ที่แม่นยำ ผลการพัฒนาอุปกรณ์สามารถใช้ตรวจคัดกรองเพื่อแสดงผลการตรวจว่ามีภาวะขาปลายเท้าหรือไม่มีภาวะขาได้จริง เจ้าหน้าที่ประจำโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพและผู้ป่วยโรคเบาหวานสามารถเห็นภาพเท้าของตนเองเพื่อตระหนักในการดูแลสุขภาพก่อนที่จะเกิดแผลเท้า รวมถึงอุปกรณ์สามารถใช้ตรวจภาวะขาปลายเท้าซ้ำๆ ได้หลายครั้ง ช่วยลดระยะเวลาในการตรวจให้น้อยลง สอดคล้องกับสำนักโรคไม่ติดต่อกรมควบคุมโรค (Bureau of Non-communicable Diseases, Department of Disease Control Ministry of Public Health, 2018) ในการควบคุมความชุกของภาวะโรคเบาหวานให้คงที่และจัดหาเทคโนโลยีเพื่อให้บริการเพิ่มขึ้นตามสถานพยาบาลเพื่อช่วยคัดกรองผู้ป่วยโรคเบาหวานก่อนที่จะเกิดแผลเท้า

เอกสารอ้างอิง

- Burget, R., Karasek, J., Smekal, Z., Uher, V. and Dostal, O. 2010. RapidMiner Image Processing Extension: A Platform for Collaborative Research, pp. 1-5. *In Conference on Telecommunication and Signal Processing*. Vienna, Austria.
- Bureau of Non-communicable Diseases, Department of Disease Control Ministry of Public Health (ThaiNCD). 2018. **Guidelines for the prevention and control of NCDs Chronically based on community Risk Reduction Community Reduce chronic non-communicable diseases**. Motion Art Co., Ltd., Bangkok. Available source: <http://ihppthaigov.net/DB/publication/attachbook/200/chapter1.pdf>, February 15, 2020. (In Thai)
- Diabetes Association of Thailand under the Patronage of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn (DMTHAI). 2014. **Practice Guidelines for Diabetes B.E. 2014**. Srimuang Publication Co., Ltd., Bangkok. Available source: <https://www.slideshare.net/UtaiSukviwatsirikul/cpg-dm-2014>, January 7, 2020. (In Thai)
- Diabetes Association of Thailand under the Patronage of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn (DMTHAI). 2017. **Clinical Practice Guideline for Diabetes 2017**. Romyen Media Co., Ltd., Pathum Thani. Available source: <https://www.dmtai.org/attachments/article/443/guideline-diabetes-care-2017.pdf>, October 30, 2019. (In Thai)
- Gibson, T.B., Driver, V.R., Wrobel, J.S., Christina, J.R., Bagalman, E., Defrancis, R., Garoufalos, G., Carls, G.S. and Gatwood, J. 2013. Podiatrist care and outcomes for patients with diabetes and foot ulcer. **International Wound Journal** 4(2): 641-647.
- Han, J., Rodriguze, J.C. and Beheshti, M. 2008. Diabetes Data Analysis and Prediction Model Discovery Using RapidMiner, pp. 96-99. *In Future Generation Communication and Networking*. IEEE Computer Society, Hainan Island, China.
- Kaeutunkum, K. and Punyayun, K. 2013. Podoscope: Foot Care for Diabetes.

- Journal of Health Science** 22(1): 187-195.
- Keesukphan, P., Chanprasertyothin, S., Ongphiphadhanakul, B. and Puavilai, G. 2007. The development and validation of diabetes risk score for high-risk Thai adults. **Journal of the Medical Association of Thailand** 90(1): 149-54.
- Koklu, M. and Unal, Y. 2013. Analysis of a Population of Diabetic Patients Databases with Classifiers. **International Journal of Biomedical and Biological Engineering** 7(1): 481-483.
- Micheletti, M.J., Hendrick, M.A., Khan, F.N., Ziemer, D.C., and Pasuel, F.J. 2016. Current and Next Generation Portable Screening Devices for Diabetic Retinopathy. **Journal of Diabetes Science and Technology** 10(2): 259-300.
- Nitiyanan, V. 2017. Recognize and Understand Diabetes, pp 12-16. In Medical Faculty from the Diabetes Association of Thailand, ed. **Stay Away from Diabetes**. Amarin Health, Bangkok. (In Thai)
- Patcharawongsakda, E. 2014. Chapter 6 Clustering, pp. 84-89. In Bangwag, K., ed. **Data Mining with RapidMiner Studio 6**. (8th ed). Asia Digital Printing Company Ltd, Bangkok. (In Thai)
- Patcharawongsakda, E. 2015. Introduction to CRISP-DM, pp. 50-53. In Bangwag, K., ed. **Introduction to Business Analytics with RapidMiner Studio 6**. (2th ed). Asia Digital Printing Company Ltd, Bangkok. (In Thai)
- Perveen, S., Shahbaz, M., Guergachi, A. and Keshavjee, K. 2016. Performance Analysis of Data Mining Classification Techniques to Predict Diabetes. **Procedia Computer Science** 82: 115-121.
- Petsarb, K., Apaiwong, C., Phairoh, C., Rattanakajornsak, R., Kajornpredanon, Y. and Daochai, S. (2012). Low cost and customized plantar pressure analyzer for foot pressure image in rehabilitation foot clinic, pp. 1-4. In **5th 2012 Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON 2012)**. Ubon Ratchathani, Thailand. (in Thai)
- Pholanan, T., Benjawattanaphon, W. and Dissaman, W. 2011. Innovation Technology, pp. 41-43. In Chulek, L., ed. **40 Principles TRIZ keys to technical innovation**. Technology Promotion Association (Thailand-Japan), Bangkok. (in Thai)
- Russ, J. 2011. **The Image Processing Handbook**. Taylor & Francis Group, USA. Available source: <https://www.routledge.com/The-Image-Processing-Handbook/Russ-Neal/p/book/9781138747494>, October 30, 2019.
- Sakunasing, J. 2012. Effectiveness of Foot Massage to Reduce Foot Neuropathy in the Diabetic Patients. **Roi-Et, Kalasin, Mahasarakham Hospital Medical Journal** 19(1): 36-43.
- Sawada, H., Uchida, K., Danjo, J. and Kakamura, Y. 2020. Development of a Non-invasive Screening Device of Diabetic Peripheral

- Neuropathy Based on the Perception of Micro-vibration, pp. 11-16. *In Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB)*. Biomedical Engineering Institute, Chiang Mai University. (in Thai)
- Srinapakorn, V. and Derojanavong, C. 2003. Insulin DKA or HHS, pp 212-215. *In Srinapakorn, V. and Derojanavong, C., eds. Insulin*. Endocrine Society of Thailand, Ruen Kaew Printing, Bangkok. (in Thai)
- Supawatanakul, D. 2011. A Development of Local Wisdom Coconut Shell Foot Massage of DuLaPiThaN Model for a Reduction of Sensory Loss in Diabetic Patients. Doctor of Philosophy (Technology Management), Phranakhon Rajabhat University. (in Thai)
- Wintergert, M. and Mishra, D., Hartmann, L., Shah, P., Konana, V., Sagar, P., Berger, M., Murali, K., Holz, F., Shanmugam, M. and Finger, R. 2020. Diabetic Retinopathy Screening Using Smartphone-Based Fundus Imaging in India. **Ophthalmology ScienceDirect Science** 127(11): 1529-1538.

เส้นทางการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบซอราเฟนิบชนิดใหม่ ที่มีวง 1,2,3-ไตรเอโซล และฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็ง

The Synthetic Pathways of a New 1,2,3-Triazole-Containing Sorafenib Analogue and Its Cytotoxicity towards Cancer Cell Lines

โยธิน มาตะโก¹ คมสันต์ สุทธิสินทอง² จุฑาทิพ บุญสมบัติ³ จิตนภา ศิริรักษ์¹ และ ภาณุพันธ์ ลิ้มปชยาพร^{1*}

Yotin Matakko¹, Khomson Suttisingtong², Jutatip Boonsombat³, Jitnapa Sirirak¹ and Panupun
Limpachayaporn^{1*}

Received: 4 October 2019, Revised: 2 March 2020, Accepted: 19 March 2020

บทคัดย่อ

ซอราเฟนิบ (1) เป็นยารักษามะเร็งแบบจำเพาะต่อเซลล์มะเร็งชนิดแรกที่ได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยาสหรัฐอเมริกาให้ใช้รักษามะเร็งตับ มะเร็งไต และมะเร็งต่อมไทรอยด์ โดยซอราเฟนิบมีการออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไคเนสหลายชนิด ส่งผลให้สามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งได้หลากหลาย แต่ซอราเฟนิบมีผลข้างเคียงและข้อเสียทางเภสัชหลายประการ จึงมีนักวิจัยจำนวนมากสนใจออกแบบและสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบเพื่อแก้ปัญหาและค้นหาฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็งต่างๆ งานวิจัยนี้เสนอเส้นทางที่ประสบความสำเร็จ 2 เส้นทางในการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบซอราเฟนิบ 2 ที่หมู่ฟิโคลิโนไมด์ถูกแทนที่ด้วยวง 1,2,3-ไตรเอโซลที่ต่อกับวงเบนซิล และทดสอบฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็ง โดยเส้นทางแรกจะเริ่มจากการสังเคราะห์วง 1,2,3-ไตรเอโซลก่อนด้วยปฏิกิริยาคลิก แล้วตามด้วยการสร้างเอริลยูเรีย ซึ่งเหมาะสำหรับการสังเคราะห์ชุดโมเลกุลเลียนแบบ 14 ที่มีการเติมหมู่แทนที่

¹ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม 73000

¹ Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University, 6 Ratchamankha Nai Road, Phraphom Chedi, Mueang, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

² ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) เลขที่ 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

² National Nanotechnology Center (NANOTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), 111 Thailand Science Park, Phahon Yothin Road, Klong Nueng, Klong Luang, Pathum Thani 12120, Thailand.

³ ห้องปฏิบัติการผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ เลขที่ 54 ถนนกำแพงเพชร 6 แขวงตลาดบางเขน เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

³ Laboratory of Natural Products, Chulabhorn Research Institute, 54 Kamphaeng Phet 6 Road, Talat Bang Khen, Laksi, Bangkok 10210, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): panupun.lim@gmail.com, limpachayaporn_p@silpakorn.edu
Tel: 0 3425 5797

ต่างๆ บนวงเฮริล และเส้นทางที่สองทำได้โดยการสร้างยูเรียเพื่อเชื่อมต่อกับเฮริลก่อน แล้วจึงสร้างวง 1,2,3-ไตรเอโซล ซึ่งเหมาะกับการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบ **2** และชุดโมเลกุลเลียนแบบ **15** ซึ่งมีหมู่แทนที่ต่างๆ กันบนวงเบนซิล จากการทดสอบด้วยเอ็มทีที (MTT assay) พบว่าโมเลกุลเลียนแบบ **2** ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวเฉียบพลันชนิดลิมโฟบลาสต์ (MOLT-3) เซลล์มะเร็งปอด (A549) และเซลล์มะเร็งท่อน้ำดี (HuCCA-1) โดยมีค่า $IC_{50} > 100 \mu M$ แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลจากงานวิจัยนี้เสนอเป็นแนวทางสำคัญที่ใช้ในการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบซอราเฟนิบที่มีวงไตรเอโซลที่มีหมู่แทนที่ต่างๆ บนวงเฮริลที่ติดกับยูเรียและวงเบนซิลที่ต่อกับไตรเอโซล เพื่อพัฒนาให้เป็นสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็งชนิดต่างๆ และเซลล์มะเร็งตับที่มีฤทธิ์สูงขึ้นต่อไป

คำสำคัญ: โมเลกุลเลียนแบบซอราเฟนิบ, 1,2,3-ไตรเอโซล, ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง, สารยับยั้งเอนไซม์ไคเนส, ปฏิกริยาคลิก

ABSTRACT

Sorafenib (**1**) is a targeted cancer drug, which was approved by the Food and Drug Administration of the United States (US FDA) for the treatment of advanced hepatocellular carcinoma, renal cell carcinoma and thyroid carcinoma. In addition, sorafenib shows ability to inhibit various cancer cell lines due to its multikinase-inhibitory activity. However, sorafenib exhibits several disadvantageous pharmacological properties resulting in many adverse effects. Hence, many researchers are interested in design and synthesis to overcome the problems, and to search for their anti-tumor activities. Herein, the triazole-containing sorafenib analogue **2** was successfully synthesized by two different pathways. In the former pathway, 1,2,3-triazole ring was constructed *via* click reaction followed by aryl urea formation, which was suitable for the synthesis of analogues **14** with various substituted aryl moieties. The latter pathway started with linking aryl with urea and then click reaction for the triazole ring generation which was suitable for the synthesis of analogue **2** and the serial preparation of the substituted benzyl analogues **15**. The study of biological activities towards cancer cell lines using MTT assay revealed that analogue **2** were inactive against MOLT-3, A549 and HuCCA-1 with $IC_{50} > 100 \mu M$. However, the obtained evidences will be an important guideline for the syntheses of the aryl- and benzyl-substituted analogues **14** and **15**, which can be potentially active towards various cancer cell lines including liver cancer cell lines.

Key words: sorafenib analogue, 1,2,3-triazole, cytotoxicity towards cancer cell lines, multikinase inhibitor, click reaction

บทนำ

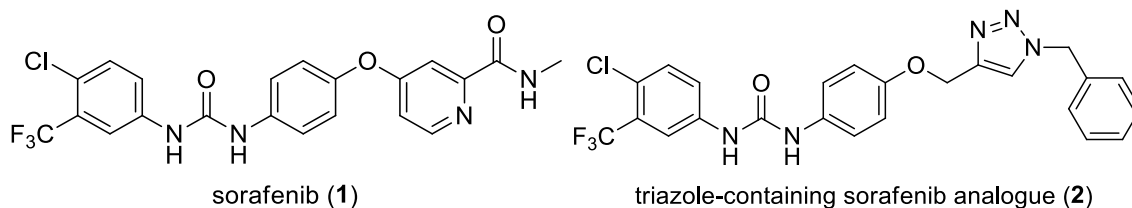
มะเร็ง (cancer) เป็นโรคร้ายแรงที่เกิดขึ้นกับอวัยวะหลายชนิด รักษาได้ยาก มีอัตราการตายสูง

และยังไม่ทราบสาเหตุที่ชัดเจน จึงเป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญของคนทั่วโลก องค์การอนามัยโลก (International Agency for Research on Cancer,

World Health Organization; WHO) รายงานว่า ในปี พ.ศ. 2561 พบผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่ทั่วโลก 18 ล้านราย โดยพบว่ามะเร็งที่พบในผู้ป่วยรายใหม่มากที่สุดได้แก่ มะเร็งปอด (11.6%) มะเร็งเต้านม (11.6%) มะเร็งลำไส้ (10.2%) ตามลำดับ และพบการเสียชีวิต 9.55 ล้านรายจากมะเร็งปอด (18.4%) มะเร็งลำไส้ (9.2%) มะเร็งกระเพาะอาหาร (8.2%) และมะเร็งตับ (8.2%) เป็นอันดับแรกๆ ตามลำดับ โดยมะเร็งตับมีอัตราการเสียชีวิตสูงที่สุด (International Agency for Research on Cancer, 2019) การรักษาโรคมะเร็งทำได้หลายวิธี นอกจากรักษาด้วยการผ่าตัด (surgery) การใช้เคมีบำบัด (chemotherapy) และการฉายรังสี (radiotherapy) แล้ว ปัจจุบันยังสามารถรักษาได้ด้วยยารักษามะเร็งแบบจำเพาะเจาะจงต่อเซลล์มะเร็ง (targeted cancer drug) ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพการรักษาและมีความจำเพาะต่อชนิดของเซลล์มะเร็ง ทำให้มีผลข้างเคียงน้อยกว่าการใช้เคมีบำบัดและการฉายรังสี (Intaraprasong, 2018) ปัจจุบันจึงได้รับความสนใจจากนักเคมีทางการแพทย์ (medicinal chemist) และนักเคมีอินทรีย์ (organic chemist) ในการออกแบบ สังเคราะห์ และค้นหาฤทธิ์ด้านเซลล์มะเร็ง ตลอดจนการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเพื่อพัฒนาฤทธิ์ในการยับยั้ง ลดความเป็นพิษ และมีคุณสมบัติทางเภสัชวิทยาในระดับโมเลกุลที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาไปเป็นยารักษามะเร็งต่อไป

ยารักษามะเร็งแบบจำเพาะเจาะจงที่น่าสนใจในปัจจุบันคือ ซอราเฟนิบ (sorafenib, 1) ที่มีโครงสร้าง

ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมีชื่อทางการค้าว่า Nexavar® เพราะเป็นยาที่ได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration of the United States; US FDA) สำหรับใช้รักษามะเร็งตับระยะลุกลาม (advanced hepatocellular carcinoma; HCC) มะเร็งไต (advanced renal cell carcinoma; RCC) และมะเร็งต่อมไทรอยด์ (thyroid cancer) โดยซอราเฟนิบเป็นยายับยั้งเอนไซม์ไคเนสหลายชนิด (multikinase inhibitor) ในกลุ่มไทโรซีน เซอรีน ทรีโอนีน ที่เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณ (cell signaling) การแบ่งตัว (proliferation) การสร้างหลอดเลือดใหม่ (angiogenesis) และการตายแบบปกติหรืออะพอโทซิส (apoptosis) จึงทำให้สามารถยับยั้งเซลล์มะเร็งได้หลายชนิดอย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งมีความเป็นพิษและแนวโน้มที่จะดื้อยาต่ำ (Yao *et al.*, 2012) แต่ซอราเฟนิบมีความสามารถในการดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดต่ำ (low bioavailability) มีผลข้างเคียงหลายประการ เช่น ความดันโลหิตสูง (hypertension) มีความผิดปกติที่ผิวหนัง ท้องร่วงและอ่อนเพลีย (Bayer Health Care Pharmaceuticals Inc., 2010) และซอราเฟนิบมีราคาสูง ผู้ป่วยส่วนมากจึงไม่สามารถเข้ารับการรักษาดูแลด้วยซอราเฟนิบได้ นอกจากนี้ยังพบว่ายารักษามะเร็งด้วยซอราเฟนิบสามารถยืดชีวิตผู้ป่วยได้นานขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับผู้ป่วยที่ไม่ได้รับยา (Cheng *et al.*, 2009)

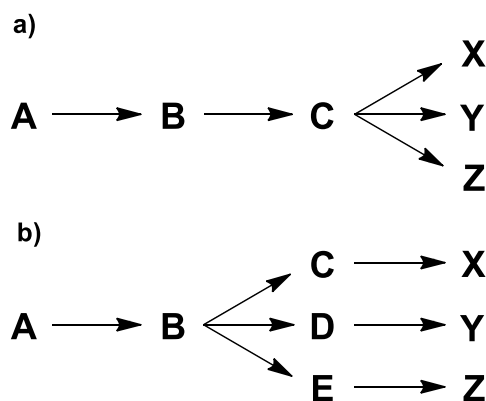


ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของซอราเฟนิบ (1) และ โมเลกุลเลียนแบบซอราเฟนิบที่มีวงไตรเอโซล (2)

ถึงแม้ว่าซอราเฟนิบจะมีข้อจำกัดในการใช้รักษามะเร็งหลายประการ แต่โครงสร้างของซอราเฟนิบเป็นที่สนใจของนักเคมีทางการแพทย์และนักเคมีอินทรีย์ เนื่องจากซอราเฟนิบเป็นยาที่ยังโคเคนส์ได้หลายชนิดและเป็นยาชนิดแรกที่สามารถใช้รักษามะเร็งตับและมะเร็งชนิดอื่นได้ จึงสามารถพัฒนาโครงสร้างเพื่อให้มีสมบัติทางเภสัช (pharmacological properties) ให้เหมาะสมกับการรักษาและให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเซลล์มะเร็งตับและมะเร็งชนิดอื่นๆ ได้เทียบเท่าหรือดีกว่าซอราเฟนิบต้นแบบ จึงมีรายงานการปรับเปลี่ยนโครงสร้างและสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบซอราเฟนิบและทดสอบฤทธิ์ด้านเซลล์มะเร็งต่างๆ จำนวนมาก เช่น การปรับเปลี่ยนโครงสร้างโดยแทนที่พิโคลิโนไมด์ (picolinamide) วงเบนซีนแกนกลาง (benzene core) และวงเอริลยูเรีย (aryl urea) ของซอราเฟนิบด้วยหมู่แทนที่หรือวงแหวนอื่นๆ และพบว่าโมเลกุลเลียนแบบเหล่านั้นมีฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งหลายชนิด เช่น เซลล์มะเร็งตับ (HepG2, PCL-PRF-5) เซลล์มะเร็งปอด (A549, H460) เซลล์มะเร็งเต้านม (MDA-MB-231, MCF-7) เซลล์มะเร็งปากมดลูก (HeLa) เซลล์มะเร็งลำไส้ (HT29, HCT116, HCT-15) เซลล์มะเร็งต่อมลูกหมาก (PC-3) ฯลฯ โดยเฉพาะการแทนที่วงพิโคลิโนไมด์ด้วยเฮเทอโรไซเคิลต่างๆ (heterocycles) เช่น วงแหวนไพราซีน (pyrazine) นิโคตินาไมด์ (nicotinamide) ควินาโซลีน (quinazoline) ควินาซาไลน์ไดโอน (quinazalinedione) อิมิดาโซล (imidazole) และอินดาโซล (indazole) ฯลฯ ทำให้มีฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็งหลายชนิดดีกว่าซอราเฟนิบต้นแบบ (Yao *et al.*, 2012; Sun *et al.*, 2018a; Sun *et al.*, 2018b; Džolić *et al.*, 2016; Khandan *et al.*, 2018; Kong *et al.*, 2015)

จากรายงานข้างต้น ทำให้การปรับเปลี่ยนโครงสร้างโดยการแทนที่วงพิโคลิโนไมด์ของซอราเฟนิบด้วยวงเฮเทอโรไซเคิลมีแนวโน้มทำให้มีฤทธิ์ด้านเซลล์มะเร็งตับและเซลล์มะเร็งอื่นๆ ได้ดีขึ้น จึงมีความเป็นไปได้ในการแทนที่วงพิโคลิโนไมด์ด้วยวง 1,2,3-ไตรเอโซล (1,2,3-triazole) โดยมีแนวคิดที่ว่าวง 1,2,3-ไตรเอโซลจะสามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวที่สำคัญกับโคเคนส์ได้หลายรูปแบบ เช่น อันตรกิริยาแบบไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) อันตรกิริยาแบบไพ-ไพ (π - π interaction) และพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ได้ในบริเวณเดียวกับพิโคลิโนไมด์ นอกจากนี้วงไตรเอโซลยังมีความคล้ายกับกรดอะมิโนธรรมชาติฮิสทีดีน (Histidine) มีความเสถียรต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) และมีรายงานว่าโครงสร้างที่มีวงไตรเอโซลมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย เช่น ด้านเชื้อรา (antifungal activity) ด้านเชื้อไวรัสเอชไอวี (anti-HIV activity) เป็นต้น (Guo *et al.*, 2015)

นอกจากนี้ในกระบวนการค้นพบยาจะต้องมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องสังเคราะห์ชุดโมเลกุลเลียนแบบที่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างให้มีหมู่แทนที่แตกต่างกันและมีความหลากหลาย ดังนั้นเส้นทางการสังเคราะห์จึงมีความสำคัญที่ทำให้การสังเคราะห์ชุดโมเลกุลมีประสิทธิภาพ โดยจะต้องเลือกเส้นทางที่มีการสังเคราะห์ชุดโมเลกุลเป็นเส้นตรงให้ได้สารมัธยันต์ (intermediate) ตัวสำคัญตัวเดียวก่อน แล้วในขั้นตอนสุดท้ายจึงจะมีการทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้นที่มีหมู่แทนที่ที่หลากหลายดังเส้นทางในภาพที่ 2a) หากสังเคราะห์ตามเส้นทางดังแสดงในภาพที่ 2b) จะทำให้ต้องทำปฏิกิริยาหลายขั้นตอน ซึ่งเป็นการสูญเสียเวลา แรงงาน และงบประมาณ



ภาพที่ 2 แสดงเส้นทางการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบที่เป็นไปได้

งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบโมเลกุลเลียนแบบชอราเฟนิบที่วงพิโคลินาไมด์ของชอราเฟนิบถูกแทนที่ด้วย 1,2,3-ไตรเอโซล ซึ่งเป็นตัวแทนของชุดโมเลกุลและศึกษาเส้นทางการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการสังเคราะห์ชุดโมเลกุลที่มีการเปลี่ยนแปลงหมู่แทนที่ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน นอกจากนี้จะทดสอบฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็งชนิดต่างๆ ของโมเลกุลที่สังเคราะห์ได้ในเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างของโมเลกุลเลียนแบบชอราเฟนิบที่มีวงไตรเอโซลเป็นองค์ประกอบในชุดต่อไปให้มีประสิทธิภาพการยับยั้งสูงขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สารเคมี วัสดุ และวิธีการ

สารตั้งต้น รีเอเจนต์ และสารเคมีอื่นๆ ซื้อจากบริษัท Tokyo Chemical Industry (TCI) Sigma-Aldrich และ Acros Organics ตัวทำละลายที่มีความบริสุทธิ์สูง (p.a. หรือ analytical grade) ซื้อจากบริษัท RCI Labscan และ Sigma Aldrich และตัวทำละลายสำหรับการทำสารให้บริสุทธิ์ใช้ระดับ commercial grade มาจาก RCI Labscan และ Carlo Erba ได้แก่ เฮกเซน (hexane), เอทิลอะซิเตต (ethyl acetate; EtOAc), ไดคลอโรมีเทน (dichloromethane;

DCM) เอ็น-บิวทานอล (*n*-butanol) และเมทานอล (methanol) โดยตัวทำละลายเหล่านี้จะถูกกลั่นอย่างง่ายก่อนใช้ น้ำกลั่นที่ใช้ผ่านกระบวนการรีเวอร์ส-ออสโมซิส (Reverse Osmosis; RO) การวิเคราะห์ติดตามและตรวจสอบสารและการดำเนินไปของปฏิกิริยาใช้ทีแอลซี (Thin Layer Chromatography; TLC) ชนิด silica gel 60 F₂₅₄ บนแผ่นอะลูมิเนียมจากบริษัท Merck ซึ่งสามารถติดตามสารบนทีแอลซีได้ภายใต้รังสี UV ที่ความยาวคลื่น (λ) 254 nm

2. การตรวจสอบโครงสร้าง

ข้อมูลนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance; NMR) ของ ^1H , ^{13}C และ ^{19}F ไอโซโทปของโมเลกุลถูกบันทึกด้วยเครื่อง Bruker AVANCE 300 spectrometer (300 MHz สำหรับ ^1H NMR, 75 MHz สำหรับ ^{13}C NMR และ 282 MHz สำหรับ ^{19}F NMR) โดยใช้ CDCl_3 , acetone- d_6 และ $\text{DMSO}-d_6$ แสดง chemical shift ในหน่วย ppm ค่า coupling constant (J) แสดงในหน่วย Hertz (Hz) และ multiplicity ถูกอธิบายด้วย s = singlet, d = doublet, t = triplet, q = quartet, m = multiplet, br = broad โดยตัวทำละลาย CDCl_3 ใช้ TMS เป็น internal standard สำหรับ ^1H และ ^{13}C -NMR กำหนดค่า chemical shift ที่ 0 ppm ตัวทำละลาย $\text{DMSO}-d_6$ กำหนดค่า chemical shift ที่ 2.51 ppm และ 39.5 ppm

สำหรับ ^1H และ ^{13}C NMR ตามลำดับ ใช้ CF_3COOH เป็น internal standard สำหรับ ^{19}F NMR กำหนดค่า chemical shift ที่ -76.55 ppm และตัวทำละลาย acetone- d_6 กำหนดค่า chemical shift ที่ 2.06 ppm และ 29.9 ppm สำหรับ ^1H และ ^{13}C NMR ตามลำดับ

ข้อมูลมวลโมเลกุลถูกบันทึกด้วยเครื่อง Bruker Daltonics - micrOTOF โดยใช้ ESI positive mode ค่าที่แสดงคือ มวลต่อประจุ (mass/charge; m/z)

จุดหลอมเหลว (melting point) ของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งหาได้จากเครื่องหาจุดหลอมเหลว Stuart scientific melting point apparatus SMP2

1) การสังเคราะห์เบนซิลเอไซด์ (benzyl azide; 4) (Wilkening *et al.*, 2011)

กวนสารละลายเบนซิลโบรไมด์ (benzyl bromide; 3) (0.5 mL, 4.20 mmol, 1.0 eq) และ โซเดียมเอไซด์ (sodium azide) (0.33 g, 5.11 mmol, 1.2 eq) ในตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulfoxide; DMSO) (8.0 mL) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 19 ชั่วโมง แล้วหยุดปฏิกิริยาโดยการเติมน้ำ (20 mL) ลงไปช้าๆ แล้วกวนต่อประมาณ 10 นาที สกัดของผสมด้วยไดคลอโรมีเทน (dichloromethane; DCM) (3 $\times$ 50 mL) โดยรวมชั้นตัวทำละลายอินทรีย์แล้วเติมแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (anhydrous Na_2SO_4) จากนั้นกรองแล้วนำสารละลายใสไประเหยแบบลดความดัน จะได้ของเหลวใสสีเหลืองของเบนซิลเอไซด์ (4) (0.61 g, 4.58 mmol, quantitative yield). ^1H NMR (300 MHz, CDCl_3) δ (ppm): 4.32 (s, 2H), 7.10-7.40 (m, 5H).

2) การสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบ 2 เส้นทางที่ 1

2.1) เอ็น-อะเซทิล-4-อะมิโน-1-โพรพากิลออกซีเบนซีน (*N*-acetyl-4-amino-1-propargyloxy benzene; 6) (Hansen *et al.*, 2005)

กวนสารละลาย เอ็น-อะเซทิล-4-อะมิโนฟีนอล (*N*-acetyl-4-aminophenol; 5) (0.15 g, 0.99 mmol, 1.0 eq) และโพแทสเซียมคาร์บอเนต (potassium carbonate; K_2CO_3) (0.17 g, 1.25 mmol, 1.3 eq) ใน เอ็น,เอ็น'-ไดเมทิลฟอร์มามิด (DMF) (5 mL) ที่อุณหภูมิ 0°C หลังจากนั้นเติมโพรพากิลโบรไมด์ (propargyl bromide) (0.1 mL, 1.20 mmol, 1.2 eq) ลงไปช้าๆ และกวนสารละลายต่อไปจนมีอุณหภูมิห้อง แล้วเติมโพรพากิลโบรไมด์ (propargyl bromide) (0.1 mL, 1.20 mmol, 1.2 eq) ช้าๆ ซ้ำอีกครั้ง แล้วทำการกวนทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงหยุดปฏิกิริยาด้วยการเติมน้ำ (20 mL) ทำการสกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether; Et_2O) (3 $\times$ 30 mL) แล้วรวมชั้นตัวทำละลายอินทรีย์มาสกัดด้วยน้ำเกลืออิ่มตัว (brine) (1 $\times$ 30 mL) จากนั้นนำชั้นตัวทำละลายอินทรีย์มาเติมแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (anhydrous Na_2SO_4) กรอง แล้วนำไประเหยแบบลดความดัน และนำสิ่งที่เหลือไปทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography) โดยใช้ซิลิกาเจล (silica gel) (60% EtOAc/hexane) จะได้ของแข็งสีขาวของ เอ็น-อะเซทิล-4-อะมิโน-1-โพรพากิลออกซีเบนซีน (6) (96.3 mg, 0.51 mmol, 77%). Mp. = 121-124 °C; ^1H NMR (300 MHz, CDCl_3) δ (ppm): 2.10 (s, 3H), 2.52 (t, J = 2.4 Hz, 1H), 4.64 (d, J = 2.1 Hz, 2H), 6.88 (d, J = 9.0 Hz, 2H), 7.40 (d, J = 9.0 Hz, 2H), 8.13 (br s, 1H); ^{13}C NMR (75 MHz, CDCl_3) δ (ppm): 24.1, 56.1, 75.6, 78.6, 115.3 (2C), 122.0 (2C), 132.0, 154.3, 168.9.

2.2) เอ็น-(4-((1-เบนซิล-1*H*-1,2,3-ไตรเอโซล-4-อิล) เมทอกซี)ฟีนิล)อะเซตามิด (*N*-(4-((1-benzyl-1*H*-1,2,3-triazol-4-yl)methoxy)phenyl) acetamide; 7) (Hansen *et al.*, 2005)

กวนสารละลาย เอ็น-อะเซทิล-4-อะมิโน-1-โพรพาแกอิลออกซีเบนซีน (6) (94.9 mg, 0.50 mmol, 1.0 eq) เบนซิลเอไซด์ (benzyl azide, 4) (66.9 mg, 0.50 mmol, 1.0 eq) โซเดียมแอสคอร์เบต (sodium ascorbate) (5.2 mg, 26 μ mol, 0.05 eq) และ สารละลาย 1 โมลลาร์ คอปเปอร์ซัลเฟต (1 M copper sulfate; 1 M CuSO₄) (25 μ L, 25 μ mol, 0.05 eq) ใน ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำ:เอ็น-บิวทานอล (H₂O:n-BuOH, 1:1, 1 mL) ที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วยการเติมน้ำแข็งลงไป (10 mL) และ 10% v/v สารละลายแอมโมเนีย (1.5 mL) กวนต่อไปประมาณ 5 นาที จะตกตะกอน กรอง และล้างด้วยน้ำเย็น จะได้สารผลิตภัณฑ์ เอ็น-(4-((1-เบนซิล-1*H*-1,2,3-ไตรเอโซล-4-อิล)เมทอกซี)ฟีนิล)อะเซตาไมด์ (7) ที่เป็นของแข็งสีขาว (152.6 mg, 0.47 mmol, 95%). Mp. = 137-139 °C; ¹H NMR (300 MHz, acetone-*d*₆) δ (ppm): 2.93 (s, 3H), 5.14 (s, 2H), 5.65 (s, 2H), 6.95 (d, *J* = 9.0 Hz, 2H), 7.30-7.42 (m, 5H), 7.56 (d, *J* = 9.0 Hz, 2H), 8.06 (s, 1H), 9.09 (br s, 1H); ¹³C NMR (75 MHz, acetone-*d*₆) δ (ppm): 24.1, 54.2, 62.6, 114.6 (2C), 121.5 (2C), 124.7, 128.9 (2C), 129.1, 129.7 (2C), 134.1, 137.0, 144.8, 155.4, 168.6.

2.3) 4-((1-เบนซิล-1*H*-1,2,3-ไตรเอโซล-4-อิล) เมทอกซี)อะนิลีน (4-((1-benzyl-1*H*-1,2,3-triazol-4-yl)methoxy)aniline; 8)

กวนสารละลาย เอ็น-(4-((1-เบนซิล-1*H*-1,2,3-ไตรเอโซล-4-อิล)เมทอกซี)ฟีนิล)อะเซตาไมด์ (7) (91.9 mg, 0.29 mmol, 1.0 eq) ในสารละลาย 2 โมลลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (2 M sodium hydroxide; 2 M NaOH) (6 mL) ที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำสารละลายให้เย็นลงจนถึง อุณหภูมิห้อง เติม 2 โมลลาร์ กรดไฮโดรคลอริก (2 M hydrochloric acid, 2 M HCl) (6 mL) อย่าง

ระมัดระวัง สกัดด้วยเอทิลอะซิเตต (ethyl acetate; EtOAc) (3 $\times$ 30 mL) รวมชั้นตัวทำละลายอินทรีย์มา สกัดด้วยน้ำเกลืออิ่มตัว (brine) (30 mL) แล้วเติมแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (anhydrous Na₂SO₄) กรอง และนำสารละลายไประเหยแบบลดความดันและ นำสิ่งที่เหลือไปแยกให้บริสุทธิ์โดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography) โดยใช้ซิลิกาเจล (silica gel) (80% EtOAc/hexane) จะได้สาร 4-((1-เบนซิล-1*H*-1,2,3-ไตรเอโซล-4-อิล)เมทอกซี)อะนิลีน (8) เป็นของแข็งสีขาว (71.3 mg, 0.22 mmol, 82%). Mp. = 115-117 °C; ¹H NMR (300 MHz, CDCl₃) δ (ppm): 5.05 (s, 2H), 5.45 (s, 2H), 6.57 (d, *J* = 9.0 Hz, 2H), 6.76 (d, *J* = 9.0 Hz, 2H), 7.20-7.23 (m, 2H), 7.25-7.37 (m, 3H), 7.49 (s, 1H); ¹³C NMR (75 MHz, CDCl₃) δ (ppm): 54.0, 62.8, 116.1 (2C), 116.3 (2C), 122.7, 128.1 (2C), 128.7, 129.0 (2C), 134.6, 140.7, 144.9, 151.2; HRMS (ESI+, MeOH): *m/z* = 281.1397 [M+H]⁺ calcd. 281.1397 for C₁₆H₁₇N₄O₁.

2.4) 1-(4-((1-เบนซิล-1*H*-1,2,3-ไตรเอโซล-4-อิล)เมทอกซี)ฟีนิล)-3-(4-คลอโร-3-(ไตรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิล)ยูเรีย (1-(4-((1-benzyl-1*H*-1,2,3-triazol-4-yl)methoxy)phenyl)-3-(4-chloro-3-(trifluoromethyl)phenyl)urea; 2) (Džolić *et al.*, 2016)

กวนสารละลาย 4-((1-เบนซิล-1*H*-1,2,3-ไตรเอโซล-4-อิล)เมทอกซี)อะนิลีน (8) (60.3 mg, 0.22 mmol, 1.0 eq) กับ 4-คลอโร-3-(ไตรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิลไอโซไซยาเนต (4-chloro-3-(trifluoromethyl)phenyl isocyanate; 9) (61.1 g, 0.28 mmol, 1.3 eq) ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (dichloromethane; DCM) (4 mL) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายไประเหยแบบลดความดัน จากนั้นแยกให้บริสุทธิ์โดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography) โดยใช้ซิลิกาเจล (silica gel) (50%

EtOAc/hexane) จะได้สารผลิตภัณฑ์ 1-(4-((1-เบนซิล-1*H*-1,2,3-ไตรเอโซล-4-อิล)เมทอกซี)ฟีนิล)-3-(4-คลอโร-3-(ไทรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิล)ยูเรีย (**2**) เป็นของแข็งสีน้ำตาลอ่อน (82.1 mg, 0.16 mmol, 75%). Mp. = 204-206 °C; ¹H NMR (300 MHz, DMSO-*d*₆) δ (ppm): 5.09 (s, 2H), 5.61 (s, 2H), 6.97 (d, *J* = 9.0 Hz, 2H), 7.25-7.50 (m, 7H), 7.59 (d, *J* = 8.7 Hz, 1H), 7.63 (dd, *J* = 8.7, 2.1 Hz, 1H), 8.09 (d, *J* = 1.8 Hz, 1H), 8.27 (s, 1H), 8.66 (s, 1H), 9.10 (s, 1H); ¹³C NMR (75 MHz, DMSO-*d*₆) δ (ppm): 52.9, 61.3, 115.0 (2C), 116.7 (q, ³*J*_{CF} = 6.0 Hz), 120.5 (2C), 122.1 (q, ³*J*_{CF} = 2.4 Hz), 122.8 (q, ¹*J*_{CF} = 271.5 Hz), 122.9, 124.6, 126.3 (q, ²*J*_{CF} = 30.0 Hz), 127.9 (2C), 128.1, 128.8 (2C), 131.9, 132.5, 136.0, 139.6, 143.2, 152.6, 153.6; ¹⁹F NMR (282 MHz, DMSO-*d*₆) δ (ppm): -63.83.

3) การสังเคราะห์โพลิเมอร์แบบ 2 เส้นทางที่ 2

3.1) 1-(4-คลอโร-3-(ไทรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิล)-3-(4-ไฮดรอกซีฟีนิล)ยูเรีย (1-(4-chloro-3-(trifluoromethyl)phenyl)-3-(4-hydroxyphenyl)urea; **12**) (Džolić *et al.*, 2016)

กวนสารละลาย 4-อะมิโนฟีนอล (4-amino phenol; **11**) (0.22 g, 2.0 mmol, 1.0 eq) และ 4-คลอโร-3-(ไทรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิลไอโซไซยาเนต (4-chloro-3-(trifluoromethyl)phenyl isocyanate; **9**) (0.57 g, 2.5 mmol 1.3 eq) ในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (dichloromethane; DCM) (14 mL) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำสารละลายไประเหยแบบลดความดัน จากนั้นแยกให้บริสุทธิ์โดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography) โดยใช้ซิลิกาเจล (silica gel) (60% EtOAc/hexane) จะได้ 1-(4-คลอโร-3-(ไทรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิล)-3-(4-ไฮดรอกซีฟีนิล)ยูเรีย (**12**) เป็นของแข็งสีขาว (0.56 g, 1.70

mmol, 85%). Mp. = 223-225 °C; ¹H NMR (300 MHz, DMSO-*d*₆) δ (ppm): 6.71 (d, *J* = 8.7 Hz, 2H), 7.23 (d, *J* = 9.0 Hz, 2H), 7.57 (d, *J* = 9.0 Hz, 1H), 7.62 (dd, *J* = 9.0, 1.8 Hz, 1H), 8.09 (s, 1H), 8.48 (s, 1H), 9.02 (s, 1H), 9.13 (s, 1H); ¹³C NMR (75 MHz, DMSO-*d*₆) δ (ppm): 115.7 (2C), 117.1 (q, ³*J*_{CF} = 6.0 Hz), 121.7 (2C), 122.5 (q, ³*J*_{CF} = 2.4 Hz), 123.3, 123.3 (q, ¹*J*_{CF} = 271.5 Hz), 127.1 (q, ²*J*_{CF} = 30.0 Hz), 130.8, 132.4, 140.0, 153.2, 153.4; ¹⁹F NMR (282 MHz, DMSO-*d*₆) δ (ppm): -63.13; HRMS (ESI+, MeOH): *m/z* = 353.0275 [M+Na]⁺ calcd. 353.0281 for C₁₄H₁₀ClF₃N₂O₂Na.

3.2) 1-(4-คลอโร-3-(ไทรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิล)-3-(4-(พรอพ-2-ไอน์-1-อิลอกซี)ฟีนิล)ยูเรีย (1-(4-chloro-3-(trifluoromethyl)phenyl)-3-(4-(prop-2-yn-1-yloxy)phenyl)urea; **13**) (Hansen *et al.*, 2005)

กวนสารละลาย 1-(4-คลอโร-3-(ไทรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิล)-3-(4-ไฮดรอกซีฟีนิล)ยูเรีย (**12**) (0.52 g, 1.58 mmol, 1.0 eq) โพรพากิลโบรไมด์ (propargyl bromide) (1.5 mL, 1.68 mmol, 1.1 eq) และ โพแทสเซียมคาร์บอเนต (potassium carbonate; K₂CO₃) (0.24 g, 1.75 mmol, 1.1 eq) ในตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulfoxide; DMSO) (5 mL) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นหยุดปฏิกิริยาโดยการเติมน้ำแข็งลงไป (10 mL) แล้วกวนต่อจนถึงอุณหภูมิห้อง สกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether; Et₂O) (3 × 30 mL) รวมชั้นตัวทำละลายอินทรีย์มาเติมแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต (anhydrous Na₂SO₄) กรอง แล้วนำสารละลายใส่ไประเหยแบบลดความดัน จากนั้นแยกให้บริสุทธิ์โดยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography) โดยใช้ซิลิกาเจล (silica gel) (20% EtOAc/hexane) จะได้ผลิตภัณฑ์ 1-(4-คลอโร-3-(ไทรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิล)-3-(4-(พรอพ-2-ไอน์-1-อิลอกซี)

ฟีนิล)ยูเรีย (**13**) เป็นของแข็งสีขาว (0.39 g, 1.05 mmol, 80%). Mp. = 195-197 °C; ^1H NMR (300 MHz, DMSO- d_6) δ (ppm): 3.54 (t, J = 2.1 Hz, 1H), 4.75 (d, J = 2.1 Hz, 2H), 6.93 (d, J = 9.0 Hz, 2H), 7.38 (d, J = 9.0 Hz, 2H), 7.58 (d, J = 8.7 Hz, 1H), 7.63 (dd, J = 8.7, 2.1 Hz, 1H), 8.10 (s, 1H), 8.68 (s, 1H), 9.09 (s, 1H); ^{13}C NMR (75 MHz, DMSO- d_6) δ (ppm): 55.6, 78.1, 79.6, 115.3 (2C), 116.7 (q, $^3J_{CF}$ = 6.0 Hz), 120.6 (2C), 122.2 (q, $^3J_{CF}$ = 2.4 Hz), 122.9 (q, $^1J_{CF}$ = 271.5 Hz), 123.0, 126.7 (q, $^2J_{CF}$ = 30.0 Hz), 132.1, 133.0, 139.6, 152.7, 152.8; ^{19}F NMR (282 MHz, DMSO- d_6) δ (ppm): -63.03; HRMS (ESI+, MeOH): m/z = 391.0432 [M+Na] $^+$ calcd. 391.0437 for $\text{C}_{17}\text{H}_{12}\text{ClF}_3\text{N}_2\text{O}_2\text{Na}$.

3.3) 1-(4-((1-เบนซิล-1*H*-1,2,3-ไตรเอโซล-4-อิล)เมทอกซี)ฟีนิล)-3-(4-คลอโร-3-(ไตรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิล)ยูเรีย (1-(4-((1-benzyl-1*H*-1,2,3-triazol-4-yl)methoxy)phenyl)-3-(4-chloro-3-(trifluoromethyl)phenyl)urea; **2**) (Hansen *et al.*, 2005)

กวนสารละลาย 1-(4-คลอโร-3-(ไตรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิล)-3-(4-(พรอพ-2-ไอน์-1-อิลอกซี)ฟีนิล)ยูเรีย (**13**) (0.16 g, 0.43 mmol, 1.0 eq) และเบนซิลเอไซด์ (benzyl azide, **4**) (70.3 mg, 0.53 mmol, 1.2 eq) ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำ:เอ็็น-บิวทานอล (H_2O :*n*-BuOH, 1:1, 1.6 mL) ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมโซเดียมแอสคอร์เบต (sodium ascorbate) (4.4 mg, 22 μmol , 0.05 eq) และสารละลาย 1 โมลลาร์ คอปเปอร์ซัลเฟต (1 M copper sulfate; 1 M CuSO_4) (22 μL , 22 μmol , 0.05 eq) ลงไปแล้วกวนต่อไปที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาโดยการเติมน้ำแข็งลงไป (10 mL) และ 10% v/v สารละลายแอมโมเนีย (1.5 mL) ตามลำดับ กวนต่อไปประมาณ 5 นาที จนตกตะกอน แล้วกรอง และนำของแข็งไปทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีคอลัมน์โคร

มาโทกราฟี (column chromatography) โดยใช้ซิลิกาเจล (silica gel) (60% EtOAc/hexane) จะได้สารผลิตภัณฑ์ 1-(4-((1-เบนซิล-1*H*-1,2,3-ไตรเอโซล-4-อิล)เมทอกซี)ฟีนิล)-3-(4-คลอโร-3-(ไตรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิล)ยูเรีย (**2**) เป็นของแข็งสีเทา (0.19 g, 0.38 mmol, 89%). Mp. = 204-206 °C; ^1H NMR (300 MHz, DMSO- d_6) δ (ppm): 5.09 (s, 2H), 5.62 (s, 2H), 6.97 (d, J = 9.0 Hz, 2H), 7.25-7.50 (m, 7H), 7.59 (d, J = 8.7 Hz, 1H), 7.63 (dd, J = 6.9, 2.1 Hz, 1H), 8.09 (d, J = 1.8 Hz, 1H), 8.28 (s, 1H), 8.71 (s, 1H), 9.14 (s, 1H; HRMS (ESI+, MeOH): m/z = 524.1072 [M+Na] $^+$ calcd. 524.1072 for $\text{C}_{24}\text{H}_{19}\text{ClF}_3\text{N}_5\text{O}_2\text{Na}$

หมายเหตุ ^1H NMR ของโมเลกุลเลียนแบบ **2** สอดคล้องกับโมเลกุลเลียนแบบ **2** ที่สังเคราะห์ได้จากเส้นทางที่หนึ่ง อีกทั้งยืนยันโครงสร้างด้วย High-Resolution Mass Spectrometry (HRMS)

3. การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็ง

นำ 1-(4-((1-เบนซิล-1*H*-1,2,3-ไตรเอโซล-4-อิล)เมทอกซี)ฟีนิล)-3-(4-คลอโร-3-(ไตรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิล)ยูเรีย (**2**) ไปทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวเฉียบพลันชนิดลิมโฟบลาสต์ (MOLT-3) เซลล์มะเร็งปอด (A549) และเซลล์มะเร็งท่อน้ำดี (HuCCA-1) ในหลอดทดลองด้วยเทคนิคเอ็มทีที (MTT assay) โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

เติมเซลล์มะเร็งจำนวนประมาณ 2×10^4 เซลล์ลงในอาหารเลี้ยงเซลล์ DMEM ใน 10% FBS ในถาดหลุมเลี้ยงเซลล์ชนิด 96 หลุม (96-well plate) บ่มไว้ในตู้เพาะเลี้ยงเซลล์ที่อุณหภูมิ 37 °C ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 5 % เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำอาหารเลี้ยงเซลล์ออกจากหลุม แล้วเติมสารละลาย 0.1% ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulfoxide; DMSO) ของ 1-(4-((1-เบนซิล-1*H*-1,2,3-ไตรเอโซล-4-อิล)เมทอกซี)ฟีนิล)-3-(4-คลอโร-3-(ไตรฟลูออโรเมทิล)ฟีนิล)ยูเรีย (**2**) หรือ Etoposide

หรือ Doxorubicin hydrochloride เป็นชุดควบคุมที่ความเข้มข้นต่างๆ บ่มไว้ในตู้เพาะเลี้ยงเซลล์ที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างด้วย PBS (0.5 mL) และเติม 0.04 โมลาร์ กรดไฮโดรคลอริก (0.04 M hydrochloric acid; 0.04 M HCl) ในไอโซโพรพานอล (isopropanol) (0.5 mL) เติมน้ำละลาย 0.5 mg/mL MTT (50 µL) ในหลุมเซลล์ บ่มไว้ในตู้เพาะเลี้ยงเซลล์ที่ อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำสารละลาย MTT ออกและละลายผลึกที่เกิดขึ้นด้วยไอโซโพรพานอล (isopropanol) (0.5 mL) และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องไมโครเพลทรีดเดอร์ (microplate reader) ที่ความยาวคลื่น 570-590 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปหาค่า IC_{50} เพื่อวัดค่าความเป็นพิษต่อเซลล์ของแต่ละตัวอย่าง โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (Stoddart, 2011)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้เสนอการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบชอราเฟนิบ 2 ที่มีวง 1,2,3-ไตรเอโซลที่เชื่อมกับหมู่เบนซิล โดยศึกษาการสังเคราะห์ 2 เส้นทางที่เหมาะสมกับการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบ 2 และเพื่อเป็นแนวทางในการสังเคราะห์ชุดโมเลกุลเลียนแบบชนิดนี้ที่มีการแทนที่บนวงเอริลและเบนซิลที่แตกต่างกัน โดยเส้นทางที่หนึ่งจะเป็นการสังเคราะห์โมเลกุลเป้าหมาย 2 ด้วยการทำปฏิกิริยาคลิกก่อนแล้วตามด้วยการสร้างส่วนยูเรียเพื่อเชื่อมต่อกับวงเอริล (ภาพที่ 3) ส่วนเส้นทางที่สองเป็นการสังเคราะห์ 2 โดยการสร้างยูเรียก่อนแล้วจึงนำมาทำปฏิกิริยาคลิกเพื่อเชื่อมต่อกับวงเบนซิล (ภาพที่ 4) ซึ่ง โมเลกุลของสารที่สังเคราะห์ได้จะยืนยันโครงสร้างโดยใช้เทคนิคทางสเปกโตรสโคปี (Nuclear Magnetic Resonance; NMR) และโมเลกุล

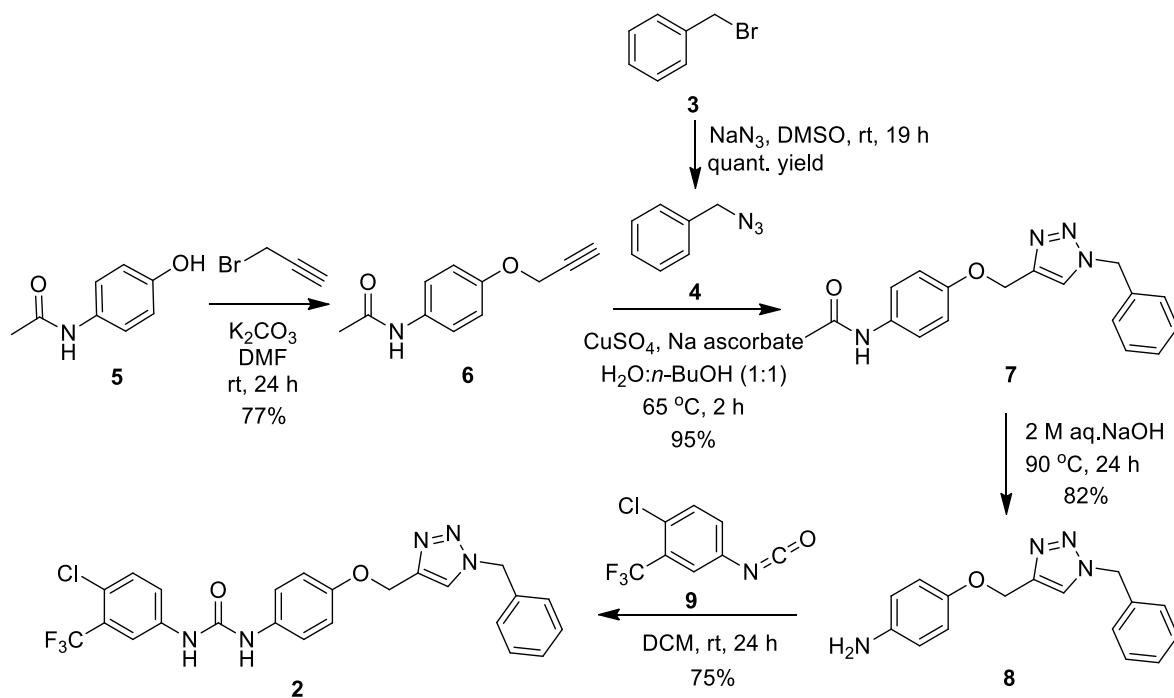
เป้าหมายจะใช้เมสสเปกโตรเมตรี (High-Resolution Mass Spectrometry; HRMS) ร่วมด้วย

เส้นทางที่หนึ่ง โมเลกุลเลียนแบบชอราเฟนิบ 2 ถูกสังเคราะห์ด้วยเส้นทางที่ยาวที่สุด (longest linear sequence) ด้วยปฏิกิริยา 4 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยสามารถเริ่มได้จากการนำ เอ็น-อะเซทิล-4-อะมิโนฟีนอล (5) มาทำปฏิกิริยาโพรพาทิลเลชันด้วยโพรพาทิลโบรไมด์ (Hansen *et al.*, 2005) จะได้สารประกอบอัลไคน 6 ด้วยผลผลิตร้อยละ 77 แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับเบนซิลเอไซด์ (4) ซึ่งสังเคราะห์มาจากเบนซิลโบรไมด์ (3) และโซเดียมเอไซด์ (Wilkening *et al.*, 2010) ทำให้เกิดปฏิกิริยาคลิกสร้างวงไตรเอโซลในสถานะที่มีคอปเปอร์ (II) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะเกิดผ่านสuszเจน 1,3-ไดโพลาร์ไซโคลแอดดิชัน (Huisgen 1,3-dipolar cycloaddition) (Hansen *et al.*, 2005) ทำให้ได้สารประกอบที่มีวงไตรเอโซล 7 ที่ต้องการด้วยผลผลิตร้อยละ 95 หลังจากนั้นทำการเอาหมู่ปกป้องอะเซทิลออกในสถานะเบสจะได้อะนีน 8 อย่างราบรื่นด้วยผลผลิตร้อยละ 82 และนำไปทำปฏิกิริยาการเติมด้วยนิวคลีโอไฟล์ (nucleophilic addition) กับไอโซไซยานต 9 (Džolić *et al.*, 2016) เพื่อสร้างยูเรียเชื่อมระหว่างส่วนของเอริลและไตรเอโซล จะได้โมเลกุลเลียนแบบชอราเฟนิบเป้าหมาย 2 ด้วยผลผลิตร้อยละ 75 ซึ่งการสังเคราะห์เส้นทางนี้เริ่มต้นจากอะมิโนฟีนอลที่ได้รับการปกป้องด้วยอะเซทิล 5 โดยเส้นทางที่ยาวที่สุดใช้ปฏิกิริยา 4 ขั้นตอน ด้วยผลผลิตรวมร้อยละ 45

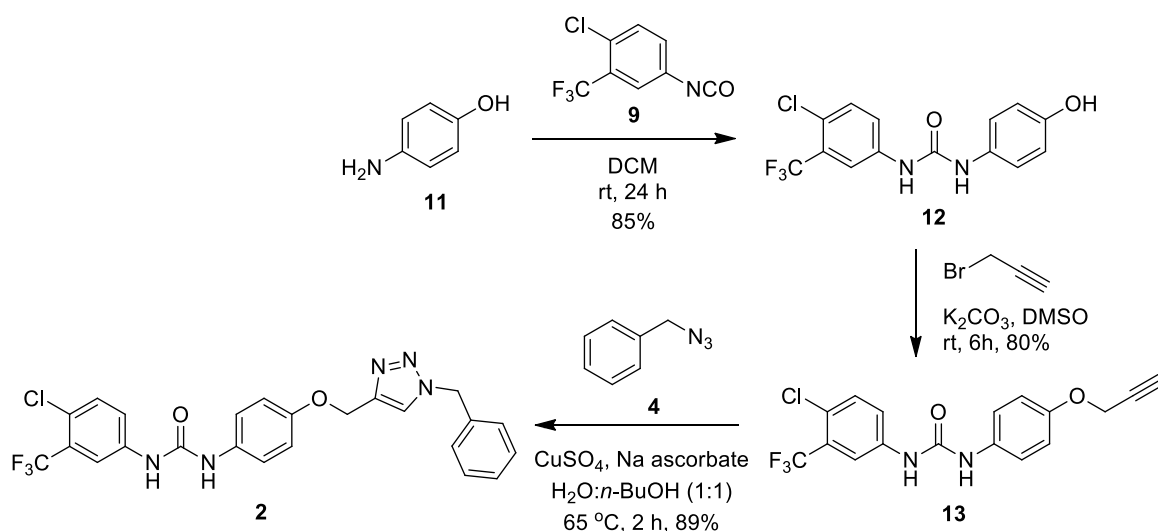
เส้นทางที่สอง โมเลกุลเลียนแบบชอราเฟนิบ 2 ถูกสังเคราะห์ด้วยเส้นทางที่ยาวที่สุดด้วยปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยเริ่มจากการนำ 4-อะมิโนฟีนอล (11) มาสร้างสะพานยูเรียกับไอโซไซยานต 9 (Džolić *et al.*, 2016) จะได้สารประกอบยูไรโดฟีนอล 12 ด้วยผลผลิตร้อยละ 85 หลังจากนั้นนำมาทำปฏิกิริยากับโพรพาทิลโบรไมด์ในสถานะเบส

(Hansen *et al.*, 2005) จะได้สารประกอบอัลไคน์ **13** ด้วยผลผลิตร้อยละ 80 และขั้นตอนสุดท้ายจะนำอัลไคน์ **13** และเบนซิลเอไซด์ (**4**) มาสร้างวง 1,2,3-ไตรเอโซลระหว่างกันในสถานะที่มีคอปเปอร์ (II) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะเกิดผ่านสุชเคน 1,3-ไดโพลาร์ไฮโคลแอคดิชัน (Huisgen 1,3-dipolar

cycloaddition) (Hansen *et al.*, 2005) จะได้โมเลกุลเลียนแบบฮอร์โมน **2** ที่ต้องการด้วยผลผลิตร้อยละ 89 ซึ่งการสังเคราะห์ด้วยเส้นทางนี้เริ่มต้นจาก 4-อะมิโนฟีโนล **11** โดยเส้นทางที่ยาวที่สุดใช้ปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน ด้วยผลผลิตร้อยละ 61



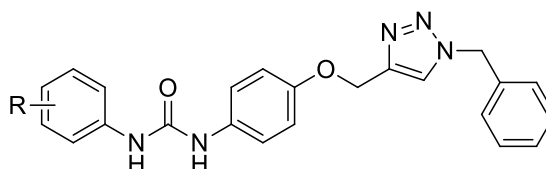
ภาพที่ 3 เส้นทางที่หนึ่งสำหรับการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบฮอร์โมน **2** และร้อยละผลผลิต



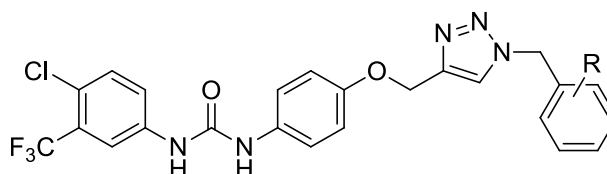
ภาพที่ 4 เส้นทางที่สองสำหรับการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบฮอร์โมน **2** และร้อยละผลผลิต

จากผลการทดลอง พบว่าทั้งสองเส้นทางประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบซอราเฟนิบ 2 โดยใช้สารตั้งต้นและรีเอเจนต์คล้ายกัน แต่มีลำดับปฏิกิริยาและร้อยละผลผลิต

ต่างกัน และคาดว่าวิธีการสังเคราะห์ทั้งสองเส้นทางจะสามารถใช้สังเคราะห์ชุดโมเลกุลเลียนแบบซอราเฟนิบ 14 และ 15 (ภาพที่ 5) ที่มีการแทนที่ด้วยหมู่แทนที่ต่างๆ บนวงเอริลและเบนซิลได้ด้วย



triazole-containing sorafenib analogue (14)



triazole-containing sorafenib analogue (15)

ภาพที่ 5 โครงสร้างโมเลกุลเลียนแบบซอราเฟนิบที่มีวงไตรเอโซล 14 และ 15 ที่เหมาะสำหรับการสังเคราะห์ชุดโมเลกุลด้วยเส้นทางที่หนึ่งและสอง ตามลำดับ

หากพิจารณาจากความต้องการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบ 2 เพียงโครงสร้างเดียว จะพบว่าการสังเคราะห์ 2 ด้วยเส้นทางที่สอง จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า เนื่องจากมีจำนวนขั้นของปฏิกิริยาน้อยกว่า และมีร้อยละผลผลิตรวมสูงกว่า แต่หากต้องการสังเคราะห์ชุดโมเลกุลเลียนแบบ 14 ซึ่งมีหมู่แทนที่ที่แตกต่างกันบนวงเอริล และ 15 ซึ่งมีหมู่แทนที่ที่แตกต่างกันบนวงเบนซิลแล้ว ต้องพิจารณาลำดับการสังเคราะห์อย่างละเอียดเพื่อให้การสังเคราะห์มีประสิทธิภาพสูงสุดดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งเส้นทางที่หนึ่งเหมาะสำหรับเป็นแนวทางในการสังเคราะห์ชุดโมเลกุลเลียนแบบ 14 ที่มีการแทนที่บนวงเอริลที่ต่อกับยูเรียด้วยหมู่แทนที่ที่แตกต่างกัน โดยปฏิกิริยาในขั้นตอนสุดท้ายใช้ไอโซไซยาเนตที่มีหมู่แทนที่ต่างกันทำปฏิกิริยากับอะมิโน 8 จะได้ชุดโมเลกุลเลียนแบบ 14 ที่ต้องการ ส่วนเส้นทางที่สองเหมาะ

สำหรับเป็นแนวทางในการสังเคราะห์ชุดโมเลกุลเลียนแบบ 15 ที่มีการแทนที่บนวงเบนซิลที่ต่อกับไตรเอโซลด้วยหมู่แทนที่แตกต่างกัน โดยในขั้นตอนสุดท้ายใช้เบนซิลเอไซด์ที่มีหมู่แทนที่ต่างๆ ทำปฏิกิริยากับอัลไคน์ 13 จะได้ชุดโมเลกุลเลียนแบบ 15 ที่ต้องการ

หลังจากประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์โมเลกุลเลียนแบบซอราเฟนิบ 2 แล้ว ได้นำ 2 ไปทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง 3 ชนิดในหลอดทดลอง (Stoddart, 2011) ได้แก่ เซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวเฉียบพลันชนิดลิมโฟบลาสต์ (MOLT-3) เซลล์มะเร็งปอด (A549) และเซลล์มะเร็งท่อน้ำดี (HuCCA-1) ด้วยเทคนิคเอ็มทีที (MTT assay) ได้ผลการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งที่แสดงด้วยค่า IC_{50} (half-maximal inhibitory concentration) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งในหลอดทดลองที่แสดงด้วยค่า IC_{50} (half-maximal inhibitory concentration) ในหน่วยไมโครโมลลาร์ (μM) ของโมเลกุลเลียนแบบเป้าหมาย 2

เซลล์มะเร็ง	IC_{50} (μM)
MOLT-3	>100
A549	>100
HuCCA-1	>100

จากผลการทดลองพบว่า โมเลกุลเลียนแบบซอราเฟนิบ 2 ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งเซลล์มะเร็งทั้งสามชนิด โดยมีค่า IC_{50} >100 μM อย่างไรก็ตาม โมเลกุลเลียนแบบ 2 มีความน่าสนใจจะนำไปทดสอบกับเซลล์มะเร็งตับและยังสามารถพัฒนาโครงสร้างให้มีหมู่แทนที่บนวงเอริลและเบนซิล (ชุดโมเลกุลเลียนแบบ 14 และ 15) ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มประสิทธิภาพแรงยึดเหนี่ยวกับบริเวณยึดจับ (binding site) ของเป้าหมายกับโมเลกุลที่สังเคราะห์ขึ้น ส่งผลต่อฤทธิ์การยับยั้งเซลล์มะเร็งให้ดีขึ้นได้ ซึ่งการสังเคราะห์ชุดโมเลกุลเลียนแบบ 14 และ 15 สามารถใช้แนวทางการสังเคราะห์ที่ได้นำเสนอไว้ข้างต้น

สรุป

โมเลกุลเลียนแบบซอราเฟนิบ 2 ที่มีหมู่ไธโรเอโซลที่เชื่อมต่อกับเบนซิลเป็นโครงสร้างใหม่ที่ถูกออกแบบเพื่อใช้ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งและถูกสังเคราะห์ได้ด้วย 2 เส้นทางที่มีลำดับปฏิกิริยาแตกต่างกัน ซึ่งทั้งสองเส้นทางสามารถสังเคราะห์โมเลกุลเป้าหมาย 2 ได้สำเร็จ โดยเส้นทางที่หนึ่ง (ปฏิกิริยาคลิกแล้วตามด้วยการสร้างยูเรีย) เหมาะสำหรับการสังเคราะห์ชุดโมเลกุลเลียนแบบ 14 ซึ่งมีหมู่แทนที่บนวงเอริลที่แตกต่างกัน ส่วนเส้นทางที่สอง (สร้างยูเรียแล้วตามด้วยปฏิกิริยาคลิก) เหมาะสำหรับการสังเคราะห์ 2 มากกว่าเส้นทางที่หนึ่งด้วยขั้นตอนที่น้อยกว่าและร้อยละ

ผลผลิตรวมสูงกว่า และเส้นทางนี้ยังเหมาะสำหรับเป็นแนวทางในการสังเคราะห์ชุดโมเลกุลเลียนแบบ 15 ซึ่งมีหมู่แทนที่บนเบนซิลที่แตกต่างกันอีกด้วย อย่างไรก็ตาม โมเลกุลเป้าหมาย 2 ที่สังเคราะห์ได้ไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวเฉียบพลันชนิดลิมโฟบลาสต์ (MOLT-3) เซลล์มะเร็งปอด (A549) และเซลล์มะเร็งท่อน้ำดี (HuCCA-1) ซึ่งสามารถถูกพัฒนาโครงสร้างด้วยการเติมหมู่แทนที่บนวงเอริลและเบนซิลซึ่งคาดว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเซลล์มะเร็งต่างๆ รวมทั้งเซลล์มะเร็งตับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยสำหรับบัณฑิต พสวท. แรกบรรจุ สัญญาเลขที่ 19/2558 และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร สำหรับงบประมาณ วัสดุ และเครื่องมือในการดำเนินการวิจัย และการสนับสนุนทุนการศึกษาของนายโยธิน มาตะไกรหัสผู้รับทุน TG-55-16-59-034M จากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติตามสัญญาสนับสนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา โครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (Thailand Graduate Institute of Science and Technology; TGIST) เลขที่ SCA-CO-2559-2316-TH ขอขอบคุณคุณสมคิด สิทธิมนต์ชัย คุณผกามาศ อินทโชติ คุณสุชาดา เสี่ยงใส และคุณบุญกร ทรายมณี จากสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ สำหรับ

ความช่วยเหลือในการทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง นอกจากนี้ขอขอบคุณนักวิจัยที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ สุขสำราญ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง และ ศาสตราจารย์ นพ.พิสิฐ ตั้งกิจวานิชย์ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านโรคตับอักเสบและมะเร็งตับ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- Bayer Health Care Pharmaceuticals Inc. 2010. **Patient Information: NEXAVAR® (NEX-A-VAR) (sorafenib) tablets, oral.** Available Source: https://www.accessdata.fda.gov/drugsatfda_docs/label/2010/021923s008s0091bl.pdf, October 4, 2019.
- Cheng, A.L., Kang, Y.K., Chen, Z., Tsao, C.J., Qin, S., Kim, J.S., Luo, R., Feng, J., Ye, S., Yang, T.S., Xu, J., Sun, Y., Liang, H., Liu, J., Wang, J., Tak, W.Y., Pan, H., Burock, K., Zou, J., Voliotis, D. and Guan, Z. 2009. Efficacy and safety of sorafenib in patients in the Asia-Pacific region with advanced hepatocellular carcinoma: a phase III randomised, double-blind, placebo-controlled trial. **Lancet Oncology** 10(1): 25-34.
- Džolić, Z.R., Perković, I., Pavelić, S.K., Sedić, M., Ilić, N., Schols, D. and Zorc, B. 2016. Design, synthesis, and cytostatic activity of novel pyrazine sorafenib analogs. **Medicinal Chemistry Research** 25(12): 2729-2741.
- Guo, Z., Yan, Z., Zhou, X., Wang, Q., Lu, M., Liu, W., Zhou, H., Yang, C. and McClain, E.J. 2015. Synthesis and biological evaluation of novel 1,2-benzisothiazol-3-one-derived 1,2,3-triazoles as caspase-3 inhibitors. **Medicinal Chemistry Research** 24(5): 1814-1829.
- Hansen, T.V., Wu, P., Sharpless, W.D. and Lindberg, J.G. 2005. Just Click It: Undergraduate Procedures for the Copper(I)-Catalyzed Formation of 1,2,3-Triazoles from Azides and Terminal Acetylenes. **Journal of Chemical Education** 82(12): 1833-1836.
- Intaraprasong, P. 2018. New therapy including combination. **Thai Journal of Hepatology** 1(2): 33-36. (in Thai)
- International Agency for Research on Cancer. 2019. **All cancers.** Global Cancer Observatory. Available Source: <http://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/cancers/39-All-cancers-fact-sheet.pdf>, March 15, 2019.
- Khandan, M., Rizi, S.S., Khodarahmi, G. and Hassanzadeh, F. 2018. Synthesis and cytotoxic evaluation of some novel quinoxalinedione diarylamide sorafenib analogues. **Research in Pharmaceutical Sciences** 13(2): 168-176.
- Kong, X., Yao, Z., He, Z., Xu, W. and Yao, J. 2015. Design, synthesis and biological evaluation of thiourea and nicotinamide-containing sorafenib analogs as antitumor agents. **Medicinal Chemistry Communications** 6(5): 1-5.
- Stoddart, M.J. 2011. **Mammalian Cell Viability Method and Protocols.** Humana Press, New York. doi: 10.1007/978-1-61779-108-6.

- Sun, S., He, Z., Huang, M., Wang, N., He, Z., Kong, X. and Yao, J. 2018a. Design and discovery of thioether and nicotinamide containing sorafenib analogs as multikinase inhibitors targeting B-Raf, B-RafV600E and VEGFR-2. **Bioorganic and Medicinal Chemistry** 26(9): 2381-2391.
- Sun, S., Zhang, J., Wang, N., Kong, X., Fu, F., Wang, H., and Yao, J. 2018b. Design and Discovery of Quinazoline- and Thiourea-Containing Sorafenib Analogs as EGFR and VEGFR-2 Dual TK Inhibitors. **Molecules** 23(24): 1-14.
- Wilkening, I., Signore, G.D. and Hackenberger, C.P.R. 2011. Synthesis of Phosphoramidate Peptides by Staudinger Reactions of Silylated Phosphinic Acids and Esters. **Chemical Communication** 47: 349-351.
- Yao, J., He, Z., Chen, J., Chen, D., Sun, W. and Xu, W. 2012. Design, Synthesis and Antiproliferative Activities of Diaryl Thiourea Derivatives as Anticancer Agents. **Chinese Journal of Chemistry** 30(10): 2423-2430.