

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

คณะกรรมการที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.สำเริง จักรใจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.เผด็จศักดิ์ จารยะพันธุ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัย (Peer review)

ศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ ภัทรธรรม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา วิชชุกิจ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก้องเกียรติ ไตรสุวรรณ

รองศาสตราจารย์ ดร.พูนสุข อุคม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไลลักษณ์ กล่อมพงษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริลักษณ์ เจียรกร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติวุฒิ สุทธิวิโรจน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรวิทย์ อุปถัมภานนท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา คลวิทยาคุณ

ศาสตราจารย์ ดร.สุวัจน์ ธีรุต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญหทัย ใจเปี่ยม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ จันทรมณีย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญา วณิชพันธุ์

ดร.พัชรินทร์ บุญนุ่น

ดร.ฐานวิทย์ แนนไส

ดร.สุริยา โชคเพิ่มพูน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กริช เจียมจิโรจน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลทิพย์ คำใจ

รองศาสตราจารย์ ดร.โชติ บศิริฐ

ดร.เสาวณีย์ ชูจิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระชัย แสงฉาย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ ชุมทอง

รองศาสตราจารย์ ดร.กัณวรัช พลุปราชญ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารียา เอี่ยมบุญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชีวิดา สุวรรณชวลิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ เจริญลักษณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศักดิ์ เหล่าดี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยทักษิณ

มหาวิทยาลัยทักษิณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุไรวรรณ ศิริมหาชัย
ดร.อาคม ปะหลามานิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์
ดร.กฤตภาส เลหาสุรโยธิน

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

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.สุคคณิง ณ ระนอง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

นางสาวกุลิกา ธนะเสวตร

วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติรี หอมเขียว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ แก้วบุญมา

คณะเทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ดร.จิรวิษณุ พรณรัตน์

คณะศิลปศาสตร์ 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

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงศรี สรรณสภาพร

คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ภูมิฐรัตน์ ปภาวสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ประพจน์ พรหมสมบูรณ์

คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ตะวันออก

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.สุวิธิดา จรุงเกียรติกุล

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินาถ ศรีอ่อนนวล

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

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

ปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมฟิล์มบางท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์.....	181-195
ด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน	
วนิดา ลำพล มนตรี เอี่ยมพนากิจ จรรย์ ศรีธาราธิคุณ และ ชีวตา สุวรรณชวลิต	
Phytochemical Screening of <i>Bruguiera cylindrica</i> Extracts and Pathogenic.....	196-207
Antibacterial Activities	
Luksamee Vittaya Uton Charoendat Sittichoke Janyong and Nararak Leesakul	
อิทธิพลของแหล่งความร้อนสำหรับปฏิกิริยาความร้อนในระบบบอบแห้งด้วยปฏิกิริยาความร้อน.....	208-222
ร่วมกับรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก	
จารุวัฒน์ เจริญจิต สิทธิพร บุญญานุวัตร และ อุดร นามเสมอ	
การวิเคราะห์และพัฒนามาตรฐานวิชาการตามหลักเกณฑ์.....	223-239
คุณภาพของฐานข้อมูลอาเซียน	
โกสินธุ์ ศิริรักษ์ สุจินดา ช่างเงิน และ ถัดดาวลัย มนต์แก้ว	
จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ดินป่าดงน้ำมนต์ เพื่อการผลิตฟัจิฟอร่าผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์.....	240-249
ศุภาณุจน์ รัตนเลิศสุธรรม	
ผลของเวลาอบแห้งในกระบวนการอบชุบความร้อนแบบไซคลิกต่อโครงสร้างคาร์ไบด์.....	250-262
แบบตาข่ายของเหล็กกล้าคาร์บอนคาร์เบอร์ไรซิง	
ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ วรรณ หอมจะบก อมรศักดิ์ มาใหญ่ และ สมบัติ น้อยมิ่ง	
การพัฒนาแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์.....	263-274
ปัญญพร ทองเล็ก ทิวัตต์ มณีโชติ ชัชสรัญ รอดยิ้ม และ นัฐพงศ์ ส่งเนียม	
Preparation of Dodecylsulfate Modified CoAl-Layered Double Hydroxide and.....	275-284
Dye Removal	
Sonchai Intachai Areebhorn Baoulun and Panita kongsune	
คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องพื้นเมืองตรัง.....	285-296
สุภาภิต ชุกกลิ่น ชีระพงศ์ หมวดศรี และ ผกามาศ ปุรินทรภิบาล	

การจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนก แบบมีส่วนร่วมของชุมชนทำข้าม.....	297-311
ในเขตเทศบาลตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา	
จงกร มหาเด็ก และ ปิยะวดี กิ่งมาลา	
การเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการลดอุณหภูมิสารทำความเย็น.....	312-322
ก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อน	
สิริสวัสดิ์ จิงเจริญนิรชร และ ทวีวัฒน์ สุภารัต	
ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านครอบครัว และปัจจัยด้านที่ทำงานที่มีต่อ.....	323-334
องค์ประกอบคุณภาพชีวิตบุคลากร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	
พัชร แสงสุวรรณ สุทธิพร บุญมาก และ เมธี ศิสวัสดิ์	
ชนิดของแผ่นแป้งและไส้สำหรับการผลิตปอเปี๊ยะ.....	335-346
ชมภู ยิ้มโต	
เทคนิคการอบแห้งแบบฟนฝอยสำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร.....	347-361
โพธิ์ทอง ปรานิตพลกรัง	
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองดำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด.....	362-373
วิฑิต เลิศนิมิตมงคล และ นฤมล มงคลธนวัฒน์	

ปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมฟิล์มบางท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน

Morphological Parameter of Nanotube TiO₂ Thin Films via Anodization Method

วนิดา ลำพล¹, มนตรี เอี่ยมพานากิจ², จรรย์ ศรีธาราธิคุณ³ และ ชีวิตา สุวรรณชวลิต^{1*}

Vanida Lumpol¹, Montri Aiempnanakit², Jaran Sritharathikhun³ and Cheewita Suwanchawalit^{1*}

Received: 29 May 2019, Revised: 15 July 2019, Accepted: 27 September 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยกระบวนการแอโนไดเซชันจากฟิล์มบางไทเทเนียมที่เตรียมด้วยวิธีดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของท่อควบคุมด้วยตัวแปรดังนี้ ความเข้มข้นของแอโนไลต์ 0.4-1.4 โมล/ลิตร ปริมาณน้ำรีดอกซ์ 1-4 โมล/ลิตร และความต่างศักย์ 20-50 โวลต์ ลักษณะของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ถูกตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เทคนิคสเปกโตรสโคปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์ เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรเมทรี และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่าการเผาฟิล์มด้วยอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำให้เกิดผลึกอะนาเทส ผลจากเทคนิคสเปกโตรสโคปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์พบว่าองค์ประกอบธาตุของฟิล์มประกอบด้วยธาตุไทเทเนียม ออกซิเจน ฟลูออรีน อินเดียม ดีบุกและคาร์บอน เมื่อนำมาตรวจสอบหุ้ฟังก์ชัน ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรเมทรี แสดงแถบการยืดของพันธะระหว่างไทเทเนียมกับออกซิเจน ซึ่งเป็นพันธะของไทเทเนียมไดออกไซด์ ผลของภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นท่อนาโนซึ่งขนาดและความยาวของท่อ

¹ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

¹ Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University, Muang, Nakhon Pathom 73000, Thailand.

² ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

² Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University, Muang, Nakhon Pathom, 73000, Thailand.

³ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

³ National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), Khlong Luang, Pathum Thani, 12120, Thailand.

* ผู้ติดต่อประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): suwanchawalit_c@su.ac.th

ขึ้นกับความเข้มข้นของแอมโมเนียมฟลูออไรด์ ปริมาณน้ำและความต่างศักย์ จากการศึกษาผลของตัวแปรดังกล่าว พบว่าที่สภาวะแอมโมเนียมฟลูออไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.8 โดยมวล ปริมาณน้ำร้อยละ 1 โดยมวล และความต่างศักย์ 30 โวลต์ ได้ท่อที่มีความยาว 763 นาโนเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของท่อเท่ากับ 38 นาโนเมตร ซึ่งได้ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีความยาวมากที่สุดและสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นฟิล์ม

คำสำคัญ: ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์, กระบวนการแอโนไดเซชัน, ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์

ABSTRACT

In this research, TiO_2 nanotubes were fabricated by anodization method using titanium thin films deposited onto ITO substrates by DC magnetron sputtering technique as the Ti source. Diameter and length of TiO_2 nanotubes were controlled by parameters including ammonium fluoride (NH_4F) at 0.4-1.4 wt%, water content at 1-4 wt% and power voltage at 20-50 V. The nanotube TiO_2 films were established by scanning electron microscopy (SEM), X-Ray Diffraction (XRD), X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) and Fourier-Transformed Infrared spectrophotometry (FTIR) techniques. XRD pattern data exhibited anatase phase when TiO_2 nanotube were annealed at 400°C for 3 hrs. The XPS results revealed complement of Ti, O, F, Sn, In and C. The FT-IR spectrum exhibited the characteristic bands of the TiO_2 , indicating Ti-O stretching mode. On the SEM images, average diameter and length of TiO_2 nanotubes depend on ammonium fluoride, water content and on power voltage, with optimal condition of TiO_2 nanotubes being at 0.8 wt% ammonium fluoride, 1 wt% water and power voltage at 30 V. TiO_2 nanotubes with diameter 38 nm and length 763 nm could be used as dye sensitized solar cell.

Key words: nanotube TiO_2 , anodization process, TiO_2 thin films

บทนำ

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นสารที่มีช่องว่างแถบพลังงานสูง 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ มีค่าดัชนีหักเหแสงที่สูงและทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Aiempnakit *et al.*, 2016) ดังนั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถประยุกต์ใช้กับงานได้หลายแบบ เช่น เซนเซอร์ (Kim *et al.*, 2015) การเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Chen *et al.*, 2010) และเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง (Mohammadpour and Moradi, 2015;

So *et al.*, 2015) สำหรับงานวิจัยด้านเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงได้พัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างต่างๆ เช่น อนุภาคนาโน (nanoparticle) (Kim *et al.*, 2015) ลวดนาโน (nanowire) (Yu *et al.*, 2013) แท่งนาโน (nanorod) (Wang *et al.*, 2014) และท่อนาโน (nanotube) (Mohammadpour and Moradi, 2015) ท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide nanotubes: TNTs) นิยมใช้เป็นขั้วแอโนดเนื่องจากรูปร่างของท่อมีความเป็นระเบียบสูง มีคุณสมบัติ

ส่งผ่านอิเล็กตรอนได้เร็วกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์แบบอนุภาคนาโน (Zhu *et al.*, 2007; Hossain *et al.*, 2017) ทำให้ประสิทธิภาพของการนำไปใช้งานดีขึ้นสำหรับการเตรียมท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นขั้วแอโนดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสงสามารถเตรียมได้หลายวิธี เช่น โซลเทอร์มอล ไฮโดรเทอร์มอล และแอโนไดเซชัน ซึ่งวิธีที่นิยมเตรียมท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จากแผ่นบางไทเทเนียมด้วยวิธีแอโนไดเซชัน (Macak *et al.*, 2005; Roy *et al.*, 2010; Shankar *et al.*, 2007) เนื่องจากเป็นวิธีที่เตรียมได้ง่ายไม่ต้องเตรียมที่อุณหภูมิสูงและที่สำคัญสามารถควบคุมขนาดและความยาวของท่อได้ด้วยตัวแปรต่างๆ เช่น ความต่างศักย์ (Kim *et al.*, 2014) ปริมาณน้ำ (Wei *et al.*, 2010) และความเข้มข้นของไอออนฟลูออไรด์ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Haring *et al.*, 2012)

ในงานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะการเตรียมท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จากฟิล์มบางไทเทเนียมที่เคลือบบนกระจกนำไฟฟ้าด้วยกระบวนการแอโนไดเซชัน โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่างของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ได้แก่ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมฟลูออไรด์ ปริมาณน้ำและความต่างศักย์เพื่อใช้ในการประยุกต์กับงานต่างๆ เช่น ใช้สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อมไวแสง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุและสารเคมีที่ใช้

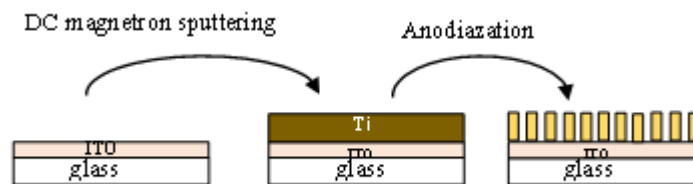
เอทิลีนไกลคอล ($C_2H_6O_2$, Fisher) น้ำกลั่น (Barnstead EASYpure II, USA) และ แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (NH_4F , Merck) สารเคมีทั้งหมดใช้เกรดวิเคราะห์และเตรียมที่อุณหภูมิห้อง

2. การเตรียมฟิล์มบางไทเทเนียม

การเตรียมฟิล์มบางท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์แสดงลำดับขั้นตอนดังภาพที่ 1 ฟิล์มบางไทเทเนียมสามารถเตรียมด้วยเทคนิคซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงโดยใช้เป้าโลหะไทเทเนียมบริสุทธิ์ร้อยละ 99.995 และใช้กระจกนำไฟฟ้าขนาด 2.50×3.00 ซม. เป็นซับสเตรต จากนั้นปรับความดันของระบบให้เป็นสูญญากาศที่ 5×10^{-5} มิลลิบาร์ ปลดปล่อยแก๊สอาร์กอนที่มีอัตราการไหลอยู่ที่ 15 sccm (standard cubic centimeters per minute) โดยคุมความดันของระบบอยู่ที่ 1×10^{-3} มิลลิบาร์ ในการใช้เทคนิคซีแมกนีตรอนสปีดเตอริงนี้จะใช้กำลังไฟอยู่ที่ 200 วัตต์ ใช้เวลาเคลือบนาน 500 วินาที จะได้ฟิล์มบางไทเทเนียมที่หนาประมาณ 1 ไมโครเมตร

3. การเตรียมท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

เตรียมท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีแอโนไดเซชันโดยใช้ไทเทเนียมฟิล์มขนาด 2.50×1.00 ซม. เป็นขั้วแอโนด โลหะแพลตทินัมเป็นขั้วแคโทดให้ระยะห่างของขั้วอยู่ที่ 3.00 ซม. และใช้เอทิลีนไกลคอลผสมกับน้ำและแอมโมเนียมฟลูออไรด์เป็นอิเล็กโทรไลต์ จากนั้นให้ความต่างศักย์กับระบบในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์โดยศึกษาผลของความต่างศักย์ ผลของปริมาณน้ำและผลของความเข้มข้นแอมโมเนียมฟลูออไรด์ ซึ่งสรุปสภาวะดังตารางที่ 1 หลังจากทำการแอโนไดเซชันแล้วให้ทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดที่ใช้คลื่นความถี่สูง ในน้ำเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปเป่าให้แห้งด้วยแก๊สไนโตรเจนและนำฟิล์มบางท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีแอโนไดเซชัน

ตารางที่ 1 สภาวะที่ใช้ในการศึกษาการเตรียมท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีแอโนไดเซชัน

สภาวะ		ตัวแปรควบคุม
ความต่างศักย์		- ความเข้มข้นแอมโมเนียมฟลูออไรด์
- 20 โวลต์	- 30 โวลต์	ร้อยละ 0.8 โดยมวล
- 40 โวลต์	- 50 โวลต์	- ปริมาณน้ำร้อยละ 2 โดยมวล
ความเข้มข้นแอมโมเนียมฟลูออไรด์ ร้อยละ		- ความต่างศักย์ 30 โวลต์
- 0.4 โดยมวล	- 0.8 โดยมวล	- ปริมาณน้ำร้อยละ 2 โดยมวล
- 1.2 โดยมวล	- 1.4 โดยมวล	
ปริมาณน้ำ ร้อยละ		- ความเข้มข้นแอมโมเนียมฟลูออไรด์
- 1 โดยมวล	- 2 โดยมวล	ร้อยละ 0.8 โดยมวล
- 3 โดยมวล	- 4 โดยมวล	- ความต่างศักย์ 30 โวลต์

4. การตรวจสอบลักษณะฟิล์มบางท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมได้จากสภาวะต่างๆ นำมาตรวจสอบรูปร่างของท่อด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy : SEM, TESCAN model MIRA3 and FE-SEM, JSM-7001F) วิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีของอนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray Photoelectron Spectroscopy : XPS, Kratos Analytical Ltd. AXIS Ultra DLD) ในการตรวจวัดหมู่ฟังก์ชันใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรเมทรี (Fourier-transformed infrared : FT-IR, Perkin Elmer

Spectrum Bx spectrophotometer) ใช้ในโหมด Attenuated total reflectance (ATR) และใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction : XRD, Rigaku MiniFlex II X-Ray diffractometer with Cu K α สแกนจาก 10° - 60° (2 θ) อัตราเร็วในการตรวจวัด 1.000 deg/min ในการตรวจสอบผลึกอะนาเทส

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการตรวจสอบลักษณะของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

กลไกในการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมด้วยกระบวนการแอโนไดเซชันเกิดผ่านกระบวนการดังนี้

(I) ปฏิกริยาออกซิเดชันของโลหะไทเทเนียมภายใต้การให้ศักย์ไฟฟ้า (Field-assisted oxidation)



(II) การละลายของออกไซด์ภายใต้การให้ศักย์ไฟฟ้า (Field-assisted etching)

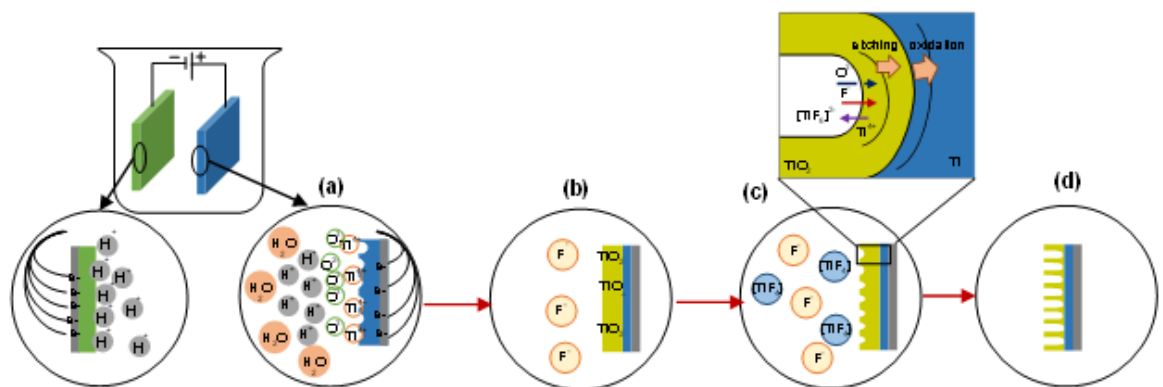
(III) เกิดปฏิกิริยาการกัดเซาะชั้นออกไซด์โดยไอออนฟลูออไรด์ (Chemical dissolution)



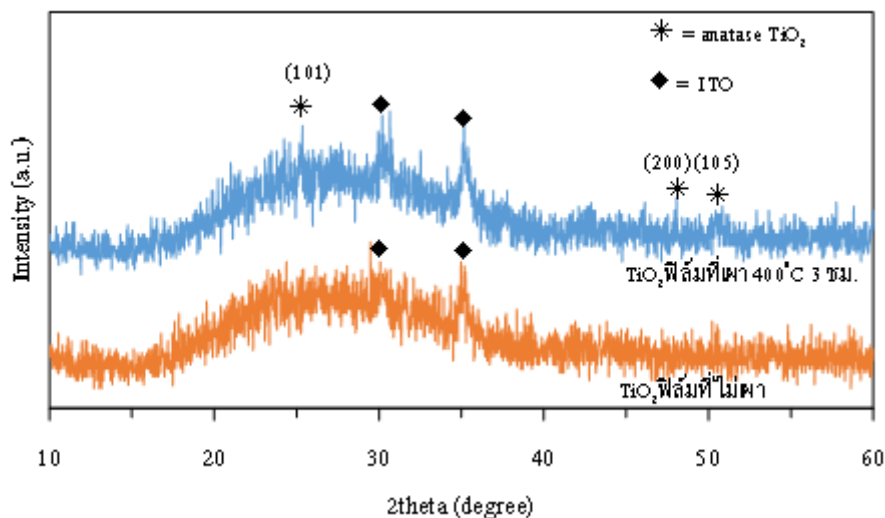
ในการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ เริ่มจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างโลหะไทเทเนียมและออกซิเจนในสารละลายทำให้เกิดชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ผิวของโลหะไทเทเนียมเนื่องจากพันธะ Ti-O ดังภาพ 2 (a, b) ซึ่ง Ti-O เป็นพันธะที่ไม่แข็งแรงจึงทำให้ ไอออนฟลูออไรด์สามารถเกิดปฏิกิริยากัดเซาะชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ ดังภาพ 2 (c) ส่งผลให้มีรูพรุนขนาดเล็กบนผิวของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ นอกจากนั้นเกิดการแข่งขันกันระหว่างกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะไทเทเนียม (I) และกระบวนการกัดเซาะชั้นออกไซด์โดยไอออน

ฟลูออไรด์ (III) ทำให้เกิดการกัดเซาะชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างสม่ำเสมอส่งผลให้เกิดเป็นท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดเท่ากันกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ (Aiempnanakit *et al.*, 2019; ศรชล, 2554)

จากผลรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านการเผาและไม่ผ่านการเผา พบว่าฟิล์มบางท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เผาในอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เปลี่ยนโครงสร้างจากออสเทนไปเป็นอะนาทาส



ภาพที่ 2 กระบวนการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ (a) เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด (b) เกิดชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบบนโลหะไทเทเนียม (c) เกิดปฏิกิริยาการกัดเซาะชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ (d) เกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ภาพนี้ดัดแปลงจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Ge *et al.*, 2016; Rho *et al.*, 2015)



ภาพที่ 3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ผ่านการเผาและไม่ผ่านการเผา

ฟิล์มบางท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมจากการแอโนไดเซชันถูกนำมาตรวจสอบองค์ประกอบธาตุภายในด้วยเทคนิค XPS แสดงดังภาพ 4a ซึ่งประกอบด้วยธาตุ ไทเทเนียม ออกซิเจน ฟลูออรีน คีบิก อินเดียม และคาร์บอน เมื่อวิเคราะห์ที่ธาตุไทเทเนียม ดังภาพที่ 4b พบว่ามีพลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy) คือ 464 และ 458 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นตำแหน่งของธาตุไทเทเนียมที่สร้างพันธะเป็นสารประกอบไทเทเนียมเตตระฟลูออไรด์ (TiF_4) (Limcharoen *et al.*, 2012) และไทเทเนียมไดออกไซด์ (Larsson *et al.*, 1996) ตามลำดับ วิเคราะห์ธาตุออกซิเจน ดังภาพที่ 4c พบว่าพลังงานยึดเหนี่ยว คือ 530 531 532 และ 532 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นตำแหน่งของธาตุออกซิเจนที่มาจากสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ (Larsson *et al.*, 1996) คีบิกออกไซด์ (Barreca *et al.*, 2000) เอทิลีนไกลคอล (Gonzalez-Torres *et al.*, 2014) และน้ำ (Yamamoto *et al.*, 2008) ตามลำดับ วิเคราะห์ธาตุ ฟลูออรีน ดังภาพที่ 4d พบว่าพลังงานยึดเหนี่ยว คือ 685 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นตำแหน่ง

ของธาตุฟลูออรีนเป็นตำแหน่งที่มาจากสารประกอบไทเทเนียมเตตระฟลูออไรด์ (Sultana *et al.*, 2008) ส่วนผลการวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน ดังภาพที่ 4e แสดงพลังงานยึดเหนี่ยวของพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน (C-C) และพันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน (C-H) ที่พลังงาน 285 อิเล็กตรอนโวลต์ พันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮดรอกซิล (C-OH) ที่พลังงาน 286 อิเล็กตรอนโวลต์ พันธะระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจน (C=O) ที่พลังงาน 288 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นตำแหน่งของสารประกอบเอทิลีนไกลคอล (Wang *et al.*, 2017) จากผลของ XPS เป็นการยืนยันได้ว่าการทำแอโนไดเซชันของฟิล์มบางไทเทเนียมสามารถเกิดเป็นสารประกอบไทเทเนียมไดออกไซด์ได้และนอกจากนั้นยังมีสารประกอบต่างๆ ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น เอทิลีนไกลคอล น้ำ ไทเทเนียมเตตระฟลูออไรด์ ที่อยู่บนฟิล์มอาจเกิดจากการทำความสะอาดออกไม่หมด จึงยังคงเกาะอยู่บนพื้นผิวของฟิล์มบางท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

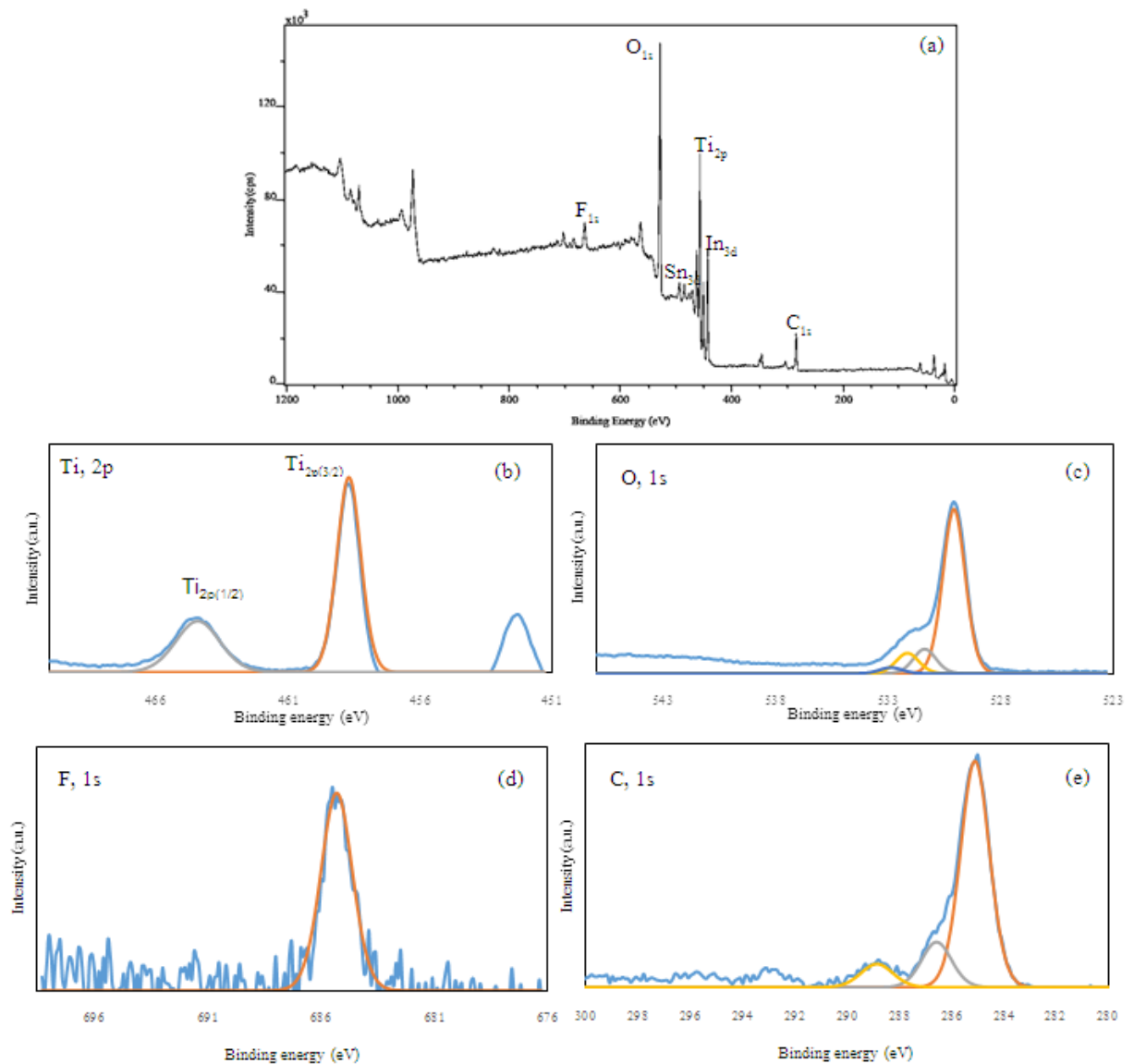
ในการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เตรียมขึ้นด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรเมทรี (FT-IR) ยืนยันการสั่นของพันธะระหว่างไทเทเนียมกับออกซิเจนในช่วงเลขคลื่น 900-400 cm^{-1} (Praveen *et al.*, 2013) และพบการสั่นของพันธะระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจน (O-H) ที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในช่วงเลขคลื่น 3600-3000 cm^{-1} (El-Sherbiny *et al.*, 2014; Praveen *et al.*, 2013) นอกจากนี้ยังมีตำแหน่งของสารประกอบอินทรีย์ที่ถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกิดจากการกำจัดไม่หมดได้แก่ ไฮดรอกซิล คาร์บอกซิลิกและแอลเคน ที่ตำแหน่ง 2926 cm^{-1} เป็นการสั่นของพันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน (Praveen *et al.*, 2013) และการสั่นของพันธะระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจน (C=O) (Praveen *et al.*, 2013) ที่ตำแหน่ง 1304 cm^{-1} และการสั่นของพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจน (C-O) ที่ตำแหน่ง 1123 cm^{-1} (Praveen *et al.*, 2013) จากผลการตรวจสอบคุณลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นระบุได้ว่าการใช้ฟิล์มบางไทเทเนียมผ่านวิธีการแอโนไดเซชันสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เป็นไทเทเนียมไดออกไซด์ได้

2. ผลของปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปร่างของท่อนาโน

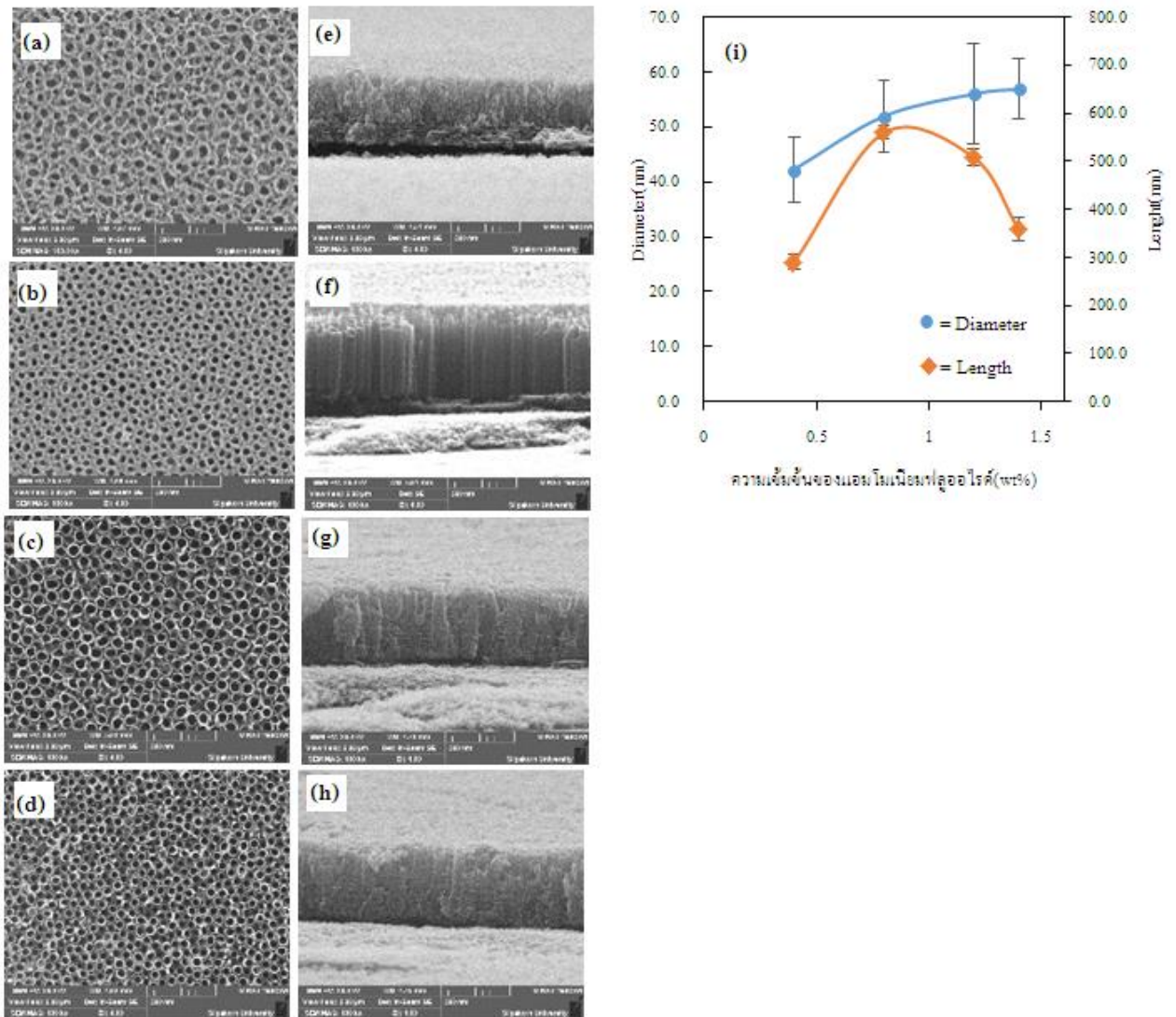
ไทเทเนียมไดออกไซด์

2.1 ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียมฟลูออไรด์

จากการศึกษาผลความเข้มข้นของแอมโมเนียมฟลูออไรด์ต่อรูปร่างการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งศึกษาที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4-1.4 โดยมวล รูปร่างของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นพิจารณาจากภาพถ่าย SEM ในภาพที่ 5 (a)-(h) แสดงภาพถ่ายของรูปร่างไทเทเนียมไดออกไซด์ทั้งด้านบนและด้านข้างของไทเทเนียมไดออกไซด์ จากภาพเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นของไอออนฟลูออไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.4 โดยมวล ไทเทเนียมไดออกไซด์มีรูปร่างเป็นรูปท่อนเมื่อความเข้มข้นของไอออนฟลูออไรด์เพิ่มขึ้นไทเทเนียมไดออกไซด์มีลักษณะเป็นท่อและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของท่อเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระบวนการเกิดท่อนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์ขึ้นกับอัตราการเกิดชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มาจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโลหะไทเทเนียมกับน้ำ และอัตราการกัดเซาะชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์โดยไอออนฟลูออไรด์ที่ทำให้เกิดเป็นท่อ เมื่อความเข้มข้นของไอออนฟลูออไรด์ต่ำอัตราการกัดเซาะชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์จึงน้อยส่งผลให้รูปร่างของไทเทเนียมไดออกไซด์มีลักษณะเป็นรูปท่อนที่ความเข้มข้นของไอออนฟลูออไรด์ต่ำและเมื่อความเข้มข้นของไอออนฟลูออไรด์เพิ่มขึ้นอัตราการกัดเซาะชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการกัดเซาะได้กว้างขึ้นจึงส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้นของไอออนฟลูออไรด์เพิ่มขึ้น (Mohammadpour and Moradi, 2015)



ภาพที่ 4 ผลจากเทคนิค XPS (a) ภาพแสดงองค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เผา 400 °C 3 ชม. (b) ภาพแสดงตำแหน่งของธาตุ Ti ที่พบ (c) ภาพแสดงตำแหน่งของธาตุ O ที่พบ (d) ภาพแสดงตำแหน่งของธาตุ F ที่พบ (e) ภาพแสดงตำแหน่งของธาตุ C ที่พบ

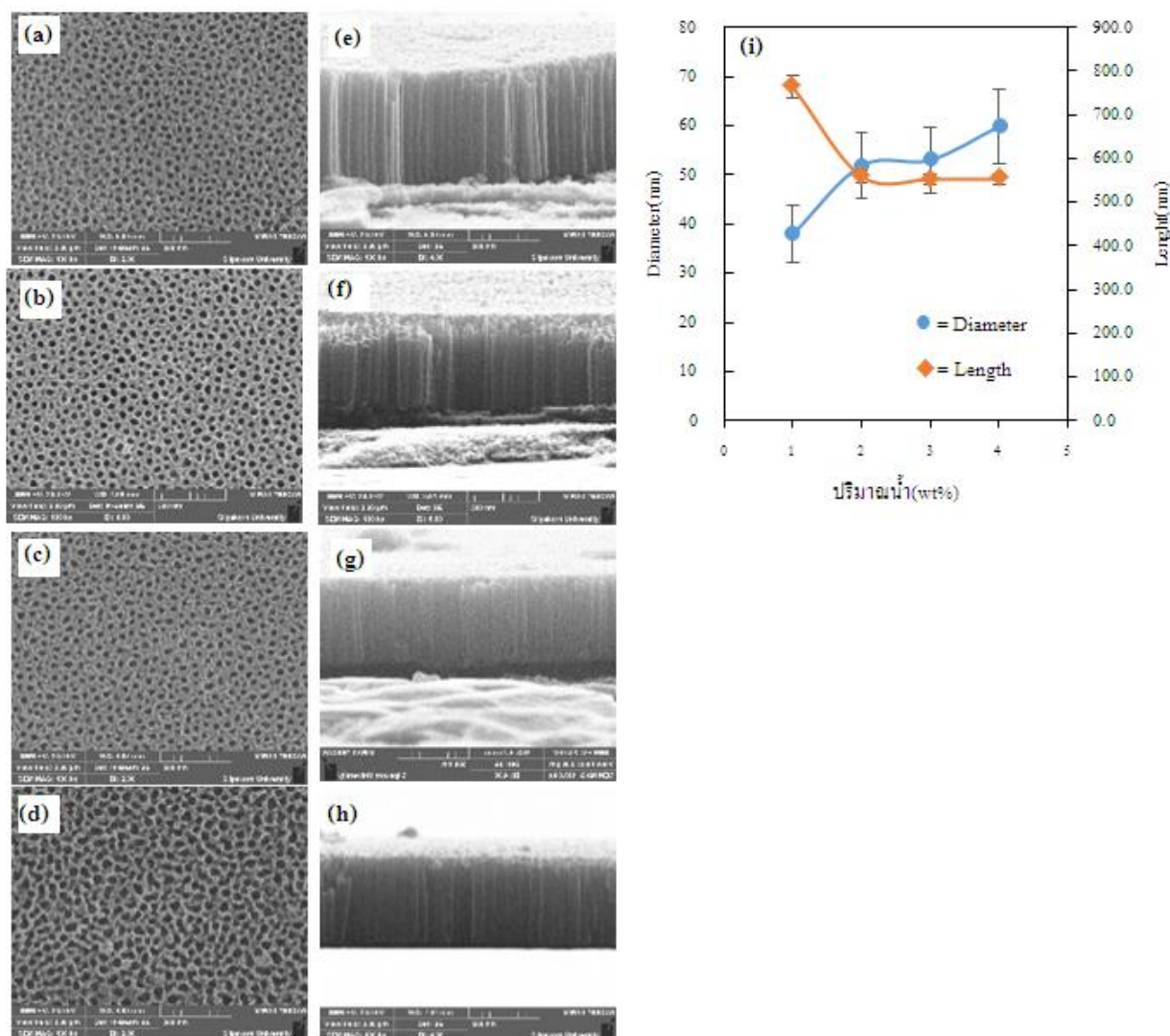


ภาพที่ 5 ผลของความเข้มข้นแอมโมเนียมฟลูออไรด์ที่ส่งผลต่อรูปร่างของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยภาพ (a)-(h) แสดงภาพถ่ายจากเทคนิค SEM ของ TiO_2 nanotube ทั้งด้านบนและด้านข้างที่มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมฟลูออไรด์ต่างกัน ได้แก่ (a) และ (e) ร้อยละ 0.4 โดยมวล (b) และ (f) ร้อยละ 0.8 โดยมวล (c) และ (g) ร้อยละ 1.2 โดยมวล (d) และ (h) ร้อยละ 1.4 โดยมวล ภาพ (i) กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเข้มข้นของแอมโมเนียมฟลูออไรด์กับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนและความยาวของท่อนาโน

พิจารณาที่ความยาวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์พบว่าเมื่อความเข้มข้นของฟลูออไรด์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.4 - 0.8 โดยมวล ความยาวของท่อนาโนเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นไอออนฟลูออไรด์มากกว่าร้อยละ 0.8 โดยมวล ความยาวของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของไอออนฟลูออไรด์ส่งผลให้อัตราการกัด

เซาะของชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์บริเวณก้นท่อเพิ่มขึ้นทำให้ความยาวของท่อเพิ่มขึ้นแต่ในขณะเดียวกันความเข้มข้นของไอออนฟลูออไรด์ที่มากเกินไปส่งผลให้เกิดการกัดเซาะบริเวณด้านบนท่อมากขึ้นเช่นเดียวกัน ส่งผลให้เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเกินร้อยละ 0.8 โดยมวล ทำให้ความยาวของท่อลดลง

2.2 ผลของปริมาณน้ำ



ภาพที่ 6 ผลของปริมาณน้ำที่ส่งผลต่อรูปร่างของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยภาพ (a)-(h) แสดงภาพถ่ายจากเทคนิค SEM ของ TiO₂ nanotube ทั้งด้านบนและด้านข้างที่มีปริมาณน้ำต่างกัน ได้แก่ (a) และ (e) ร้อยละ 1 โดยมวล (b) และ (f) ร้อยละ 2 โดยมวล (c) และ (g) ร้อยละ 3 โดยมวล (d) และ (h) ร้อยละ 4 โดยมวล ภาพ (i) กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณน้ำกับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนและความยาวของท่อนาโน

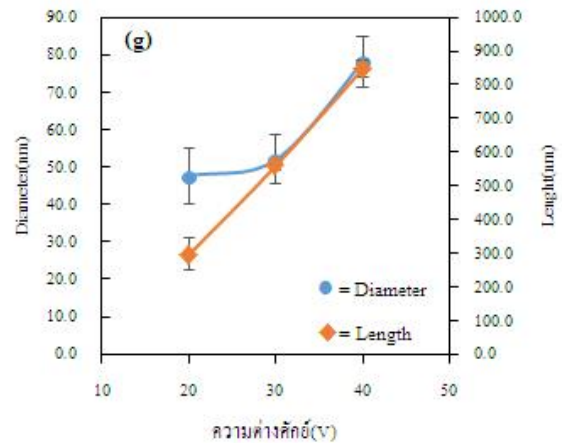
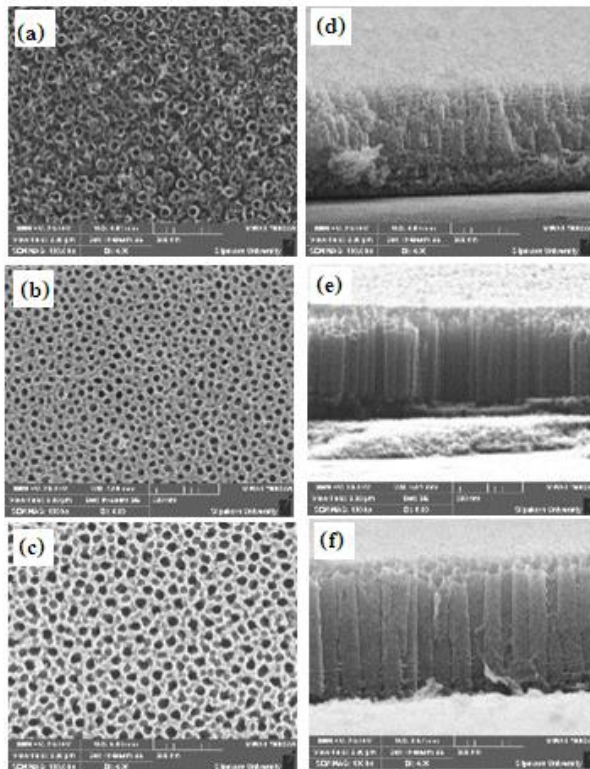
จากการศึกษาผลปริมาณน้ำต่อรูปร่างการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งศึกษาที่ปริมาณน้ำร้อยละ 1 - 4 โดยมวล รูปร่างของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นพิจารณาจากภาพถ่าย SEM ในภาพที่ 6 (a)-(h) แสดงภาพถ่ายของรูปร่างไทเทเนียมไดออกไซด์ทั้งด้านบนและด้านข้าง ผลจากภาพ SEM พบว่าที่ปริมาณน้ำน้อยรูปร่างของท่อ

นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเล็กและความยาวของท่อสูง เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อใหญ่ขึ้นและความยาวของท่อสั้นลงเนื่องจากการเพิ่มน้ำในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำให้ความหนืดของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทาน (IR drop) ลดลง ซึ่งส่งผลต่อความต่าง

ศักยภาพของระบบเพิ่มขึ้นสนามไฟฟ้าภายในระบบจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งสนามไฟฟ้าในระบบมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะไทเทเนียมและอัตราการกัดเซาะชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์โดยไอออนฟลูออไรด์ (Yin *et al.*, 2010) ดังนั้นเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นความหนืดสารละลายลดลง

ไอออนจึงเคลื่อนที่ได้ดีและในขณะเดียวกันอัตราการกัดเซาะและอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

2.3 ผลความต่างศักย์



ภาพที่ 7 ผลของความต่างศักย์ที่ส่งผลต่อรูปร่างของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยภาพ (a)-(f) แสดงภาพถ่ายจากเทคนิค SEM ของ TiO_2 nanotube ทั้งด้านบนและด้านข้างที่มีความต่างศักย์ต่างกัน ได้แก่ (a) และ (d) 20 โวลต์ (b) และ (e) 30 โวลต์ (c) และ (f) 40 โวลต์ ภาพ (g) กราฟแสดงความสัมพันธ์ความต่างศักย์กับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนาโนและความยาวของท่อนาโน

จากการศึกษาผลความความต่างศักย์ต่อรูปร่างการเกิดท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งศึกษาที่ความต่างศักย์ 20 - 50 โวลต์ รูปร่างของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นพิจารณาจากภาพถ่าย SEM ในภาพที่ 7 (a)-(f) แสดงภาพถ่ายของรูปร่างไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ความต่างศักย์ 20 - 40 โวลต์ ทั้งด้านบนและด้านข้างของไทเทเนียมไดออกไซด์

ซึ่งที่ความต่างศักย์ 50 โวลต์ พบว่าเกิดการหลุดลอกของโลหะฟิล์มไทเทเนียมจึงไม่แสดงผล จากภาพ SEM เห็นได้ว่าที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์ ไทเทเนียมไดออกไซด์ได้ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยขนาดเล็ก ความยาวของท่อสั้นและไม่สม่ำเสมอ แต่เมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้นได้เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ขึ้น ความยาวของท่อเพิ่มขึ้นและมีความ

สม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องจากความต่างศักย์ที่เพิ่มขึ้นทำให้การเคลื่อนที่ของไอออนเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและอัตราการกัดเซาะชั้นไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น (Bozkurt Cırak *et al.*, 2017) จึงทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและความยาวของท่อเพิ่มขึ้นตามความต่างศักย์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลคล้ายกับงานวิจัยของ Mohammadpour and Moradi (2015) และด้วยเหตุผลที่กล่าวก่อนหน้านี้นี้จึงทำให้ที่ความต่างศักย์ 50 โวลต์เกิดการหลุดของชั้นฟิล์มโลหะไทเทเนียมเนื่องจากไอออนที่เคลื่อนที่เร็วส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาที่รวดเร็วจึงไม่เหมาะสมสำหรับการเตรียมท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีความหนา 1 ไมโครเมตร

สรุป

ปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่างของท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้กระบวนการแอโนไดเซชัน คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมฟลูออไรด์ ปริมาณน้ำและความต่างศักย์ ซึ่งจากผลการทดลองสถานะที่ให้ท่อยาว คือที่สถานะแอมโมเนียมฟลูออไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.8 โดยมวล ปริมาณน้ำร้อยละ 1 โดยมวล และความต่างศักย์ 30 โวลต์ได้ท่อที่มีความยาว 763 นาโนเมตร และขนาดของท่อเท่ากับ 38 นาโนเมตร เป็นสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมท่อนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ทุนวิจัยจากโครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (Thailand Graduate Institute Science and Technology, TGIST) ตามสัญญาเลขที่ SCA-CO-2561-6918-TH และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

ศรชล โยริยะ. 2554. ท่อนาโนไทเทเนียม. **เทคโนโลยีวัสดุ** 63: 14-19.

Aiempanakit, K., Jessadaluk, S., Tongmaha, S., Supati, A., Khemasiri, N., Pornthreeraphat, S., Horprathum, M., Patthanasetakul, V. and Eiamchai, P. 2016. Vertical Alignment TiO₂ Nanotube Based on Ti Film Prepared via Anodization Technique. **Key Engineering Materials** 675: 167-170.

Aiempanakit, M., Tabtimsri, T., Triamnak, N. and Suwanchawalit, C. 2019. Curcumin modified Titanium Dioxide Nanotubes with Enhanced Visible Light Photocatalytic Performance. **International Journal of Electrochemical Science** 14: 1954-1967.

Barreca, D., Garon, S., Tondello, E. and Zanella, P. 2000. SnO₂ Nanocrystalline Thin Films by XPS. **Surface Science Spectra** 7: 81-85.

Bozkurt Cırak, B., Karadeniz, S.M., Kılinc, T., Caglar, B., Ekinici, A.E., Yelgin, H., Kurekci, M. and Cırak, C. 2017. Synthesis, surface properties, crystal structure and dye sensitized solar cell performance of TiO₂ nanotube arrays anodized under different voltages. **Vacuum** 144: 183-189.

Chen, H., Chen, S., Quan, X. and Zhang, Y. 2010. Structuring a TiO₂-Based Photonic Crystal Photocatalyst with Schottky Junction for Efficient Photocatalysis. **Environmental Science & Technology** 44: 451-455.

- El-Sherbiny, S., Morsy, F., Samir, M. and Fouad, O.A. 2014. Synthesis, characterization and application of TiO_2 nanopowders as special paper coating pigment. **Applied nanoscience** 4: 305-313.
- Ge, M.Z., Cao, C.Y., Huang, J.Y., Li, S.H., Zhang, S.N., Deng, S., Li, Q.S., Zhang, K.Q. and Lai, Y.K. 2016. Synthesis, modification, and photo/photoelectrocatalytic degradation applications of TiO_2 nanotube arrays: a review. **Nanotechnology Reviews** 5: 75-112.
- Gonzalez-Torres, M., Olayo, M.G., Cruz, G.J., Gomez, L.M., Sanchez-Mendieta, V. and Gonzalez-Salgado, F. 2014. XPS Study of the Chemical Structure of Plasma Biocopolymers of Pyrrole and Ethylene Glycol. **Advances in Chemistry** 22: 1-8.
- Haring, A., Morris, A. and Hu, M. 2012. Controlling Morphological Parameters of Anodized Titania Nanotubes for Optimized Solar Energy Applications. **Materials** 55: 1890-1909.
- Hossain, M.A., Oh, S. and Lim, S. 2017. Fabrication of dye-sensitized solar cells using a both-ends-opened TiO_2 nanotube/nanoparticle hetero-nanostructure. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry** 51: 122-128.
- Kim, T.H., Lee, J.W., Kim, B.S., Cha, H. and Nah, Y.C. 2014. Morphological investigation of anodized TiO_2 nanotubes fabricated using different voltage conditions. **Microporous and Mesoporous Materials** 196: 41-45.
- Kim, J.T., Lee, S.H. and Han, Y.S. 2015. Enhanced power conversion efficiency of dye-sensitized solar cells with Li_2SiO_3 -modified photoelectrode. **Applied Surface Science** 333: 134-140.
- Larsson, P.O., Andersson, A., Wallenberg, L.R. and Svensson, B. 1996. Combustion of CO and Toluene; Characterisation of Copper Oxide Supported on Titania and Activity Comparisons with Supported Cobalt, Iron, and Manganese Oxide. **Journal of Catalysis** 163: 279-293.
- Limcharoen, A., Pakpum, C. and Limsuwan, P. 2012. An X-ray Photoelectron Spectroscopy Investigation of Redeposition from Fluorine-based Plasma Etch on Magnetic Recording Slider Head Substrate. **Procedia Engineering** 32: 1043-1049.
- Macak, J.M., Tsuchiya, H., Ghicov, A. and Schmuki, P. 2005. Dye-sensitized anodic TiO_2 nanotubes. **Electrochemistry Communications** 7: 1133-1137.
- Mohammadpour, F. and Moradi, M. 2015. Double-layer TiO_2 nanotube arrays by two-step anodization: Used in back and front-side illuminated dye-sensitized solar cells. **Materials Science in Semiconductor Processing** 39: 255-264.
- Praveen, P., Viruthagiri, G., Mugundan, S. and Shanmugam, N. 2013. Structural, optical and morphological analyses of pristine titanium di-oxide nanoparticles-Synthesized via sol-gel route. **Spectrochimica Acta**

Part A Molecular and Biomolecular Spectroscopy 117: 622-629.

- Rho, W.Y., Jeon, H., Kim, H.S., Chung, W.J., Suh, J.S. and Jun, B.H. 2015. Recent Progress in Dye-Sensitized Solar Cells for Improving Efficiency: TiO₂ Nanotube Arrays in Active Layer. **Journal of Nanomaterials** 20: 1-17.
- Roy, P., Kim, D., Lee, K., Spiecker, E. and Schmuki, P. 2010. TiO₂ nanotubes and their application in dye-sensitized solar cells. **Nanoscale** 2: 45-59.
- Shankar, K., Mor, G.K., Prakasam, H.E., Yoriya, S., Paulose, M., Varghese, O.K. and Grimes, C.A. 2007. Highly-ordered TiO₂ nanotube arrays up to 220 μ m in length: use in water photoelectrolysis and dye-sensitized solar cells. **Nanotechnology** 18: 65707-65716.
- So, S., Kriesch, A., Peschel, U. and Schmuki, P. 2015. Conical-shaped titania nanotubes for optimized light management in DSSCs reach back-side illumination efficiencies > 8%. **Journal of Materials Chemistry A** 3: 12603-12608.
- Sultana, T., Georgiev, G.L., Auner, G., Newaz, G., Herfurth, H.J. and Patwa, R. 2008. XPS analysis of laser transmission micro-joint between poly (vinylidene fluoride) and titanium. **Applied Surface Science** 255: 2569-2573.
- Wang, J., Qu, S., Zhong, Z., Wang, S., Liu, K. and Hu, A. 2014. Fabrication of TiO₂ nanoparticles/nanorod composite arrays via a two-step method for efficient dye-sensitized solar cells. **Progress in Natural Science: Materials International** 24: 588-592.
- Wang, Z., Long, P., Feng, Y., Qin, C. and Feng, W. 2017. Surface passivation of carbon dots with ethylene glycol and their high-sensitivity to Fe³⁺. **RSC Advances** 7: 2810-2816.
- Wei, W., Berger, S., Hauser, C., Meyer, K., Yang, M. and Schmuki, P. 2010. Transition of TiO₂ nanotubes to nanopores for electrolytes with very low water contents. **Electrochemistry Communications** 12: 1184-1186.
- Yamamoto, S., Bluhm, H., Andersson, K., Ketteler, G., Ogasawara, H., Salmeron, M. and Nilsson, A. 2008. In situ x-ray photoelectron spectroscopy studies of water on metals and oxides at ambient conditions. **Journal of Physics: Condensed Matter** 20: 1-14.
- Yin, H., Liu, H. and Shen, W.Z. 2010. The large diameter and fast growth of self-organized TiO₂ nanotube arrays achieved via electrochemical anodization. **Nanotechnology** 21: 35601-35607.
- Yu, X., Wang, H., Liu, Y., Zhou, X., Li, B., Xin, L., Zhou, Y. and Shen, H. 2013. One-step ammonia hydrothermal synthesis of single crystal anatase TiO₂ nanowires for highly efficient dye-sensitized solar cells. **Journal of Materials Chemistry A** 1: 2110-2117.

Zhu, K., Neale, N.R., Miedaner, A. and Frank, A.J.
2007. Enhanced Charge-Collection
Efficiencies and Light Scattering in Dye-

Sensitized Solar Cells Using Oriented TiO_2
Nanotubes Arrays. **Nano Letters** 7: 69-74.

การตรวจสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดถั่วขาว และฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคสัตว์น้ำ

Phytochemical Screening of *Bruguiera cylindrica* Extracts and Pathogenic Antibacterial Activities

ลักขณ์ วิทยา^{1*} อุทร เจริญเดช¹ สิทธิโชค จันทย์ยอง¹ และ นรารักษ์ หลีสกุล²

Luksamee Vittaya^{1*}, Uton Charoendat¹, Sittichoke Janyong¹ and Nararak Leesakul²

Received: 29 November 2018 , Revised: 4 June 2019, Accepted: 6 September 2019

บทคัดย่อ

ถั่วขาว (*Bruguiera cylindrica*) เป็นพืชป่าชายเลนวงศ์ Rhizophoraceae พบได้ในพื้นที่เขตร้อน เก็บรวบรวมตัวอย่างแห้งของเปลือก ใบ ผลและกิ่งของถั่วขาวมาสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล นำสารสกัดหยาบตรวจสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียและฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคสัตว์น้ำ 4 ชนิด คือ *Streptococcus agalactiae* SAAQ001, *Aeromonas hydrophila* AHAQ001, *Vibrio harveyi* VHAQ001 และ *V. parahaemolyticus* โดยวิธี hole-plate diffusion พบว่า สารสกัดส่วนใหญ่ออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทั้งแกรมบวกและแกรมลบ ตรวจสอบความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Minimal Inhibitory Concentration, MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (Minimal Bactericidal Concentration, MBC) พบว่าสารสกัดจากใบและกิ่งของถั่วขาวให้ค่าการยับยั้งและฆ่าแบคทีเรียต่ำสุดกับเชื้อ *S. agalactiae* การตรวจสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่าสารสกัดถั่วขาวมีสารพฤกษเคมีหลายกลุ่ม คือ แอนทราควิโนน เทอร์พีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน ฟีนอลิก และ อัลคาลอยด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทอร์พีนอยด์ ซึ่งพบเฉพาะในใบและกิ่งสนับสนุนการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าสารสกัดถั่วขาวมีสารกลุ่มออกฤทธิ์ที่สำคัญ ช่วยเสริมการออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรค ซึ่งสามารถนำแหล่งสารออกฤทธิ์ทางธรรมชาตินี้ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้านเชื้อแบคทีเรียได้

คำสำคัญ: ถั่วขาว, ป่าชายเลน, ฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย, การตรวจสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

¹ Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang 92150, Thailand.

² ภาควิชาเคมี ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

² Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat-Yai, Songkhla 90110, Thailand.

* Corresponding author, e-mail: nokluksamee@hotmail.com Tel: 08 9653 9180

ABSTRACT

Bruguiera cylindrica is a mangrove plant in the Rhizophoraceae family which founded in tropical regions. The dried samples of bark, leaf, pod and twig of *B. cylindrica* were collected and were macerated with methanol. Crude extract of each parts was determined the phytochemical screening and antibacterial activity with the aquatic pathogenic bacteria, *Streptococcus agalactiae* SAAQ001, *Aeromonas hydrophila* AHQA001, *Vibrio harveyi* VHAQ001 and *V. parahaemolyticus* by hole-plate diffusion method. Most of the plant extracts showed a wide range of antibacterial activity against gram-positive and gram-negative bacteria. In addition, minimal inhibitory concentration (MIC) and minimal bactericidal concentration (MBC) were investigated. The results showed that the leaf and twig extracts of *B. cylindrica* had the lowest MIC/MBC to *S. agalactiae*. Phytochemical screening revealed that the *B. cylindrica* extracts contained a rich source of various phytochemical such as anthraquinone, terpenoids, flavonoids, saponins, phenolics and alkaloids. Terpenoid especially founded in leaf and twig supported antibacterial activity. The results presented here suggested that the presence of bioactive substances from *B. cylindrica* extracts was the factors responsible for bioactivity against the chosen bacterial pathogens. Also, *B. cylindrica* was a potential source of biologically active compounds that could be used to develop natural and bioactive pharmaceutical products against bacterial pathogens in aquatic animals.

Key words: *Bruguiera cylindrica*, mangrove, antibacterial activity, phytochemical screening

INTRODUCTION

Several parts of plants, such as bark, leaf, fruit and flower, may contain phytochemical constituents with a variety of pharmacological properties which are potential sources of therapeutic drugs. These are natural bioactive compounds that are formed during a plant's normal metabolic processes and are often referred as secondary metabolites. Commonly these chemicals include flavonoids, alkaloids, terpenoids, tannins, saponins and so on (Santhi and Sengottuve, 2016). Many secondary metabolites from plants, especially mangrove, are being widely used as antioxidants and antibacterial agents (Shelar *et al.*, 2012). It is a common practice to use plants in the form of crude extracts or decoctions to treat infections. Therefore, it is important to determine the phytochemical constituents in order to know the type of biological activity that may be exhibited by the plant (Vasanthi *et al.*, 2014).

Bruguiera cylindrica is an evergreen mangrove tree belonging to the family Rhizophoraceae (Figure 1). It is a small to medium tree growing up to 15

meters tall. The bark is smooth and grey or brown with few lenticels and the trunk is buttressed by its roots. The leaves are opposite and elliptical with pointed ends. The flowers are in small bunches in the axils of the leaves (Krishnamoorthy *et al.*, 2011). Previous reports indicated the use of *B. cylindrica* leaf, bark, root, stilt root, hypocotyl and flower as candidate insecticidal agents for mosquito control (Ali *et al.*, 2012; 2014). Also, the antibacterial activity of this plant has been tested against antibiotic resistant bacteria and eye pathogens. It has also showed promising antibacterial activity against both the bacterial groups (Ravikumar *et al.*, 2011). Methanolic leaf extract of *B. cylindrica* was tested for antibacterial and cytotoxic properties against pathogenic strains found in aquaculture and the results showed that it was effective against *Vibrio* pathogens (Shamsuddin *et al.*, 2013). Krishnamoorthy *et al.* (2011), Vadlapudi and Naidu (2009) and Agoramoorthy *et al.* (2008) reported that *B. cylindrica* presented a good source of natural antioxidants by scavenging free radicals because of its rich phenolic and flavonoid

concentrations. Manilal *et al.* (2009) supported the compounds such as diterpenoid and diterpene have been isolated from this plant (Chantrapromma *et al.*, 2003; Chantrapromma *et al.*, 2007; Salae *et al.*, 2007) and may be liable for various potential medicinal properties attributed to it. In addition, mangroves have been found to exercise strong antioxidant, antibacterial and antifungal activities (Shamsuddin *et al.*, 2013). Thus, studying antibacterial activity from another parts of this plant is an interesting issue which may be used as cures for animal or human diseases. Bacteria that cause disease in aquatic animals are another problem that directly affects consumers. Therefore, finding bioactive substance from plants to prevent

pathogenic bacteria will be useful information to replace chemicals and antibiotics as well as to also avoid chemical residues in aquatic animals. Thus, the aim of this work is to carry out preliminary phytochemical screening of bark, leaf, pod and twig of *B. cylindrica* and to determine their activity against aquatic pathogenic bacteria. Since there is no previous report on this activity of various part like bark, pod twig and leaf with four aquatic pathogenic bacteria (*S. agalactiae*, *A. hydrophila*, *V. harveyi* and *V. parahaemolyticus*), to the best of our knowledge, we are attempting the first study of the phytochemical and antibacterial activity of this species.



Figure 1 The various parts of *Bruguiera cylindrica*

MATERIALS AND METHODS

Plant material and extraction procedure

Fresh bark, leaf, pod and twig of *B. cylindrica* were collected from Rajamangala mangrove forest, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang province (December 2015) and identified by Assistant Professor Sittichoke Junyong (The Forest Herbarium, Bangkok, voucher specimen number BKF.194807). The dried powder (1,000 g) of each parts (bark, leaf, pod, twig) was extracted with methanol in

the ratio of 1:5 (w/v) for a week. The resulting extracts were evaporated to dry residue using a rotary evaporator with low temperature at 45 °C and refrigerated until used. The yield of bark, leaf, pod and twig extracts was 21.54 %, 53.76 %, 29.22 % and 15.00 %, respectively. All extracts were then determined for both phytochemical composition and antibacterial activity.

Preliminary screening of phytochemical test

The different qualitative chemical tests were carried out using standard procedures to identify the constituents of various extracts of *B. cylindrica* which were described by (Tukiran, 2013; Bhatt and Dhyani, 2012; Mouafi *et al.*, 2014 and Vittaya and Chalad, 2016) as follows:

Antraquinone test

Two hundred and fifty of each extract was boiled with 10% sulfuric acid for a 2-3 minutes in a water bath, filtered, and allowed to cool. The filtrate was then extracted with chloroform and 3% ammonia solution was added. The formation of a rose pink color in the ammonia layer indicated the presence of anthraquinone (Tukiran, 2013)

Terpenoid test

Two hundred and fifty of each extract of bark, leaf, pod and twig were extracted with petroleum ether. To the filtrate, chloroform was added and then concentrated sulfuric acid. A reddish brown ring at the junction of the two layers indicated the presence of terpenoid (Tukiran, 2013).

Flavonoid test

Three mL of 95% ethanol was added to small amounts of each extract (0.250 g.), which were later treated with a few fragments of metallic magnesium. After filtration, concentrated hydrochloric acid was added. The formation of a cherry color indicated the presence of flavonoids (Bhatt and Dhyani, 2012).

Saponin test

About 0.250 g of each extract was mixed with water and heated in a water bath. After filtration, 5 mL of distilled water was added and shaken well. The formation of froth showed the presence of saponin (Vittaya and Chalad, 2016).

Phenolic test

Two hundred and fifty of each extract of bark, leaf, pod and twig were shaken in water separately and warmed. The mixture was filtered and ferric chloride was added to the filtrate. A dark

green, dark blue or black color indicated the presence of phenolic compounds (Mouafi *et al.*, 2014).

Alkaloid test

Two hundred and fifty of each extract was dissolved in dilute sulfuric acid and warmed before being filtered. A few drops of Dragendroff's reagent were added to the filtrate. The formation of an orange-yellow precipitate indicated the presence of alkaloids (Mouafi *et al.*, 2014).

Antibacterial properties investigation

Inoculums preparation

Four bacterial strains causing severe disease in aquatic animals including *Streptococcus agalactiae* SAAQ001, *Aeromonas hydrophila* AHAQ001, *Vibrio harveyi* VHAQ001 (derived from Kasetsart University) and *Vibrio parahaemolyticus* (derived from Songkhla Aquatic Animal Health Center, Thailand) were used for producing the inoculums tested with *B. cylindrica* extracts. All tested inoculums were produced through the modified method of Sritunyalucksana *et al.* (2005). The concentrations were adjusted at 1×10^8 CFU ml^{-1} in NaCl solution and 1×10^6 CFU ml^{-1} in Mueller Hinton broth (MHB), used for testing antibacterial activity and MIC/MBC determination. In addition, the 1.5% NaCl was supplemented in the cultured media for *Vibrio* spp. subculture.

Screening of antibacterial activity

The preliminary screening of antibacterial properties existing in the extract samples, derived from bark, leaf, pod and twig of *B. cylindrica*, was done in quadruplicate with hole-plate diffusion method (Brantner *et al.*, 1994 Modified method). Firstly, Petri disc containing Muller Hinton agar (MHA) was evenly swabbed with cotton swab soaked with 1×10^8 CFU ml^{-1} of each tested inoculum, dried for 5 mins, and then made the hole, having the standard size as 6 mm in diameter. Secondly, 40 μl of each extract sample dissolved in DMSO with the concentration level of 100 $\text{mg} \cdot \text{ml}^{-1}$. The mixture was filled into the created hole with aseptic technique. Also, Oxytetracycline

and DMSO were introduced into the other holes as positive and negative controls, respectively. Finally, the agar plates were incubated at 35 °C for 18-24 hrs, then the antibacterial activity of each extract sample was evaluated by measuring zone of inhibition (clear zone, diameter in mm.) surrounding the hole.

Determination of MIC and MBC

Stock solutions of four pathogenic bacteria, *S. agalactiae* SAAQ001, *A. hydrophila* AHAQ001, *V. harveyi* VHAQ001 and *V. parahaemolyticus* were used and all tested inoculums had been produced as 1×10^6 CFU ml⁻¹ through the modified method of Sritunyalucksana *et al.* (2005). The stock solutions of each extract and control were prepared with an initial concentration of 100 mg ml⁻¹, and serially diluted two-fold with Mueller Hinton broth (MHB) to obtain a concentration range from 0.01-50000 µg.ml⁻¹. Fifty µl of each concentration was added in 96 well plates containing 50 µl of MHB. The inoculums standardized at 1×10^6 CFU ml⁻¹ were filled in each well and gently mixed by multichannel auto-pipette in order to produce the final concentration of 5×10^5 CFU ml⁻¹ in each well. After mixing, the plates were covered with a sterile plate sealer and incubated at 35 °C for 24 hrs. The turbidity of the solutions was then checked, and *p*-Iodonitrotetrazolium chloride (INT) was added to each well to confirm bacterial growth from discoloration of the mixture. The presence of microorganisms reduced the yellow dye to a pink color. MIC was defined as the lowest concentration of the extract that prevented this change and exhibited complete inhibition of bacterial growth. In addition, a negative growth control of DMSO was included in every test in quadruplicate following the aforementioned method and four wells of inoculums were set up as a negative control (Eloff, 1998 modified method). Minimal bactericidal concentration (MBC) was streak plate technique performed after a broth microdilution test. Briefly, one loopful of the clear solution

presenting in the broth microdilution test was streaked onto agar plates, Mueller Hinton agar (MHB). The agar plates were incubated at 35 °C for 24 hrs. The MBC value was estimated from the appearance of bacterial colonies on the agar plates, on which antibacterial agent concentrations were specified. The lowest concentration presenting no bacterial colony was the MBC value (Eloff, 1998; National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS), 2000).

Statistical analysis

Data obtained were expressed as four times the mean $\pm$ standard deviation. The data were subjected to ANOVA test to measure whether there was significant difference in zones of inhibition between extract and antibiotic used, and finally, the Duncan's Multiple Range Test (DMRT) with $p < 0.05$ as a limit of significant.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Phytochemical screening

The phytochemical screenings of crude methanolic extracts of bark, leaf, pod and twig samples of *B. cylindrica* revealed the presence of some secondary metabolites or bioactive compounds such as anthraquinone, terpenoid, flavonoid, tannin, saponin and alkaloid as shown in Table 1 and Figure 2. These phytochemical compounds are known to have medicinal and pharmacological importance (Adebayo and Ishola, 2009), giving reason for their study as potential pharmaceuticals. In this work, all parts contained flavonoids and phenolic compounds, which are one of the most unique groups of plant metabolites (Singh *et al.*, 2007). These compounds have biological properties, such as anticandidal activity (Hong *et al.*, 2011) and antioxidant activity (Vijayavel *et al.*, 2006; Loo *et al.*, 2007; Loo *et al.*, 2008; Rahim *et al.*, 2008; Gao and Xiao, 2012). Terpenoid was observed only in leaf and twig. Its therapeutic properties have been generally reported of use against bacteria, fungi and cancers (Premanathan *et al.*, 1999; Hong *et al.*, 2011; Sulaiman *et al.*,

2011). Anthraquinone and saponin were detected in the bark, pod and twig extract but not in the leaf extract. Saponin has been found to exercise antimicrobial activity against a wide range of microorganisms in vitro (Saad *et al.*, 2011). This activity is probably due to the polarity of these compounds across the

microorganisms' cell membranes. However, alkaloid was found in all extracts except pod extract and several works have reported its biological activity as anti-inflammatory (Augusto *et al.*, 2011), antimicrobial (Benbott *et al.*, 2012) and antimalarial (Dua *et al.*, 2013).

Table 1 Qualitative phytochemical analysis in the extract of *B. cylindrical*

Plant constituents	Verification method	observations	<i>B. cylindrical</i> extracts			
			Bark	Leaf	Pod	Twig
Anthraquinone	Borntrager's test	Formation of a rose pink color	+	-	+	+
Terpenoid	Salkowski's test	Reddish brown ring	-	+	-	+
Flavonoid	Reduction of metal	Formation of a cherry color	+	+	+	+
Saponin	Forth test	Formation of a stable foam	+	-	+	+
Phenolic	Ferric chloride test	Green-bluish, dark green	+	+	+	+
Alkaloid	Dragendroff's test	Formation of an orange-yellow precipitate	+	+	-	+

Note: “+” means present and “-” means absent

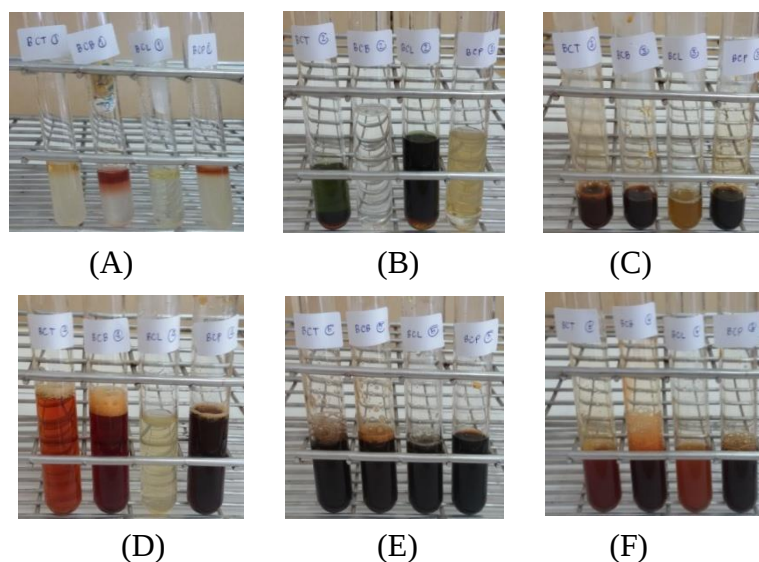


Figure 2 Qualitative phytochemical analysis in extracts of *B. cylindrical* bark (BCB), leaf (BCL), twig (BCT) and pod (BCP): (A) Anthraquinone; (B) Terpenoid; (C) Flavonoid; (D) Saponin; (E) phenolic; (F) Alkaloid

Antibacterial screening

The antibacterial activity of phytochemical compounds like flavonoids and phenolic compounds has been

variously reported (Ravikumar *et al.*, 2011) and in this work, we report the antibacterial screening of bark, leaf, pod and twig extracts of *B. cylindrical*

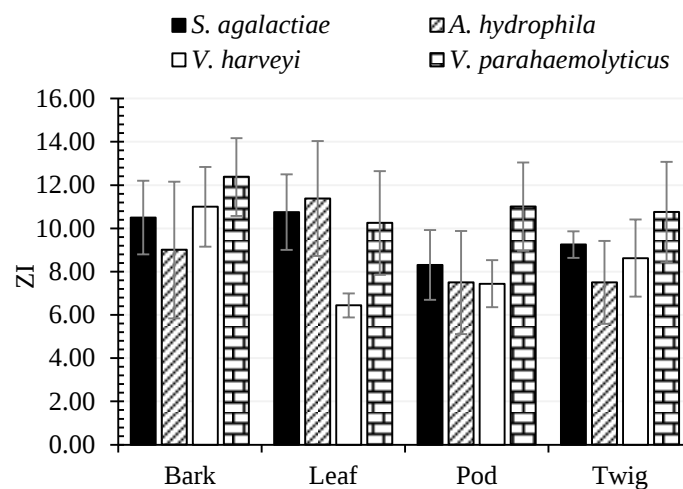
compared with oxotetracycline as antibiotic agent. The results were listed in Table 2 and presented in Figure 3. The antibacterial activity of all the extracts was slightly different in the inhibition zone producing a range from 7.44-12.38 mm against the four pathogenic bacterial strains (*S. agalactiae*: gram positive and *V. harveyi*, *A. hydrophila* and *V. parahaemolyticus*: gram negative). The effective growth inhibition of the bioactive component present in these extracts showed as clear areas surrounding the hole. This antibacterial activity may be due to active compounds like anthroquinone, terpenoids, flavonoids, saponin, phenolics and alkaloids which are present in this plant (Table 1). Some of these phytochemical compounds have already been reported to have antibacterial properties (Santhi and Sengottuve, 2016). In addition, minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) were determined and the results presented in Table 3 and showed in Figure 4 and Figure 5, respectively. The results of antibacterial activity assay showed that all extracts of *B. cylindrica* were not different in MIC (6250-25000 $\mu\text{g.ml}^{-1}$) and MBC (12500-25000 $\mu\text{g.ml}^{-1}$) for *V. harveyi* and *V. parahaemolyticus*, respectively. However, it showed slightly different in *A. hydrophila* with MIC (3125-12500 $\mu\text{g.ml}^{-1}$) and MBC (3125-12500 $\mu\text{g.ml}^{-1}$). For *S. agalactiae*, the result showed remarkable different MIC (1562.5-3125 $\mu\text{g.ml}^{-1}$) and MBC (1562.5-12500 $\mu\text{g.ml}^{-1}$). From above data, it was founded that the extracts of *B. cylindrica* were more against the gram positive bacterial strain of *S. agalactiae* than the gram negative strains of *A.*

hydrophila, *V. harveyi* and *V. parahaemolyticus* with lower MIC/MBC values, especially leaf and twig extracts. From above phytochemical screening (Table 1), terpenoid substance was only founded in leaf and twig. This may be play an important role to antibacterial activity. This data was supported by the discovery of terpenoid from *B. cylindrica* by Chantrapromma *et al.* (2003). In addition, the phenolic and flavonoid compounds presented by the phytochemical analysis of the extracts could also be inhibitory to the cell protein synthesis of the bacteria (Ravikumar and Kathiresan, 1993; Scalbert, 1991). The phenolic structure of flavonoids contains one carbonyl group in its molecule which permeates cell walls and soluble proteins (Ravikumar *et al.*, 2011), thus exhibiting its antibacterial activity. Generally, gram positive bacteria are believed to be weaker having only an outer peptidoglycan layer which is not an effective impermeable barrier, whereas gram negative bacteria have an outer phospholipidic membrane carrying the structural lipopolysaccharide compound. The presence of a peptidoglycan and phospholipidic bilayer makes the cell membranes of these bacteria impermeable to pharmaceutical constituents. In the face of this barrier the phytochemical constituents were effective in inhibiting the growth of these pathogenic strains (Ravikumar *et al.*, 2011). Based on the results, it is possible to conclude that methanolic extracts of various parts of *B. cylindrica* have potential as a source of antibacterial agents against pathogenic aquatic bacteria. Furthermore, the quantitative determination of its phytochemical constituents is of importance for further study.

Table 2 Zone of inhibition from methanolic extracts of *B. cylindrica* against four pathogenic bacteria causing infectious disease in aquaculture

Part of plant	Zone of inhibition diameter (mm)			
	<i>S. agalactiae</i>	<i>A. hydrophila</i>	<i>V. harveyi</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>
Bark	10.50±1.70 ^b	9.00±3.16 ^{bc}	11.00±1.84 ^b	12.38±1.80 ^b
Leaf	10.75±1.74 ^b	11.38±2.66 ^b	6.44±0.55 ^d	10.25±2.40 ^b
Pod	8.31±1.61 ^b	7.50±2.38 ^c	7.44±1.09 ^{cd}	9.19±0.63 ^b
Twig	9.25±0.61 ^b	7.50±1.91 ^c	8.63 ±1.79 ^c	11.00±2.04 ^b
Oxytetracycline	37.50±2.27 ^a	34.88±0.14 ^a	40.13±1.16 ^a	33.50±1.02 ^a

Note: Values are zone of inhibition and expressed as mean (mm) ± S.D (n = 4) (Conc. 4 mg/hole); superscripts a - d indicate the difference compared with the others (in the same column by the Duncan's Multiple Range Test: DMRT) is significant at 0.05 level zone of inhibition diameter from higher to lowest values

**Figure 3** Zone of inhibition (ZI: mm) of *B. cylindrica* bark, leaf, pod and twig with *S. agalactiae*, *A. hydrophilic*, *V. harveyi* and *V. parahaemolyticus***Table 3** Minimum Inhibitory Concentration (MIC) and Minimum Bactericidal Concentration (MBC) ($\mu\text{g.ml}^{-1}$) of the extracts from *B. cylindrica* against four pathogenic bacteria causing infectious disease in aquaculture

Part of plant	MIC/MBC (ppm, μgml^{-1})			
	<i>S. agalactiae</i>	<i>A. hydrophila</i>	<i>V. harveyi</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>
Bark	3125/12500	6250/6250	6250/12500	6250/25000
Leaf	1562.5/1562.5	3125/3125	12500/12500	12500/25000
Pod	3125/12500	12500/12500	12500/12500	12500/25000
Twig	1562.5/6250	6250/12500	6250/25000	12500/25000
Oxytetracycline	0.05/0.05	0.01/0.19	0.19/0.38	0.01/0.01

Note: Values are Minimum Inhibitory Concentration (MIC) and Minimum Bactericidal Concentration (MBC) and expressed as mean (mm) ± S.D (n = 4)

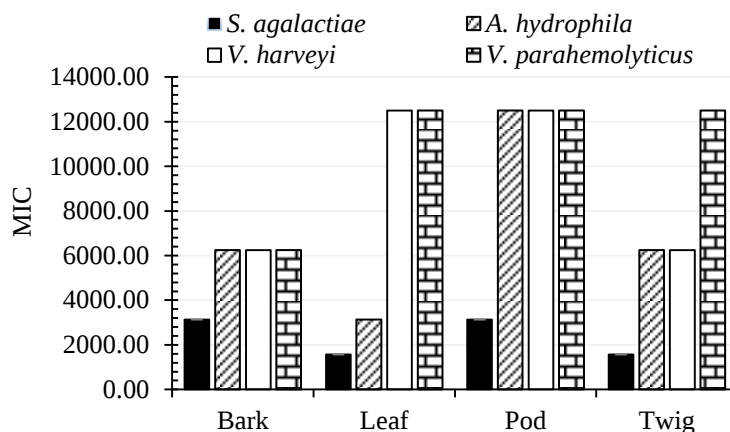


Figure 4 Minimum Inhibitory Concentration (MIC: ugml⁻¹) of *B. cylindrica* bark, leaf, pod and twig with *S. agalactiae*, *A. hydrophilic*, *V. harveyi* and *V. parahaemolyticus*

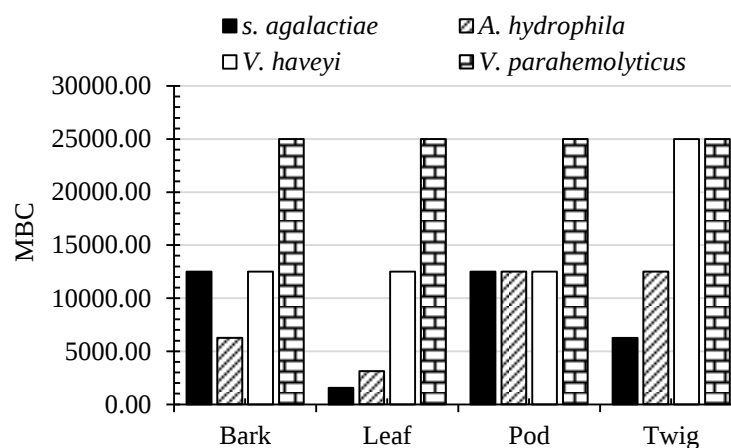


Figure 5 Minimum Bactericidal Concentration (MBC: ugml⁻¹) of *B. cylindrica* bark, leaf, pod and twig with *S. agalactiae*, *A. hydrophilic*, *V. harveyi* and *V. parahaemolyticus*

CONCLUSION

The results of the present in vitro antibacterial assay and MIC/MBC test revealed that the methanolic extracts of various parts of *B. cylindrica* were effective against pathogenic aquatic bacteria of both gram-negative and gram-positive strains, especially leaf and twig extracts with the lowest MIC/MBC to *S. agalactiae*. This activity was supported by bioactive components such as anthraquinone, flavonoids, saponins, phenolics, alkaloids, especially terpenoids which only founded in leaf and twig. These are well known to possess antibacterial and other therapeutic properties. The present study provides evidence of antimicrobial properties that

correspond to the phytochemical study which showed the active ingredients in *B. cylindrica*. This species could probably provide alternative bioactive agents to mitigate the problems of diseases currently proliferating in aquaculture.

ACKNOWLEDGEMENT

The Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang campus supported this research by providing laboratory facilities and finance. The authors acknowledge the Center of Excellence for Innovation in Chemistry (PERCH-CIC), office of the Higher Education Commission, Ministry of

Education. We would also like to thank Mr. Thomas Duncan Coyne for assistance with the English.

REFERENCES

- Adebayo, E.A. and Ishola, O.R. 2009. Phytochemical and antimicrobial screening of crude extracts from the root, stem, bark, and leaves of *Terminalia glaucescens*. **African Journal of Pharmacy and Pharmacology** 3(5): 217-221.
- Augusto, L.S., Josean, F.T., Marcelo, S., Margareth, F.M., Petronio, F.A. and Jose, M.B. 2011. Anti-inflammatory activity of alkaloids: an update from 2000 to 2010. **Molecules** 16(10): 8515-8534.
- Agoramoorthy, G., Chen, F.A., Venkatesalu, V., Kuo, D.H. and Shea, P.C. 2008. Evaluation of antioxidant polyphenols from selected mangrove plants of India. **Asian Journal of Chemistry** 20(2): 1311-1322.
- Ali, M.S., Ravikumar, S. and Beula, J.M. 2012. Spatial and temporal distribution of mosquito larvicidal compounds in mangroves. **Asian Pacific Journal of Tropical Disease** 2(5): 401-404.
- Ali, M.S., Ravikumar, S., Beula, J.M., Anuradha, V. and Yogananth, N. 2014. Insecticidal compounds from Rhizophoraceae mangrove plants for the management of dengue vector *Aedes aegypti*. **Journal of Vector Borne Diseases** 51(2): 106-114.
- Benbott, A., Yahya, A. and Belaïdi, A. 2012. Assessment of the antibacterial activity of crude alkaloids extracted from seeds and roots of the plant *Peganum harmala* L. **Journal of Natural Product and Plant Resources** 2(5): 568-573.
- Bhatt, S. and Dhyani, S. 2012. Preliminary phytochemical screening of AILANTHUS EXCELSA ROXB. **International Journal of Current Pharmaceutical Research** 4(1): 87-89.
- Brantner, A., Pfeiffer, K. and Brantner, H. 1994. Applicability of diffusion methods required by the pharmacopoeias for testing antibacterial activity of natural compounds. **Pharmazie** 49(7): 512-516.
- Chantrapromma, S., Fun, H.K., Razak, I.A., Laphookhieo, S. and Karalai, C. 2003. Absolute configuration of 3 α -feruloyltaraxerol dichloromethane solvate. **Acta Crystallographica, Section E** 9(12): 1864-1866.
- Chantrapromma, S., Salae, A.W., Fun, H.K. and Ponglimanont, C. 2007. Ent-Kaur-16-en-19-al. **Acta Crystallographica, Section E: Structure Reports Online** 63(11): So4329/1-So4329/9.
- Dua, V.K., Gaurav, V., Bikram, S., Aswathy, R., Upma, B., Dau, D.A., Gupta, N.C., Sandeep, K. and Ayushi, R. 2013. Anti-malarial property of steroidal alkaloid conessine isolated from the bark of *Holarrhena antidysenterica*. **Malaria Journal** 12: 194.
- Eloff, J.N. 1998. A Sensitive and quick microplate method to determine the minimal inhibitory concentration of plant extracts for bacteria. **Planta Medica** 64(8): 711-713.
- Gao, M. and Xiao, H. 2012. Activity-guided isolation of antioxidant compounds from *Rhizophora apiculata*. **Molecules** 17(9): 10675-10682.
- Hong, L.S., Ibrahim, D., Kassim, J. and Sulaiman, S. 2011. Gallic acid: An anticandidal compound in hydrolysable tannin extracted from the barks of *Rhizophora apiculata* Blume. **Journal of Applied Pharmaceutical Science** 01(06): 75-79.
- Krishnamoorthy, M., Sasikumar, J.M., Shamna, R., Pandiarajan, C., Sofia, P. and Nagarajan, B. 2011. Antioxidant activities of bark extract from mangroves, *Bruguiera cylindrica*

- (L.) blume and *Cerriops decandra* Perr. **Indian Journal of Pharmacology** 43(5): 557-562.
- Loo, A.Y., Jain, K. and Darah, I. 2007. Antioxidant and radical scavenging activities of thepyroligneous acid from a mangrove plant, *Rhizophora apiculata*. **Food Chemistry** 104(1): 300-307.
- Loo, A.Y., Jain, K. and Darah, I. 2008. Antioxidant activity of compounds isolated from the pyroligneous acid, *Rhizophora apiculata*. **Food Chemistry** 107(3): 1151-1160.
- Manilal, A., Sujith, S., Kiran, G.S., Selvin, J. and Shakir, C. 2009. Biopotentials of mangroves collected from the Southwest coast of India. **Global Journal of Biotechnology & Biochemistry** 4(1): 59-65.
- Mouafi, F.E., Abdel-Aziz, S.M., Bashir, A.A. and Fyiad, A.A. 2014. Phytochemical analysis and antimicrobial activity of mangrove leaves (*Avicenna marina* and *Rhizophora stylosa*) against some pathogens. **Journal World Applied Sciences** 29(4): 547-554.
- National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS). 2000. Method for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Growth Aerobically. Approved Standard, NCCLS, Wayne, PA.
- Premanathan, M., Arakaki, R., Izumi, H., Kathiresan, K., Nakano, M., Yamamoto, N. and Nakashima, H. 1999. Antiviral properties of a mangrove plant, *Rhizophora apiculata* Blume, against human immune deficiency virus. **Antiviral Research** 44(2): 113-122.
- Rahim, A.A., Rocca, E., Steinmetz, J., Kassim, M.J., Ibrahim, M.S. and Osman, H. 2008. Antioxidant activities of mangrove *Rhizophora apiculata* bark extracts. **Food Chemistry** 107: 200-207.
- Ravikumar, S. and Kathiresan, K. 1993. Influence of tannins, amino acids and sugar on fungi of marine halophytes. **Mahasagar** 26(1): 21-25.
- Ravikumar, S., Syed Ali, M., Ramu, A. and Ferozekhan, M. 2011. Antibacterial activity of chosen mangrove plants against bacterial specified pathogens. **World Applied Sciences Journal** 14(8): 1198-1202.
- Salae, A.W., Chantrapromma, S., Fun, H.K. and Ponglimanont, C. 2007. Ent-Kaur-16-ene-13, 19-diol. **Acta Crystallographica, Section E: Structure Reports Online** 63(4): 1899-1901.
- Saad, S., Taher, M., Susanti, D., Qaralleh, H., Binti, N.A. and Rahim, A. 2011. Antimicrobial activity of mangrove plant (*Lumnitzera littorea*). **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine** 4(7): 523-525.
- Santhi, K. and Sengottuve, R. 2016. Qualitative and quantitative phytochemical analysis of *Moringa concanensis* Nimmo. **International Journal of Current Microbiology and Applied Science** 5(1): 633-640.
- Scalbert, A. 1991. Antimicrobial properties oftannins. **Phytochemistry** 30(12): 3875-3883.
- Shamsuddin, A.A., Najiah, M., Suvik, A., Azariyah, M.N., Kamaruzzman, B.Y., Effendy, A.W. and John, B.A. 2013. Antibacterial properties of selected mangrove plants against *Vibrio* species and its cytotoxicity against *Artemia salina*. **World Applied Science Journal** 25(2): 333-340.
- Shelar, P.S., Reddy, V.K.S., Shelar, G.S. and Reddy, G.V.S. 2012. Medicinal value of mangroves and its antimicrobial properties-A review. **Continental Journal Fisheries and Aquatic Science** 6(1): 26-37.
- Singh, R., Singh, S.K. and Aroma, S. 2007. Evaluation of antioxidant potential of ethyl acetate extract/fractions of *Acacia auriculiformis* A. Cunn.

- Food Chemical Toxicology** 45(7): 1216-1223.
- Sritunyalucksana, K., Gangnonnigw, W., Archakunakorn, S., Fegan, D. and Flegel, T.W. 2005. Bacterial clearance rate and a new differential hemocyte staining method to assess immunostimulant activity in shrimp. **Diseases of Aquatic Organism** 63(1): 89-94.
- Sulaiman, S., Ibrahim, D., Kassim, J. and Sheh-Hong, L. 2011. Antimicrobial and antioxidant activities of condensed tannin from *Rhizophora apiculata* barks. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research** 3(4): 436-444.
- Tukiran. 2013. Phytochemical analysis of some plants in Indonesia. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare** 3(4): 6-10.
- Vadlapudi, V. and Naidu, K.C. 2009. Evaluation of antioxidant potential of selected mangrove plants. **Journal of Pharmacy Research** 2: 1742-1745.
- Vasanthi, P., Ganapathy, M., Evanjelene, V.K., Ayyavuv, N. and Angamuthu, J. 2014. Phytochemical screening and antioxidant activity of extracts of the leaf and bark of *Albizzia lebbbeck* (Benth). **Academic Journal of Medicinal plants** 2(2): 026-031.
- Vijayavel, K., Anbuselvam, C. and Balasubramanian, M.P. 2006. Free radical scavenging activity of the marine mangrove *Rhizophora apiculata* bark extract with reference tonaphthalene induced mitochondrial dysfunction. **Chemico-Biological Interactions** 163(1-2): 170-175.
- Vittaya, L. and Chalad, C. 2016. Effect of solvent on phytochemical analysis and antibacterial activity of leaf and bark extracts from *Rhizophora apiculata*. **RMUTSV Research Journal** 8(1): 31-38.

อิทธิพลของแหล่งความร้อนสำหรับปั๊มความร้อนในระบบอบแห้งด้วยปั๊ม ความร้อนร่วมกับรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก

The Influence of the Greenhouse as Heat Source for Heat Pump Drying System Combined with Solar Greenhouse

จารุวัฒน์ เจริญจิต* สติทิพร บุญญานุวัตร และ อุดร นามเสน

Jaruwat Jareanjit*, Sittiporn Boonyanuwat and Udon Namsaen

Received: 14 June 2019, Revised: 30 July 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนาต้นแบบระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก การทดลองได้ใช้พริกสดเป็นตัวแทนผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก 2 กรณีศึกษา ได้แก่ (1) การใช้ฮีวปอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนแบบเปิดสู่บรรยากาศ และ (2) การใช้ฮีวปอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนแบบครอบด้วยเรือนกระจก การทดสอบดำเนินการในช่วงเวลา 9:00-21:00 น. (12 ชั่วโมงต่อวัน: 3 วัน) ปริมาณพริกสดที่ใช้ 20 kg ในส่วนของห้องอบแห้งด้านคอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิ 60 °C จากการทดสอบที่สภาวะเดียวกัน พบว่าการดำเนินการตามกรณีที่ (2) ทำให้พริกแห้งจากห้องอบแห้งด้านคอนเดนเซอร์มีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 16.20 % (w.b.) ในขณะที่กรณีที่ (1) พริกแห้งมีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 22.15 % (w.b.) ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 19.8 kWh และ 21.1 kWh ตามลำดับ การอบแห้งกรณีฮีวปอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนครอบด้วยเรือนกระจก กรณีที่ (2) เป็นระบบที่มีสมรรถนะสูงกว่ากรณีที่ (1) โดยมีค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) และค่าการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEEC) เท่ากับ 4.64 kWh/kg และ 1.66 kWh/kg ตามลำดับ ซึ่งค่า SEC และ SEEC กรณีที่ (2) ลดลง 12 % และ 15 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ (1) อันเป็นผลจากการที่ฮีวปอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนครอบด้วยเรือนกระจก เป็นปัจจัยที่ช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบในการลดการใช้พลังงานที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ เนื่องจากแหล่งความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงใช้กรณีดังกล่าว เปรียบเทียบระบบต่อไป

คำสำคัญ: รังสีอาทิตย์, ปั๊มความร้อน, ระบบอบแห้ง, เรือนกระจก

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Muang, Songkhla 90000, Thailand.

* ผู้ติดต่อประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): j.jaruwat@gmail.com

ABSTRACT

This research studied and developed the prototype system of heat pump dryer combined with solar greenhouse. The fresh chili was used as agricultural product for doing the experiment. The test was performed to compare 2 cases of study, including heat pump obtained heat from ambient air and from solar greenhouse. The experiments were performed at the same conditions. For case 1, the evaporator of heat pump was opened to receive heat from ambient air, and case 2, the evaporator of heat pump was covered with greenhouse. Each test was conducted with 20 kg of fresh chili during 9:00 - 21:00 for each day (12 hrs. per day: 3 days). The fresh chili was dried in drying chamber at temperature of 60 °C. The experimental results showed that drying with case 2 provided the dried chili with average moisture content of 16.20 %(w.b.), while drying with case 1 the average moisture content of dried chili was 22.15 %(w.b.). The total electricity energy consumption was equal to 19.8 kWh and 21.1 kWh, respectively. Drying by using evaporator of heat pump covered with greenhouse (case 2) had greater performance than case 1 system. The Specific Energy Consumption (SEC) of both cases was 4.64 kWh/kg and 1.66 kWh/kg, respectively. The SEC and SEEC of case 2 were lower than case 1 of 12 % and 15 %, respectively. These results revealed that the evaporator of heat pump covered with greenhouse (case 2) was a factor that helped to enhance the system's performance. Thus, it reduced the energy consumption of compressor since the temperature of heat source was increased. The study of mentioned system can be used for further comparison.

Key words: solar, heat pump, dryer system, green house

บทนำ

ปัญหาการขาดแคลนพลังงานมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากมีความต้องการใช้พลังงานในด้านต่างๆ โดยเฉพาะพลังงานฟอสซิลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ รวมถึงรายงานของ Lawrence Livermore National Laboratory (Smith *et al.*, 2007) กล่าวถึงข้อตกลงว่าด้วยการลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของแต่ละประเทศ (Nationally Appropriate Mitigation Actions: NAMAs) ส่งผลให้ประเทศไทยต้องมีแผนอนุรักษ์พลังงาน (EEP) และแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) ของกระทรวงพลังงาน เพื่อใช้ในการลดต้นทุนด้าน

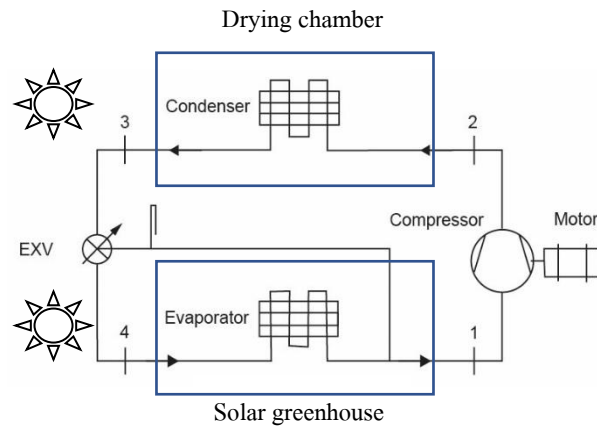
พลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน ในการลดความเข้มการใช้พลังงานลงร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2579 ที่ผ่านมามีอุตสาหกรรมการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอาหารเพื่อแปรรูป และเพิ่มมูลค่าสินค้าเป็นกลุ่มหนึ่งที่ถูกส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิต เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar thermal) ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูง ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย 18.2 MJ/m²-day (ประเทศไทย) ในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ในทางตรงหรือทางอ้อมได้อย่างกว้างขวางตามบริบทของแหล่งทรัพยากรต่างๆ เป็นทุนเดิม

และสามารถสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจได้ การอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มีการใช้รังสีอาทิตย์สำหรับการผลิตลมร้อนในการอบแห้งแบบ passive, active และ hybrid (Fudholi *et al.*, 2010) ระบบสะสมความร้อนแบบเปลี่ยนเฟส (Roonprasang *et al.*, 2006; Gil *et al.*, 2010; Barlev *et al.*, 2011) เพื่อสะสมความร้อน รวมถึงการใช้รังสีอาทิตย์เสริมปั๊มความร้อน (Solar Assisted Heat Pump, SAHP) (Daghighi *et al.*, 2010) โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำงานร่วมกับปั๊มความร้อน 2 รูปแบบ คือทำงานแยกกันโดยทำงานเสริมกันผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และ (Direct-expansion, DX-SAHP) สารทำงานจะขยายตัวโดยตรงในตัวเก็บรังสีอาทิตย์และเป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบ (Kara *et al.*, 2008) เพื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Chaturvedi and Shen, 1984; Morrison, 1994; Kuang *et al.*, 2003) เนื่องจากปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ได้เปรียบเชิงพลังงานสามารถดึงความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงได้ เมื่อเทียบกับการใช้หลอดไฟฟ้าในการทำงานการใช้พลังงานจึงน้อยกว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ใช้อบแห้งได้ ผ่านการควบคุมที่เหมาะสม (Daghighi *et al.*, 2010) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีกว่าการอบลมร้อนธรรมดา (Prasertsan *et al.*, 1997; Soponronnarit *et al.*, 1998; Strommen *et al.*, 1999; Kohayakawa *et al.*, 2004) ประกอบกับกระบวนการอบแห้งอุณหภูมิต่ำ ส่งผลเชิงบวกต่อคุณภาพของวัสดุทางชีวภาพ แต่ต้องใช้เวลาในการอบแห้งนาน (Low Temperature and Long Time, LTLT) (Arason, 2003; Piga *et al.*, 2003; Lewicki, 2006) ดังนั้นการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน และรังสีอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า

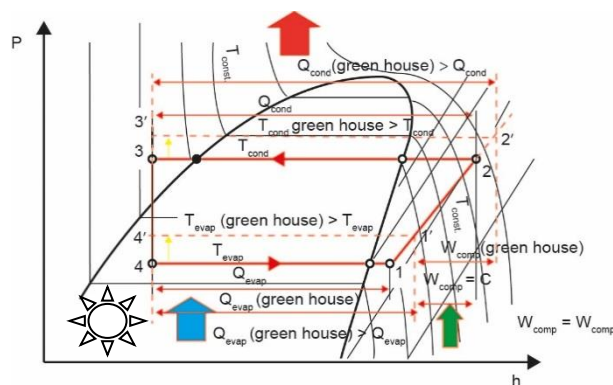
100 °C เป็นแนวทางหนึ่งในการอบเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Jareanjit, 2012) ซึ่งตู้อบแห้งรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจกขนาดเล็กกรณีไม่มีภาระอุณหภูมิภายในสูงประมาณ 80-85 °C (Sharma *et al.*, 1990) สูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 20-30 °C (Minka, 1986) แปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ นอกจากนี้การศึกษาเชิงทดสอบการใช้พลังงานของระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจกที่ประกอบจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตใส ในกรณีที่อัตราป้อนเรเตอร์ของปั๊มความร้อนครอบด้วยเรือนกระจกเสริมในระบบปิดใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าการเปิดสู่บรรยากาศ ที่พลังงานไฟฟ้า 0.09 kWh (5.8% ของไฟฟ้าทั้งหมด) ต่ำกว่าประมาณ 86.15% ตามลำดับ (Jareanjit *et al.*, 2014) นอกจากนี้การศึกษาเชิงทดสอบการใช้พลังงานของระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมเรือนกระจกจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตใส กรณีที่อัตราป้อนเรเตอร์ของปั๊มความร้อนครอบด้วยเรือนกระจกใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าการเปิดสู่บรรยากาศ มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าการอบในเรือนกระจกปกติ และการตากธรรมชาติ (Jareanjit *et al.*, 2014; Jareanjit and Naemsai, 2016) จากข้อมูลข้างต้น ทางคณะผู้วิจัยพิจารณาว่าการใช้รังสีอาทิตย์และปั๊มความร้อนทำงานร่วมกัน สามารถลดการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ในลักษณะการทำงานแบบผสมผสานกัน สามารถทำงานได้สม่ำเสมอและเพิ่มระยะเวลาการอบแห้งอย่างต่อเนื่องจนได้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ชุดทดลอง



ภาพที่ 1 แนวคิดสำหรับพัฒนาระบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก



ภาพที่ 2 ไดอะแกรม P-h ของปั๊มความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก กรณีที่กำลังที่คอมเพรสเซอร์คงที่

แนวคิดการทำงานของปั๊มความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก สำหรับศึกษานี้ แหล่งความร้อนหลักของระบบได้มาจากรังสีอาทิตย์ทางอ้อมโดยใช้เรือนกระจก (greenhouse) ในการยกระดับอุณหภูมิด้านอิวาปอเรเตอร์ให้สูงขึ้นโดยใช้เรือนกระจก และอาศัยความได้เปรียบเชิงพลังงานของปั๊มความร้อนที่มีความสามารถในการยกระดับของอุณหภูมิคุณภาพต่ำให้สูงขึ้น ประกอบกับเพื่อให้ระบบมีความเสถียรเชิงอุณหภูมิ และความต่อเนื่องของกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์มากขึ้น จึงออกแบบให้ทำงานร่วมกับระบบปั๊มความร้อน เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของแหล่งความร้อนสำหรับระบบอบแห้งปั๊มความร้อนด้านอิวาปอเรเตอร์ โดยคาดการณ์ว่าบรรยากาศในเรือนกระจกที่อุณหภูมิสูงกว่าสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีอุณหภูมิ

ประมาณ 30°C เป็นปัจจัยต่อสมรรถนะของระบบในการลดการใช้พลังงานที่ป้อนที่คอมเพรสเซอร์เนื่องจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงขึ้น ดังแสดงแนวคิดสำหรับพัฒนาระบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก และไดอะแกรม P-h ของปั๊มความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก กรณีที่กำลังที่คอมเพรสเซอร์คงที่ ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 1-2

ปั๊มความร้อนในระบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก ในส่วนของห้องอบแห้งทำจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตใสโปร่งแสง ขนาดกว้าง 120 cm × ยาว 200 cm × สูง 180 cm ภายในห้องอบแห้งมีชั้นอบแห้งจำนวน 5 ชั้น เป็นภาชนะในการใส่พริกมีขนาดกว้าง 90 cm × ยาว 100 cm × สูง 8 cm โดยแต่ละชั้นมีระยะห่าง 30 cm และ

ห่างจากพื้นของตู้อบ 30 cm และมีหลังคาในลักษณะ
โค้งรีมี 60 cm ประยุกต์ใช้ระบบปรับอากาศขนาด

9,000 BTU ใช้สารทำงาน R 32 เป็นสารทำความเย็น
ใน ระบบ ดัง รายละเอียด ใน ภาพ ที่ 3

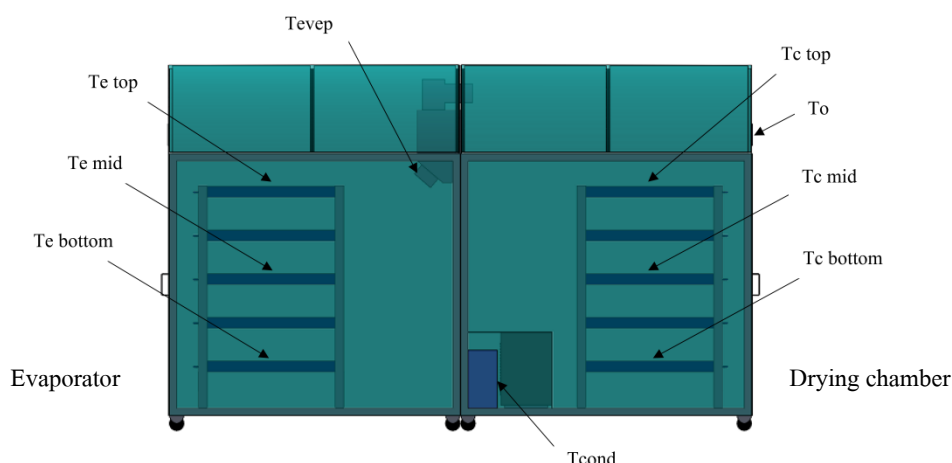


ภาพที่ 3 ระบบปรับอากาศร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลอง เพื่อดำเนินการทดลองสำหรับเปรียบเทียบสมรรถนะการอบแห้ง กรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) กับกรณีมีเรือนกระจก (case 2) ครอบอีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อน ที่หมุนวนอากาศทำงานในระบบเปิด โดยอากาศภายนอกทั้งหมดจะไหลผ่านคอนเดนเซอร์เข้าสู่ห้องอบแห้ง และถูกปล่อยทิ้งสู่ภายนอกทั้งหมด โดยใช้เครื่องต้นแบบ 2 ชุด ทดสอบที่สภาวะเดียวกัน ที่ความเร็วลมในระบบคงที่ 3 m/s ทดลองช่วงเวลา 9:00-21:00 น. (12 ชั่วโมงต่อวัน: 3 วัน) โดยทดลองอบพริกสด 20 kg ในห้องอบด้านคอนเดนเซอร์ที่อุณหภูมิ 60 °C เพื่อทดสอบสมรรถนะ โดยบันทึกข้อมูลอุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้ง และการใช้

พลังงานไฟฟ้าของปั๊มความร้อน วัดค่ารังสีอาทิตย์ด้วย Pyranometer (Kipp & Zonen) Model CM11B ความละเอียด $\pm 2 \text{ W/m}^2$ วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งมีความละเอียด $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ บันทึกข้อมูลค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิการทดลองตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4 ทุกๆ 1 นาที โดยใช้ data logger (Yokogawa) Model MV 2000 สำหรับการวัดความชื้นของผลผลิต (moisture content) โดยการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ อ่านค่าจากเครื่องชั่งดิจิทัล ยี่ห้อ Miras Sartorius ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 30 kg ที่มีค่าความละเอียด 5 g เก็บข้อมูลของน้ำหนัก ทุก 6 ชั่วโมง นำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ เพื่อทำการวัดความชื้นของผลิตภัณฑ์ และอัตราการอบแห้ง

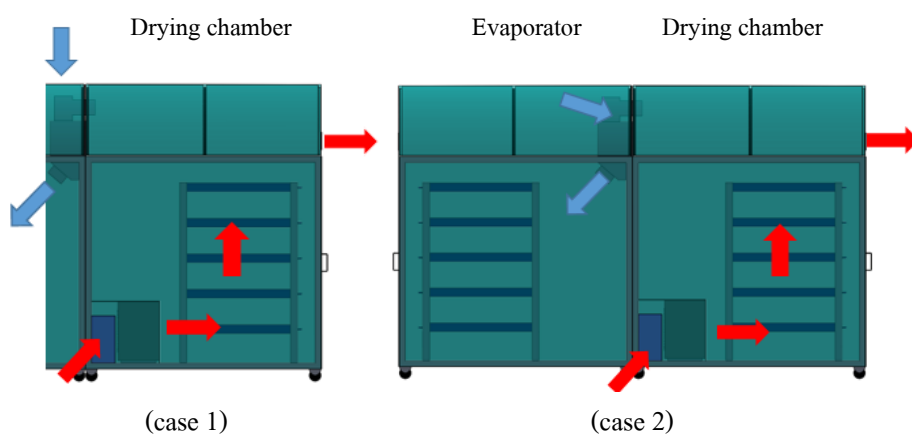


ภาพที่ 4 โครงสร้างตำแหน่งเครื่องอบฟริกติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิเครื่องอบแห้ง

- เมื่อ T_c = จุดวัดอุณหภูมิอากาศในห้องอบที่ชั้นต่างๆ ห้องอบแห้งด้านคอนเดนเซอร์
 T_e = จุดวัดอุณหภูมิอากาศที่ชั้นต่างๆ ด้านอีวาพอเรเตอร์
 T_{cond} = จุดวัดอุณหภูมิอากาศที่คอนเดนเซอร์
 T_{evap} = จุดวัดอุณหภูมิอากาศที่อีวาพอเรเตอร์
 T_o = จุดวัดอุณหภูมิอากาศที่ทางออกตู้อบ

การหาน้ำหนักแห้งทำโดยการนำฟริกสดจำนวน 1 kg มาอบในตู้อบไฟฟ้าขนาด 3,000 W ยี่ห้อ Binder ตั้งอุณหภูมิ 103 °C โดยจะทำการอบแห้ง 48 ชั่วโมง (ฟริกสดจินดา 1 kg เป็นน้ำหนักแห้ง 0.24 kg) โดยเปรียบเทียบสมรรถนะระบบอบแห้งอิทธิพลของเรือนกระจกเป็นแหล่งความร้อนสำหรับระบบอบแห้ง ในตัวแปรของอุณหภูมิ การใช้พลังงาน

(energy consumption) และความชื้นของผลิตภัณฑ์ (moisture content) และอัตราการอบแห้ง (drying rate) กรณีศึกษาต่างๆ เพื่อหารูปแบบการทำงานที่เหมาะสมต่อไป แต่ละกรณีศึกษา ซึ่งติดตั้งหันหน้าไปทางทิศใต้ เพื่อให้ตั้งฉากและรับรังสีอาทิตย์ได้ตลอดการทดลอง เก็บข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าทุกๆ 3 ชั่วโมง



ภาพที่ 5 การหมุนวนอากาศระบบเปิด กรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) กับติดตั้งเรือนกระจก (case 2)

กรณีไม่มีเรือนกระจกครอบอิวาปอเรเตอร์ (case 1) อากาศจะเข้าสู่ห้องอบด้านคอนเดนเซอร์ผ่านทางช่องทางเข้าด้านข้างของเครื่องอบ เมื่อระบบทำงาน พัดลมจะเป่าลมร้อนเข้าสู่ห้องอบให้กับพริก และระบายออกที่ช่องทางด้านหลังของเครื่องอบ ส่วนด้านอิวาปอเรเตอร์จะดูดอากาศจากด้านนอกผ่านเพื่อดึงความร้อนจากบรรยากาศ และปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ อากาศที่ใช้ในระบบจะนำมาจากภายนอกทั้งหมด และอากาศหลังการอบแห้งจะถูกปล่อยทิ้งสู่ภายนอก 100% กรณีติดตั้งเรือนกระจกครอบอิวาปอเรเตอร์ (case 2) อากาศจะหมุนวนเหมือนกับการทดลองกรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) แต่ด้านของอิวาปอเรเตอร์จะถูกครอบปิดให้อากาศหมุนวนผ่านอิวาปอเรเตอร์อยู่ภายในตู้ของด้านที่ถูกครอบปิดเพื่อดึงความร้อนจากบรรยากาศในเรือนกระจก ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 5 ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะทำการตั้งค่าที่เครื่อง

ควบคุมอุณหภูมิของเครื่องควบแน่นไว้ที่ 60 °C ตั้งค่าผลต่างอุณหภูมิ 5 °C และตั้งค่าอุณหภูมิที่อิวาปอเรเตอร์ ไว้ที่ 18 °C เพื่อไม่ให้ป้ะความร้อนทำงานที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป

3. สมรรถนะของระบบ

3.1 การวัดความชื้นของผลิตภัณฑ์ สำหรับ การวัดความชื้นของผลผลิต (moisture content) การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ มาทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ เพื่อทำการวัดความชื้นของผลิตภัณฑ์ และอัตราการอบแห้ง ส่วนใหญ่จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ มี 2 วิธีด้วยกัน คือ

1. การแสดงค่าความชื้นแบบเปอร์เซ็นต์ฐานเปียก (wet basis) เป็นการแสดงค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์โดย พิจารณาจากอัตราส่วนของปริมาณความชื้นต่อน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

$$MC (\% \text{ w.b.}) = \frac{W_w}{W_w + W_d} \times 100 \quad (1)$$

2. การแสดงค่าความชื้นแบบเปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง (dry basis) เป็นการแสดงค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดย พิจารณาจากอัตราส่วนของปริมาณความชื้นต่อน้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

$$MC (\% \text{ d.b.}) = \frac{W_w}{W_d} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W_w คือน้ำหนักของน้ำในเนื้อของผลิตภัณฑ์ (kg)

W_d คือน้ำหนักของเนื้อผลิตภัณฑ์แห้ง (kg)

การหาค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์จากสมการความชื้นฐานเปียก ทำให้ค่าความชื้นมีค่าไม่เกิน 100% ส่วนค่า ความชื้นฐานแห้งอาจจะมีค่าเกิน 100% ได้ โดยงานวิจัยนี้รายงานความชื้นเป็น

เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก โดยที่อัตราการ อบแห้ง พิจารณาจากความชันของกราฟ ซึ่งแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นกับเวลา

$$\text{drying rate, DR} = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (3)$$

3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ในการระเหยน้ำ คือ

พลังงานที่ใช้ต่อมวลของน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$SEC = \frac{E_t}{\Delta W} \quad (4)$$

เมื่อ $E_t = I_t \times A \times \Delta t + E_e$ ดังนั้นสามารถเขียนสมการใหม่ดังนี้

$$SEC = \frac{I_t \times A \times \Delta t + E_e}{\Delta W} \quad (5)$$

เมื่อ A คือพื้นที่รับรังสีส่วนห้องอบแห้ง

E_e คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ (kWh)

E_t คือพลังงานทั้งหมดที่ใช้ (kWh)

I_t คือค่ารังสีอาทิตย์ (kW/m^2)

ΔW คือมวลของน้ำที่ระเหยไปจากผลิตภัณฑ์ (kg)

Δt คือเวลาในการอบแห้ง (h)

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Electrical Energy Consumption, SEEC)

คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการระเหยน้ำ 1 kg จากผลิตภัณฑ์ เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$SEEC = \frac{E_e}{\Delta W} \quad (6)$$

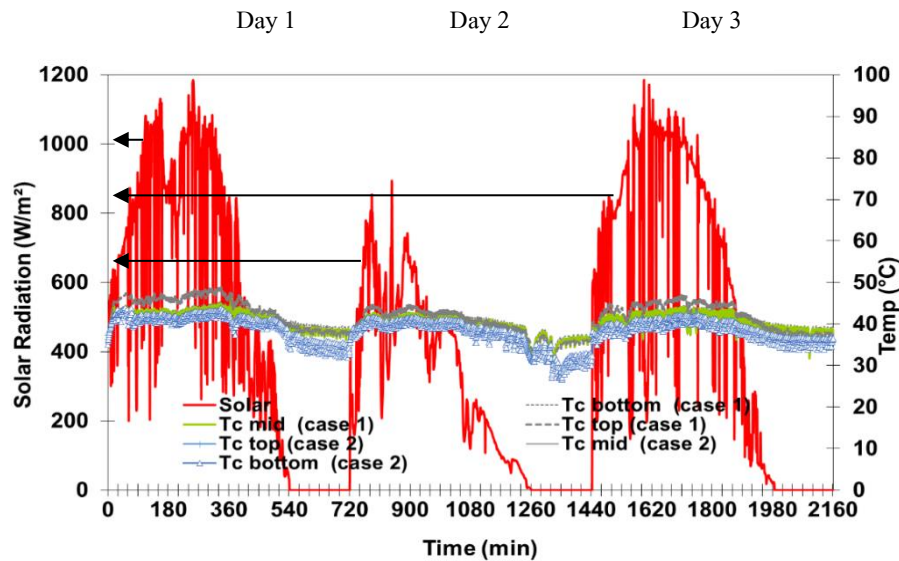
เมื่อ SEC คือความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kWh/kg)

SEEC คือความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (kWh/kg)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการทดสอบอบแห้งพริกในระบบอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางเกษตรอุณหภูมิต่ำโดยการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก โดยเปรียบเทียบสมรรถนะระบบอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก 2 กรณีศึกษา คือ กรณีที่ 1 อีวาปอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนเปิดสู่บรรยากาศ (case 1) และกรณีที่ 2 อีวาปอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนครอบด้วยเรือนกระจกเสริม (case 2) ตามลำดับ ที่สภาวะเดียวกัน

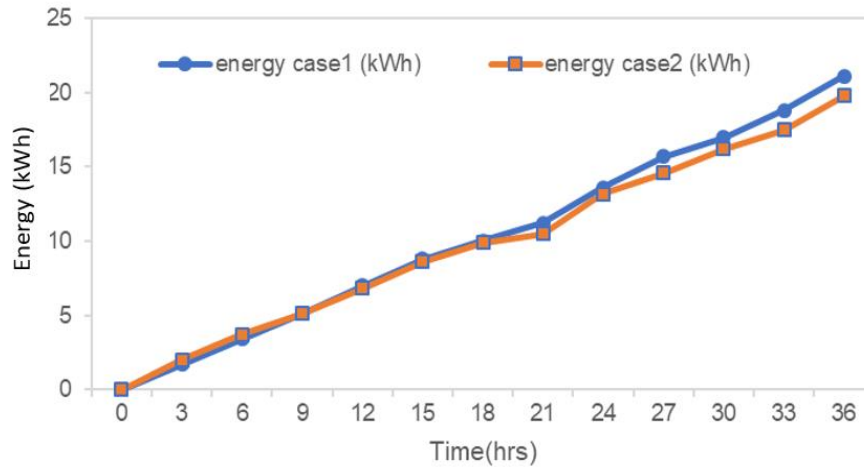
ร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก 2 กรณีศึกษา คือ กรณีที่ 1 อีวาปอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนเปิดสู่บรรยากาศ (case 1) และกรณีที่ 2 อีวาปอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนครอบด้วยเรือนกระจกเสริม (case 2) ตามลำดับ ที่สภาวะเดียวกัน



ภาพที่ 6 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์และค่าอุณหภูมิของอากาศในระบบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์ กรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) กับติดตั้งเรือนกระจก (case 2) กรอบอ้าวปอเรเตอร์ของปั๊มความร้อน

จากภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กับค่าอุณหภูมิของอากาศในห้องอบแห้งด้านคอนเดนเซอร์แต่ละภาคทั้ง 2 กรณีศึกษา ตลอดจนการทดลองเป็นเวลา 3 วัน พบว่ามีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศที่ระดับชั้นอบแห้งต่างกัน โดยอากาศบริเวณถาดบนจะมีอุณหภูมิสูงสุดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศตำแหน่งถาดอื่นๆ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของอากาศในห้องอบแห้ง พบว่ากรณีติดตั้งเรือนกระจก (case 2) จะมีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) เฉลี่ยประมาณ 4-5 °C โดยกรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) ช่วงเวลา 09:00-12:00 น. อุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้งเฉลี่ยประมาณ 38 °C และในช่วงเวลา 12:00-15:00 น. อุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้ง เฉลี่ยประมาณ 38 °C ในขณะที่ช่วงเวลา 18:00-21:00 น. อุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้งลดลงเหลือเฉลี่ยประมาณ 35°C ในขณะที่กรณีติดตั้งเรือนกระจก (case 2) โดยช่วงเวลา 09:00-12:00 น. อุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้งเฉลี่ยประมาณ 42 °C และในช่วงเวลา 12:00-15:00 น. อุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้ง เฉลี่ยประมาณ 38 °C ในขณะที่ช่วงเวลา 18:00-21:00 น.

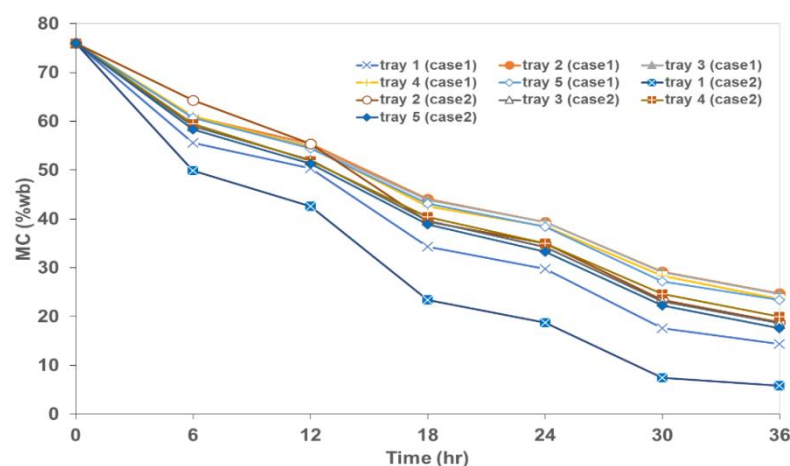
อุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้งลดลงเหลือเฉลี่ยประมาณ 32 °C ตามลำดับ ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสถานะเดียวกัน ช่วงเวลา 09:00-18:00 น. อุณหภูมิจะแปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิของแหล่งความร้อน ในขณะที่ช่วงเวลา 18:00-21:00 น. ซึ่งไม่มีความร้อนจากรังสีอาทิตย์ป้อนสู่เรือนกระจก ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้งลดลง แปรผันตามแหล่งความร้อนเช่นกัน แต่กรณีติดตั้งเรือนกระจก (case 2) ช่วงเวลาดังกล่าวจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าบรรยากาศ พิจารณาได้ว่ากรณีมีเรือนกระจก ความร้อนจะถูกนำไปใช้เป็นแหล่งความร้อนในการเพิ่มคุณภาพพลังงานความร้อนส่งไปยังห้องอบแห้งของปั๊มความร้อน ส่งผลให้มีอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งของกรณีมีเรือนกระจกสูงกว่าการดึงความร้อนจากบรรยากาศอย่างมีนัยสำคัญ พบด้วยว่าอุณหภูมิในภาพรวมในระบบต่ำกว่า 50 °C ส่งผลให้ระบบทำงานเป็นไปในลักษณะการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน และรังสีอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C (LTLT) เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Jareanjit, 2012) ได้ตามสมมุติฐาน



ภาพที่ 7 การใช้พลังงานไฟฟ้าระบบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์ กรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) กับติดตั้งเรือนกระจก (case 2)

จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดตลอด 36 ชั่วโมง โดยแต่ละวันจะทดลองในช่วงเวลา 09:00-21:00 น. พบว่า กรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 21.1 kWh และกรณีติดตั้งเรือนกระจก (case 2) ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด เท่ากับ 19.8 kWh โดยกรณีมีเรือนกระจกจะใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดต่ำกว่า 1.3 kWh หรือลดลง 6.16% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (Jareanjit *et al.*, 2014) ที่มีลักษณะการทำงานรูปแบบเดียวกัน

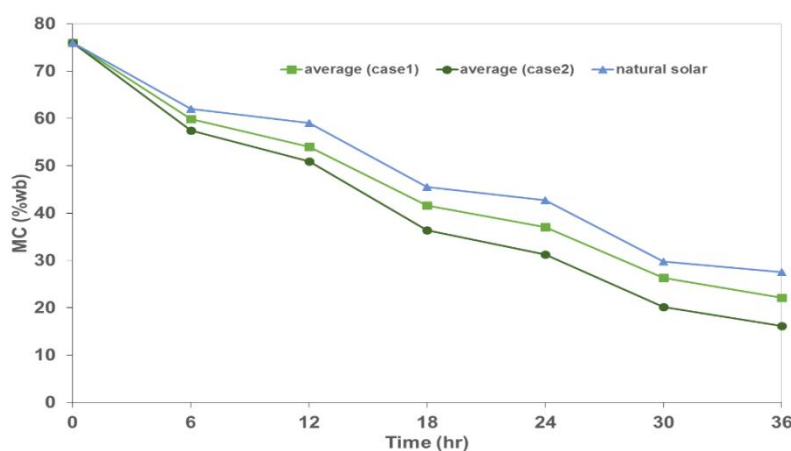
แตกต่างกันที่ปริมาณและการระบอบแห้งที่สูงขึ้นจึงส่งผลต่ออุณหภูมิและการใช้พลังงาน พิจารณาได้ว่าแหล่งความร้อนหลักของระบบได้มาจากรังสีอาทิตย์ผ่านปรากฏการณ์ของสภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ส่งผลให้อุณหภูมิในเรือนกระจกสูงขึ้น และประหยัดพลังงานมากขึ้น ในช่วงเวลา 09:00-15:00 น. และจะมีอัตราการประหยัดพลังงานน้อยลง ในช่วงเวลา 15:00-21:00 น. ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 8 ความชื้นของผลิตภัณฑ์แต่ละถาดกับเวลา ระบบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก กรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) กับติดตั้งเรือนกระจก (case 2)

จากภาพที่ 8 กราฟเปรียบเทียบความชื้นของผลิตภัณฑ์แต่ละถาด ระหว่างกรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) กับติดตั้งเรือนกระจก (case 2) จากผลการทดลองพบว่ามีความแตกต่าง เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยในห้องอบแห้งจากอิทธิพลของแหล่งความร้อนของระบบปั๊มความร้อนที่แตกต่างกันพบว่าความชื้นของแต่ละถาดไม่เท่ากัน จากปัจจัยของการแยกชั้นของอุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้ง โดยความชื้นของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอบแห้งในแต่ละกรณีศึกษาโดยความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้าย กรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) ถาดที่ 1 เท่ากับ 14.38 % (w.b.) ถาดที่ 2 เท่ากับ 24.75 % (w.b.) ถาดที่ 3 เท่ากับ 24.65 % (w.b.) ถาดที่ 4 เท่ากับ 23.63 % (w.b.) และถาดที่ 5 เท่ากับ 23.38 % (w.b.) ในขณะที่กรณีติดตั้งเรือนกระจก (case 2) ถาดที่ 1 เท่ากับ 5.88 % (w.b.) ถาดที่ 2 เท่ากับ 18.88 % (w.b.)

ถาดที่ 3 เท่ากับ 18.63 % (w.b.) ถาดที่ 4 เท่ากับ 20.00 % (w.b.) และถาดที่ 5 เท่ากับ 17.63 % (w.b.) จากเริ่มต้นที่ความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 76 % (w.b.) ตามลำดับเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิในห้องอบแห้งกรณีติดตั้งเรือนกระจก (case 2) จะมีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) เฉลี่ยประมาณ 4-5 °C จากการทดลองที่สภาวะเดียวกัน พบว่าแหล่งความร้อนสำหรับระบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจกมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของระบบอบแห้ง ในรูปแบบของอุณหภูมิ และการใช้พลังงานของระบบปั๊มความร้อน พบว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ระบบกรณีติดตั้งเรือนกระจก (case 2) ต่ำกว่า ระบบกรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) และมีอัตราการอบแห้ง (DR) สูงกว่า โดยพิจารณาจากความชันของกราฟในภาพที่ 9 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นกับเวลาที่ชันกว่า



ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบความชื้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยกับเวลา ระบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์ กรณี ไม่มีเรือนกระจก (case 1) กับติดตั้งเรือนกระจก (case 2) เทียบกับตากแบบธรรมชาติ

จากภาพที่ 9 พบว่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบสมรรถนะการอบแห้งในการทดลองที่สภาวะเดียวกัน ในการอบแห้งกรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) เทียบกับกรณีติดตั้งเรือนกระจก (case 2) ในระบบเปิดเทียบกับตากแบบธรรมชาติ เมื่อครบ 36 ชั่วโมง พบว่ากรณีติดตั้งเรือน

กระจก (case 2) มีสมรรถนะการอบแห้งสูงกว่ากรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) โดยความชื้นเฉลี่ยสุดท้ายเท่ากับ 16.20 % (w.b.) และ 22.15 % (w.b.) ตามลำดับ ในขณะที่การตากแบบธรรมชาติดีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 27.50 % (w.b.) อันเป็นผลจากความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้งกรณีติดตั้งเรือน

กระจก (case 2) มีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) เฉลี่ยประมาณ 4-5 °C ที่สภาวะเดียวกัน จากพฤติกรรมการระเหยของความชื้นอาศัยปัจจัยของอุณหภูมิ และความชื้นของตัวกลาง ดังนั้นการอบแห้งด้วยบั้งความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก ซึ่งความร้อนได้จากการแผ่รังสีอาทิตย์โดยตรง และการพาความร้อนแบบบังคับจากระบบบั้งความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิสารตัวกลางหรืออากาศร้อนถ่ายเทความร้อนให้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น รวมถึงความชื้นในอากาศต่ำลงจากการเพิ่มอุณหภูมิ ส่งผลให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นเนื่องจากถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนสู่ผลิตภัณฑ์ รวมถึงความชื้นของตัวกลางหรืออากาศลดลง จึงเป็นเหตุผลการอบแห้งกรณีติดตั้งเรือนกระจก (case 2) ที่มีอุณหภูมิสูง เพิ่มการถ่ายเทมวลของ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ไปสู่อากาศมากกว่า การอบแห้งกรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1)

ซึ่งผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิต่ำกว่า และอากาศมีความชื้นสูงกว่าเนื่องจากอุณหภูมิต่ำกว่า ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Jareanjit *et al.*, 2014; Jareanjit and Naemsai, 2016) ดังนั้นการอบแห้งโดยระบบบั้งความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์ด้วยสภาวะเรือนกระจกในกรณีศึกษา นี้ จึงมีแนวโน้มที่จะใช้เวลาในการอบแห้ง นานกว่า โดยจะเห็นได้ว่าการอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้มีความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 16.20 % (w.b.) ในกรณีไม่มีเรือนกระจก หรือการตากแบบธรรมชาติ ต้องใช้พลังงานและระยะเวลาที่นานขึ้น ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และเสี่ยงต่อการที่พริกจะเสียหายเนื่องจากความชื้น และใช้เวลานานเกินความเหมาะสม แปรผันตามสภาพแวดล้อม ดังนั้นการอบแห้งโดยระบบบั้งความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์กรณีติดตั้งเรือนกระจกครอบอิวาปอเรเตอร์ (case 2) จึงมีแนวโน้มที่จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า

ตารางที่ 1 สมรรถนะระบบอบแห้งด้วยบั้งความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก

ตัวแปร	Case 1 ระบบเปิด 20 kg ที่ 60 °C	Case 2 ระบบเปิด 20 kg ที่ 60 °C	หน่วย
พลังงานไฟฟ้า	21.1	19.8	kWh
มวลน้ำที่หายไป	10.77	11.96	kg
เวลาอบแห้ง	36	36	hrs
ค่ารังสีเฉลี่ย	619.03	619.03	W/m ²
SEC	5.27	4.64	kWh/kg
SEEC	1.96	1.66	kWh/kg

จากตารางที่ 1 แสดงสมรรถนะระบบอบแห้งด้วยบั้งความร้อนร่วมรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก กรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) เทียบกับกรณีติดตั้งเรือนกระจก (case 2) ที่สภาวะเดียวกัน พบว่ากรณีติดตั้งเรือนกระจก (case 2) มีสมรรถนะการอบแห้งสูงกว่ากรณีไม่มีเรือนกระจก (case 1) โดยมวลน้ำที่หายไประหว่างกระบวนการอบแห้ง มีค่า

เท่ากับ 11.96 และ 10.77 kg มากกว่า (+11.04%) จากปัจจัยของอุณหภูมิที่สูงกว่า ในขณะที่ปัจจัยทางด้านการใช้พลังงาน แสดงผลไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เท่ากับ 4.64 kWh/kg และ 5.27 kWh/kg หรือลดลง 12% ในขณะที่ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEEC) เท่ากับ 1.66 kWh/kg และ 1.96 kWh/kg หรือลดลง

15% ตามลำดับ พิจารณาว่าการที่อีวาพอเรเตอร์ (evaporator) ของปั๊มความร้อนครอบด้วยเรือนกระจก เป็นปัจจัยต่อสมรรถนะของระบบในการลดการใช้พลังงานที่ปั๊มที่คอมเพรสเซอร์เนื่องจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูงขึ้น

สรุป

การศึกษาอิทธิพลของแหล่งความร้อนสำหรับปั๊มความร้อนในระบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก โดยเปรียบเทียบกรณีติดตั้งและไม่ติดตั้งเรือนกระจกสำหรับแหล่งความร้อนของปั๊มความร้อนต่อสมรรถนะการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอาทิตย์ พบว่าระบบอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก ในกรณีที่อีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนรับความร้อนจากเรือนกระจกมีอัตราการอบแห้งสูงกว่ากรณีที่ระบบอีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนเปิดสู่บรรยากาศอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาในด้านของอุณหภูมิและพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ เนื่องจากแหล่งความร้อนของปั๊มความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น รวมทั้งระบบสามารถทำการอบแห้งได้ต่อเนื่อง โดยใช้ปั๊มความร้อนทำงานร่วมกับความร้อนจากรังสีอาทิตย์จากสถานะเรือนกระจกโดยตรงในการอบแห้ง และโดยทางอ้อมจากการใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนปั๊มความร้อนในช่วงเวลากลางวัน ตามลำดับ โดยสามารถอบแห้งพริกสด 20 kg จากเริ่มต้นที่ความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 76 % (w.b.) เหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยเท่ากับ 16.20 % (w.b.) ในระยะเวลา 3 วัน โดยใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 19.8 kWh ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เท่ากับ 4.64 kWh/kg ซึ่งต่ำกว่ากรณีอีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนที่เปิดสู่บรรยากาศ 12 % และค่าการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEEC) เท่ากับ 1.66 kWh/kg

ซึ่งต่ำกว่ากรณีอีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนเปิดสู่บรรยากาศ 15 % ตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอีวาพอเรเตอร์ของปั๊มความร้อนซึ่งรับความร้อนจากเรือนกระจกเป็นปัจจัยที่ช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบอบแห้งในการลดการใช้พลังงานที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ เนื่องจากแหล่งความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงใช้กรณีดังกล่าวเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบต่อไปในอนาคต เพื่อสนับสนุนแนวความคิดการใช้บรรยากาศภายในเรือนกระจกเป็นแหล่งความร้อนของปั๊มความร้อนสำหรับช่วยลดการใช้พลังงานในส่วนของปั๊มความร้อนจากสถานะเรือนกระจกในเวลากลางวัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาการวิจัยเกษตร (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ภายใต้แผนงานวิจัยการบริหารจัดการ Food Valley ปีงบประมาณ 2559 สัญญาเลขที่ PRP5905021050

เอกสารอ้างอิง

- Arason, S. 2003. The Drying of Fish and Utilization of Geothermal Energy-The Icelandic Experience, pp. 21-31. In **International Geothermal Conference**. Reykjavik, Iceland.
- Barlev, D., Vidu, R. and Stroeve, P. 2011. Review Innovation in concentrated solar power. **Solar Energy Materials & Solar Cells** 95(10): 2703-2725.
- Chaturvedi, S.K. and Shen, J.Y. 1984. Thermal performance of a direct expansion solar assisted heat pump. **Solar Energy** 33(2): 155-162.

- Daghigh, R., Ruslan, M.H., Sulaiman, M.Y. and Sopian, K. 2010. Review of solar assisted heat pump drying systems for agricultural and marine products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 14(9): 2564-2579.
- Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, H.M., Alghoul, M.A. and Sulaiman M.Y. 2010. Review of solar dryers for agricultural and marine products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 14(1): 1-30.
- Gil, A., Medrano, M., Martorell, I., La.zaro, A., Dolado, P., Zalba, B. and Cabeza, L.F. 2010. State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part1-concepts, materials and modellization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 14(1): 31-55.
- Jareanjit, J. 2012. A Solar Dryer Technology and Its Development. **KKU Research Journal** 17(1): 110-124.
- Jareanjit, J., Boonyanuwat, S. and Naemsai, T. 2014. Experimental Study on Thermal Potential and Energy consumption of Solar Greenhouse Dryer Combined with Heat Pump, pp. 52-59. *In The 28th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT 28)*. Khonkaen, Thailand.
- Jareanjit, J. and Naemsai, T. 2016. Experimental performance of pepper drying using solar assisted heat pump drying system, pp. 1067-1074. *In The 30th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT 30)*. Songkhla, Thailand.
- Kara, O., Ulgen, K. and Hepbasli, A. 2008. Exergetic assessment of direct-expansion solar assisted heat pump systems: review and modeling. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 12(5): 1383-1401.
- Kohayakawa, M.N., Silveria-Junior, V. and Telis-Romero, J. 2004. Drying of mango slices using heat pump dryer, pp. 884-891. *In Proceedings of the 14th international drying symposium; 2004*. Sao Paulo City, Brazil.
- Kuang, Y.H., Wang, R.Z. and Yu, L.Q. 2003. Experimental study on solar assisted heat pump system for heat supply. **Energy Conversion and Management** 44(7): 1089-1098.
- Lewicki, P.P. 2006. Design of hot air drying for better foods. **Trends in Food Science and Technology** 17(4): 153-163.
- Minka, C.J. 1986. Potential improvement to traditional solar crop drying in Cameroon: research and development solar drying in Africa, pp. 11-22. *In Proceedings of a Workshop held in Dakar*. Senegal.
- Morrison, G.L. 1994. Simulation of packaged solar heat-pump water heaters. **Solar Energy** 53(3): 249-257.
- Piga, A., Del Caro, A. and Corda, G. 2003. Influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. **Journal of Agriculture and Food Chemistry** 51(12): 3675-3681.

- Prasertsan, S., Sean-saby, P. and Prateepchaikul, G. 1997. Heat pump dryer. Part 3: experiment verification of the simulation. **International Journal of Energy Research** 21: 1-20.
- Roonprasang, N., Namprakai, P. and Pratinthong, N. 2006. Mathematical model and optimum sizing for a solar banana dryer combined with parabolic trough and phase change energy storage system in Thailand. **KKU Engineering Journal** 33(5): 495-510.
- Sharma, S.J., Sharma, V.K., Ranjana, J.H.A. and Ray, R.A. 1990. Evaluation of the performance of a cabinet type solar dryer. **Energy Conversion & Management** 30(2): 75-80.
- Smith, C.A., Belles, R.D. and Simon, A.J. 2007. **Estimated International Energy Flows** 2007. Lawrence Livermore National Lab. Available Source: <http://flowcharts.llnl.gov/content/international/2007EnergyInternational.pdf>, March 27, 2016.
- Soponronnarit, S., Nathakarakakule, A., Wetchacama, S., Swasdisevi, T. and Rukprang, P. 1998. Fruit drying using heat pump. **International Energy Journal** 20(1): 39-53.
- Strommen, I., Eikevik, T.M. and Odilio, A.F. 1999. Optimum design and enhanced performance of heat pump dryers. In Abudullah, K., Tamaunan, A.H. and Maujumdar, A.S., eds. **Proceedings of the first Asian-Australian drying conference**. Bali, Indonesia.

การวิเคราะห์และพัฒนาวารสารวิชาการ ตามหลักเกณฑ์คุณภาพของฐานข้อมูลอาเซียน

Analysis and Development of Academic Journals based on ASEAN Citation Index (ACI) Criteria

โกสินธุ์ ศิริรักษ์* สุจินดา ย่องจีน และ ลัดดาวัลย์ มนต์แก้ว

Kosin Sirirak*, Sujinda Youngjeen and Laddawan Monkeaw

Received: 14 February 2019, Revised: 15 May 2019, Accepted: 8 October 2019

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคุณภาพของวารสารวิชาการให้เป็นไปตามเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานของฐานข้อมูลอาเซียน (ASEAN Citation Index: ACI) เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนาคุณภาพวารสารทางวิชาการของมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และเพื่อให้การดำเนินงานวารสารเป็นมาตรฐานเดียวกัน กลุ่มตัวอย่างเป็นวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านเอกสารข้อมูลวิทยุจากหลักเกณฑ์คุณภาพวารสารของฐานข้อมูลอาเซียน, การทดสอบความรู้ pre-test และ post-test, การวิเคราะห์ข้อมูลศักยภาพของวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และการสัมภาษณ์บรรณาธิการวารสาร รวมถึงการพัฒนาคุณภาพของวารสารตามหลักเกณฑ์ของฐานข้อมูลอาเซียน

ผลการศึกษาพบว่า วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์สามารถจัดได้เป็น 2 กลุ่ม คือ 1) วารสารกลุ่มฐานข้อมูล TCI กลุ่ม 2 คือ สารอาศรมวัฒนธรรมวลัยลักษณ์ และวารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และ 2) วารสารกลุ่มฐานข้อมูล TCI กลุ่ม 1 คือ วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และวารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เมื่อคัดแยกวารสารตามหลักเกณฑ์ของฐานข้อมูลอาเซียน จำนวน 11 หัวข้อ พบว่ามีวารสารที่มีคะแนนมากกว่าร้อยละ 80 จำนวน 1 วารสาร คือ วารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และวารสารที่มีคะแนนน้อยกว่าร้อยละ 80 จำนวน 3 วารสาร คือ สารอาศรมวัฒนธรรมวลัยลักษณ์, วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และวารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ตามลำดับ

สรุปผลการศึกษาพบว่า วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ทั้ง 4 วารสาร ได้ทราบถึงจุดแข็งและจุดที่ควรพัฒนาในแต่ละหัวข้อตามหลักเกณฑ์ของฐานข้อมูลอาเซียน จำนวน 11 หัวข้อ โดยวารสารได้ปรับปรุงเพิ่มเติมเรื่องเวลาการออกวารสารให้ตรงตามนโยบายของวารสาร, วารสารกำหนดการจัดทำบรรณานุกรมเป็นภาษาอังกฤษ,

การหาผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบคุณภาพภาษาอังกฤษของบทความ และการปรับปรุงเว็บไซต์วารสารเป็นภาษาอังกฤษ ทำให้วารสารพัฒนาคุณภาพเทียบเท่าหลักเกณฑ์ของฐานข้อมูลอาเซียน การดำเนินงานวารสารสามารถปฏิบัติตามหลักเกณฑ์มาตรฐานของฐานข้อมูลอาเซียนได้อย่างมีระบบ เป็นมาตรฐานเดียวกันและเกิดประสิทธิภาพ โดยมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการจัดทำวารสาร คือ วารสารควรมีบทความตีพิมพ์เป็นภาษาอังกฤษเพิ่มขึ้นเพื่อสร้างโอกาสการอ้างอิงบทความในฐานข้อมูลระดับนานาชาติ รวมถึงเป็นการปรับปรุงคุณภาพวารสารให้สอดคล้องกับเกณฑ์การประเมินของมหาวิทยาลัยและหน่วยงานภายในประเทศ

คำสำคัญ: วารสารวิชาการ, ฐานข้อมูล TCI, ฐานข้อมูลอาเซียน, มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ABSTRACT

This study aimed to develop the quality of academic journals due to ASEAN Citation Index (ACI) criteria, reinforce the quality development of Walailak University academic journals, and operate the journals under the same standard. Walailak University academic journals were selected as secondary sources. The data were collected using ACI criteria, the pre-test and post-test, analyzing the potential for Walailak University's journals, semi-structured interview with journal editors, and improving the journals due to ASEAN Citation Index (ACI) criteria.

The results showed that Walailak University academic journals can be classified into two groups: (1) journals indexed in TCI tier 2 which are Walailak Abode of Culture Journal, and Journal of Learning Innovations Walailak University; and, (2) journals indexed in TCI tier 1 which are Walailak Journal of Social Sciences, and WMS Journal of Management. After sorting journals in accordance with 11 criteria of the ACI , it revealed that the score of WMS Journal of Management is more than 80% while the other three journals score less than 80% which are Walailak Abode of Culture Journal, Walailak Journal of Social Sciences, and Journal of Learning Innovations Walailak University, respectively.

The results also revealed that the above four journals from Walailak University were aware of their strengths and weakness according to 11 criteria of the ACI database. The journals improved the timeliness of publication, required English version of reference, employed English editor, and created English-version website. These would help to develop journals' quality, and provide systematic procedure to meet the same standard of ACI criteria. More suggestions were that the journals should accept more articles published in English to create opportunities for referencing articles in the international databases as well as improving the quality of the journal in accordance with the assessment criteria of universities and domestic organizations.

Key words: academic journal, TCI database, ACI database, Walailak University

บทนำ

วารสารวิชาการของประเทศไทยในปัจจุบันมีจำนวนมากและมีแนวโน้มเกิดวารสารใหม่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยหลายวารสารได้กำหนดการพัฒนาคุณภาพตามหลักเกณฑ์วารสารวิชาการกลุ่มสาขาวิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี บางวารสารได้รับการรับรองมาตรฐานในฐานะข้อมูลระดับชาติและนานาชาติ และวารสารอีกส่วนหนึ่งยังต้องการพัฒนาคุณภาพให้เทียบเท่าหรือได้รับการรับรองมาตรฐานจากฐานข้อมูลระดับชาติและนานาชาติ อีกทั้งปัจจุบันศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index Centre: TCI) ได้คัดเลือกวารสารไทยไปเผยแพร่ในระดับนานาชาติมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกลุ่มภูมิภาคอาเซียน (ASEAN Citation Index, 2018) โดยศูนย์ TCI ได้รับมอบหมายจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ในการพัฒนาฐานข้อมูลอาเซียน (ASEAN Citation Index: ACI) ขึ้น โดยมีจุดมุ่งหมายในการส่งเสริมและสนับสนุนให้ประเทศสมาชิกอาเซียนมีฐานข้อมูลบทความและการอ้างอิงจากวารสารระดับประเทศ (National Citation Index, NCI) ของตนเอง และสามารถเชื่อมโยงข้อมูลจาก NCI ของแต่ละประเทศจำนวน 10 ประเทศเข้ากับฐานข้อมูลอาเซียน (ACI) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยความร่วมมือของประเทศสมาชิกในอาเซียน เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลกลางสำหรับรวบรวมผลงานตีพิมพ์จากวารสารของประเทศสมาชิก ให้สามารถสืบค้นข้อมูลการตีพิมพ์และข้อมูลการอ้างอิงร่วมกันได้ รวมถึงเมื่อฐานข้อมูลอาเซียนมีศักยภาพและความพร้อมด้านคุณภาพของวารสาร ก็สามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับฐานข้อมูลระดับนานาชาติได้ เช่น Scopus, PubMed และ ISI เป็นต้น (ASEAN Citation Index, 2018) อย่างไรก็ตามมีวารสารจากประเทศไทยจำนวนน้อยที่อยู่ใน

ฐานข้อมูลอาเซียน คือ 168 วารสาร จากทั้งหมด 852 รายชื่อ เทียบเป็นสัดส่วนประมาณ 19 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (Thai-Journal Citation Index Centre: TCI, 2018)

วารสารอิเล็กทรอนิกส์ เป็นวารสารหรือสิ่งพิมพ์ต่อเนื่องที่นำเสนอบทความวิชาการ บทความวิจัย หรือบทความที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน โดยจัดทำ บันทึก และเผยแพร่ไปสู่ผู้อ่านในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลคอมพิวเตอร์หรือสื่ออิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถอ่านเนื้อหาได้ทั้งเครือข่ายออนไลน์และออฟไลน์ เป็นวารสารที่มีระบบการส่งบทความทุกอย่างแบบออนไลน์ทั้งหมด (Naiyapatana, 2009; Supreeyaporn and Kulachan, 2015) หรือวารสารวิชาการในรูปแบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์ฉบับเต็มที่เผยแพร่ และให้บริการในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Uiphanit, *et al.*, 2010) เป็นรูปแบบหนึ่งของวารสารที่มีเนื้อหาของวารสารทั้งหมดหรือบางส่วน ได้ถูกแปลงให้เป็นเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ และนำไปไว้ในเว็บไซต์ให้ผู้อ่านทั่วไปที่ใช้อินเทอร์เน็ตสามารถดาวน์โหลดหรืออ่านเนื้อหาผ่านคอมพิวเตอร์ของตนได้ แต่ก็ยังคงรูปแบบลักษณะทั่วไปของวารสารไว้เหมือนเดิมคือมีกำหนดออกที่แน่นอน ประกอบไปด้วยบทความหลายๆ บทความในฉบับ มีสิ่งซื้อหรือบอกรับเป็นสมาชิกเพื่อให้สามารถเข้าถึงและสืบค้นข้อมูลออนไลน์ได้ (Juychum, 2011) รวมถึงเป็นนวัตกรรมการพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสารสนเทศ สามารถใช้อุปกรณ์สื่อสารที่เชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเข้าไปยังเว็บไซต์วารสารได้ ซึ่งเป็นกระบวนการของการพิมพ์สารสนเทศให้สามารถอ่านได้แบบออนไลน์หรืออยู่ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ จึงสะดวกและรวดเร็วต่อการสืบค้นข้อมูลบทความ ทำให้รูปแบบการนำเสนอวารสารเกิดความเปลี่ยนแปลงจากเดิมที่เป็นรูปแบบสิ่งพิมพ์มาเป็นรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์

(Chotjirawatthana, 2011; Wongkaew, 2018) ดังนั้นวารสารอิเล็กทรอนิกส์จึงเป็นวารสารวิชาการที่เผยแพร่ และให้บริการในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นการเปลี่ยนแปลงจากเดิมที่อยู่ในรูปแบบสิ่งพิมพ์มาเป็นรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ สามารถดาวน์โหลด อ่านเนื้อหาบทความ สืบค้นข้อมูลออนไลน์ และเข้าถึงได้จากทั่วทุกมุมโลก

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์มีวารสารวิชาการที่เผยแพร่ในรูปแบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ออนไลน์อยู่ในฐานข้อมูล Thai-Journal Citation Index (TCI) จำนวน 5 วารสาร คือ สารอาศรมวัฒนธรรมวลัยลักษณ์, วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, วารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และ Walailak Journal of Science and Technology (Thai-Journal Citation Index Centre: TCI, 2018) มีเพียง Walailak Journal of Science and Technology วารสารเดียวที่อยู่ในฐานข้อมูลอาเซียน (ACI) (ASEAN Citation Index, 2018) ดังนั้นเพื่อสร้างความเข้มแข็งด้านการเผยแพร่ผลงานตีพิมพ์ของมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ทั้งในประเทศและระดับสากลให้เพิ่มจำนวนสูงขึ้น จึงเตรียมความพร้อมวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ให้ก้าวสู่ฐานข้อมูลอาเซียน โดยใช้วิธีการดำเนินงานและมีการรอบแนวคิดในการวิจัยดังภาพที่ 1-2 เพื่อความเข้มแข็งในการพัฒนาคุณภาพของวารสารให้เกิดการพัฒนาคุณภาพสู่มาตรฐานที่สูงขึ้น, เพิ่มประสิทธิภาพบุคลากรด้านงานวารสาร, การหนุนเสริมเพื่อขับเคลื่อนนโยบายมหาวิทยาลัยสู่สากล (Division of Planning and Strategy of Walailak University, 2017) รวมถึงการเตรียมพร้อมสำหรับการเปลี่ยนแปลงนโยบายด้านการประเมินคุณภาพทางวิชาการของหน่วยงานภายในประเทศเพื่อก้าวสู่สากลต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาคือ บรรณาธิการวารสาร จำนวน 4 คน เจ้าหน้าที่งานวารสาร จำนวน 6 คน รวมทั้งหมด 10 คน จากวารสาร จำนวน 4 วารสาร ได้แก่ สารอาศรมวัฒนธรรมวลัยลักษณ์, วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, วารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และวารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และเจ้าหน้าที่รับผิดชอบการจัดงานประชุมวิชาการของสำนักวิชาในมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จำนวน 17 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านเอกสารข้อมูลทุติยภูมิจากหลักเกณฑ์คุณภาพวารสารของฐานข้อมูลอาเซียน, แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างกองบรรณาธิการวารสาร, แบบทดสอบความรู้ก่อนฝึกอบรม (Pre-test) และหลังฝึกอบรม (Post-test) เพื่อศึกษาความรู้ด้านวารสารและเพิ่มพูนทักษะในการดำเนินงานวารสารตามเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานของฐานข้อมูลอาเซียน และการวิเคราะห์ข้อมูลศักยภาพของวารสารโดยใช้แบบประเมินความพร้อม (Check lists) ของวารสารในการพัฒนาคุณภาพเพื่อเข้าสู่ฐานข้อมูลอาเซียน

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำคะแนนทดสอบก่อนและหลังฝึกอบรมมาวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยของคะแนน ($\bar{X}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของคะแนนทดสอบก่อนอบรม (Pre-test) และหลังฝึกอบรม (Post-test), การวิเคราะห์ข้อมูลศักยภาพของวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ตามหลักเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานของฐานข้อมูลอาเซียน

4. วิธีการดำเนินงานและกรอบแนวคิดการวิจัย



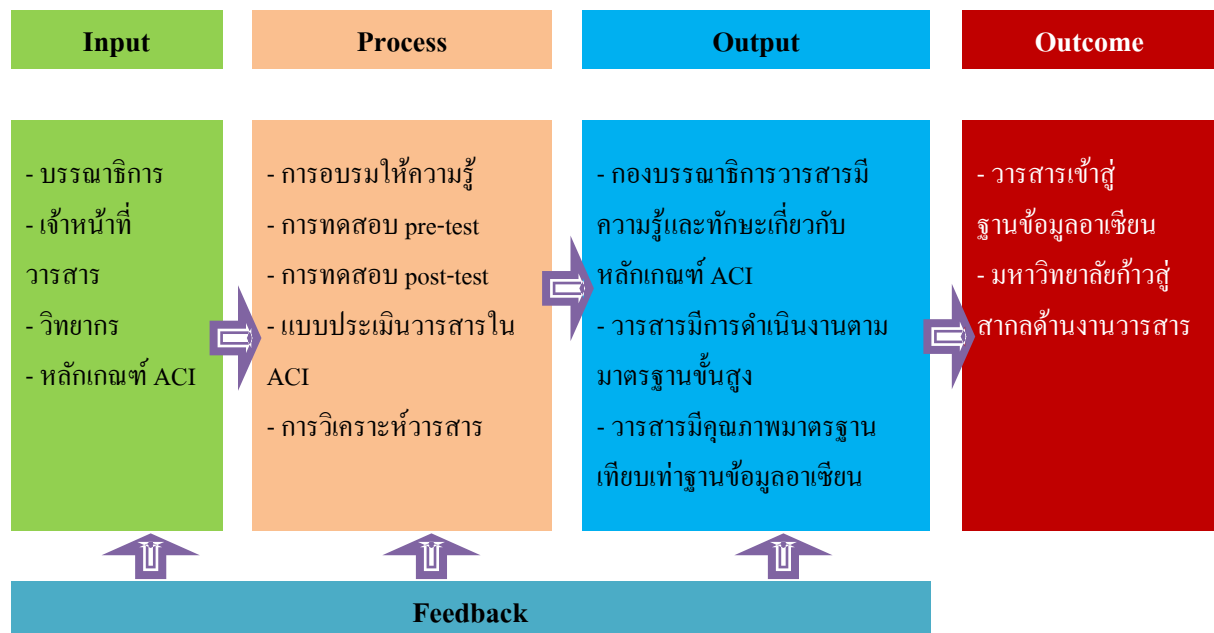
ภาพที่ 1 วิธีการดำเนินการพัฒนาคุณภาพของวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ข้อมูลวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

จากข้อมูลทั่วไปวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ทั้งหมด 5 วารสาร จะพบว่า สารอาศรมวัฒนธรรมวลัยลักษณ์ และวารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่ม 2 โดยวารสารสังคมศาสตร์

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และวารสารการจัดการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่ม 1 สำหรับวารสาร Walailak Journal of Science and Technology พบว่าปรากฏอยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่ม 1, ฐานข้อมูล ACI และฐานข้อมูล Scopus วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ทั้งหมด 5 วารสาร ใช้ระบบ submission online ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

รายชื่อวารสาร	หน่วยงานรับผิดชอบ	อายุวารสาร (ปี)	จำนวนฉบับต่อปี	ระบบ submission online	ฐานข้อมูล
1. สารอาศรมวัฒนธรรมวลัยลักษณ์	อาศรมวัฒนธรรมวลัยลักษณ์ (https://www.tci-thaijo.org/index.php/cjwu)	18	2 ฉบับ	ThaiJo ver. 2	TCI กลุ่ม 2
2. วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	ศูนย์นวัตกรรมการเรียนและการสอน (https://www.tci-thaijo.org/index.php/jliwu)	3	2 ฉบับ	ThaiJo ver. 2	TCI กลุ่ม 2
3. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	สำนักวิชาศิลปศาสตร์ (https://www.tci-thaijo.org/index.php/wjss)	11	2 ฉบับ	ThaiJo ver. 2	TCI กลุ่ม 1
4. วารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	สำนักวิชาการจัดการ (https://www.tci-thaijo.org/index.php/wms)	7	3 ฉบับ	ThaiJo ver. 2	TCI กลุ่ม 1
5. Walailak Journal of Science and Technology	สถาบันวิจัยและนวัตกรรม (http://wjst.wu.ac.th)	15	12 ฉบับ	OJS	TCI กลุ่ม 1, ACI, Scopus

ตารางที่ 2 หัวข้อการพิจารณาคุณภาพวารสารในฐานข้อมูลอาเซียน (ACI)

หัวข้อ	หลักเกณฑ์การพิจารณาคุณภาพวารสาร
หลักเกณฑ์หลัก	1. บทความจะต้องมีการควบคุมคุณภาพหรือประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) 2. วารสารต้องออกตรงตามเวลาที่กำหนด
หลักเกณฑ์รอง	3. วารสารมีอายุการตีพิมพ์ไม่น้อยกว่า 3 ปี หรือตีพิมพ์มากกว่า 6 ฉบับ 4. วารสารมีการอ้างอิงในฐานข้อมูล ACI หรือฐานข้อมูลนานาชาติอื่นๆ 5. วารสารตีพิมพ์บทความที่มีผู้เขียนมาจากหลากหลายหน่วยงาน 6. วารสารมีกองบรรณาธิการที่มาจากหลากหลายหน่วยงาน 7. วารสารมีรูปแบบและนโยบายการตีพิมพ์ที่ชัดเจน 8. วารสารมีการตีพิมพ์ในรูปแบบเดียวกัน โดยข้อมูลที่ต้องเป็นภาษาอังกฤษ ได้แก่ ชื่อบทความ, บทคัดย่อ, ชื่อผู้แต่งและสังกัด, เอกสารอ้างอิง 9. วารสารมีเว็บไซต์ที่อัปเดตและทันสมัย (ควรเป็นภาษาอังกฤษ) 10. วารสารมีระบบการเผยแพร่แบบอิเล็กทรอนิกส์ออนไลน์ 11. คุณภาพของบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

2. หลักเกณฑ์คุณภาพของฐานข้อมูลอาเซียน (ACI)

หลักเกณฑ์การพิจารณาคุณภาพวารสารในฐานข้อมูล ACI ประกอบด้วยทั้งหมด 11 หลักเกณฑ์ (ASEAN Citation Index, 2018) แบ่งออกเป็น

หลักเกณฑ์หลัก จำนวน 2 ข้อ โดยวารสารจะต้องผ่านหลักเกณฑ์หลักทั้ง 2 ข้อ วารสารจึงจำเป็นต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัดจึงจะมีสิทธิ์เข้าสู่กระบวนการประเมินวารสาร และหลักเกณฑ์หลัก จำนวน 7 ข้อ

โดยจะมีผู้ทรงคุณวุฒิประเมินวารสารในแต่ละหัวข้อ (ตารางที่ 2) มีหัวข้อสำคัญที่แตกต่างจากหลักเกณฑ์ การพิจารณาคุณภาพวารสารของฐานข้อมูล TCI คือ วารสารมีการตีพิมพ์ในรูปแบบเดียวกัน ข้อมูลที่ต้อง เป็นภาษาอังกฤษได้แก่ ชื่อบทความ, บทคัดย่อ, ชื่อผู้ แต่งและสังกัด, เอกสารอ้างอิง สอดคล้องกับงานของ Plasai *et al.* (2018) พบว่า วารสารที่เตรียมพร้อมเข้าสู่ ฐานข้อมูล ACI มีการเพิ่มกองบรรณาธิการที่ เชี่ยวชาญทางด้านภาษาอังกฤษ และมีการปรับเปลี่ยน รูปแบบการเตรียมต้นฉบับของรายการอ้างอิงเป็น ภาษาอังกฤษ

3. ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติของผู้ทดสอบ Pre-test

ตารางที่ 3 พบว่าคะแนนของแบบทดสอบ pre-test มากที่สุด 3 อันดับแรก คือ 1) บทความใน วารสารไม่ต้องการควบคุมคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) 1) ฐานข้อมูลระดับชาติที่เป็นที่ยอมรับ ของไทยคือ ฐานข้อมูล TCI (Thai-Journal Citation Index) 2) Journal Impact Factor (JIF) หมายถึง จำนวนครั้งโดยเฉลี่ยที่บทความของวารสารนั้นจะ ได้รับการอ้างอิงในแต่ละปี 2) ฐานข้อมูลระดับ นานาชาติประกอบด้วย ฐานข้อมูล ISI และ ฐานข้อมูล Scopus และ 3) วารสารควรมีระบบการส่ง บทความแบบออนไลน์ หรือระบบ Online Journal System (OJS) 3) ฐานข้อมูลอาเซียนเปิดรับวารสารที่ มีบทคัดย่อและรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ ร้อย

ละ 92.59, 81.48 และ 74.07 ตามลำดับ โดยคะแนน ของแบบทดสอบ pre-test น้อยที่สุด 3 อันดับแรก คือ 1) ฐานข้อมูลอาเซียนวารสารต้องมีความหลากหลาย ประเทศทั้งกองบรรณาธิการและบทความ 2) วารสาร ในฐานข้อมูล Scopus และ ISI ต้องตีพิมพ์บทความ เป็นภาษาอังกฤษ 2) ฐานข้อมูลอาเซียนเปิดรับ วารสารใหม่เข้าสู่ฐานข้อมูลช่วงมกราคมของทุกปี และ 3) DOI คือ เลขมาตรฐานสากลประจำไฟล์ ดิจิทัล สำหรับเอกสารดิจิทัลประเภทงานวิจัย วิทยานิพนธ์ และบทความในวารสาร ร้อยละ 11.11, 18.52 และ 22.22 ตามลำดับ สำหรับความไม่แน่ใจ มากที่สุด 3 อันดับแรก คือ 1) การประเมินคุณภาพ วารสารในฐานข้อมูล TCI ประกอบด้วยหลักเกณฑ์ ทั้งหมด 10 ข้อ 1) เกณฑ์คุณภาพวารสารในระดับ นานาชาติของ Scopus ประกอบด้วยเกณฑ์ 5 ข้อ คือ Journal policy, Quality of content, Journal standing, Publishing Regularity, Online Availability 1) ฐานข้อมูลอาเซียนเปิดรับวารสารใหม่เข้าสู่ฐานข้อมูล ช่วงมกราคมของทุกปี 2) เกณฑ์คุณภาพวารสารใน ระดับนานาชาติของ ISI ประกอบด้วย 4 หลักเกณฑ์ คือ Basic journal standard, Editorial Content, International Diversity, Citation Analysis และ 3) วารสารในฐานข้อมูลอาเซียนต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 3 ปี หรือตีพิมพ์ไม่น้อยกว่า 6 ฉบับ ร้อยละ 62.96, 59.26 และ 51.85 ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ข้อมูลสรุปแบบทดสอบ Pre-test

ข้อคำถาม	คะแนน pre-test (n=27)	ไม่แน่ใจ pre-test (n=27)	ร้อยละคะแนน pre-test	ร้อยละไม่แน่ใจ pre-test
1. วารสารฉบับพิมพ์ต้องมีเลข ISSN และฉบับออนไลน์ต้องมีเลข E-ISSN	19	1	70.37	3.70
2. DOI คือ เลขมาตรฐานสากลประจำไฟล์ดิจิทัล สำหรับเอกสารดิจิทัลประเภท งานวิจัย วิทยานิพนธ์ และบทความในวารสาร	6	7	22.22	25.93
3. Journal Impact Factor (JIF) หมายถึง จำนวนครั้งโดยเฉลี่ยที่บทความของ วารสารนั้นจะได้รับการอ้างอิงในแต่ละปี	22	1	81.48	3.70

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ข้อคำถาม	คะแนน pre-test (n=27)	ไม่แน่ใจ pre-test (n=27)	ร้อยละคะแนน pre-test	ร้อยละไม่แน่ใจ pre-test
4. การอ้างอิงคิตจาก citation/article ที่วารสารอยู่ในฐานข้อมูลนั้น ๆ	18	2	66.67	7.41
5. บทความในวารสาร ไม่ต้องการควบคุมคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review)	25	0	92.59	0.00
6. ฐานข้อมูลระดับชาติที่เป็นที่ยอมรับของไทยคือ ฐานข้อมูล TCI (Thai-Journal Citation Index)	25	2	92.59	7.41
7. สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ประกาศใช้ฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1 และ 2 เพื่อข้อกำหนดตำแหน่งทางวิชาการ	18	5	66.67	18.52
8. การประเมินคุณภาพวารสารในฐานข้อมูล TCI ประกอบด้วยหลักเกณฑ์ทั้งหมด 10 ข้อ	9	17	33.33	62.96
9. ฐานข้อมูลระดับอาเซียน (ACI) ประกอบด้วยฐานข้อมูลระดับชาติจำนวน 10 ประเทศ	10	12	37.04	44.44
10. ฐานข้อมูลระดับนานาชาติ Scopus, PubMed, ISI สามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับฐานข้อมูลอาเซียน ได้เมื่อมีความพร้อมด้านคุณภาพ	17	6	62.96	22.22
11. ฐานข้อมูลระดับนานาชาติประกอบด้วย ฐานข้อมูล ISI และ ฐานข้อมูล Scopus	22	1	81.48	3.70
12. การนำวารสารเข้าสู่ฐานข้อมูลสากลจะต้องมีค่าใช้จ่ายสูง	11	11	40.74	40.74
13. เกณฑ์คุณภาพวารสารในระดับนานาชาติของ Scopus ประกอบด้วยเกณฑ์ 5 ข้อ คือ Journal policy, Quality of content, Journal standing, Publishing Regularity, Online Availability	9	17	33.33	62.96
14. เกณฑ์คุณภาพวารสารในระดับนานาชาติของ ISI ประกอบด้วย 4 หลักเกณฑ์ คือ Basic journal standard, Editorial Content, International Diversity, Citation Analysis	10	16	37.04	59.26
15. วารสารในฐานข้อมูล Scopus และ ISI ต้องตีพิมพ์บทความเป็นภาษาอังกฤษ	5	1	18.52	3.70
16. วารสารในฐานข้อมูลอาเซียนต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 3 ปี หรือตีพิมพ์ไม่น้อยกว่า 6 ฉบับ	10	14	37.04	51.85
17. วารสารควรมีระบบการส่งบทความแบบออนไลน์ หรือระบบ Online Journal System (OJS)	20	5	74.07	18.52
18. ฐานข้อมูลอาเซียนวารสารต้องมีความหลากหลายประเทศทั้งกองบรรณาธิการและบทความ	3	3	11.11	11.11
19. ฐานข้อมูลอาเซียนเปิดรับวารสารที่มีบทความและรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ	20	5	74.07	18.52
20. ฐานข้อมูลอาเซียนเปิดรับวารสารใหม่เข้าสู่ฐานข้อมูลช่วงมกราคมของทุกปี	5	17	18.52	62.96

ตารางที่ 4 พบว่าคะแนนของแบบทดสอบ post-test มากที่สุด 3 อันดับแรก คือ 1) วารสารในฐานข้อมูลอาเซียนต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 3 ปี หรือตีพิมพ์ไม่น้อยกว่า 6 ฉบับ 1) วารสารควรมีระบบการ

ส่งบทความแบบออนไลน์ หรือระบบ Online Journal System (OJS) 2) ฐานข้อมูลระดับชาติที่เป็นที่ยอมรับของไทยคือ ฐานข้อมูล TCI (Thai-Journal Citation Index) 2) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

(สกอ.) ประกาศใช้ฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1 และ 2 เพื่อกำหนดตำแหน่งทางวิชาการ 2) ฐานข้อมูลระดับนานาชาติประกอบด้วย ฐานข้อมูล ISI และ ฐานข้อมูล Scopus และ 3) วารสารฉบับพิมพ์ต้องมีเลข ISSN และฉบับออนไลน์ต้องมีเลข E-ISSN 3) ฐานข้อมูลระดับอาเซียน (ACI) ประกอบด้วย ฐานข้อมูลระดับชาติจำนวน 10 ประเทศ 3) ฐานข้อมูลระดับนานาชาติ Scopus, PubMed, ISI สามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับฐานข้อมูลอาเซียนได้เมื่อมีความพร้อมด้านคุณภาพ ร้อยละ 100, 95.24 และ 90.48 ตามลำดับ โดยคะแนนของแบบทดสอบ post-test น้อยที่สุด 3 อันดับแรก คือ 1) ฐานข้อมูลอาเซียน วารสารต้องมีความหลากหลายประเทศทั้งกองบรรณาธิการและบทความ 2) DOI คือ เลขมาตรฐานสากลประจำไฟล์ดิจิทัล สำหรับเอกสารดิจิทัลประเภทงานวิจัย วิทยานิพนธ์ และบทความในวารสาร และ 3) เกณฑ์คุณภาพวารสารในระดับ

นานาชาติของ Scopus ประกอบด้วยเกณฑ์ 5 ข้อ คือ Journal policy, Quality of content, Journal standing, Publishing Regularity, Online Availability ร้อยละ 38.10, 42.86 และ 61.90 ตามลำดับ สำหรับความไม่แน่ใจส่วนใหญ่เกี่ยวกับเรื่อง DOI คือ เลขมาตรฐานสากลประจำไฟล์ดิจิทัล สำหรับเอกสารดิจิทัลประเภทงานวิจัย วิทยานิพนธ์ และบทความในวารสาร ร้อยละ 14.29 รองลงมาคือ ฐานข้อมูลระดับอาเซียน (ACI) ประกอบด้วยฐานข้อมูลระดับชาติจำนวน 10 ประเทศ, เกณฑ์คุณภาพวารสารในระดับนานาชาติของ Scopus ประกอบด้วยเกณฑ์ 5 ข้อ คือ Journal policy, Quality of content, Journal standing, Publishing Regularity, Online Availability, เกณฑ์คุณภาพวารสารในระดับนานาชาติของ ISI ประกอบด้วย 4 หลักเกณฑ์ คือ Basic journal standard, Editorial Content, International Diversity, Citation Analysis ร้อยละ 9.52

ตารางที่ 4 ข้อมูลสรุปแบบทดสอบ Post-test

ข้อคำถาม	คะแนน post-test (n=21)	ไม่แน่ใจ post-test (n=21)	ร้อยละคะแนน post-test	ร้อยละไม่แน่ใจ post-test
1. วารสารฉบับพิมพ์ต้องมีเลข ISSN และฉบับออนไลน์ต้องมีเลข E-ISSN	19	0	90.48	0.00
2. DOI คือ เลขมาตรฐานสากลประจำไฟล์ดิจิทัล สำหรับเอกสารดิจิทัลประเภทงานวิจัย วิทยานิพนธ์ และบทความในวารสาร	9	3	42.86	14.29
3. Journal Impact Factor (JIF) หมายถึง จำนวนครั้งโดยเฉลี่ยที่บทความของวารสารนั้นจะได้รับการอ้างอิงในแต่ละปี	17	1	80.95	4.76
4. การอ้างอิงคิดจาก citation/article ที่วารสารอยู่ในฐานข้อมูลนั้น ๆ	17	1	80.95	4.76
5. บทความในวารสารไม่ต้องการควบคุมคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review)	17	0	80.95	0.00
6. ฐานข้อมูลระดับชาติที่เป็นที่ยอมรับของไทยคือ ฐานข้อมูล TCI (Thai-Journal Citation Index)	20	0	95.24	0.00
7. สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ประกาศใช้ฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1 และ 2 เพื่อกำหนดตำแหน่งทางวิชาการ	20	0	95.24	0.00
8. การประเมินคุณภาพวารสารในฐานข้อมูล TCI ประกอบด้วยหลักเกณฑ์ทั้งหมด 10 ข้อ	15	0	71.43	0.00
9. ฐานข้อมูลระดับอาเซียน (ACI) ประกอบด้วยฐานข้อมูลระดับชาติจำนวน 10 ประเทศ	19	2	90.48	9.52

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ข้อคำถาม	คะแนน post-test (n=21)	ไม่แน่ใจ post-test (n=21)	ร้อยละคะแนน post-test	ร้อยละไม่แน่ใจ post-test
10. ฐานข้อมูลระดับนานาชาติ Scopus, PubMed, ISI สามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับฐานข้อมูลอาเซียนได้เมื่อมีความพร้อมด้านคุณภาพ	19	0	90.48	0.00
11. ฐานข้อมูลระดับนานาชาติประกอบด้วย ฐานข้อมูล ISI และ ฐานข้อมูล Scopus	20	0	95.24	0.00
12. การนำวารสารเข้าสู่ฐานข้อมูลสากลจะต้องมีค่าใช้จ่ายสูง	14	1	66.67	4.76
13. เกณฑ์คุณภาพวารสารในระดับนานาชาติของ Scopus ประกอบด้วยเกณฑ์ 5 ข้อ คือ Journal policy, Quality of content, Journal standing, Publishing Regularity, Online Availability	13	2	61.90	9.52
14. เกณฑ์คุณภาพวารสารในระดับนานาชาติของ ISI ประกอบด้วย 4 หลักเกณฑ์ คือ Basic journal standard, Editorial Content, International Diversity, Citation Analysis	19	2	90.48	9.52
15. วารสารในฐานข้อมูล Scopus และ ISI ต้องตีพิมพ์บทความเป็นภาษาอังกฤษ	14	0	66.67	0.00
16. วารสารในฐานข้อมูลอาเซียนต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 3 ปี หรือตีพิมพ์ไม่น้อยกว่า 6 ฉบับ	21	0	100.00	0.00
17. วารสารควรมีระบบการส่งบทความแบบออนไลน์ หรือระบบ Online Journal System (OJS)	21	0	100.00	0.00
18. ฐานข้อมูลอาเซียนวารสารต้องมีความหลากหลายประเทศทั้งกองบรรณาธิการและบทความ	8	1	38.10	4.76
19. ฐานข้อมูลอาเซียนเปิดรับวารสารที่มีบทความและรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ	18	0	85.71	0.00
20. ฐานข้อมูลอาเซียนเปิดรับวารสารใหม่เข้าสู่ฐานข้อมูลช่วงมกราคมของทุกปี	15	1	71.43	4.76

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของคะแนนแบบทดสอบ Pre-test และ แบบทดสอบ

Post-test			
แบบทดสอบ	คะแนนเต็ม	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
Pre-test	20	10.52	2.42
Post-test	20	15.95	1.82

5. ข้อมูลค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของคะแนน Pre-test และ Post-test

ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของคะแนนแบบทดสอบ pre-test ในตารางที่ 3 เท่ากับ 10.52 (S.D. = 2.42) โดยค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของคะแนนแบบทดสอบ post-test ใน

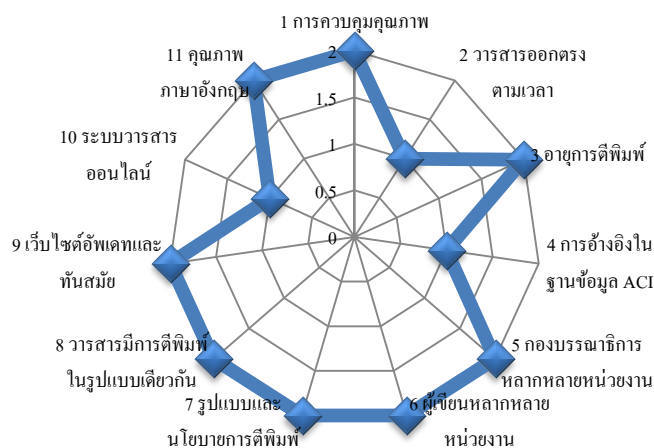
ตารางที่ 4 เท่ากับ 15.95 (S.D. = 1.82) เพิ่มขึ้น 51.62 เปอร์เซ็นต์ ตามตารางที่ 5

6. ข้อมูลการวิเคราะห์วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

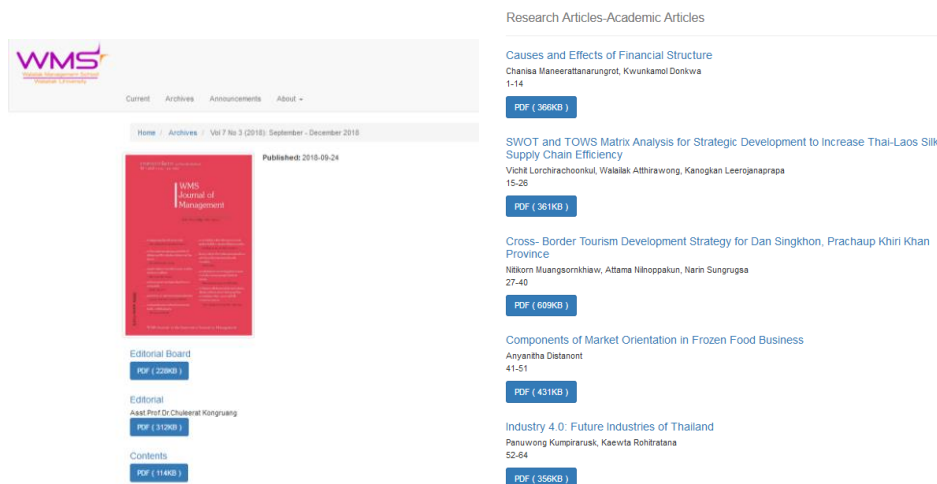
1) วารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ภาพที่ 3 พบว่าวารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ มีจุดเด่นในเรื่องของการควบคุมคุณภาพของบทความ, อายุของวารสาร, การมีกองบรรณาธิการและผู้เขียนที่มาจากหลากหลายหน่วยงาน, มีรูปแบบและนโยบายการตีพิมพ์ที่ชัดเจน, วารสารมีการตีพิมพ์ในรูปแบบเดียวกัน, เว็บไซต์วารสารมีการอัปเดตและทันสมัย และคุณภาพ

ภาษาอังกฤษของบทความ แต่มีจุดที่ควรพัฒนาในเรื่อง การออกวารสารก่อนเวลาหรือตรงเวลา, การปรากฏการอ้างอิงบทความในฐานข้อมูล ACI และการใช้งานระบบออนไลน์อิเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่อง พบว่าวารสารมีคะแนนร้อยละ 86.36 โดยวารสารได้ปรับปรุงให้มีชื่อบทความ ชื่อผู้แต่งและสังกัด เอกสารอ้างอิงให้เป็นภาษาอังกฤษ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์วารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์



ภาพที่ 4 การปรับปรุงวารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ให้มีชื่อบทความ ชื่อผู้แต่งเป็นภาษาอังกฤษ

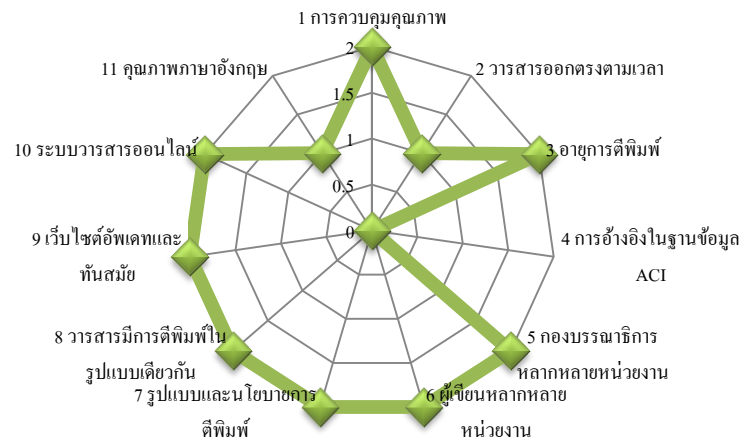
2) สารอาศรมวัฒนธรรมวลัยลักษณ์

ภาพที่ 5 พบว่าสารอาศรมวัฒนธรรมวลัยลักษณ์ มีจุดเด่นในเรื่องของการควบคุมคุณภาพของ

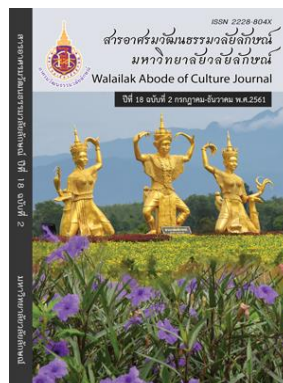
บทความ, อายุของวารสาร, การมีกองบรรณาธิการและผู้เขียนที่มาจากหลากหลายหน่วยงาน, มีรูปแบบและนโยบายการตีพิมพ์ที่ชัดเจน, วารสารมีการตีพิมพ์

ในรูปแบบเดียวกัน, เว็บไซต์วารสารมีการอัปเดตและทันสมัย และวารสารมีระบบออนไลน์อิเล็กทรอนิกส์ แต่มีจุดที่ควรพัฒนาในเรื่อง การออกวารสารก่อนเวลาหรือตรงเวลา, การปรากฏการ

อ้างอิงบทความในฐานข้อมูล ACI, และคุณภาพภาษาอังกฤษของบทความ พบว่าวารสารมีคะแนนร้อยละ 77.27 โดยวารสารได้ปรับปรุงเว็บไซต์ให้เป็นภาษาไทยทั้งหมด ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 การวิเคราะห์สารอาศรมวัฒนธรรมวลัยลักษณ์



About the Journal

Focus and Scope

Walailak Abode of Culture Journal considers Thai/English written academic articles, research articles and book reviews whose scope is related to interdisciplinary social science and humanities such as Cultural Studies, Language and Literature, Fine Art, Performing Art, Music, Dance, Mural, History, Archeology, Political Science, Public Administration, Sociology and Anthropology, Linguistics, Asian Studies, Demography and other related fields.

Peer Review Process

In compliance with a standard set of guidelines for Social Science and Humanities journals as determined by Office of the Higher Education Commission (OHEC) and The Thailand Research Fund, the editorial board is comprised with professors and doctoral degree holding experts who have continually published inside but mostly outside the institution. Each of the articles accepted for publication must be specifically prepared in accordance with the acceptable format and subjected to the double-blind peer review process. Such process will be undertaken by experienced experts, from inside and outside the university, who are known to have been significantly and continually publishing in that particular field. Throughout the process, both the author and the reviewer identities are concealed from one another.

Publication Frequency

Walailak Abode of Culture Journal publishes two issues a year:
- Issue 1 (January - June)
- Issue 2 (July- December)

Open Access Policy

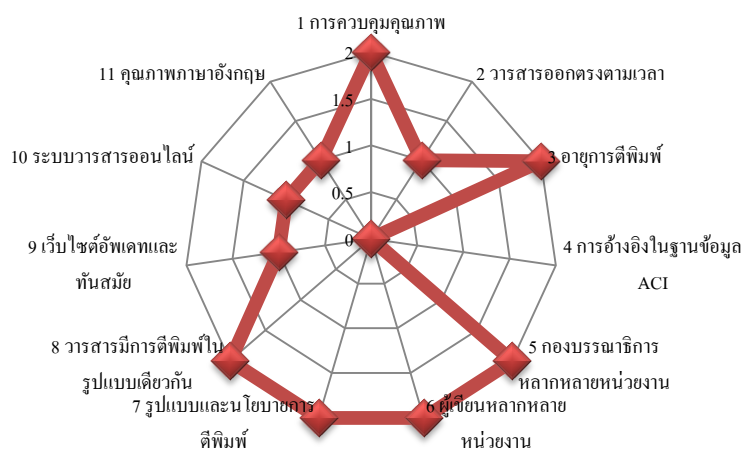
This journal provides immediate open access to its content on the principle that making research freely available to the public supports a greater global exchange of knowledge.

ภาพที่ 6 การปรับปรุงเว็บไซต์ของสารอาศรมวัฒนธรรมวลัยลักษณ์ให้เป็นภาษาอังกฤษ

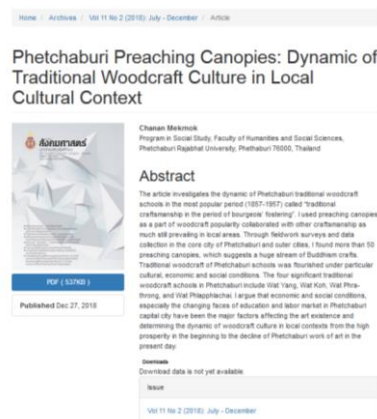
3) วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ภาพที่ 7 พบว่าวารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ มีจุดเด่นในเรื่องของการควบคุมคุณภาพของบทความ, อายุของวารสาร, การมีกองบรรณาธิการและผู้เขียนที่มาจากหลากหลายหน่วยงาน, มีรูปแบบและนโยบายการตีพิมพ์ที่ชัดเจน, วารสารมีการตีพิมพ์ในรูปแบบเดียวกัน แต่มีจุดที่ควร

พัฒนาในเรื่อง การออกวารสารก่อนเวลาหรือตรงเวลา, การปรากฏการอ้างอิงบทความในฐานข้อมูล ACI, เว็บไซต์วารสารมีการอัปเดตและทันสมัย, การใช้งานระบบออนไลน์อิเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่อง และคุณภาพภาษาอังกฤษของบทความ พบว่าวารสารมีคะแนนร้อยละ 72.72 โดยวารสารได้ปรับปรุงการอ้างอิงให้เป็นภาษาอังกฤษ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 7 การวิเคราะห์วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์



References

- Akita, S. (1996). Capital Accumulation in Thailand 1855-1985. Chiang Mai, Thailand: Silkwork Books.
- Atsawinanon, N. (1992). The Social and Economic Changes of Phetchaburi Capital (1857-1917 A. D.). (Master's Thesis). Bangkok: Chulalongkorn University.
- Chaemchan, B. (1992). Phetchaburi Craftsman: a Memorial to the Creation of Asst. Prof. Bua Thai Chamchan. June 21, 1992. Phetchaburi: Petchpoom Press.
- Infasseng, D. (1999). A study on the Development of Phetchaburi Local Arts: a Case Study of Pin In Fah Sang. (Master's thesis). Mahidol University.
- Kongkrit, P. (2013). And then the Truth Appears: Cultural Politics of 14 October's Students and Intellectuals. Nontaburi: Sameskybooks Press.
- Lungrung, S. (2001). A Study of Phetchaburi Temporary Crematory to Design a Temporary Crematory that is Suitable for the Present Condition. (Master's thesis). Bangkok: Chulalongkorn University.
- Macharon, C. (1977). Preaching Canopy. Fine Arts Department: Ministry of Education.
- Na Pakinham, N. (2001). Preaching Canopy: Dignity of Art. Bangkok: Muang Boran Press.
- Nawigamune, A. (2011). Siamese craftsman. Bangkok: Satapornbooks.

ภาพที่ 8 การปรับปรุงการอ้างอิงของวารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ให้เป็นภาษาอังกฤษ

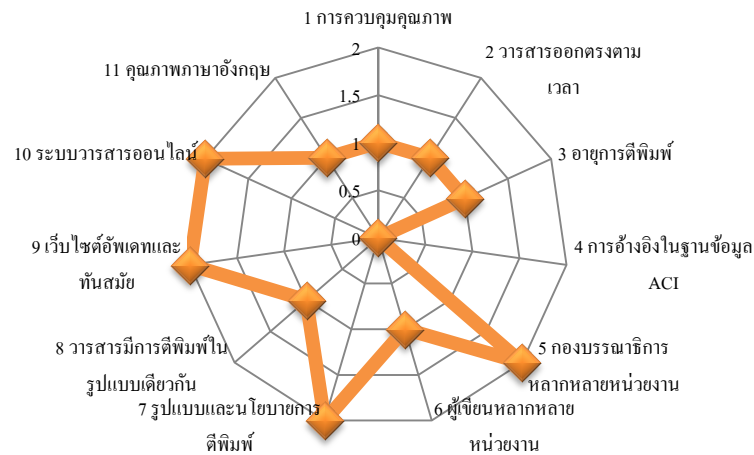
4) วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

จากภาพที่ 9 พบว่าวารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ มีจุดเด่นในเรื่องของการมีกองบรรณาธิการวารสารที่มาจากหลากหลาย

หน่วยงาน, มีรูปแบบและนโยบายการตีพิมพ์ที่ชัดเจน, เว็บไซต์วารสารมีการอัปเดตและทันสมัย และมีการใช้งานระบบออนไลน์อิเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่อง แต่มีจุดที่ควรพัฒนาในเรื่องการควบคุมคุณภาพของบทความ, การออกวารสารก่อนเวลาหรือตรงเวลา,

อายุของวารสารยังน้อย, การปรากฏการอ้างอิงบทความในฐานข้อมูล ACI, ความหลายหลายของผู้เขียน, วารสารควรมีการตีพิมพ์ในรูปแบบเดียวกัน และคุณภาพภาษาอังกฤษของบทความ พบว่าวารสาร

มีคะแนนร้อยละ 63.63 โดยวารสารได้ปรับปรุงให้มีชื่อบทความ ชื่อผู้แต่งและสังกัด เอกสารอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 9 การวิเคราะห์วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

The Use of Media (Videos) to Reduce ESL Students' Speaking Anxiety

A Case Study of Grade Five Bhutanese Students in Mongar District

Dana Ojetham
Suryabha Teacher College, Rangsit University



PDF GENERATED BY

Published Dec 26, 2018

DOI: <https://doi.org/10.14455/jst.v12i2.11>

Abstract

This study focused on examining the effectiveness of media (video) in reducing ESL grade five Bhutanese students' English speaking anxiety and their perception on the use of media (video) in reducing English speaking anxiety. Most students were motivated to study in the study. The researcher developed 4 English Lesson Plans of 100 minutes each (1 Lesson Plan x 2 Sessions) incorporating media (video) and taught 12 sessions (2 sessions per week) in a sample group of 30 ESL grade five Bhutanese students within the time period of a month and assessed English speaking using media (video). During four weeks of data collection, the researcher collected the quantitative data through Pre-survey (before the intervention) and Post-Survey (after the intervention) using Foreign Language Classroom Anxiety Scale (FLCAS) questionnaire and collected the qualitative data through classroom observation (CO) and focus group discussion (FGD). All the instruments were validated by three experts (one from Thailand and two from Bhutan) and the new Objective Composite (OC) was used to evaluate the items. The quantitative data were analyzed using inferential statistics (t-test with P-value 0.05 level of significance) and the qualitative data were analyzed using the coding system (open, axial and selective) of Grounded Theory of Strauss and Corbin. The results revealed that the use of media (video) were significantly effective in reducing ESL grade five Bhutanese students' speaking anxiety and they had a positive perception towards the use of media (video) in reducing speaking anxiety.

Keywords

Media (Videos), ESL, Speaking Anxiety, Media Perception

References

- Bayram, L., & Ismail, M. (2018). International Conference on Teaching and Learning English as an Additional Language: Procedural and Behavioral Sciences, 232, 502-508. DOI: 10.1016/j.absp.2018.10.009
- Baker, J., & Westrup, H. (2003). Essential speaking skill: A handbook for English language teachers. London: Continuum International Publishing.
- Bello, T. (1999). New avenues to choosing and using videos. TESOL Matters, 9 (4), 20.
- Bhutan Council for School Examination and Assessment (2017). Pupil Performance Report 2017. Retrieved from <https://bcea.bt/downloads/jpr/PPR-2017-FINAL-RED UCED.pdf>
- Botina, O. M. (2007). Teaching English with Video. Retrieved from <https://www.diacronia.ro/noi/indexing/details/45588.pdf>
- Bran, L. M. (2010). The Effect of Technology on Attention and Concentration within the Classroom Context. Retrieved from <https://olseer.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.489.4576&rep=rep1&type=pdf>
- Cakir, I. (2006). The Use of Video as an Audio-Visual Material in Foreign Language Teaching Classroom. The Turkish Online Journal of Educational Technology, 5 (4), 1303-8521.
- Capon, S. (2013). Effective Use of the Media: Video in the Foreign Language Classroom. Medij. Istraz, 19 (1), 83-104.
- Corbin, J., & Strauss, A. (2008). Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory (3rd ed.). Los Angeles: Sage Publications.
- Donley, K. M. (2006). Film for Fluency. English Teaching Forum, 39 (2), 24.
- Elkhafaji, H. (2005). Listening comprehension anxiety in the Arabic language classroom. The Modern Language Journal, 89 (2), 206-220.
- Ewald, J. D. (2007). Foreign language learning anxiety in upper-level classes: Involving students as researchers. Foreign Language Annals, 40 (1), 122-142.
- Gregerson, T., & Horvitz, E. K. (2002). Language learning and perfectionism: Anxious and no anxious language learners' reactions to their own oral performance. The Modern Language Journal, 86 (4), 582-570.
- Harutunian, E. R. (2017). Overcoming Speech Anxiety in the classroom. Retrieved from <https://msep.mau.se/bitstream/handle/2043/23340/Overcoming%20Speech%20Anxiety%20>

ภาพที่ 10 การปรับปรุงวารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ให้มีชื่อบทความ ชื่อผู้แต่งและสังกัด เอกสารอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ

จากข้อมูลการวิเคราะห์วารสารทั้ง 4 พบว่ามีจุดเด่นเรื่อง มีการควบคุมคุณภาพของบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิ, มีกองบรรณาธิการที่มาจากหลากหลายหน่วยงาน, มีรูปแบบและนโยบายการตีพิมพ์ที่ชัดเจน, วารสารมีการตีพิมพ์ในรูปแบบเดียวกัน, เว็บไซต์วารสารมีการอัพเดทและทันสมัย, วารสารมีระบบออนไลน์อิเล็กทรอนิกส์ สอดคล้องกับงานของ Sirirak and Sirisathitkul (2016) แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของบทความเมื่อวารสารมีการนำระบบออนไลน์อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ รวมถึงวารสารตีพิมพ์บทความที่มีผู้เขียนมาจากหลากหลายหน่วยงาน สอดคล้องกับผลงานของ Wongkaew (2018) ที่รายงานผลการประเมินคุณภาพวารสารในปี พ.ศ. 2555 พบว่าวารสารไทยกว่าร้อยละ 75 มีความหลากหลายของผู้เขียน ทำให้เห็นว่าวารสารไทยมีการพัฒนาคุณภาพที่มากขึ้น แต่วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ มีความหลากหลายของผู้เขียนค่อนข้างน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Juychum and Siriphan (2016) ที่พบว่ากลุ่มผู้เขียนบทความส่วนใหญ่เป็นมาจากภายในหน่วยงานวารสารจึงจำเป็นต้องบริหารจัดการสัดส่วนของบทความที่มาจากภายนอกหน่วยงานให้มากขึ้น และวารสารทั้ง 4 พบว่ามีการปรากฏการอ้างอิงบทความในฐานข้อมูล ACI ค่อนข้างน้อย สอดคล้องกับ Nakornthap (2016) ที่พบว่า การจะทำให้ผลงานมีการอ้างอิงมากขึ้นจำเป็นต้องเริ่มตั้งแต่การคิดค้นเรื่องที่จะทำวิจัย พยายามหาหัวข้อที่เป็นเรื่องใหม่ การทำงานถูกนำไปอ้างอิงแสดงถึงขีดความสามารถในการผลิตงานวิจัยที่มีคุณภาพ ดังนั้นวารสารควรคัดเลือกตีพิมพ์บทความที่มีความโดดเด่นในแต่ละสาขาให้มากขึ้น รับบทความภาษาอังกฤษตีพิมพ์เพื่อการเข้าถึงจากทั่วโลกและสร้างโอกาสในการอ้างอิงให้เพิ่มสูงขึ้น โดยวารสารทั้ง 4 ฉบับ มีระบบออนไลน์วารสารอิเล็กทรอนิกส์ และเว็บไซต์วารสาร

มีการอัพเดทและทันสมัย ทำให้วารสารมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประหยัดค่าใช้จ่ายการตีพิมพ์รูปเล่ม วารสารมีความเป็นสากล และสามารถเข้าถึงได้จากทุกที่ ซึ่งสอดคล้องกับ Chaleoykitti and Onsri (2013); Chotjirawatthana (2011); Juychum (2011); Sirirak and Kongsri (2019); Supreeyaporn and Kulachan (2015) ที่พบว่าวารสารอิเล็กทรอนิกส์ทำให้เกิดความสะดวกในการเข้าถึงบทความได้รวดเร็ว และกว้างขวางกว่าวารสารในรูปแบบสิ่งพิมพ์ สามารถดาวน์โหลดอ่านเนื้อหาบทความฉบับเต็ม สืบค้นข้อมูลออนไลน์ สร้างโอกาสการอ้างอิงบทความเพิ่มขึ้น

สรุป

การพัฒนาวารสารวิชาการตามหลักเกณฑ์คุณภาพของฐานข้อมูลอาเซียนทั้ง 11 หัวข้อ ทำให้วารสารสามารถยกระดับคุณภาพเทียบเท่าฐานข้อมูลอาเซียนได้ ดังเช่นการดำเนินการของวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ทั้ง 4 วารสาร ได้ทราบถึงจุดแข็งและจุดที่ควรพัฒนาในแต่ละหัวข้อตามหลักเกณฑ์ของฐานข้อมูลอาเซียน จำนวน 11 หัวข้อ โดยวารสารได้ปรับปรุงการออกวารสารให้ตรงต่อเวลาตามนโยบายของวารสาร การบริหารจัดการสัดส่วนของความหลากหลายของกองบรรณาธิการและบทความ วารสารกำหนดการจัดทำบรรณานุกรมเป็นภาษาอังกฤษ การหาผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบคุณภาพภาษาอังกฤษของบทความ การปรับปรุงเว็บไซต์วารสารเป็นภาษาอังกฤษ และการใช้งานระบบออนไลน์อิเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่อง ทำให้วารสารมีคุณภาพเทียบเท่าหลักเกณฑ์ของฐานข้อมูลอาเซียน การดำเนินงานวารสารสามารถปฏิบัติตามหลักเกณฑ์มาตรฐานของฐานข้อมูลอาเซียนได้อย่างมีระบบ เป็นมาตรฐานเดียวกันและเกิดประสิทธิภาพรวมถึงเป็นการปรับปรุงคุณภาพวารสารให้สอดคล้อง

กับเกณฑ์การประเมินของมหาวิทยาลัยและ
หน่วยงานในประเทศ

ข้อเสนอแนะ

1. วารสารควรมีบทความตีพิมพ์เป็น
ภาษาอังกฤษเพิ่มขึ้น เพื่อสร้างโอกาสการอ้างอิง
บทความในฐานข้อมูลระดับนานาชาติ

2. วารสารควรมีกองบรรณาธิการและ
บทความตีพิมพ์จากต่างประเทศในอนาคต เพื่อการ
เตรียมพร้อมวารสารเข้าสู่ฐานข้อมูล Scopus

กิตติกรรมประกาศ

งบประมาณสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการ
วิจัยสถาบัน มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ประจำปี
งบประมาณ 2561 (WUDPL 61002) ขอบพระคุณ
ผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 5 ท่านสำหรับการอนุเคราะห์
ประเมินเครื่องมือวิจัย และขอขอบคุณ รศ.ดร.จิต
ณรงค์ ศิริสถิตย์กุล บรรณาธิการวารสาร Walailak
Journal of Science and Technology และ
บรรณาธิการวารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่ ผศ.
ดร.ยุวดี วิทย์พันธ์ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและ
นวัตกรรม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ สำหรับคำแนะนำ
และปรับปรุงบทความต้นฉบับ

เอกสารอ้างอิง

ASEAN Citation Index (ACI). 2018. **ACI**. Available
Source: <http://www.asean-cites.org>, January
5, 2019.
Chaleoykitti, S. and Onsri, P. 2013. Journal of the
Royal Thai Army Nurses and the pathway
of quality improvement of Thai Journals
from the past to the present. **Journal of**

the Royal Thai Army Nurses 14: 1-8. (In
Thai)

Chotjirawatthana, S. 2011. Electronic journal
acquisitions in university libraries. **Library
Science Journal** 31: 65-82. (In Thai)

Division of Planning and Strategy, Walailak University.
2017. **Walailak University's 20-Year
Strategy Plan (2018-2037)**. Publications,
Walailak University. (In Thai)

Juychum, D. 2011. E-Journal: Another choice of
service. **Princess of Naradhiwas University
Journal** 3: 118-123. (In Thai)

Juychum, D. and Siriphan, S. 2016. A content
analysis of Princess of Naradhiwas University
Journal. **Princess of Naradhiwas University
Journal** 8: 140-154. (In Thai)

Naiyapatana, W. 2009. Quality development of
Thai Nursing Journals toward international
data base. **Journal of Nursing and
Education** 2: 82-94. (In Thai)

Nakornthap, P. 2016. An Analysis of Research
Papers Indexed in Scopus and Web of
Science which Authored by Faculty Staff
of the Petroleum and Petrochemical
College, Chulalongkorn University. **TLA
Research Journal** 9: 23-44. (In Thai)

Plasai, J., Sangmanee, R., Siriphan, S., Juychum, D.,
Wajanasiri, P. and Chesamoh, S. 2018.
The 9th years Princess of Naradhiwas
University journal of Thai-Journal quality
development towards ASEAN. **Princess
of Naradhiwas University Journal** 9: 1-8.
(In Thai)

- Sirirak, K. and Kongsri, Y. 2019. A study of quality of journals with TCI database criteria case study of Walailak University academic journals. **Dhammathas Academic Journal** 19(1): 227-238. (In Thai)
- Sirirak, K. and Sirisathitkul, C. 2016. Walailak Journal of Science and Technology-A scientometric analysis from 2010 to 2015. **Walailak Journal of Science and Technology** 13(6): 391-397.
- Supreeyaporn, C. and Kulachan, T. 2015. Developing of e-journal features for Open Journal Systems. **Thai Library Association Research Journal** 8: 101-114. (In Thai)
- Thai-Journal Citation Index Centre: TCI. 2018. **List of Thai journals**. Available Source: http://www.kmutt.ac.th/jif/public_html/index.html, January 5, 2019. (In Thai)
- Uiphanit, T., Janpla, S. and Keawmanee, N. 2010. **Research Report The development of electronic journal online management system: A case study of journal of Suan Sunandha Rajabhat University Research**. Faculty of Humanities and Social Sciences, Suan Sunandha Rajabhat University. (In Thai)
- Wongkaew, C. 2018. Thai scholarly journals and open access. **T.L.A. Bulletin** 62: 68-84. (In Thai)

จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ดินปาล์มน้ำมัน เพื่อการผลิตพีจีพีอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์

Antagonistic Microbe on Palm Soil for Producing of Plant Growth

Promoting Rhizobacteria Yeast and Fungal (PGPR) Mixed Microbe

สุกาญจน์ รัตนเลิศสนธิ์*

Sukhan Rattanaloeadnusorn *

Received: 30 August 2018, Revised: 10 June 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

การแยกและจำแนกจุลินทรีย์ปฏิปักษ์บนตัวอย่างดินหลังการใช้พีจีพีอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ วิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ขนาดประมาณ 1,500 คู่เบสของยีน 16S rRNA โดยการใช้โปรแกรม BLASTN เปรียบเทียบกับข้อมูลใน GenBank ของ NCBI ที่มีความแม่นยำมากกว่า 99-100 เปอร์เซ็นต์ และการตรวจสอบลักษณะสัณฐานและทดสอบทางชีวเคมี บริเวณอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย พบจุลินทรีย์ จำนวน 14 สายพันธุ์ คือ แอคติโนมัยซิส 1 สายพันธุ์ ได้แก่ *Streptomyces themodiatstatics* รา 7 สายพันธุ์ ได้แก่ *Micrombacterium paraoxydons*, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus tamari*, *Penicillium pennosus*, *Rhizomucor pusilus* และ *Trichoderma asperelium* แบคทีเรีย 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus velezensis*, *Lactobacillus pentosus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus flexus* และ *Bacillus licheniformis* ยีสต์ 1 สายพันธุ์ ได้แก่ *Sacharomyces cerevisiac* เมื่อนำจุลินทรีย์ปฏิปักษ์นี้ไปผลิตเป็นนวัตกรรมชีวภาพพีจีพีอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน (PGPR, plant growth promoting rhizobacteria-yeast and fungal) ตามวิธีของสุกาญจน์ (2560) และนำนวัตกรรมชีวภาพนี้ไปหว่านใต้ต้นปาล์มน้ำมันน้ำหนัก 1 กิโลกรัมต้นปาล์มอายุ 3 ปี และ 2 กิโลกรัมต้นปาล์มอายุ 5 ปีต่อครั้งจำนวน 3 ครั้งต่อปี ปรากฏว่าการเพิ่มน้ำหนักทะลายปาล์มหลังการใช้พีจีพีอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโนของปาล์มอายุ 3 และ 5 ปี เท่ากับ 128.57 ± 1.0 เปอร์เซ็นต์และ 123.23 ± 1.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงว่าจุลินทรีย์ในนวัตกรรมชีวภาพนี้ช่วยเร่งย่อยสลายอินทรีย์สารให้เป็นสารอาหารในรูปสารประกอบโมเลกุลเล็กและค่อยๆ ปลดปล่อยให้แก่พืช สำหรับเร่งการเจริญเติบโตและเร่งการออกทะลายและเพิ่มน้ำหนักทะลายปาล์มต่อไร่ต่อปี ดังนั้น เกษตรกรชาวสวนปาล์ม

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง ปทุมธานี 12110

Biology Program, Faculty of Science and Technology, Rajamangula University of Technology Thanyaburi, 39 Moo 1, Klong 6, Khlong Luang, Pathum Thani 12110, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): sukhanratt@hotmail.co.th, sukhan@mail.rmUTT.ac.th

ควรหันมานำนวัตกรรมชีวภาพฟิสิกส์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน จะช่วยเร่งการเจริญเติบโตและการเพิ่มน้ำหนัก ทะลายปาล์มต่อไร่ต่อปี

คำสำคัญ: ฟิสิกส์, จุลินทรีย์ปฏิปักษ์, 16S rRNA, ทะลายปาล์ม

ABSTRACT

Isolation of microorganisms on soil samples after using PGPR analysis of the 1,500-bp nucleotide sequence of the 16S rRNA gene by using the BLASTN program was compared with NCBI's GenBank data with a confidence level more than 99-100 percent. Morphological characteristics and biochemical characterization taking place at Nong Suea District, Pathum Thani Province, Thailand found 14 isolates of microorganisms: actinomycetes is *Streptomyces thermophilus*, Fungal 7 isolates: *Aspergillus terreus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus tamari*, *Penicillium peninosus*, *Rhizomucor pusilus* and *Trichoderma asperellum* Bacteria 5 isolates: *Bacillus velezensis*, *Lactobacillus pentosus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus flexus* and *Bacillus licheniformis*; 1 isolates of yeast: *Sacharomyces cerevisiae*. The PGPR according to the method of Rattanaloeadnusorn (2517), and after the innovative PGPR sowing to sow under palm oil weight of 1 and 2 kg per 3 times per year. For 3 and 5 years old palm trees, it was found that the percentage increasing of palm kernel weight gain after using PGPR was $128.57 \pm 1.0\%$ and $123.23 \pm 1.0\%$ respectively. Results showed that the microorganisms in the bioproducts accelerated the digestion of nutrients into small molecule compounds and slowly released nutrients to plant roots. Palm oil farmers should turn to the innovative PGPR accelerating the growth, weight increase palm kernel, and weight gain per acre per year.

Key words: PGPR, antagonistic microbe, 16S rRNA, palm kernel

บทนำ

ในอดีตเกษตรกรนิยมใช้สารเคมีอย่างกว้างขวาง แต่ไม่มีการใช้สารส่งเสริมการเจริญเติบโต และป้องกันฟิสิกส์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ช่วยในการเร่งการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ส่งผลทำให้ดินและน้ำมีสารเคมีและโลหะหนัก สารอินทรีย์ในรูปที่ไม่เหมาะสมตกค้างในดินสูงมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้รากพืชไม่สามารถดูดและนำไปใช้เร่งการเติบโตและเพิ่มผลผลิตได้ (Ahemad and Malik, 2011) เกษตรกรได้ผลผลิตต่ำและพบว่าความหลากหลายทางชีวภาพ

ของจุลินทรีย์ดินลดลง (Ahmad *et al.*, 2008; Figueiredo *et al.*, 2008; สุกาญจน์ และคณะ, 2561) แต่เมื่อเกษตรกรหันมาทำการเกษตรอินทรีย์ร่วมกับสารชีวภาพนาโนผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ THAN2 หรือสารส่งเสริมการเจริญเติบโตและป้องกันฟิสิกส์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (PGPR: plant growth promoting rhizobacteriayeast and fungal) มาตรฐาน Q และ IFOAM ม.ก.ท ดังภาพที่ 1 พบว่าการเจริญเติบโต การเพิ่มผลผลิต การลดต้นทุนค่าปุ๋ย การเพิ่มรายได้ การปรับสภาพดินและน้ำการลด

สารพิษตกค้างในดิน เพิ่มจุลินทรีย์ปฏิบัติช่วย
สนับสนุนการย่อยสลายอินทรีย์สารให้เป็น
สารอาหารในรูปสารประกอบโมเลกุลเล็กและค่อย
ปลดปล่อยให้แก่พืชและสัตว์ (Figueiredo *et al.*,
2008) ซึ่ง สอดคล้องกับการศึกษาของ
Rattanaloeadnusorn (2017); Lavakush *et al.* (2014);
Ahmad *et al.* (2008); Figueiredo *et al.* (2008) ดังนั้น
นักวิจัยจึงดำเนินการคัดแยกจุลินทรีย์รา ยีสต์
แบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส บนตัวอย่างดินปลูกปาล์ม
หลังการใช้ฟิฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน
บริเวณอำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย
การตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาและทดสอบ

คุณสมบัติทางชีวเคมี เพื่อผลิตนวัตกรรมชีวภาพฟิฟิ
อาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโนจากสายพันธุ์จุลินทรีย์
ปฏิบัติเหล่านี้ตามวิธีของ Rattanaloeadnusorn
(2017) สำหรับนำไปหว่านใต้ต้นปาล์มน้ำมัน
น้ำหนัก 1-2 กิโลกรัมต่อครั้งจำนวน 3 ครั้งต่อปี ต้น
ปาล์มอายุ 3 และ 5 ปี และศึกษาเปอร์เซ็นต์การเพิ่ม
น้ำหนักทะลายปาล์มต่อไร่ต่อปี หลังการใช้ฟิฟิอาร์
ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโนเปรียบเทียบกับการใช้
ปุ๋ยเคมี เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรชาวสวนปาล์มหันมา
ใช้ฟิฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโนทดแทนการ
ใส่ปุ๋ยเคมี สำหรับช่วยเร่งการเจริญเติบโตและเพิ่ม
น้ำหนักทะลายปาล์มต่อไร่ต่อปี



ภาพที่ 1 สารฟิฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน (PGPR, plant growth promoting rhizobacteria- yeast and fungal)
มาตรฐาน IFOAM สำหรับหว่านใต้ต้นปาล์มน้ำมัน เพื่อเร่งการเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักทะลายปาล์ม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. อุปกรณ์

- ฟิฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน
- น้ำ
- หัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน ภายใต้เครื่องหมายการค้า

THAN

- ทางปาล์มแห้งบดป่น
- เตาเผาแบบไร้ออกซิเจน
- น้ำตาลทรายแดง
- สารอินทรีย์ตัวจับ
- สารตัวเติมอินทรีย์
- สารอาหารเสริมอินทรีย์พืช THAN

- สารสกัดชีวภาพ THAN
- ถังหมักแบบใช้ออกซิเจน
- ดินภูเขาไฟ

2. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ *Randomized complete block design (RCBD)* ตุ่มเก็บตัวอย่างดิน
ปลูกปาล์มก่อนและหลังการใช้ฟิฟิอาร์ผสมหัว
เชื้อจุลินทรีย์จำนวน 10 จุด นำตัวอย่างดินมาผสมให้
เข้ากัน ฝังให้แห้งในที่ร่ม นำไปแยกจุลินทรีย์ปฏิบัติ
รา ยีสต์ แบคทีเรีย แอคติโนมัยซิสหลังจากนั้น นำ
จุลินทรีย์ปฏิบัตินี้ไปผ่านกระบวนการผลิตฟิฟิอาร์
ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ตามวิธีของ Rattanaloeadnusorn

(2017) และนำฟิฟอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ไปหว่านใต้ต้นปาล์มน้ำมัน น้ำหนัก 1 และ 2 กิโลกรัมต่อครั้ง ต้นปาล์มอายุ 3 และ 5 ปี จำนวน 3 ซ้ำ ศึกษาการเติบโตและเพิ่มน้ำหนักผลทะลายปาล์มต่อไร่ เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี 0-0-60

3. การแยกจุลินทรีย์บนตัวอย่างดินปลูกปาล์ม

เทคนิควิธีการแยกจุลินทรีย์ปฏิบัติรักษายีสต์แบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส โดยวิธีทางอ้อม dilution pour plate Method ตามวิธีของ Xie *et al.* (1996); Ahemad and Malik (2011) พร้อมตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาและทดสอบทางชีวเคมี ได้แก่ การหลั่งเอนไซม์ตามวิธีของ Ramesh *et al.* (2008) การย่อยโปรตีนตามวิธีของ Behera *et al.* (2017) การทดสอบการย่อยสลายฟอสฟอรัส โพแทสเซียมตามวิธีของ Gaur and Miller (1990) และการจำแนกชนิดสายพันธุ์ของจุลินทรีย์จากลำดับนิวคลีโอไทด์ 16S rRNA โดยการใช้โปรแกรม BLASTN และการเก็บเชื้อจุลินทรีย์ปฏิบัติรักษายีสต์

4. การผลิตและนำฟิฟอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ตามวิธีของ Rattanaloeadnusorn (2017)

นำฟิฟอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ไปหว่านใต้ต้นปาล์มน้ำมัน น้ำหนัก 1 และ 2 กิโลกรัมต่อครั้ง ต้นปาล์มอายุ 3 และ 5 ปี จำนวน 3 ครั้งต่อปี เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและการเพิ่มน้ำหนักผลทะลายปาล์มต่อไร่เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี 0-0-60 จำนวน 3 ซ้ำ

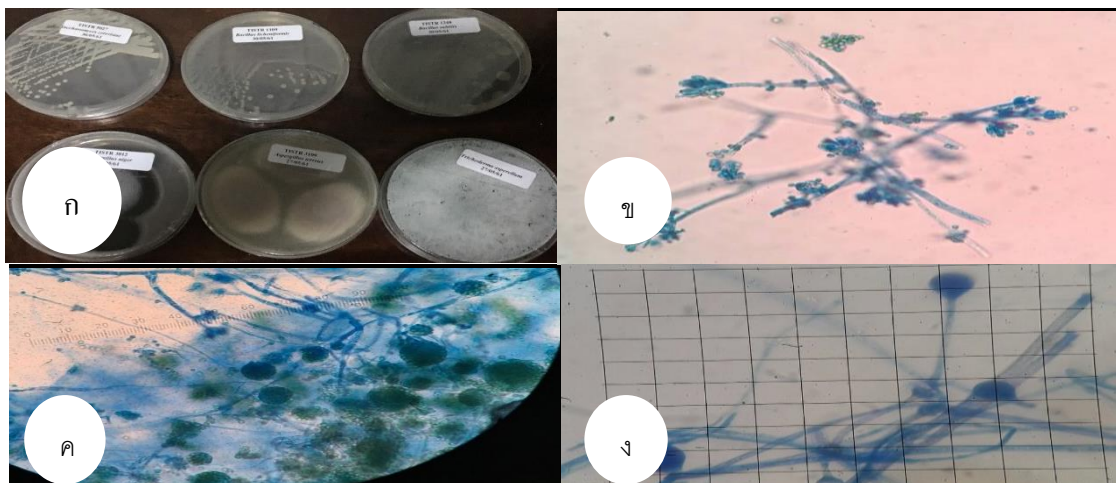
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการแยกจุลินทรีย์ปฏิบัติรักษายีสต์บนดินปลูกปาล์ม หลังการใช้ฟิฟอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน โดยวิธีทางอ้อมการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาและทดสอบทางชีวเคมี อำเภอหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย พบจุลินทรีย์ปฏิบัติรักษายีสต์แบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส ยีสต์ จำนวน 14 สายพันธุ์

เมื่อนำจุลินทรีย์เหล่านี้วิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ขนาดประมาณ 1,500 คู่เบสของยีน 16S rRNA โดยการใช้โปรแกรม BLASTN เปรียบเทียบกับข้อมูลใน GenBank ของ NCBI พบจุลินทรีย์แอคติโนมัยซิส 1 สายพันธุ์ ได้แก่ *Streptomyces thermotactatus* 17 สายพันธุ์ ได้แก่ *Micrombacterium paraoxydons*, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus tamari*, *Penicillium pennosus*, *Rhizomucor pusilus* และ *Trichoderma asperelium* แบคทีเรีย 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus velezensis*, *Lactobacillus pentosus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus flexus* และ *Bacillus licheniformis* ยีสต์ 1 สายพันธุ์ ได้แก่ *Sacharomyces cerevisiae* ที่มีความมั่นใจมากกว่า 99-100 % ตารางที่ 1 ภาพที่ 2 - 3 ในขณะที่การแยกดินก่อนการใช้ฟิฟอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน พบจุลินทรีย์ราจำนวน 3 สกุล ได้แก่ *Penicillium Aspergillus* และ *Rhizoctonia* (สุกาญจน์ และคณะ, 2561) ซึ่งผลการแยกจุลินทรีย์บนตัวอย่างดินปลูกปาล์มหลังการหว่านฟิฟอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ พบจำนวนสกุลจุลินทรีย์มากกว่าบนตัวอย่างดินก่อนการหว่านฟิฟอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งผลการศึกษานี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของสุกาญจน์ และคณะ (2560) ที่พบว่าหลังจากการใช้หัวเชื้อราอัดเม็ดผสมหัวเชื้อชีวภาพอัดเม็ดและหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโนปลูกพืชป่าชายเลน บริเวณนาทุ่งร้าง ปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร พบจุลินทรีย์ราจำนวน 6 สกุล ในขณะที่แยกจุลินทรีย์ราบนดินเลนหลังการใช้นวัตกรรมชีวภาพพบจุลินทรีย์ราจำนวน 14 สกุล (สุกาญจน์ และคณะ, 2560) นั้นแสดงว่ามีสารเคมีตกค้างหลังการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งมีอิทธิพลต่อการปรากฏของจุลินทรีย์ปฏิบัติรักษายีสต์ที่มีคุณสมบัติช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของพืช (Ahemad and Khan (2012) ต่อมานักวิจัยทำการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี การทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมโรค

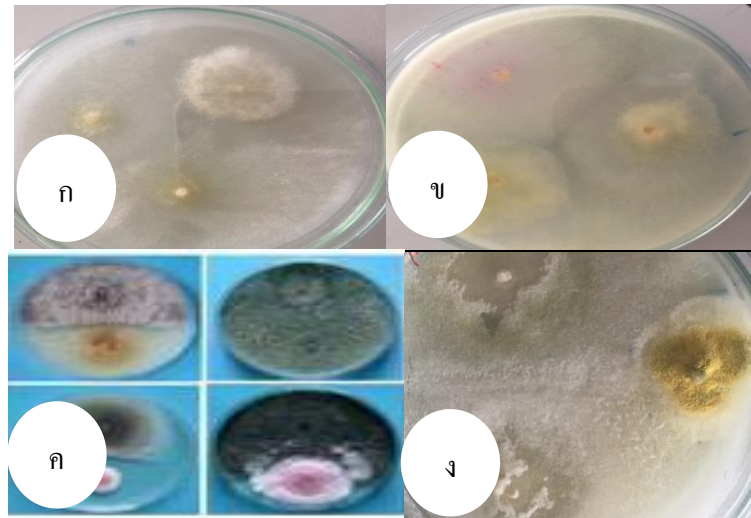
ของเชื้อจุลินทรีย์ประยุกต์การเก็บเชื้อจุลินทรีย์
ประยุกต์บริสุทธิ์แบบ lyophilization และขึ้นทะเบียน
ที่มาของสายพันธุ์จุลินทรีย์ ภาพที่ 3 ตารางที่ 2 พร้อม
นำความหลากหลายจุลินทรีย์ประยุกต์ 14 สายพันธุ์นี้
ไปผ่านกระบวนการผลิตตาม Rattanaloeadnusorn
(2017) และนำสารฟิซีฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน
โนนี้ไปหว่านใต้ต้นปาล์มน้ำมันน้ำหนัก 1 และ 2
กิโลกรัมต่อครั้งต้นปาล์มอายุ 3 และ 5 ปี จำนวน 3
ครั้งต่อปี ปรากฏว่าการเพิ่มน้ำหนักทะเลลายปาล์มหลัง
การใช้ฟิซีฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน
เปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี 0-0-60 เท่ากับ
 128.57 ± 1.0 เปอร์เซ็นต์และ 123.23 ± 1.0 เปอร์เซ็นต์

ตามลำดับ ตารางที่ 3 แสดงว่าจุลินทรีย์ในสารฟิซีฟิ
อาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ ช่วยเร่งย่อยสลายอินทรีย์
สารให้เป็นสารอาหารในรูปสารประกอบโมเลกุลเล็ก
และค่อยปลดปล่อยให้แก่พืชและสัตว์ (Figueiredo *et al.*, 2008)
ช่วยเร่งการเจริญเติบโตและการออก
ทะเลลายปาล์มและเพิ่มน้ำหนักทะเลลายปาล์มต่อไร่ต่อปี
ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rattanaloeadnusorn
(2017); Lavakush *et al.* (2014); Ahemad and Malik
(2011); Figueiredo *et al.* (2008) ดังนั้น เกษตรกร
ชาวสวนปาล์มควรหันมานำฟิซีฟิอาร์ผสมหัว
เชื้อจุลินทรีย์นาโน ช่วยเร่งการเติบโตและเพิ่ม
น้ำหนักทะเลลายปาล์มต่อไร่ต่อปี



ภาพที่ 2 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของจุลินทรีย์ประยุกต์บริสุทธิ์แบคทีเรีย บนตัวอย่างดินปลูกปาล์มน้ำมัน

- ก. โคโลนีเชื้อบริสุทธิ์แบคทีเรียและรา ข. ก้านชูสปอร์และสปอร์สกุล *Trichoderma*
ค. ก้านชูสปอร์และสปอร์สกุล *Aspergillus* ง. ก้านชูสปอร์และสปอร์สกุล *Rhizomucor*



ภาพที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมโรคของเชื้อจุลินทรีย์ (antagonistic test)

ก-ข. ลักษณะโคโลนีด้านหน้าและด้านหลัง *Rhizomucor* ค. การควบคุมเชื้อก่อโรคด้วยราปฏิปักษ์
ง. การควบคุมเชื้อราระหว่าง *Rhizomucor* และ *Penicillium*



ภาพที่ 4 น้ำหนักทะลายปาล์มหลังการหว่านและไม่หว่านสารฟิซีฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน

ก. การฉีดพ่นสารสกัดชีวภาพที่คอกทะลายและหว่านสารฟิซีฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน และขนาด
ทะลายปาล์มที่ไม่หว่านสารฟิซีฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน
ข. ขนาดทะลายปาล์มที่หว่านสารฟิซีฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโนและฉีดพ่นสารสกัดชีวภาพ
ค. การประชาสัมพันธ์เผยแพร่ผ่าน หนังสือพิมพ์ไทยรัฐและทีวี

ตารางที่ 1 ลำดับนิวคลีโอไทด์ขนาดประมาณ 1,500 คู่เบส ของยีน 16S rRNA โดยการใช้โปรแกรม BLAST เปรียบเทียบกับข้อมูลใน GenBank ของ NCBI จากดินปลูกปาล์มน้ำมันร่วมกับสารส่งเสริมการเติบโตและป้องกันฟิโตพาทัวร์ มาตรฐาน IFOAM

ลำดับที่	รหัส	ลำดับนิวคลีโอไทด์ (5' -> 3')
ตัวอย่าง		
<i>Trichoderma asperellum</i>	a	GTTCTTGGTCACCTAGAGGAAGTAAAAGTCGTAACAAGGTCCTCGTTGGTGAACCAGCGAGGGGATCATTACAGAGTT TACAACTCCCAACCAATGTGAACGTTACCAACTGTTGCCTCGGCGGGGTACGCCCGGGTGCCTCGCAGCCCCG GAACCAGGCGCCCGCGGAGGAACCAACCAAACTCTTCTGTAGTCCCTCGCGGACGTATTCTTACAGCTCTGAGC AAAAATTCAAAATGAATCAAACTTCAACAACGGATCTTGGTTCTGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGA TAAGTAATGTGAATTGCAGAAATCAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCAGTATTCTGGCGGGC ATGCCTGTCCGAGCGTCATTCAACCTCGAACCCCTCCGGGGATCGGCGTTGGGATCGGGACCCCTCACACGGGT GCCGGCCCCGAAATACAGTGGCGGTCTCGCCGACGCTCTCCTGCGCAGTAGTTTGCACAACCTCGACCGGGAGCGCG GCGCGTCCACGTCCGTAACACCCAACCTTCTGAAATGTTGACCTCGGATCAGGTAGGAATACCCGCTGAACCTAAG CATATCAATAAGCGGGAG
<i>Trichoderma asperellum</i>	b	TCTTCCGTAGGGTGACCTGCGGAAGGATCATTACCGAGTGCGGGCCCTCTGGGTCCAACCTCCCATCCGTGTCTATCT GTACCCTGTTGCTTCGGCGTGGCCACGGCCCGCGGAGACTAACATTTGAACGCTGTCTGAAGTTTGACAGTCTGAGTT TTTAGTTAAACAATCGTTAAACTTTCAACAACGGATCTTGGTTCCGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGA TAATTAATGTGAATTGCAGAAATCAGTGAATCATCGAGTCTTGAACGCACATTGCGCCCTGTTATCCGGGGGGC ATGCCTGTCCGAGCGTCATTGCTGCCCTCAAGCACGGCTTGTGTGGGCTTCCGTCCCTGGCAACGGGGACGGGCC CAAAAGGCAGTGGCGGCACCATGTCTGTCTCGAGCGTATGGGGCTTGTACCCGCTCCCGTAGGTCCAGTCTGGCA GCTAGCCTCGCAACCAATCTTTTAACCGAGTTGACCTCGGATCAGGTAGGGATACCCGCTGAACCTAAGCATATCAA

ตารางที่ 2 การตรวจสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีของจุลินทรีย์บนตัวอย่างดินปลูกปาล์มหลังการหว่านฟิโตพาทัวร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน ได้ดินปาล์มน้ำมัน อายุ 1 ปี

		รายชื่อ/ แบคทีเรีย/	คุณสมบัติ		ประสิทธิภาพการย่อยสลาย				น้ำตาล รีดิวซ์	โปรตีน
ลำดับ	Isolation (1)	แอคติโน มายซิส	antagonis tic	parasite	Cellu lase	Phospha tase	Protease	hemicel luase		
1	<i>Streptomyces</i>	แอคติโน		✓		✓	✓			✓
	<i>themodiatatics</i>	มายซิส								
	<i>Micrombacterium</i>	รา	✓		✓			✓	✓	✓
2	<i>paraoxydons</i>									
	<i>Aspergillus</i>	รา								
3	<i>terreus</i>									
	<i>Aspergillus</i>	รา	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	<i>fungatus</i>									
	<i>Aspergillus</i>	รา	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	<i>tamarii</i>									
	<i>Penicillium</i>	รา	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	<i>pennosus</i>									
	<i>Rhizomucor</i>	รา								
7	<i>pusilus</i>									
8	<i>Trichoderma</i>	รา	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
	<i>asperelium</i>									

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	Isolation (1)	รายชื่อ/ แบคทีเรีย/ แอคติโน	คุณสมบัติ		ประสิทธิภาพการย่อยสลาย				น้ำตาล รีดิซซ์	โปรตีน
		แอคติโน มัยซิส	antagonis tic	parasite	Cellu lase	Phospha tase	Protease	hemicel luase		
9	<i>Bacillus</i> <i>siamensis</i> or <i>Bacillus</i> <i>velezensis</i>	แบคทีเรีย	✓		✓			✓	✓	✓
10	<i>Sacharomyces</i> <i>cerevisiac</i>	ยีสต์	✓		✓			✓	✓	
11	<i>Lactobacillus</i> <i>pentosus</i>	แบคทีเรีย	✓		✓				✓	✓
12	<i>Bacillus subtilis</i>	แบคทีเรีย	✓		✓				✓	✓
13	<i>Bacillus</i> <i>licheniformis</i>	แบคทีเรีย	✓		✓				✓	✓
14	<i>Bacillus flexus</i>	แบคทีเรีย								

ที่มา: ผลการวิเคราะห์โดย สวทช. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สรุป

เมื่อนำจุลินทรีย์ไปปลูกจากดินปลูกปาล์ม
หลังการใช้ฟิฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ 14 สายพันธุ์
เช่น แอคติโนมัยซิส 1 สายพันธุ์ ได้แก่ *Streptomyces*
themodiatstatics รา 7 สายพันธุ์ ได้แก่ *Micrombacterium*
paraoxydons, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus*
fumgatus, *Aspergillus tamari*, *Penicillium pennosus*,
Rhizomucor pusilus และ *Trichoderma asperelium*
แบคทีเรีย 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus velezensis*,
Lactobacillus pentosus, *Bacillus subtilis* *Bacillus*
flexus และ *Bacillus licheniformis* ยีสต์ 1 สายพันธุ์
ได้แก่ *Sacharomyces cerevisiac* ไปผ่านกระบวนการ
ผลิตฟิฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโนตามวิธีของสุ
กาญจน์ (2560) และ Rattanalocadnusorn (2017)

ด้วยเทคโนโลยีชีวภาพร่วมกับสถานประกอบการ
ตามมาตรฐานสารอาหารเสริมพืช และนำฟิฟิอาร์
ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ไปหว่านใต้ต้นปาล์มน้ำมัน
น้ำหนัก 1 และ 2 กิโลกรัมต่อครั้งต้นปาล์มอายุ 3 และ
5 ปี จำนวน 3 ครั้งต่อปี ปรากฏว่าการเจริญเติบโต
และการเพิ่มน้ำหนักทะลายปาล์มหลังการใช้ฟิฟิอาร์
ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโนเปรียบเทียบกับการใช้
ปุ๋ยเคมี 0-0-60 เท่ากับ 128.57 ± 1.0 เปอร์เซ็นต์และ
 123.23 ± 1.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับดังตารางที่ 3 ดังนั้น
เกษตรกรชาวสวนปาล์มควรหันมานำนวัตกรรม
ชีวภาพฟิฟิอาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโนหว่านใต้
ต้นและฉีดพ่นสารสกัดชีวภาพ THAN เพื่อช่วยเร่ง
การเจริญเติบโตและการเพิ่มน้ำหนักทะลายปาล์มต่อ
ไร่ต่อปี

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบการเพิ่มน้ำหนักทะลายปาล์มหลังการใช้ฟิสิกส์อาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโนเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี 0-0-60

อายุต้นปาล์มน้ำมัน	น้ำหนักทะลายปาล์มหลังการใช้ฟิสิกส์อาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน (ต้นต่อไร่ต่อปี)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มน้ำหนักทะลายเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี 0-0-60	
		การใช้ฟิสิกส์อาร์ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโน	การใช้ปุ๋ยเคมี 0-0-60
3 ปี	±9,443.06	4.13±1.0	128.57±1.0
5 ปี	8,842.65	3.96±1.0	123.23±1.0

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโครงการ ABC สัญญาเลขที่ ABCRMUTT 60A03 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ประจำปี 2560 ที่สนับสนุนทุนการทำวิจัย คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิด้านการศึกษาและสร้างสรรค์การเรียนรู้ทุกท่านที่ประเมินผลงานวิจัยและให้คำปรึกษา รวมถึงเสนอแนะที่เป็นประโยชน์สำหรับการวิจัยนวัตกรรมชีวภาพร่วมกับสถานประกอบการในการนำนวัตกรรมชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาเกษตรกรและโรงงานอุตสาหกรรมแบบยั่งยืนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

สุกาญจน์ รัตนเลิศสุธรรม, สายันต์ สมฤทธิ์ผล และ อชฌานท์ รัตนเลิศสุธรรม. 2560. รายงานการวิจัยการพัฒนาการฟื้นฟูป่าชายเลนและพัฒนาชุมชนด้วยหัวเชื้อราผสม ตำบลโลกขาม อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

สุกาญจน์ รัตนเลิศสุธรรม, กรวิทย์วิชัย บุญพิสุทธิ นันท์ และ อชฌานท์ รัตนเลิศสุธรรม.

2561. รายงานการวิจัยการพัฒนาการปลูกปาล์มน้ำมันและการแปรรูปวัสดุเหลือใช้ด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์นาโนเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตเกษตรกรตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

Ahmad, F.I., Ahemad, M.S. and Khan, M.S. 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. **Microbiological Research** 163(2): 173-181.

Ahemad, M. and Malik, A. 2012. Bioaccumulation of heavy metals by zinc resistant bacteria isolated from agricultural soils irrigated with wastewater. **Bacteriology Journal** 2(1): 12-21.

Ahemad, M. and Khan, M.S. 2012. Effect of fungicides on plant growth promoting activities of phosphate solubilizing *Pseudomonas putida* isolated from mustard (*Brassica campestris*) rhizosphere. **Chemosphere** 86(9): 945-950.

- Behera, B.C., Yadav, H., Singh, S.K., Mishra, R.R., Set hi, B.K., Dutta, S.K. and Thatoi, H.N. 2017. Phosphate solubilization and acid phosphatase activity of *Serratia* sp. isolated from mangrove soil of Mahanadi river delta, Odisha, India. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology** 15(1): 169-178.
- Figueiredo, M.V.B., Burity, H.A., Martinez, C.R. and Chanway, C.P. 2008. Alleviation of drought stress in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by co-inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Rhizobium tropici*. **Applied Soil Ecology** 40(1): 182-188.
- Gaur, U. and Miller, B. 1990. Effects of environmental exposure on fiber/epoxy interfacial shear strength. **Polymer Composites** 11(14): 217-222.
- Glick, B.R., Cheng, Z., Czarny, J. and Duan, J. 2007. Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. **European Journal of Plant Pathology** 119(3): 329-339.
- Lavakush, Y.J., Verma, J.P., Jaiswal, D.K. and Kumar, A. 2014. Evaluation of PGPR and different concentration of phosphorus level on plant growth, yield and nutrient content of rice (*Oryza sativa*). **Ecological Engineering** 62: 123-128.
- Ramesh, G., Borda, J.T., Dufour, J., Kaushal, D., Ramamoorthy, R., Lackner, A.A. and Philipp, M.T. 2008. Interaction of the Lyme disease spirochete *Borrelia burgdorferi* with brain perenchyma elicits inflammatory mediators from cells as well as glial and neuronal apoptosis. **The American Journal of Pathology** 173(5): 1415-1427.
- Rattanaloeadnusorn S. 2017. Inoculants fungal *Trichoderma*, *Mucor* and *Bacillus* for community development based on sufficiency economy philosophy. **International Journal of GEOMATE** 13(40): 16-23.
- Zverlov, V.V. and Schwarz, W.H. 2008. Bacterial cellulose hydrolysis in anaerobic environmental subsystems *Clostridium thermocellum* and *Clostridium Stercorarium*, Thermophillic Plant-fiber Degradars. **Annals of the New York Academy of Sciences** 1125: 298-307.
- Xie, H., Pasternak, J.J. and Glick, B.R. 1996. Isolation and characterization of mutants of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2 that overproduce indole acetic acid. **Current Microbiology** 32(2): 67-71.

ผลของเวลาอบแช่ในกระบวนการอบชุบความร้อนแบบไซคลิกต่อโครงสร้างคาร์ไบด์แบบตาข่ายของเหล็กกล้าคาร์บอนคาร์เบอร์ไรซิง

The Effect of Holding Time in Cyclic Heat Treatment Process on Network Carbide Structure of Carburized Carbon Steel

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ วรรณนา หอมจะบก * อมรศักดิ์ มาใหญ่ และ สมบัติ น้อยมิ่ง

Narongsak Thammachot, Wanna Homjabok *, Amornsak Mayai and Sombut Noyming

Received: 7 March 2019, Revised: 30 July 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเวลาอบแช่ในการอบชุบความร้อนแบบไซคลิกที่มีต่อโครงสร้างคาร์ไบด์แบบตาข่ายและสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านกระบวนการแป็คคาร์เบอร์ไรซิง การทดลองทำโดยการนำชิ้นทดสอบมาทำการให้ความร้อนเหนืออุณหภูมิวิกฤตเส้น A_1 ที่อุณหภูมิ $780\text{ }^{\circ}\text{C}$ สลับกับต่ำกว่าเส้น A_1 ที่อุณหภูมิ $680\text{ }^{\circ}\text{C}$ จำนวน 5 รอบ แต่ละรอบใช้เวลาอบแช่ 0, 5 และ 10 นาที จากนั้น นำชิ้นทดสอบมาทำการชุบแข็งโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิออสเทนไนต์ $780\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 30 นาที จุ่มชุบในน้ำแล้วเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลา 60 นาที จากนั้น ทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล จากผลการทดลองพบว่า ชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการแป็คคาร์เบอร์ไรซิงเกิดโครงสร้างโปรยูเทคตอยด์ซีเมนไทต์หรือคาร์ไบด์แบบตาข่ายในเมทริกซ์เฟอร์ไรต์ เมื่อผ่านกระบวนการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิกที่เวลาการอบแช่ที่ต่างกัน ทำให้โครงสร้างโปรยูเทคตอยด์ซีเมนไทต์และยูเทคตอยด์ซีเมนไทต์เปลี่ยนแปลงไปเป็นคาร์ไบด์ก้อนกลมกระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์เฟอร์ไรต์ โดยแนวโน้มของคาร์ไบด์ก้อนกลมจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้เวลาอบแช่มากขึ้น ภายหลังทำการชุบแข็งและการเทมเปอร์พบว่า เมทริกซ์เฟอร์ไรต์เปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์เมทริกซ์โดยมีคาร์ไบด์ก้อนกลมกระจายอยู่ทั่วไป ในขณะที่สมบัติทางกลทั้งค่าความแข็ง ความต้านทานแรงกระแทก และความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้เวลาอบแช่มากขึ้น

คำสำคัญ: การอบชุบความร้อนแบบไซคลิก, คาร์ไบด์ก้อนกลม, คาร์ไบด์แบบตาข่าย, แป็คคาร์เบอร์ไรซิง

หน่วยวิจัยโลหวิทยาและการอบชุบความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

Metallurgy and Heat Treatment Research Unit, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Muang,
Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

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

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of holding time of cyclic heat treatment on network carbide and mechanical properties of pack carburized low carbon steel. The experiments were conducted by heating the specimens over critical temperature A_1 line at 780 °C followed by cooling down to lower critical temperature A_1 line at temperature of 680 °C. The cycles of heating and cooling were 5 cycles, each of cycle was held at 0, 5 and 10 minutes. They were then hardened by austenitizing temperature of 780 °C with the holding time of 30 minutes followed by quenching in water. Finally, the specimens were tempered at 180 °C for 30 minutes. The microstructure inspection and mechanical properties testing were carried out. The results of this experiment showed that the microstructure of pack carburized specimens consisted of pro-eutectoid cementite or network carbide in pearlite matrix. After cyclic heat treatment, the pro-eutectoid cementite and eutectoid cementite structure transformed to spheroidized carbides and distributed in pearlite matrix. The tendency of spheroidized carbides grew when the holding time increased. After hardening and tempering, the pearlite matrix transformed to martensite matrix with the distributed of spheroidized carbides. The mechanical properties such as hardness, impact and tensile strength tended to rise when the holding time increased.

Key words: cyclic heat treatment, spheroidized carbide, network carbide, pack carburizing

บทนำ

กระบวนการทางความร้อนมีความสำคัญอย่างมากในการปรับปรุงสมบัติทางกลของโลหะให้ดีขึ้นและให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน เหล็กเครื่องมือ (Tool steel) เป็นเหล็กที่มีธาตุผสมสูง มีความสามารถในการชุบแข็งที่ดี ส่งผลทำให้มีสมบัติทางกลที่ดีขึ้นด้วย (มนัส, 2537) ส่วนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นเหล็กที่ไม่สามารถทำการชุบแข็งได้เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนที่ต่ำ จึงไม่สามารถเกิดโครงสร้างมาเทนไซต์ได้ภายหลังการชุบแข็ง ทำให้มีสมบัติทางกลที่ด้อยกว่า แต่เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมีจุดเด่นคือต้นทุนที่ถูกกว่าเหล็กเครื่องมืออยู่มาก จึงมีการศึกษาวิธีการที่จะทำให้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำสามารถทำการชุบแข็งได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการชุบแข็งผิวโดยการเพิ่มธาตุคาร์บอนเข้าไปในเนื้อเหล็ก หนึ่งในวิธีการที่มีต้นทุนต่ำ คือ การแผ่คาร์บอนไธซิง

(มนัส, 2537) งานวิจัยนี้จึงอาศัยวิธีแผ่คาร์บอนไธซิงเพื่อเพิ่มธาตุคาร์บอนที่ผิวของชิ้นงาน จะทำให้สามารถทำการชุบแข็งได้โดยยังคงความเหนียวไว้ภายในโครงสร้าง อย่างไรก็ตาม เมื่อเหล็กผ่านการแผ่คาร์บอนไธซิงแล้วจะทำให้เกิดโครงสร้างคาร์ไบด์แบบดาข่ายขึ้นบริเวณขอบเกรนของเฟอร์ไรต์ ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อสมบัติทางกล และยังทำให้กระบวนการตัด กลึง ไส ทำได้ยาก จึงต้องมีกระบวนการอบชุบความร้อนที่สามารถเปลี่ยนคาร์ไบด์แบบดาข่ายให้เป็นคาร์ไบด์ก้อนกลม หนึ่งในกระบวนการอบชุบความร้อนให้ได้คาร์ไบด์ก้อนกลมคือกระบวนการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิก ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้คาร์ไบด์ที่มีลักษณะเป็นดาข่ายขาดออกจากกันและเปลี่ยนไปเป็นคาร์ไบด์ก้อนกลม โดยที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษากลไกการอบชุบดังกล่าว เช่น Atanu *et al.* (2010) ได้ศึกษาผลของ

กระบวนการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิกต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของเหล็กกล้า Fe-0.6C โดยพบว่าจำนวนรอบที่มากขึ้นจะทำให้ได้โครงสร้างที่เล็กละเอียด ช่วยให้สมบัติทางกลดีขึ้น ต่อมา Lv *et al.* (2013) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเกิดคาร์ไบด์ก่อนกลมจากกระบวนการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิกในเหล็กกล้า Fe-0.8C ซึ่งทำให้สมบัติทางกลดีขึ้น นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยของ Alok *et al.* (2016) ได้ทำการศึกษากระบวนการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิกเพื่อใช้ในการปรับปรุงสมบัติทางกลให้แก่เหล็กกล้า AISI 1080 หรือเหล็กกล้ายูเทคตอยด์ (eutectoid steel) จะเห็นได้ว่า งานวิจัยที่ผ่านมาได้ใช้กระบวนการทางความร้อนแบบไซคลิกให้แก่เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (high carbon steel) แต่ยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านการแปรรูปเบรจ

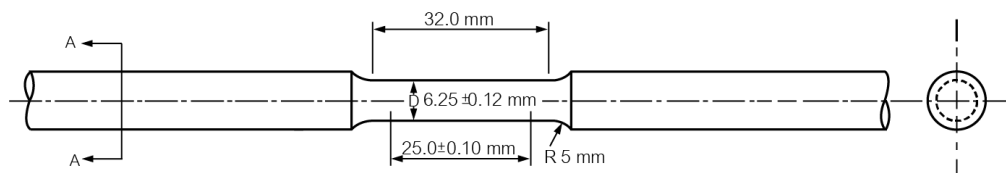
งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเวลาอบแช่ในการอบชุบความร้อนแบบไซคลิกของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเบรจที่มีต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกล ได้แก่

ความแข็ง ความต้านทานแรงกระแทก ความต้านทานแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

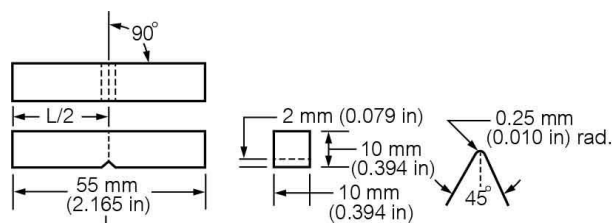
วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมชิ้นทดสอบ

ชิ้นงานทดสอบเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 มีลักษณะเป็นแท่งกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร เมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง Optical Emission Spectrometer พบว่ามีปริมาณธาตุผสมประกอบด้วย 0.163 %C, 0.06 %Mn, 0.0042 %P และ 0.012 %S ตามลำดับ จากนั้นนำเหล็กมาตัดและกลึงขึ้นรูปให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน ASTM A370-14 (ASTM, 2016) ดังแสดงในภาพที่ 1 (ก) โดยบริเวณที่จะถูกจับด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงมีการเผื่อขนาดให้มีความยาวมากขึ้นเพื่อตัด (ส่วน A-A) นำไปวัดค่าความแข็งและตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ส่วนชิ้นทดสอบความต้านทานแรงกระแทกแบบชาร์ปี (Charpy) แสดงในภาพที่ 1 (ข) จำนวนชิ้นทดสอบที่ใช้แต่ละการทดลองจะใช้จำนวน 3 ชิ้น



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 ขนาดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM (2016)

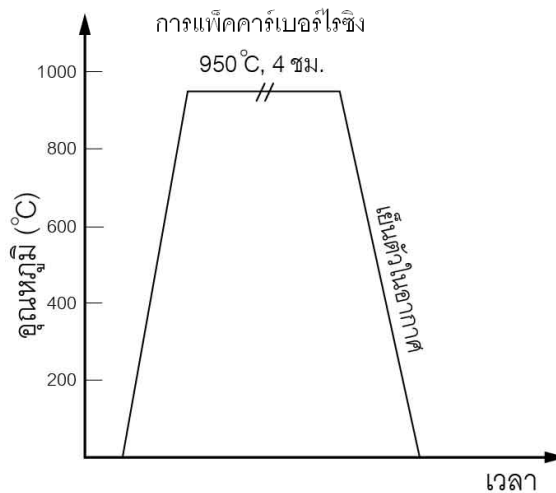
(ก) ชิ้นทดสอบแรงดึง และ (ข) ชิ้นทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี

2. กระบวนการอบชุบความร้อน

กระบวนการอบชุบความร้อนแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการเผ็กคาร์บอนไรซิง ขั้นตอนที่สองเป็นการอบชุบความร้อนแบบไซคลิก และขั้นตอนที่สามเป็นการชุบแข็ง โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนแรกของการเผ็กคาร์บอนไรซิงเป็นการเพิ่มธาตุคาร์บอนเข้าไปในผิวเหล็ก โดยการนำ

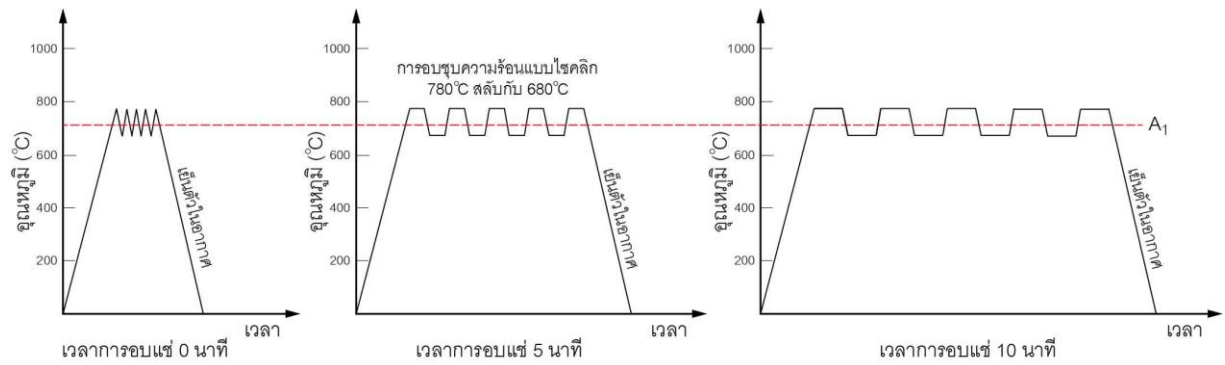
ถ่านไม้ยูคาลิปตัสมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาดรู 1 มิลลิเมตร (16 Mesh) จากนั้นนำมาผสมกับผงสารเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยอัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนัก เมื่อผสมเสร็จจึงนำมาบรรจุลงในถ่อกเหล็กพร้อมขึ้นทดสอบแล้วทำการปิดฝาถ่อก นำเข้าเตาอบ โดยใช้อุณหภูมิ 950 °C เวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำออกจากเตาให้เย็นตัวในอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเผ็กคาร์บอนไรซิงเพื่อเพิ่มธาตุคาร์บอนที่ผิวเหล็ก

ขั้นตอนที่สอง หลังจากขึ้นทดสอบถูกเพิ่มธาตุคาร์บอนด้วยกระบวนการเผ็กคาร์บอนไรซิงแล้ว จะถูกนำมาอบชุบความร้อนแบบไซคลิก เพื่อเปลี่ยนคาร์ไบด์แบบตาข่ายให้เป็นคาร์ไบด์ก้อนกลม โดยทำการให้ความร้อนขึ้นทดสอบสลับขึ้นลงระหว่างอุณหภูมิวิกฤต A_1 (727 °C) โดยอุณหภูมิเหนือเส้น A_1 อยู่ที่อุณหภูมิ 780 °C และอุณหภูมิต่ำกว่าเส้น A_1 อยู่ที่ 680 °C สำหรับเวลาอบแช่ที่อุณหภูมิเหนือเส้น

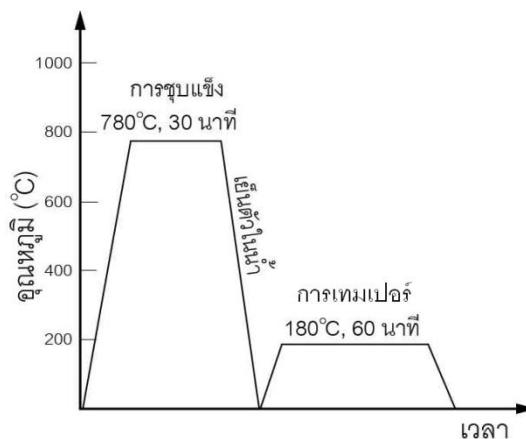
A_1 และต่ำกว่าเส้น A_1 นั้นแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มขึ้นทดสอบ โดยขึ้นทดสอบกลุ่มแรกให้เวลาในการอบแช่ 0 นาที ส่วนขึ้นทดสอบกลุ่มที่สองให้เวลาในการอบแช่ 5 นาที และขึ้นทดสอบกลุ่มที่สามให้เวลาในการอบแช่ 10 นาที ดังแสดงในภาพที่ 3 การให้อุณหภูมิสลับขึ้นลงจะกำหนดไว้ที่จำนวน 5 รอบ แล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ



ภาพที่ 3 การอบชุบความร้อนแบบไซคลิกเพื่อเปลี่ยนคาร์ไบด์แบบตาข่ายให้เป็นคาร์ไบด์ก้อนกลม

ขั้นตอนที่ 3 การชุบแข็ง โดยนำชิ้นทดสอบ ที่ผ่านการอบชุบความร้อนแบบไซคลิกมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 780 °C เวลา 30 นาที จากนั้นจุ่มชุบ

ในน้ำแล้วเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 180 °C เวลา 60 นาที ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การชุบแข็งและการเทมเปอร์

3. การทดสอบสมบัติทางกลและตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนมาแล้ว จะถูกนำมาทดสอบสมบัติทางกล โดยการทดสอบความต้านทานแรงดึง ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 100 kN ยี่ห้อ LLOYDK รุ่น LS 100 plus ความเร็วทดสอบคือ 5 มิลลิเมตร/นาที การทดสอบความต้านทานแรงกระแทกทำการทดสอบแบบชาร์ปีด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก ยี่ห้อ AVERY DENISON รุ่น LS102DE สำหรับการทดสอบความแข็งใช้เครื่องไมโครวิกเกอร์สแบบ

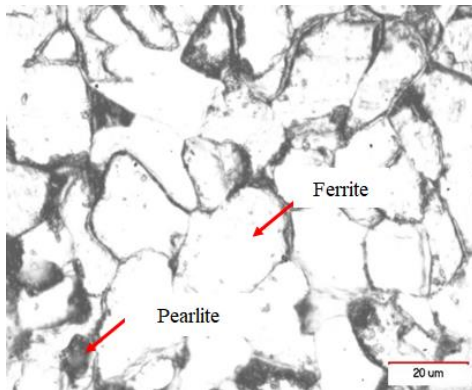
ดิจิทัลยี่ห้อ MATSUZAWA รุ่น MMT-X34 แรงกดในการทดสอบคือ 300 gf เวลา 10 นาที และการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคใช้การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX60M

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

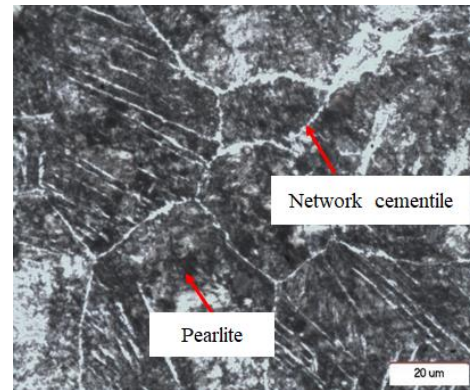
1. โครงสร้างจุลภาค

ชิ้นทดสอบที่นำมาใช้ในการทดสอบ คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 ประกอบด้วยโครงสร้างของเพอร์ไลต์ (Pearlite) และเฟอไรต์

(Ferrite) ดังแสดงในภาพที่ 5 (ก) เมื่อผ่านการเพิ่มธาตุคาร์บอนที่ผิวด้วยกระบวนการแพ็คคาร์บอนไรซิงเพื่อเพิ่มธาตุคาร์บอนที่ผิว และเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง Optical Emission Spectrometer พบว่ามีปริมาณธาตุคาร์บอนที่ผิวเพิ่มขึ้น จาก 0.163 % เป็น 0.908 % ซึ่งคือเหล็กกล้าไฮเปอร์ยูเทคตอยด์ (hypereutectoid steel) ทำให้เกิด



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของ (ก) AISI 1020 และ (ข) หลังการผ่านกระบวนการแพ็คคาร์บอนไรซิง

เมื่อนำชิ้นงานที่ผ่านการแพ็คคาร์บอนไรซิงไปทำการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิก ที่เวลาอบแช่ 0, 5 และ 10 นาที่ จำนวน 5 รอบ แล้วนำมาตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในภาพที่ 6 จะเห็นว่าที่ระยะลึกเข้าไปจากขอบชิ้นงาน 0.2 มิลลิเมตร ที่เวลาอบแช่ 0 นาที่ คาร์ไบด์ก้อนกลมขนาดเล็กเกิดขึ้นบนเมทริกซ์เฟอร์ไรต์ แต่คาร์ไบด์แบบตาข่ายที่มีขนาดใหญ่กว่าจะขาดออกจากกันแล้วเริ่มฟอร์มรูปร่างเป็นก้อนกลม แต่ยังไม่สมบูรณ์จึงมีลักษณะคล้ายตัวหนอน ซึ่งแตกต่างจากเวลาอบแช่ที่ 5 และ 10 นาที่ ที่คาร์ไบด์จะฟอร์มรูปร่างเป็นคาร์ไบด์ก้อนกลม (Spheroid carbide) กระจายตัวอยู่บนเมทริกซ์เฟอร์ไรต์ทั่วไป ผลในส่วนนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alok *et al.* (2016) งานวิจัยของ Lv *et al.* (2013) และงานวิจัย

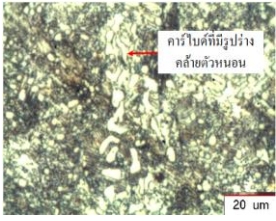
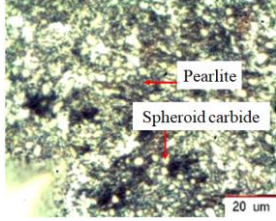
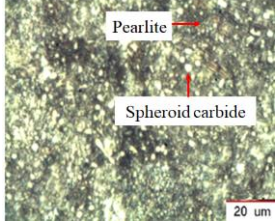
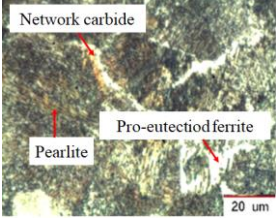
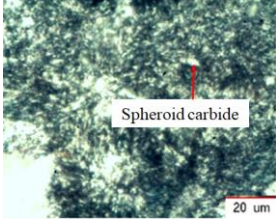
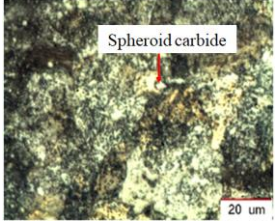
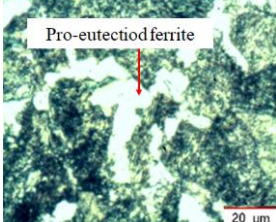
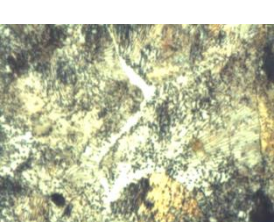
โครงสร้างโปรยูเทคตอยด์ซีเมนไทต์ (Pro-eutectoid cementite) ที่ล้อมรอบโครงสร้างเฟอร์ไรต์ซึ่งเป็นเมทริกซ์ (Matrix) ดังแสดงในภาพที่ 5 (ข) ลักษณะของซีเมนไทต์ที่เกิดขึ้นตามขอบเกรนมีการเชื่อมต่อเป็นคาร์ไบด์แบบตาข่าย (Network carbide) หรือซีเมนไทต์แบบตาข่าย (Network cementite)

ของ Atanu *et al.* (2010) ที่พบว่ากระบวนการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิกกว่าซีเมนไทต์จะเกิดการแตกออกจากกัน

ในขณะเดียวกันที่ระยะลึกเข้าไปที่ 0.8 มิลลิเมตร ปริมาณธาตุคาร์บอนแพร่เข้ามาที่ระยะนี้ได้น้อย ทำให้มีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่ายูเทคตอยด์ ส่งผลให้เกิดโครงสร้างเฟอร์ไรต์และเฟอร์ไรต์ เมื่อผ่านการให้ความร้อนแบบไซคลิก จึงปรากฏคาร์ไบด์ก้อนกลมเพียงเล็กน้อยของเวลาการอบแช่ที่ 5 และ 10 นาที่ เท่านั้น ส่วนที่เวลาอบแช่ 0 นาที่ จะพบโปรยูเทคตอยด์เฟอร์ไรต์ (Pro-eutectoid ferrite) อยู่ในเมทริกซ์เฟอร์ไรต์ด้วย

สุดท้ายที่ระยะลึก 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นระยะที่ลึกมากขึ้นทำให้ปริมาณธาตุคาร์บอนแพร่เข้า

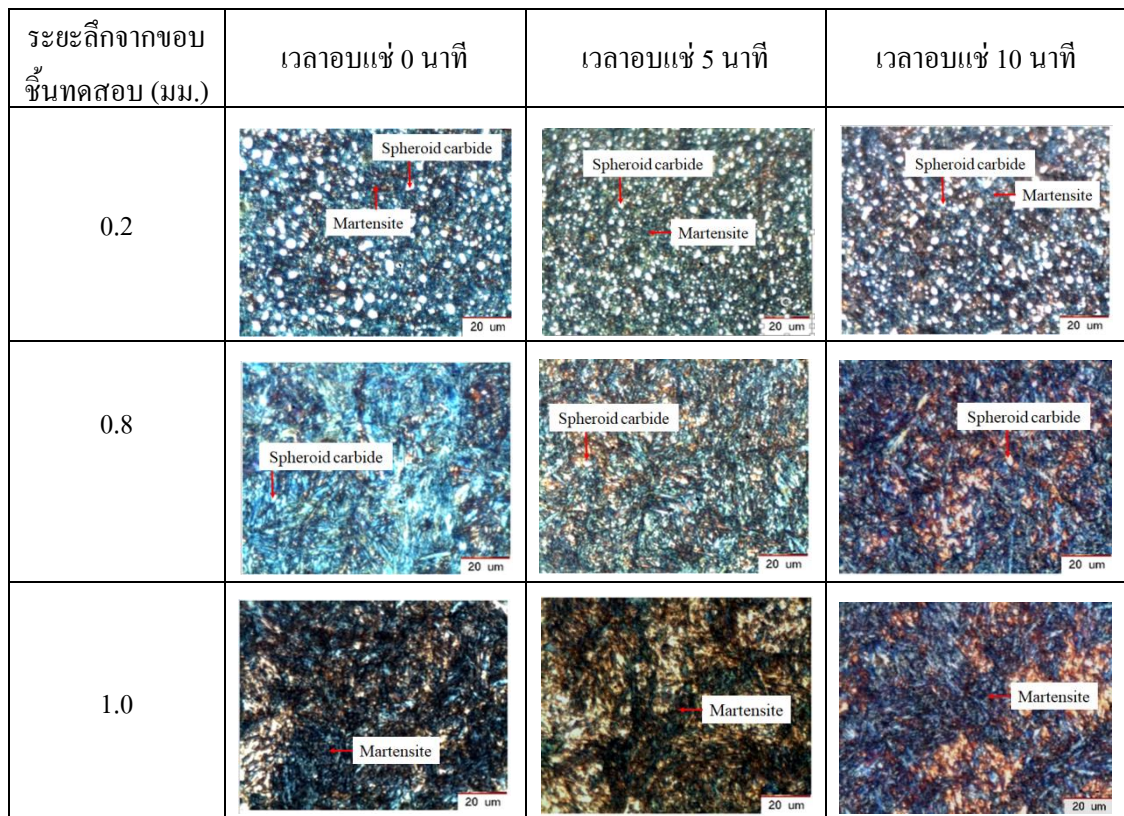
มาได้น้อยกว่า จะพบโปรยูเทกตอยด์เฟอร์ไรต์ที่มี
ขนาดใหญ่กว่าที่พบในระยะลึก 0.8 มิลลิเมตร

ระยะลึกจากขอบ ชิ้นทดสอบ (มม.)	เวลาอบแช่ 0 นาที	เวลาอบแช่ 5 นาที	เวลาอบแช่ 10 นาที
0.2			
0.8			
1.0			

ภาพที่ 6 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบที่ผ่านการแป็คคาร์เบอไรซิงแล้วทำการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิก
ที่เวลาอบแช่ 0, 5 และ 10 นาที จำนวน 5 รอบ

ชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการอบชุบทาง
ความร้อนแบบไซคลิกแล้ว ถูกนำมาทำการชุบแข็ง
และการเทมเปอร์ เมื่อทำการตรวจสอบโครงสร้าง
จุลภาค ดังแสดงในภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่า ที่ระยะลึก
จากขอบของชิ้นทดสอบเข้ามา 0.2 มิลลิเมตร จะ
ปรากฏคาร์ไบด์ก่อนกลมอย่างชัดเจนกระจายตัวอยู่
ในเมทริกซ์มาร์เทนไซต์ โดยคาร์ไบด์ที่เป็นเม็ดขนาด
ใหญ่เกิดจากโปรยูเทกตอยด์ซีเมนไทต์ (Pro-

eutectoid cementite) หรือซีเมนไทต์แบบดาข่าย
(Network cementite) สำหรับคาร์ไบด์ก่อนกลมขนาด
เล็กเกิดจากยูเทกตอยด์ซีเมนไทต์ (Eutectoid
cementite) สำหรับที่ระยะลึก 0.8 มิลลิเมตร จะมี
คาร์ไบด์ก่อนกลมเม็ดเล็กๆ กระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์
มาร์เทนไซต์ ในขณะที่ระยะลึก 1.0 มิลลิเมตร เป็น
เมทริกซ์มาร์เทนไซต์



ภาพที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของชั้นทดสอบที่ผ่านการแผ่คาร์บอนโรซิงแล้วทำการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิก ที่เวลาอบแช่ 0, 5 และ 10 นาที จำนวน 5 รอบ และผ่านการชุบแข็งและการเทมเปอร์

จะเห็นได้ว่ากระบวนการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิกสามารถเปลี่ยนโครงสร้างของคาร์ไบด์แบบดาข่ายเป็นโครงสร้างแบบก้อนกลมอยู่ในเมทริกซ์เฟอร์ไรต์ (ก่อนการชุบแข็ง) ซึ่งเกิดจากการให้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตหรือเส้น A_1 แต่ไม่เกินเส้น A_{cm} เพื่อไม่ให้ซีเมนไทต์หรือคาร์ไบด์สลายตัวไปเป็นออสเทนไนต์ และสลับกับการให้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าเส้น A_1 เพียงเล็กน้อย ทำให้คาร์ไบด์แบบดาข่ายเกิดความไม่เสถียรขึ้น เพื่อรักษาเสถียรภาพดังกล่าวไว้ คาร์ไบด์จึงพยายามลดพื้นที่ผิวให้เหลือน้อยที่สุดเพื่อให้มีพลังงานต่ำสุด ซึ่งรูปทรงที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดเมื่อมีปริมาตรเท่ากันคือรูปทรงกลม และเมื่อนำชิ้นงานไปทำการชุบแข็งและการเทมเปอร์ เมทริกซ์เฟอร์ไรต์จะเปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการชุบแข็ง

2. สมบัติทางกล

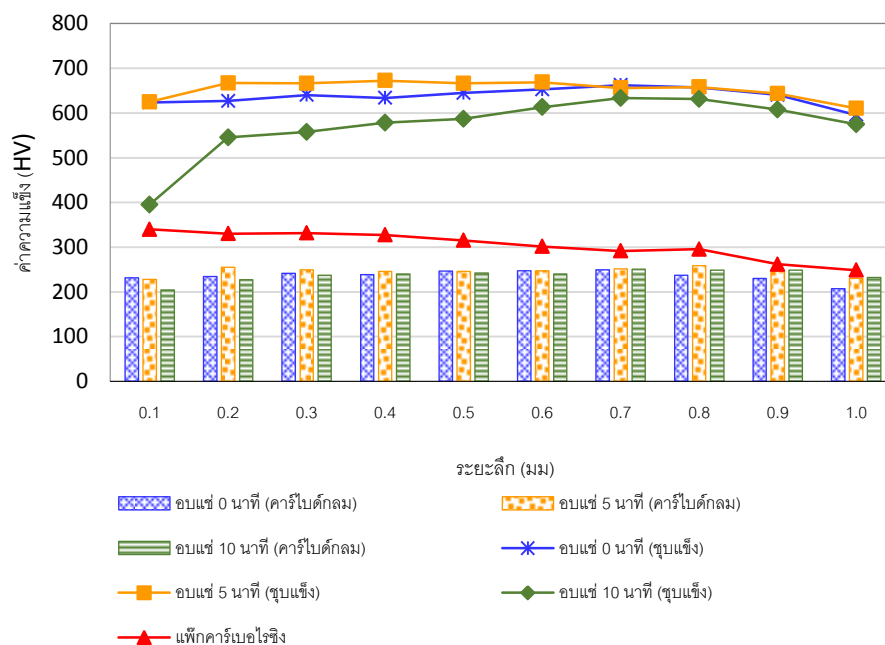
ผลการทดสอบสมบัติทางกล งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความแข็ง ความต้านทานแรงกระแทก และความต้านทานแรงดึง โดยภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบความแข็งของชั้นทดสอบ เนื่องด้วยกระบวนการแผ่คาร์บอนโรซิงเป็นการเพิ่มความแข็งที่ผิว ดังนั้น การทดสอบค่าความแข็งจึงเริ่มตั้งแต่ที่ผิวชั้นทดสอบเข้าไปจนถึงระยะลึก 1.0 มิลลิเมตร จากกราฟการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า ชั้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการแผ่คาร์บอนโรซิงมานาน ค่าความแข็งที่ผิวนอกจะสูงกว่าที่ระยะความลึกเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะปริมาณคาร์บอนจากถ่านไม้ ได้แพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กทำให้ปริมาณคาร์บอนที่ผิวเหล็กเพิ่มขึ้น โดยจากโครงสร้างจุลภาคที่ผิวนอกจะพบโครงสร้างโปรยูเทคตอยด์ซีเมนไทต์หรือคาร์ไบด์แบบดาข่าย

จึงทำให้ความแข็งที่ผิวบนอกมีค่าสูง ในขณะที่เมื่อความลึกเพิ่มขึ้นปริมาณธาตุคาร์บอนแพร่เข้าไปได้น้อย จึงพบโครงสร้างโปรยูเทคตอยด์เฟอร์ไรต์ส่งผลให้ที่ระยะลึกที่เพิ่มขึ้นค่าความแข็งจึงลดลง

ภายหลังจากการอบชุบความร้อนแบบไซคลิกทุกๆ ระยะลึก ค่าความแข็งจะต่ำกว่าชั้นทดสอบที่ผ่านการทำแพ็คคาร์บอนไธริง เนื่องจากโปรยูเทคตอยด์ซีเมนไทต์ที่มีรูปร่างเป็นดาข่ายล้อมรอบเฟอร์ไรต์และยูเทคตอยด์ซีเมนไทต์ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นสลับกับเฟอร์ไรต์หรือลามลลาเฟอร์ไรต์ (Lamella pearlite) (ณรงค์ศักดิ์, 2556) ได้เปลี่ยนไปเป็นก้อนกลม เมื่อถูกแรงกระทำคาร์ไบด์ก้อนกลมจะกระจายแรงได้ดีกว่ารูปทรงแบบแผ่น จึงทำให้ชั้นทดสอบที่ผ่านการอบชุบความร้อนแบบไซคลิกเพื่อเปลี่ยนให้คาร์ไบด์ก้อนกลมมีค่าความแข็ง

น้อยกว่าชั้นทดสอบที่ผ่านการแพ็คคาร์บอนไธริงมาแล้วมีคาร์ไบด์แบบดาข่าย

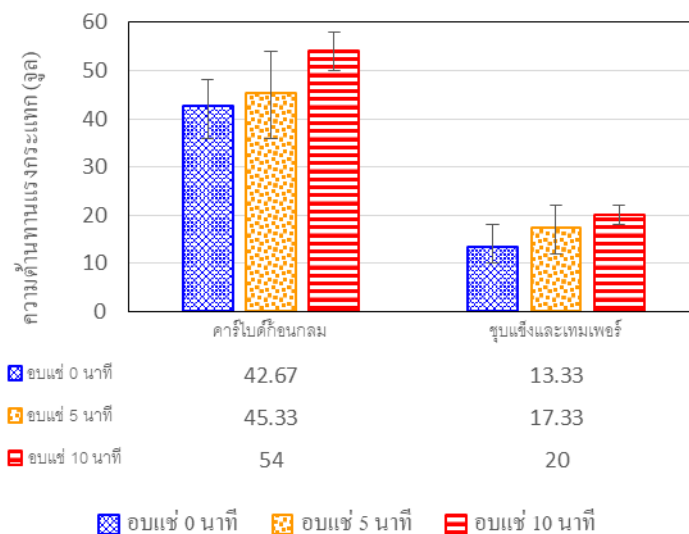
สำหรับค่าความแข็งของชั้นทดสอบที่ผ่านการอบชุบความร้อนแบบไซคลิกเวลาอบแช่ 0, 5 และ 10 นาทีนั้น มีค่าความแข็งที่ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อผ่านการชุบแข็งแล้วจะเห็นได้ว่า ชั้นทดสอบที่ผ่านการอบแช่ 10 นาที มีค่าความแข็งที่ต่ำกว่าเวลาอบแช่ที่ 0 และ 5 นาที ทั้งนี้เป็นไปได้อาจเป็นผลมาจากการอบแช่ในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิวิกฤติด้วยเวลาที่นานกว่า ทำให้การฟอร์มตัวของคาร์ไบด์ก้อนกลมมีเวลาที่มากกว่า จึงสามารถเกิดคาร์ไบด์ที่มีก้อนกลมได้มากกว่า เมื่อถูกแรงกระทำจึงกระจายแรงได้ดีกว่า ทำให้มีแรงต้านต่อแรงกดจากการวัดความแข็งน้อย ค่าความแข็งที่ได้จึงต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ข้อเสนอพื้นฐานดังกล่าวต้องทำการศึกษาความกลมของคาร์ไบด์ที่สัมพันธ์กับเวลาการอบแช่ต่อไป



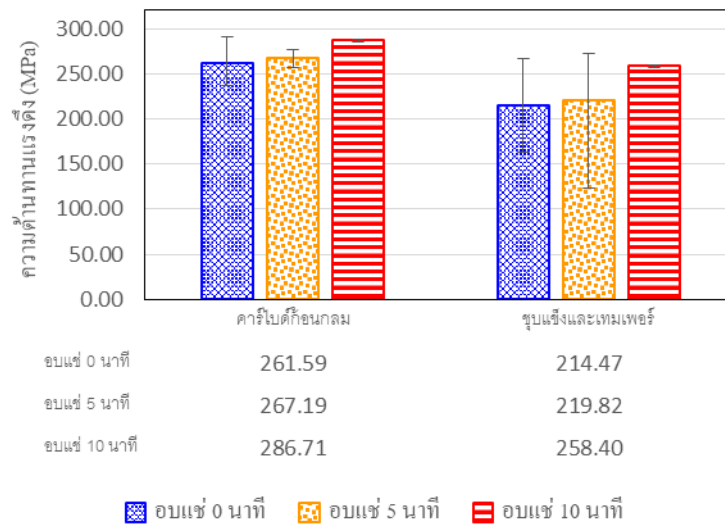
ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบความแข็งของแต่ละชั้นตอนของกระบวนการอบชุบความร้อน

ผลของการทดสอบความต้านทานแรง
กระแทก ขึ้นทดสอบที่ผ่านการแพ็คคาร์บอนไรซึ่งมีค่า
ความต้านทานแรงกระแทก 3 จูล แล้วทำการ
เปรียบเทียบขึ้นทดสอบที่ผ่านการอบชุบด้วย
กระบวนการต่างๆ แสดงในภาพที่ 9 จะเห็นได้ว่าขึ้น
ทดสอบที่ผ่านการแพ็คคาร์บอนไรซึ่งมีค่าความ
ต้านทานแรงกระแทกที่ต่ำ สาเหตุเนื่องมาจาก
โครงสร้างของคาร์ไบด์แบบดาข่ายที่มีความแข็งแรงแต่
เปราะ ทำให้มีความต้านทานแรงกระแทกน้อย เมื่อทำ
การอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิกแล้วพบว่า ค่า
ความต้านทานแรงกระแทกของขึ้นทดสอบสูงขึ้น
อย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องมาจากคาร์ไบด์แบบดาข่ายและ
ลามลาคาร์ไบด์เปลี่ยนไปเป็นคาร์ไบด์ก้อนกลม
ส่งผลให้เหล็กมีความเหนียวเพิ่มขึ้นจึงมีความ

ต้านทานแรงกระแทกได้สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อขึ้น
ทดสอบผ่านการชุบแข็งและการเทมเปอร์จะทำให้
ความต้านทานแรงกระแทกนั้นลดลง เนื่องจาก
ภายหลังการชุบแข็งโครงสร้างที่ได้คือมาร์เทนไซต์ซึ่ง
มีความแข็งแรงสูงแต่มีความเหนียวต่ำ ความต้านทานแรง
กระแทกจึงลดลงตามไปด้วย เมื่อพิจารณาเวลาการอบ
แช่ในขั้นตอนการอบชุบความร้อนแบบไซคลิก จะ
เห็นได้ว่า ที่เวลาการอบแช่ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการ
เพิ่มขึ้นของความต้านทานแรงกระแทกที่เพิ่มขึ้นด้วย
ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าเป็นผลมาจากการอบแช่ด้วยเวลาที่
นานขึ้น ทำให้คาร์ไบด์มีความกลมมากขึ้นทำให้ความ
แข็งแรงลดลง เหล็กจึงมีความเหนียวมากขึ้นส่งผลให้
ความต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



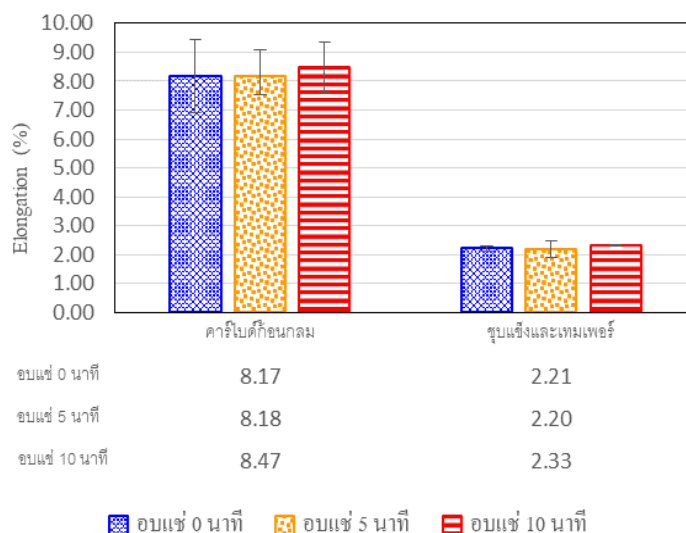
ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบความต้านทานแรงกระแทกของแต่ละขั้นตอนของกระบวนการอบชุบความร้อน



ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงของแต่ละขั้นตอนของกระบวนการอบชุบความร้อน

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง ชิ้นทดสอบที่ผ่านการแพ็คคาร์บอนไฟเบอร์ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดึง 188.83 MPa แล้วทำการเปรียบเทียบชิ้นทดสอบที่ผ่านการอบชุบด้วยกระบวนการต่างๆ แสดงดังภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่า ชิ้นทดสอบเมื่อทำการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิกก่อนการชุบแข็งจะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงขึ้น เนื่องจาก

คาร์บอนไฟเบอร์แบบตาข่ายได้เปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไฟเบอร์คอมโพสิต ทำให้เหล็กมีความเหนียวและความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น โดยชิ้นงานที่ใช้เวลาในการอบแห้ง 10 นาที่ ซึ่งปรากฏการเกิดคาร์บอนไฟเบอร์คอมโพสิตมากที่สุดจะให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lv *et al.* (2013) และงานวิจัยของ Atanu *et al.* (2010)



ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของแต่ละขั้นตอนของกระบวนการอบชุบความร้อน

ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%elongation) ขึ้นทดสอบที่ผ่านการแผ่คาร์บอนไริซิงมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเท่ากับ 2.28 ภาพที่ 11 แสดงผลของเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของขึ้นทดสอบที่ผ่านการอบชุบด้วยกระบวนการต่างๆ ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดสอบแรงกระแทก กล่าวคือ หลังจากผ่านกระบวนการอบชุบเพื่อให้ได้คาร์ไบด์ก่อนกลม ชิ้นงานจะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่สูง และจะลดลงเมื่อนำไปทำการชุบแข็งและเทมเปอร์ โดยเวลาที่ใช้ในการอบแช่ที่นานขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีค่าเพิ่มขึ้น ภายหลังการชุบแข็งและการเทมเปอร์ความต้านทานแรงดึงจะลดลง เพราะโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่เกิดขึ้นภายหลังการชุบแข็งจะทำให้เหล็กมีความแข็งที่เพิ่มขึ้นแต่ความเหนียวจะลดลง

สรุป

จากผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและการทดสอบสมบัติทางกล จะเห็นได้ว่า ทั้งโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลให้ผลที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ เมื่อขึ้นทดสอบผ่านการเพิ่มธาตุคาร์บอนด้วยกระบวนการแผ่คาร์บอนไริซิง ปริมาณธาตุคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดโครงสร้างคาร์ไบด์แบบดาข่าย ส่งผลให้ขึ้นทดสอบมีค่าความแข็งสูง และมีความต้านทานแรงกระแทกที่ต่ำกว่าขึ้นทดสอบที่ผ่านการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิก เนื่องจากคาร์ไบด์แบบดาข่ายถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นคาร์ไบด์ก่อนกลม เมื่อนำขึ้นทดสอบไปทำการชุบแข็งและการเทมเปอร์ ทำให้เมทริกซ์ที่เป็นเฟอร์ไรต์เปลี่ยนไปเป็นมาร์เทนไซต์ ในขณะที่คาร์ไบด์ก่อนกลมยังคงสภาพอยู่จึงทำให้ขึ้นทดสอบมีความแข็งสูงขึ้นแต่ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง เมื่อเปรียบเทียบผลของขึ้นทดสอบที่ผ่านการแผ่คาร์บอนไริซิงกับขึ้นทดสอบที่ผ่านการอบชุบ

ทางความร้อนแบบไซคลิกที่ตามด้วยการชุบแข็งและการเทมเปอร์ จะเห็นว่ากระบวนการดังกล่าวสามารถปรับปรุงสมบัติทางกลของเหล็กให้ดีขึ้นได้ กล่าวคือ เหล็กจะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และสามารถต้านทานแรงกระแทกและความเหนียว (เปอร์เซ็นต์การยืดตัว) ให้ผลที่ดีขึ้นอีกด้วย ในขณะที่ความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเช่นกัน

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า กระบวนการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิกสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของคาร์ไบด์แบบดาข่ายให้เป็นคาร์ไบด์ก่อนกลมกระจายตัวอยู่บนเมทริกซ์เฟอร์ไรต์ โดยแนวโน้มของคาร์ไบด์ก่อนกลมจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้เวลาอบแช่มากขึ้น และเมื่อทำการชุบแข็งและการเทมเปอร์ เมทริกซ์เฟอร์ไรต์จะเปลี่ยนไปเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ในขณะที่คาร์ไบด์ก่อนกลมยังคงสภาพอยู่ กระบวนการอบชุบทางความร้อนแบบไซคลิกที่ตามด้วยการชุบแข็งและการเทมเปอร์ ส่งผลให้สมบัติทางกลทั้งค่าความแข็ง ความต้านทานแรงกระแทก ความต้านทานแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ในการสนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมวัสดุ ในความเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทดลอง และขอขอบคุณ นายสิทธิศักดิ์ สุขสิน นายอาทิตย์ จันทะรัง และนาย วุฒิไกร ประกอบกิจ ผู้เก็บข้อมูลในการทดลองงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ. 2556. โลหวิทยา. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

- มนัส สติรจินดา. 2537. **วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก**. พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.
- วรรณ หอมจะบก, ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และ นฤดม ทาดี. 2558. ผลของอุณหภูมิอบสเทนไนท์ซึ่งในกระบวนการแปรรูปเบร๊วไรซิงเพื่อใช้ผลิตมิดได. **วารสาร มทร. อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 8(3): 126-136.
- Alok, M., Atanu, S. and Joydeep, M.J. 2016. Development of high strength ductile eutectoid steel through cyclic heat treatment involving incomplete austenitization followed by forced air cooling. **Journal of Materials Characterization** 114(1): 277-288.
- ASTM. 2016. **ASTM A371-14**. Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. Available Source: <http://infostore.saiglobal.com/store/details.aspx?ProductID=1748803>, January 2, 2016.
- Atanu, S., Dipak, K.M. and Joydeep, M.J. 2010. Effect of cyclic heat treatment on microstructure and mechanical properties of 0.6 wt% carbon steel. **Journal of Materials Science and Engineering** 527(1): 4001-4007.
- Lv, Z.Q., Wang, B., Wang, Z.H., Sun, S.H. and Fu, W.T., J. 2013. Effect of cyclic heat treatment on spheroidizing behavior of cementite in high carbon steel. **Journal of Materials Science and Engineering** 574(1): 143-148.

การพัฒนาแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์

The Development of Online Professional Aptitude Tests for Accounting

ปัญญพร ทองเล็ก^{1*}, ทิวัตต์ มณีโชติ², ชัยสรณ รอดยิม³ และ นัฐพงษ์ ส่องเนียม⁴

Pundjaporn Thonglek^{1*}, Tiwat Maneechote², Chatsarun Rodyim³ and Nattapong Songneam⁴

Received: 20 February 2019, Revised: 20 May 2019, Accepted: 10 June 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงวิจัยและพัฒนา มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สร้างแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชี (2) ตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ และ (3) พัฒนากลุ่มผู้ใช้แบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ประกอบวิชาชีพบัญชีที่ทำงานอยู่สำนักงานบัญชีในเขตกรุงเทพมหานครและนนทบุรี จำนวน 400 คน จากวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์เป็นแบบวัดความถนัดแบบตัวเลือก 4 ตัวเลือก ตามองค์ประกอบที่ได้จากวิธีการสังเคราะห์องค์ประกอบความถนัดจากมาตรฐานการศึกษาระหว่างประเทศ และตรวจสอบคุณภาพแบบวัดความถนัดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลการวิจัย พบว่า (1) แบบวัดความถนัดที่สร้างขึ้นมี 6 ฉบับ คือ แบบวัดความถนัดด้านทักษะทางปัญญา แบบวัดความถนัดด้านทักษะทางวิชาการเชิงปฏิบัติและหน้าที่งาน แบบวัดความถนัดด้านทักษะทางคุณลักษณะเฉพาะบุคคล แบบวัดความถนัดด้านทักษะทางปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่นและการสื่อสาร แบบวัดความถนัดด้านทักษะทางองค์การและการจัดการธุรกิจ และแบบวัดความถนัด

¹ สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เลขที่ 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

¹ Department of Technology Management, Phranakhon Rajabhat University, 9 Chaengwattana Road, Anusawari, Bang Khen, Bangkok 10220, Thailand.

² คณะศึกษาศาสตร์ สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ เลขที่ 85/1 หมู่ 2 ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบลบางตลาด อำเภอปากเกร็ด นนทบุรี 11120

² Faculty of Education, Panyapiwat Institute of Management, 85/1 Moo 2 Chaengwattana Road, Bang-Talad, Pak-Kret, Nonthaburi 11120, Thailand.

³ สาขาวิชาการตลาด คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เลขที่ 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

³ Department of Marketing, Faculty of Management Science, Phranakhon Rajabhat University, 9 Chaengwattana Road, Anusawari, Bang Khen, Bangkok 10220, Thailand.

⁴ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เลขที่ 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

⁴ Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, 9 Chaengwattana Road, Anusawari, Bang Khen, Bangkok 10220, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): pundjaporn@pnru.ac.th Tel: 08 9778 9438

ด้านคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพบัญชี รวมทั้งหมด 60 ข้อ ใช้เวลาทำ 60 นาที (2) คุณภาพของแบบวัดความถนัดทุกด้านมีค่าความยากอยู่ระหว่าง .20-.80 และมีค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง .20-.73 และค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดโดยใช้วิธีของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (KR-20) เท่ากับ 0.816 และ (3) คู่มือการใช้แบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ ประกอบด้วย แนวคิดเกี่ยวกับแบบวัดความถนัด วัตถุประสงค์ของแบบวัดความถนัด กรอบการสร้างแบบวัดความถนัด วิธีการใช้และวิธีดำเนินการสอบ และวิธีการตรวจให้คะแนนและแปลความ

คำสำคัญ: การพัฒนา, แบบวัดความถนัดทางวิชาชีพ, บัญชีออนไลน์

ABSTRACT

The present study was a research and development (R&D) which aimed to: (1) develop online professional aptitude tests for accounting (2) check the quality of online professional aptitude tests for accounting, and (3) develop a manual guide for online professional accounting aptitude tests. The sampling was the simple random design including 400 professional accountants working in accounting offices in Bangkok and Nonthaburi. The research instruments were four-choice online professional aptitude tests for accounting based on the composition derived from the synthesis method from International Education Standards, and the quality of the measurement aptitude was checked with computer programs. The research findings indicated that (1) There were 6 types of aptitude test: intellectual skills, academic skills relating to practice and job duties, individual skills, interactional skills concerning people and communication, organization and business management skills, and moral and professional ethics. The test comprised a total of 60 questions and the test time was 60 minutes. (2) The aptitude test had difficulty values between .20-.80, the discrimination indexes between .20-.73, and the reliability coefficient using Kuder-Richardson formula (KR-20) of .816 and (3) The manual for using online professional aptitude tests was composed of concepts, objectives, framework, instruction, and scoring procedure for accounting.

Key words: development, professional aptitude tests, accounting online

บทนำ

เนื่องจากกระแสการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของโลกทั้งทางด้านเทคโนโลยี นวัตกรรม การพาณิชย์ และอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดผลกระทบ ต่อสภาพเศรษฐกิจและสังคมไทย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้ประเทศไทยตระหนักถึง การพัฒนาคนให้มีความรู้ ความชำนาญ เท่ากันกับ

การเปลี่ยนแปลงของโลก การจัดการศึกษาเป็นตัวนำ ในการพัฒนาคน แต่ต้องคำนึงถึงความแตกต่าง ระหว่างบุคคลด้วย เนื่องจากธรรมชาติของแต่ละ บุคคลก็ย่อมที่จะมีความแตกต่างกันไป ไม่ว่าจะเป็น สมรรถภาพทางสมอง บุคลิกภาพ ทัศนคติ ตลอดจน ความสนใจ ความสามารถในการเรียน และการ ประกอบอาชีพ ดังนั้น การจัดการศึกษาที่ดีจึงควรให้

ความสำคัญถึงธรรมชาติของแต่ละบุคคลด้วย ทั้งนี้ การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนควรที่จะจัดเนื้อหาสาระการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับความถนัดของผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จโดยให้เกิดการส่งเสริมสำหรับแต่ละบุคคลที่จะเติบโตไปในทางที่เขาถนัดมากที่สุด การรับรู้ถึงความถนัดของตนแต่แรกจะทำให้บุคคลมีโอกาที่จะทำงานที่ตนเองมีความถนัดได้มากยิ่งขึ้นและคิดว่าที่เป็นอยู่แสดงว่าการรู้ถึงความถนัดของตนเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากต่อการประกอบอาชีพ

การทดสอบวัดความถนัดเป็นวิธีการวัดที่ดีและเหมาะสมวิธีหนึ่ง ซึ่งใช้เป็นตัวชี้แนวทางของบุคคลให้สำเร็จได้ การคัดเลือกด้วยแบบวัดความถนัดมี 2 ประเภท คือแบบวัดความถนัดทางการเรียนและแบบวัดความถนัดเฉพาะวิชาชีพ ซึ่งแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพมักใช้ควบคู่กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์และแบบวัดบุคลิกภาพอื่นๆ (Boylan *et al.*, 1994) วิชาชีพบัญชีเป็นวิชาชีพที่ทุกองค์กรและหน่วยงานให้ความสำคัญ เนื่องจากนักบัญชีเป็นบุคคลซึ่งปฏิบัติหน้าที่เกี่ยวกับการจดบันทึก การสรุปผล และการรายงานผลข้อมูลเชิงเศรษฐกิจให้แก่ผู้ใช้ข้อมูล เพื่อนำไปวางแผนและการตัดสินใจ ข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการจึงต้องเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง เชื่อถือได้ มีความทันสมัยและสามารถนำมาใช้ได้ อย่างทันเวลา อีกทั้งต้องดำเนินการให้สอดคล้องกับมาตรฐานการศึกษาระหว่างประเทศสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชี (International Accounting Education Standard : IES) ฉบับที่ 3 และฉบับที่ 4 ที่กำหนดบรรทัดฐานการเรียนรู้ขั้นต่ำสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพ ซึ่งประกอบด้วย ทักษะทางปัญญา ทักษะทางวิชาการเชิงปฏิบัติและหน้าที่งาน ทักษะทางคุณลักษณะเฉพาะบุคคล ทักษะทางปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่นและการสื่อสาร ทักษะทางองค์การและการจัดการธุรกิจ และควรตระหนักถึงคุณธรรม

จริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพบัญชีด้วย

สำหรับการศึกษาเอกสารและงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวกับแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ในประเทศไทย ยังไม่ปรากฏว่ามีนักวิชาการท่านใดทำ ส่วนใหญ่เป็นความถนัดทางวิชาชีพอื่นๆ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์เพื่อนำไปใช้สำหรับผู้ประกอบอาชีพนักบัญชี โดยผู้วิจัยใช้วิธีการสังเคราะห์องค์ประกอบความถนัด IES เพื่อให้ได้แบบวัดที่มีคุณภาพในด้านความเชื่อมั่น (Reliability) มีอำนาจจำแนก (Discrimination) มีการตรวจสอบในด้านความเที่ยงตรง (Validity) ของแบบวัดในเรื่องความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) เพื่อให้มั่นใจได้ว่าแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ที่พัฒนาขึ้น มีคุณภาพดีสามารถนำไปเป็นเครื่องมือประกอบในการพิจารณาความถนัดทางวิชาชีพของผู้ประกอบวิชาชีพบัญชีได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักบัญชีที่ทำงานในสำนักงานบัญชีในเขตกรุงเทพมหานครและนนทบุรี จำนวน 32,048 คน กลุ่มตัวอย่างได้จากการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างตามสูตรของยามานะ (Yamane, 1973) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ เท่ากับ 395 คน และเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการกำหนดกลุ่มตัวอย่างจึงใช้จำนวน 400 คน ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) เนื่องจากข้อมูลจากกรมพัฒนาธุรกิจการค้าระบุเพียงจำนวนนักบัญชีในเขต

กรุงเทพมหานครและนนทบุรี แต่ไม่ได้จำแนกรายละเอียดประชากรในแต่ละเขตหรืออำเภอว่ามีจำนวนเท่าใด

ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตด้านประชากร ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้านี้ได้แก่ ผู้ประกอบวิชาชีพบัญชีในเขตกรุงเทพมหานครและนนทบุรี จำนวน 32,048 คน (กรมพัฒนาธุรกิจการค้า, 2561)

2. ขอบเขตด้านเนื้อหา เนื้อหาที่นำมาสร้างแบบทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความถนัดทางวิชาชีพบัญชี ประกอบด้วย (1) ทักษะทางปัญญา (2) ทักษะทางวิชาการเชิงปฏิบัติและหน้าที่งาน (3) ทักษะทางคุณลักษณะเฉพาะบุคคล (4) ทักษะทางปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่นและการสื่อสาร (5) ทักษะทางองค์การและการจัดการธุรกิจ และ (6) คุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพบัญชี

3. ขอบเขตด้านระยะเวลา การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 1 พฤษภาคม 2561 ถึง 31 สิงหาคม 2561

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เป็นแบบทดสอบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น แบบตัวเลือก 4 ตัวเลือก จำนวน 6 ฉบับ

ขั้นตอนการวิจัย

การพัฒนาแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสังเคราะห์องค์ประกอบแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชี ผู้วิจัยได้ดำเนินการ ดังนี้

1. ศึกษาแนวคิดทฤษฎีของความถนัด แบบวัดความถนัดที่ใช้ในประเทศและต่างประเทศ และเอกสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบบวัดความถนัด ตลอดจนรายงานการวิจัยที่ทำมาแล้วในอดีต โดยเลือกใช้ทฤษฎีหลายองค์ประกอบ (Multiple-factor

theory) ของเทอร์สโตน (ลัวัน และ อังคณา, 2541)

2. สังเคราะห์องค์ประกอบย่อยของแบบวัดความถนัดมาตรฐานทางอาชีพตามแบบทดสอบมาตรฐานของ GATB และ OASIS เอกสารงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความถนัดทางวิชาชีพทั้งในและต่างประเทศ และจากการสังเคราะห์ตามมาตรฐานการศึกษาระหว่างประเทศสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชี (IESs) ฉบับที่ 3 และฉบับที่ 4 แล้วนำองค์ประกอบย่อยที่ได้ทั้งหมด มาจัดเข้าเป็นกลุ่มองค์ประกอบหลักของแบบวัดความถนัดทางอาชีพบัญชี ประกอบด้วย (1) ทักษะทางปัญญา (2) ทักษะทางวิชาการเชิงปฏิบัติและหน้าที่งาน (3) ทักษะทางคุณลักษณะเฉพาะบุคคล (4) ทักษะทางปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่นและการสื่อสาร (5) ทักษะทางองค์การและการจัดการธุรกิจ และ (6) คุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพบัญชี

3. ผู้วิจัยนำองค์ประกอบที่ได้ทั้งหมดมากำหนดเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการสร้างแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชี ผู้วิจัยกำหนดให้แบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชี เป็นแบบวัดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก แบ่งขั้นตอนการดำเนินการสร้าง ดังนี้

1. ศึกษาเอกสาร ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของแบบวัดในแต่ละองค์ประกอบ เพื่อนำมาเขียนเป็นนิยามเชิงปฏิบัติการ

2. ผู้วิจัยกำหนดข้อสอบเป็นแบบตัวเลือกแบบ 4 ตัวเลือก

3. สร้างข้อคำถามของแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีตามนิยามศัพท์เฉพาะ แบ่งเป็น 6 ด้าน ด้านละ 12 ข้อ รวม 72 ข้อ

4. นำแบบวัดความถนัดที่สร้างเสร็จไปปรึกษาอาจารย์ที่ควบคุมวิทยานิพนธ์เพื่อตรวจสอบภาษาและความตรงเชิงเนื้อหาตามนิยามศัพท์เฉพาะเบื้องต้น

5. ผู้วิจัยนำแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพ บัญชี ไปปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ ที่ควบคุมวิทยานิพนธ์

6. นำแบบวัดที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 คน ตรวจสอบความตรงเชิง เนื้อหา (Content Validity) และพิจารณาข้อคำถามว่า สามารถวัดตามองค์ประกอบของความถนัดที่ต้องการ วัดหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าดัชนี IOC ที่มีค่า มากกว่าหรือเท่ากับ 0.50 และได้ปรับปรุงตามที่ ผู้ทรงคุณวุฒิได้ให้ข้อเสนอแนะ

7. การวิเคราะห์ความตรงเชิงโครงสร้าง หมายถึง คุณภาพของแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพ บัญชีออนไลน์ที่สามารถวัดความถนัดได้ตาม โครงสร้างขององค์ประกอบหลักทั้ง 6 องค์ประกอบ

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาหาคุณภาพของแบบวัดความ ถนัดทางวิชาชีพบัญชีในระบบออนไลน์ ดังนี้

1. นำแบบวัดไปทดลองใช้ครั้งที่ 1 กับผู้ ประกอบวิชาชีพบัญชีที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน อย่างน้อย 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาคุณภาพของแบบวัด ความถนัด ได้แก่ หาค่าความยากของแบบวัดความ ถนัดเป็นรายข้อ เพื่อคัดเลือกแบบวัดความถนัดที่มีค่า .20-.80 และหาค่าอำนาจจำแนกของแบบวัดความ ถนัดเป็นรายข้อเพื่อคัดเลือกข้อที่มีค่าอำนาจจำแนก ตั้งแต่ .20 ขึ้นไป หากข้อใดที่มีคุณภาพน้อยไป ก็ตัด ข้อคำถามนั้นออก เช่น ยากเกินไป ง่ายเกินไป ตัวलग ไม่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น และนำมาพิจารณาข้อ คำถามในแต่ละด้านให้เหลือจำนวนข้อเท่าๆ กัน คือ 6 ด้าน ด้านละ 10 ข้อ รวมข้อคำถาม 60 ข้อ

2. นำแบบวัดความถนัดไปใช้จริง ในการ ทดสอบครั้งที่ 2 โดยนำไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 400 คน เพื่อหาคุณภาพของข้อสอบดังนี้ (1) หาค่าความยากง่ายของแบบวัดความถนัด (2) หาค่า อำนาจจำแนกของแบบวัดความถนัด และ (3) หาค่า ความเชื่อมั่นของแบบวัดความถนัด โดยใช้วิธีของคู

เดอร์-ริชาร์ดสัน (KR-20)

ขั้นตอนที่ 4 การพัฒนาแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพ บัญชีออนไลน์ หลังจากได้ชุดของแบบวัดความถนัด ทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์สำหรับผู้ประกอบวิชาชีพ บัญชีแล้ว นำมาพัฒนาในระบบออนไลน์ ดังนี้

1. ออกแบบฐานข้อมูลของระบบแบบสอบ ออนไลน์ เพื่อให้เห็นภาพรวมของระบบข้อมูลนำเข้า กระบวนการของการประมวลผล และผลลัพธ์ของ ระบบ ในการสร้างแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพ บัญชีสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชีครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ ออกแบบระบบไว้มีบุคคลที่เกี่ยวข้อง 3 ฝ่าย คือ ผู้ออกข้อสอบ ผู้ดูแลระบบ และผู้เข้าสอบ ดัง รายละเอียดต่อไปนี้

1.1 ผู้ออกข้อสอบ มีหน้าที่ดังนี้

1.1.1 ดำเนินการออกข้อสอบ เพื่อ วัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชี โดยในการวิจัยครั้งนี้ แบบวัดเป็นชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก (Multiple Choice) จำนวน 60 ข้อ

1.1.2 หาคุณภาพของแบบวัด ปรับปรุง แก้ไข เกี่ยวกับแบบวัด

1.2 ผู้ดูแลระบบ มีหน้าที่ดังนี้

1.2.1 กำหนดรูปแบบของแบบวัด โดยในการวิจัยครั้งนี้ ได้กำหนดรูปแบบในระบบไว้ เป็นรูปแบบของข้อความเท่านั้น

1.2.2 กำหนดการเพิ่ม ปรับปรุง แก้ไข เกี่ยวกับแบบวัด ประกอบด้วย ข้อความของ คำถาม ข้อความของคำตอบ และคำตอบที่ถูกต้อง

1.2.3 กำหนดความปลอดภัยในการทำแบบวัด โดยให้สิทธิเฉพาะผู้ดูแลระบบเท่านั้น

1.3 ส่วนของผู้เข้าสอบ ประกอบด้วย

1.3.1 การใช้งานผ่านเว็บไซต์

1.3.2 สามารถทราบคะแนนการ สอบได้ทันทีหลังจากทำแบบวัดความถนัดเสร็จ

2. เขียนแผนภาพกระแสข้อมูล (Data flow

diagram) แบบจำลองของกระบวนการนำมาใช้ โดยแผนภาพกระแสข้อมูลจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโปรเซส (Processes) กับข้อมูล (Data) ที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลในแผนภาพจะทำให้ทราบว่า ข้อมูลมาจากไหน ข้อมูลไปที่ไหน ข้อมูลเก็บที่ใด เกิดเหตุการณ์ใดกับข้อมูลในระหว่างทาง

3. การออกแบบฐานข้อมูล (Database design) เป็นการดำเนินการแปลงแบบจำลองข้อมูลเชิงตรรกะที่ได้มาจากระยะการวิเคราะห์มาเป็นรายละเอียดทางเทคนิค เพื่อใช้สำหรับการจัดเก็บข้อมูลจริง โดยนักวิเคราะห์ระบบจะต้องพัฒนาข้อกำหนดในรายละเอียดต่างๆ ร่วมกับโปรแกรมเมอร์ หรือผู้บริหารฐานข้อมูล

4. จัดทำพจนานุกรมข้อมูล (Data dictionary) แผนภาพกระแสข้อมูลใช้บรรยายภาพของระบบ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโปรเซสและข้อมูล แต่ไม่ได้แสดงถึงรายละเอียดของข้อมูลว่ามีอะไรบ้าง

5. การพัฒนาระบบเป็นขั้นตอนของการพัฒนาตามที่ได้วิเคราะห์และออกแบบโดยโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมกับเทคโนโลยีที่ใช้งานอยู่ ในการพัฒนาระบบแบบทดสอบออนไลน์

6. การทดสอบระบบและการเก็บรวบรวมข้อมูล การทดสอบระบบ เป็นขั้นตอนก่อนที่ระบบจะถูกนำไปใช้งานจริง เพื่อประมวลข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น และหาทางป้องกัน และวิธีการแก้ไขไว้ก่อน

7. เมื่อระบบการทดสอบออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้จนเป็นที่มั่นใจแล้วนำแบบวัดเข้าในระบบออนไลน์ เพื่อนำไปใช้ทดสอบวัดความถนัดกับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชีต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 เขียนคู่มือการใช้แบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ โดยการนำแบบวัดความถนัดไปใช้จริง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาประเมินความถนัดของผู้ประกอบวิชาชีพบัญชีและแปลผลตามคู่มือการใช้

โดยคู่มือประกอบด้วยหัวข้อดังนี้ แนวคิดเกี่ยวกับแบบวัดความถนัด วัดประสงคฺ์ของแบบวัดความถนัด กรอบการสร้างแบบวัดความถนัด วิธีการใช้และวิธีดำเนินการสอบ และวิธีการตรวจให้คะแนนและแปลความ

การเก็บและรวบรวมข้อมูล

ในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเองโดยทำการเก็บรอบที่ 1 และรอบที่ 2 ด้วยชุดของแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีตามสถานประกอบการที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นได้ดำเนินการสอบโดยผู้วิจัยได้อัพโหลดข้อมูลทางระบบอินเทอร์เน็ต ให้สถานประกอบการได้จัดผู้ประกอบวิชาชีพบัญชีเข้าสอบในระบบออนไลน์ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม 2561 โดยฐานข้อมูลผลการสอบจัดเก็บบันทึกลงโปรแกรม Microsoft Excel บนพื้นที่จัดเก็บทางอินเทอร์เน็ต ปิดการสอบในวันที่ 31 สิงหาคม 2561

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ โดยการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของการวัด (Coefficient Variance : CV) การหาค่าความยาก (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และหาค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดความถนัดด้วยวิธีของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (KR-20)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการสร้างแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชี

ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีตาม นิชาม และ ทฤษฎีหลายองค์ประกอบ (Multiple-Factor Theory) ของเทอร์สโตน โดยการสังเคราะห์องค์ประกอบย่อยตาม

มาตรฐานการศึกษาระหว่างประเทศสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชี (IESs) ฉบับที่ 3 และฉบับที่ 4 นำองค์ประกอบย่อยมาจัดเป็นกลุ่มองค์ประกอบหลักจำนวน 6 ด้าน ประกอบด้วย (1) ทักษะทางบัญชี (2) ทักษะทางวิชาการเชิงปฏิบัติและหน้าที่งาน (3) ทักษะทางคุณลักษณะเฉพาะบุคคล (4) ทักษะทางปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่นและการสื่อสาร (5) ทักษะทางองค์การและการจัดการธุรกิจ และ (6) คุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพบัญชี แบบวัดความถนัดที่สร้างขึ้นเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวนข้อสอบใน 6 ด้าน ด้านละ 12 ข้อ รวม 72 ข้อ นำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 คน ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) จากการพิจารณาพบว่า แบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีฉบับนี้มีค่าความตรงเชิงเนื้อหาตั้งแต่ 0.40-1.00 เมื่อพิจารณาในแต่ละด้าน พบว่า ผ่านเกณฑ์การพิจารณาความตรงเชิงเนื้อหา จำนวน 64 ข้อ จึงคัดเลือกข้อสอบที่ผ่านการพิจารณาเหลือด้านละ 10 ข้อ รวมทั้งสิ้น 60 ข้อ โดยองค์ประกอบความถนัดทางบัญชีที่ได้ทั้ง 6 องค์ประกอบนั้น สอดคล้องกับโครงสร้างของมาตรฐานการศึกษาระหว่างประเทศสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชี ฉบับที่ 3 เรื่องทักษะทางวิชาชีพ (สภาวิชาชีพบัญชีในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558) ซึ่งประกอบด้วย ทักษะทางบัญชี ทักษะทางวิชาการเชิงปฏิบัติและหน้าที่งาน ทักษะทางคุณลักษณะเฉพาะบุคคล ทักษะทางปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นและการสื่อสาร และทักษะทาง

องค์การและการจัดการธุรกิจ และมาตรฐานการศึกษาระหว่างประเทศสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชี ฉบับที่ 4 เรื่อง ค่านิยมทางวิชาชีพ จรรยาบรรณทางวิชาชีพ และทัศนคติทางวิชาชีพ (สภาวิชาชีพบัญชีในพระบรมราชูปถัมภ์, 2558)

ตอนที่ 2 ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์

ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ แบ่งตามการทดสอบ 2 ครั้ง ดังนี้

1. การทดสอบครั้งที่ 1 กับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชี จำนวน 30 คน ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง โดยใช้แบบวัดความถนัด 6 ด้าน ด้านละ 10 ข้อ ใช้เวลาทำด้านละ 10 นาที พบว่า แบบวัดความถนัดด้านทักษะทางองค์การและการจัดการธุรกิจ (X_5) มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด 8.12 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.35 และความเชื่อมั่น .814 รองลงมา คือแบบวัดความถนัดด้านทักษะทางวิชาการเชิงปฏิบัติและหน้าที่งาน (X_2) มีคะแนนเฉลี่ย 7.90 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.78 และความเชื่อมั่น .802 และแบบวัดความถนัดด้านทักษะทางปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่นและการสื่อสาร (X_4) มีคะแนนเฉลี่ย 7.80 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.90 และความเชื่อมั่น .871 ตามลำดับ ผลคะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและความเชื่อมั่นของแบบวัดความถนัด แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์จากการทดสอบครั้งที่ 1

แบบวัดความถนัด	n	เวลา (นาที)	$\bar{X}$	S.D.	r_{tt}
X_1	10	10	7.45	4.22	.845
X_2	10	10	7.90	5.78	.802
X_3	10	10	7.38	6.78	.788
X_4	10	10	7.80	4.90	.871
X_5	10	10	8.12	4.35	.814
X_6	10	10	7.64	5.86	.796

การวิเคราะห์รายข้อ ผู้วิจัยนำคะแนนจากการทดสอบครั้งที่ 1 คำนวณหาค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก โดยใช้เทคนิค 27 % พบว่า แบบ

วัดความถนัดทั้ง 6 ด้าน มีค่าความยากอยู่ระหว่าง .28-.78 และมีค่าอำนาจจำแนก .38-.79 แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก ของแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์จากการทดสอบครั้งที่ 1

แบบวัดความถนัด	การวิเคราะห์รายข้อ		
	n	p	r
X_1	10	.34-.69	.41-.68
X_2	10	.30-.75	.45-.64
X_3	10	.36-.67	.39-.75
X_4	10	.32-.74	.43-.67
X_5	10	.28-.78	.42-.79
X_6	10	.35-.70	.38-.76

2. การทดสอบครั้งที่ 2 กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน

2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสถานภาพของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า เมื่อจำแนกตามเพศเป็นเพศหญิง จำนวน 353 คน คิดเป็นร้อยละ 88.25 จำแนกตามอายุ พบว่า ส่วนใหญ่มีอายุอยู่ระหว่าง 21-30 ปี จำนวน 205 คน คิดเป็นร้อยละ 51.25 วุฒิก่อนศึกษาสูงสุด พบว่า อยู่ในระดับปริญญาตรีมากที่สุด จำนวน 336 คน คิดเป็นร้อยละ 84.00 ประสบการณ์ในการทำงาน พบว่า มีประสบการณ์ในการทำงาน 5-10 ปีมากที่สุด จำนวน 221 คน คิดเป็นร้อยละ

55.25 และตำแหน่งในหน่วยงาน พบว่า เป็นนักบัญชีมากที่สุด จำนวน 343 คน คิดเป็นร้อยละ 85.75

2.2 ค่าสถิติพื้นฐานของแบบวัดความถนัด มี 6 ด้าน ด้านละ 10 ข้อ ใช้เวลาทำ 10 นาที พบว่า แบบวัดความถนัดด้านทักษะทางปัญญา (X_1) มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 8.85 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.02 ความเชื่อมั่น .885 และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 46.32 รองลงมา คือแบบวัดความถนัดด้านทักษะทางองค์การและการจัดการธุรกิจ (X_5) มีคะแนนเฉลี่ย 8.71 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.15 ความเชื่อมั่น .840 และค่า

สัมประสิทธิ์การกระจาย 48.80 และแบบวัดความ
ถนัดด้านทักษะทางปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่นและการ
สื่อสาร (X_4) มีคะแนนเฉลี่ย 8.60 ส่วนเบี่ยงเบน
มาตรฐานของแบบวัดความถนัด 3.80 ความเชื่อมั่น

.875 และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย 45.25
ตามลำดับ ค่าสถิติพื้นฐานของแบบวัดความถนัด
จากการทดสอบครั้งที่ 2 แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสถิติพื้นฐานของแบบวัดความถนัด จากการทดสอบครั้งที่ 2

แบบวัดความถนัด	n	เวลา (นาที)	$\bar{X}$	S.D.	r_{tt}	C.V. (%)
X_1	10	10	8.85	4.02	.885	46.32
X_2	10	10	8.28	4.52	.832	55.87
X_3	10	10	8.23	3.84	.880	47.98
X_4	10	10	8.60	3.80	.875	45.25
X_5	10	10	8.71	4.15	.840	48.80
X_6	10	10	7.93	4.18	.890	53.84

2.3 การวิเคราะห์รายข้อ เป็นการคำนวณหา
ค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก โดยใช้เทคนิค 27
% พบว่า แบบวัดความถนัดทั้ง 6 ด้าน มีค่าความยาก

อยู่ระหว่าง .20-.80 และมีค่าอำนาจจำแนกอยู่
ระหว่าง .20-.73 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก ของแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์จากการทดสอบครั้งที่ 2

แบบวัดความถนัด	การวิเคราะห์รายข้อ		
	n	p	r
X_1	10	.30-.80	.20-.64
X_2	10	.28-.70	.25-.65
X_3	10	.25-.72	.27-.73
X_4	10	.24-.74	.20-.68
X_5	10	.20-.75	.23-.71
X_6	10	.20-.68	.25-.70

จากผลการสร้างแบบวัดความถนัดทาง
วิชาชีพบัญชีออนไลน์ครั้งนี้ได้แบบวัดความถนัด
ที่เหมาะสม เป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก ประกอบด้วย
ด้านทักษะทางปัญญา 10 ข้อ ด้านทักษะทางวิชาการ

เชิงปฏิบัติและหน้าที่งาน 10 ข้อ ด้านทักษะทาง
คุณลักษณะเฉพาะบุคคล 10 ข้อ ด้านทักษะการ
ปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่นและการสื่อสาร 10 ข้อ ด้าน
ทักษะทางองค์การและการจัดการธุรกิจ 10 ข้อ ด้าน

ทักษะทางคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพ 10 ข้อ ค่าความยากและอำนาจจำแนกของแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ มีค่าความยากตั้งแต่ 0.20-0.80 และอำนาจจำแนกมีค่าตั้งแต่ 0.20-0.80 แสดงว่าแบบทดสอบนั้นมีคุณภาพตามเกณฑ์ในการเลือกข้อสอบที่มีความยาก 0.20-0.80 และค่าอำนาจจำแนก 0.20 ขึ้นไป ซึ่งสอดคล้องกับค่ากล่าวของวัฒนา (2559) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาแบบทดสอบวัดความถนัดทางวิชาชีพช่างอุตสาหกรรมออนไลน์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 พบว่า แบบทดสอบมีค่าตั้งแต่ 0.20-0.80 และอำนาจจำแนก มีค่าตั้งแต่ 0.20-0.90 นอกจากนี้ยังมีค่าความยากของแบบทดสอบในระดับที่กระจาย สอดคล้องกับสมทรัพย์ (2556) ได้ศึกษาเรื่อง การสร้างแบบทดสอบวัดความถนัดทางการเรียนคอมพิวเตอร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 พบว่า แบบทดสอบมีค่าความยากจำแนกตามเกณฑ์ โดยข้อสอบที่ค่อนข้างยาก มีจำนวน 13 ข้อ ข้อสอบที่ง่ายปานกลาง จำนวน 42 ข้อ และข้อสอบที่ค่อนข้างง่าย จำนวน 45 ข้อ แสดงว่า ค่าความยากของแบบทดสอบมีระดับความยากที่กระจายตั้งแต่ยาก ปานกลาง และง่าย

2.4 ค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดความถนัดโดยใช้วิธีของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (KR-20) ได้เท่ากับ 0.816 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่อยู่ในระดับยอมรับได้ สอดคล้องกับค่ากล่าวของบุญเชิด (2545) ว่าการพิจารณาระดับความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้ ควรมีค่าความเชื่อมั่นตั้งแต่ 0.70 ขึ้นไป และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของสดสี (2559) ที่ได้ทำการศึกษารวบรวม การพัฒนาแบบวัดความถนัดทางการเรียนวิทยาศาสตร์ การกีฬาของนักศึกษาปริญญาตรี พบว่า ค่าความเที่ยงหรือความเชื่อมั่นของแบบวัดทั้งหมด ซึ่งมี 7 องค์ประกอบ และ 86 คำถาม มีค่าเท่ากับ 0.902 แสดงว่าแบบวัดชุดนี้มีค่าความเที่ยงหรือความ

เชื่อมั่นอยู่ในระดับสูง จึงกล่าวได้ว่าแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เช่นกัน

ตอนที่ 3 การพัฒนาคู่มือการใช้แบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์

การพัฒนาคู่มือการใช้แบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ ประกอบด้วยรายละเอียดของหัวข้อต่อไปนี้ (1) แนวคิดเกี่ยวกับแบบวัดความถนัด (2) วัตถุประสงค์ของแบบวัดความถนัด (3) กรอบการสร้างแบบวัดความถนัด (4) วิธีการใช้และวิธีดำเนินการสอบ และ (5) วิธีการตรวจให้คะแนนและแปลความ

สรุป

จากการพัฒนาแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ได้ข้อสรุปดังนี้

1. แบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีได้พัฒนาขึ้นตามนิยามและทฤษฎีหลายองค์ประกอบ (Multiple-Factor Theory) ของเทอร์สโตน จากการสังเคราะห์องค์ประกอบย่อยตามมาตรฐานการศึกษาระหว่างประเทศสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชี (IESs) ฉบับที่ 3 และฉบับที่ 4 แล้วนำองค์ประกอบย่อยมาจัดเป็นกลุ่มองค์ประกอบหลักจำนวน 6 ด้าน ประกอบด้วย (1) ทักษะทางปัญญา (2) ทักษะทางวิชาการเชิงปฏิบัติและหน้าทำงาน (3) ทักษะทางคุณลักษณะเฉพาะบุคคล (4) ทักษะทางปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่นและการสื่อสาร (5) ทักษะทางองค์การและการจัดการธุรกิจ และ (6) คุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพบัญชี

2. การสร้างแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ ได้แบบวัดความถนัดที่เหมาะสมแบบปรนัย 4 ตัวเลือก ดังนี้ ด้านทักษะทางปัญญา 10 ข้อ ด้านทักษะทางวิชาการเชิงปฏิบัติและหน้าทำงาน 10 ข้อ ด้านทักษะทางคุณลักษณะเฉพาะบุคคล 10

ข้อ ด้านทักษะการปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่นและการสื่อสาร 10 ข้อ ด้านทักษะทางองค์การและการจัดการธุรกิจ 10 ข้อ ด้านทักษะทางคุณธรรมจริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพ 10 ข้อ มีค่าความยากตั้งแต่ 0.20-0.80 และอำนาจจำแนกมีค่าตั้งแต่ 0.20-0.80 มีค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดความถนัดโดยใช้วิธีของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (KR-20) ได้เท่ากับ 0.816 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่อยู่ในระดับยอมรับได้

3. คู่มือการใช้แบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ ประกอบด้วย (1) แนวคิดเกี่ยวกับแบบวัดความถนัด (2) วัตถุประสงค์ของแบบวัดความถนัด (3) กรอบการสร้างแบบวัดความถนัด (4) วิธีการใช้และวิธีดำเนินการสอบ และ (5) วิธีการตรวจให้คะแนนและแปลความ

ข้อเสนอแนะ

1. ผู้สร้างแบบวัดความถนัดต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ทางด้านบัญชีและด้านที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างดีจึงจะสามารถดำเนินการออกข้อสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพและตรงตามวัตถุประสงค์ของการสอบ

2. แบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีออนไลน์ฉบับนี้มีคุณภาพตามเกณฑ์ข้อสอบสูง จึงควรนำไปทดสอบวัดความถนัดของนักศึกษาสาขาวิชาบัญชีเพื่อพัฒนาทักษะให้ดียิ่งขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการประกอบอาชีพนักบัญชีต่อไป

3. ควรเพิ่มจำนวนข้อสอบและจำนวนชุดข้อสอบให้มากขึ้น เพื่อให้มีความครอบคลุมเนื้อหาที่ต้องการวัดตามโครงสร้างของมาตรฐานการศึกษาระหว่างประเทศสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชี ฉบับที่ 3 เรื่องทักษะทางวิชาชีพ ประกอบด้วย ด้านการทำบัญชี ด้านการสอบบัญชี ด้านการวางระบบบัญชี ด้านการบัญชีบริหาร ด้านการบัญชีภาษีอากร

และด้านการศึกษาและเทคโนโลยีการบัญชีและบริการเกี่ยวกับการบัญชี เนื่องจากการเป็นการสอบในระบบออนไลน์ สามารถใช้การเลือกการสุ่มข้อสอบได้

4. สถานศึกษาควรมีการจัดตั้งหน่วยงานเพื่อประสานให้มีการนำผลงานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพบัญชีไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาธุรกิจการค้า. 2561. สถิติผู้ทำบัญชี. แหล่งที่มา: http://www.dbd.go.th/index_answer.php?wcad=4&wtid=4064255&t=4022543, 1 กันยายน 2561.
- บุญเชิด ภิญโญอนันตพงษ์. 2545. การวัดประเมินการเรียนรู้. เอกสารประกอบการสอน. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ. 2541. เทคนิคการสร้างและสอบข้อสอบความถนัดทางการเรียน. พิมพ์ครั้งที่ 3. ชมรมเด็ก, กรุงเทพฯ.
- วัฒนา โอทาคะวงษ์. 2559. การพัฒนาแบบวัดความถนัดทางวิชาชีพช่างอุตสาหกรรมออนไลน์. ดุษฎีนิพนธ์ สาขาวิชาวิจัยวัดผลและสถิติการศึกษา, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สดสี สุทธิศักดิ์. 2559. การพัฒนาแบบวัดความถนัดทางการเรียนวิทยาศาสตร์การกีฬาของนักศึกษา ระดับปริญญาตรี. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 18(3): 143-157.
- สภาวิชาชีพบัญชีในพระบรมราชูปถัมภ์. 2558. มาตรฐานการศึกษาระหว่างประเทศสำหรับผู้ประกอบวิชาชีพบัญชี ฉบับที่ 1-7.

- แหล่งที่มา: <http://www.fap.or.th>, 15
กุมภาพันธ์ 2561.
- สมทรัพย์ จิวประสาท. 2556. การสร้างแบบทดสอบ
วัดความถนัดทางการเรียนคอมพิวเตอร์ของ
นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3.
วารสารวิชาการ **Veridian E-journal** 6(2):
389-399.
- Boylan, H., Bonham, B. and Bliss, L. 1994.
Characteristic Components of Developmental
Programs. **Research in Developmental
Education** 11(1): 42.
- Yamane, T. 1973. **Statistics: An Introductory
and Analysis.** Harper International
Edition, Singapore.

การเตรียม CoAl-เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์ที่ถูกปรับปรุงพื้นผิว ด้วยโดเดคซิลซัลเฟต และการกำจัดสีย้อม

Preparation of Dodecylsulfate Modified CoAl-Layered Double Hydroxide and Dye Removal

สรชัย อินทะไชย^{1*} อารีพร เบ้าอุพาล² และ พนิดา กังซุ่น¹

Sonchai Intachai^{1*}, Areebhorn Baoulun² and Panita kongsune¹

Received: 11 June 2019 , Revised: 24 June 2019 , Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงสมบัติของตัวดูดซับ CoAl-LDH โดยการอินเทอร์คาเลชันด้วยโดเดคซิลซัลเฟต (DS⁻) ไอออน โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างสารแขวนลอย CoAl-LDH ในน้ำ และสารละลายโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 1 วัน และปรับเปลี่ยนปริมาณ DS⁻ เป็น 5, 10, 20 และ 30 เท่าของความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (AEC) ของ LDH จากนั้นทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวดูดซับอนินทรีย์ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่า ช่องว่างระหว่างเลเยอร์ของ CoAl-LDH ขยายกว้างขึ้นตามการเพิ่มปริมาณ DS⁻ จนถึง 30 เท่าของ AEC ซึ่งยืนยันการมีโมเลกุล DS⁻ ในช่องว่างระหว่างเลเยอร์ที่จัดเรียงตัวแบบ paraffin monolayer นอกจากนี้ได้มีการศึกษาสมบัติการดูดซับสารละลายสีย้อมโรดามีน 6 จี ออร์เรนจ์ II และอะลิซาริน พบว่า ตัวดูดซับ CoAl-LDH ที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วย DS⁻ (30 เท่าของ AEC) ดูดซับโมเลกุลสีย้อมทั้ง 3 สปีชีส์ ได้ดีกว่าตัวดูดซับอื่นๆ และให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมออร์เรนจ์ II สูงที่สุด

คำสำคัญ: CoAl-เลเยอร์ดับเบิลไฮดรอกไซด์, ตัวดูดซับ, สีย้อม, โดเดคซิลซัลเฟต

¹ สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

¹ Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Baan Prao, Papayom, Phatthalung 93210, Thailand.

² สาขาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

² Department of Chemistry, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus, Nai-Muang, Muang, Khon Kaen 40000, Thailand.

* Corresponding author, e-mail: sonchai.i@tsu.ac.th Tel: 08 5007 2412

ABSTRACT

In this work, the modification of CoAl-LDH adsorbent was investigated by the intercalation of a series of dodecylsulfate (DS^-) ions. The reaction between an aqueous suspension of CoAl-LDH and an aqueous solution of sodium dodecylsulfate was conducted under hydrothermal method at 120°C for 1 day. The adding amount of DS^- was adjusted to be 5, 10, 20 and 30 times to anion exchange capacity (AEC) of the LDH. The as-prepared inorganic adsorbents were characterized by powder X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The XRD patterns revealed that the interlayer space of CoAl-LDH was slightly expanded with increasing the loading amount of DS^- until 30 times of the AEC. This result confirmed the presence of DS^- molecules in the interlayer space with paraffin monolayer arrangement. The property of the adsorbents was assessed by the removal of rhodamine 6G, orange II and alizarin from solution. CoAl-LDH modified with dodecylsulfate (30 times of AEC) adsorbed three species of dye molecules from solution more than the other adsorbents, and exhibited the highest efficiency for removal of orange II.

Key words: CoAl-layered double hydroxide, adsorbent, dye, dodecylsulfate

INTRODUCTION

Dye, an organic pigment, is well known for its negative effect on health and water environment. The contamination of dyes in water resource is one of the big issues because the dye molecules possess non-biodegradable and physicochemically stable structure, as well as, bioaccumulation (Ahmad *et al.*, 2015). The production and corresponding discharge of dyes by concerning textile industry are undeniably increased as marketing demand as a result of water pollution. However, purification activities show high removal efficiency such as chemical oxidation/reduction using photocatalyst, ozonation, reverse osmosis, electro-dialysis and so forth, these strategies are sometimes unavailable on procedures due to expensive and complex operations. In comparison with all above methods, adsorption technique is capacitated for cleaning wastewater from overall chemicals (heavy metal, pesticide, organics, etc.) as economically and easy processes (Zhang *et al.*, 2014; Kausar *et al.*, 2018). Therefore, the synthesis and development of potential adsorbent are needed to study for enhancing efficiency for removal of pollutants contaminated in water resources. During the past decades, the preparation of inorganic materials and their applications received much attention

due to the robust structure, large surface area, and recyclability (Kausar *et al.*, 2018). One of them, 2D-layered inorganic adsorbent shows additional advantages such as ion exchangeable capacity, feasible interlayer space and swelling property (Zhang *et al.*, 2014; Sun *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2019).

Layered double hydroxide (LDH) is a candidate of host and/or support materials, which is widely attracted by a number of researchers for applying as catalyst, adsorbent, drug carrier and so on (Liu *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2019). Besides, positive charge on metal hydroxide nanosheets is also a dominant choice from other materials. The typical structure of LDH, $[\text{M}^{3+}_y\text{M}^{2+}_{1-y}(\text{OH})_2]^{y+}(\text{A}^{n-})_{y/n}\cdot z\text{H}_2\text{O}$, comprised of coordinated MO_6 octahedron formed by isomorphic substitution of divalent (M^{2+}) cation in some sites of brucite-like structure by trivalent (M^{3+}) one and sharing edges by oxygen, and water, as well as anionic guest (A^{n-}) species for satisfying charge neutrality in the interlayer space (Yang *et al.*, 2019).

The use of LDH as adsorbent exhibited efficient removal of the negative-charged dye as a result of binding with electrostatic interaction. Nevertheless, dye molecules contaminated in wastewater

compose of various species and especially different charge (positive, negative and/or neutral) that is limited for only reactionary-charged adsorbent. The adsorbent must be modified so that the application is multifunctional and available for all species of dyes. In the concept, the compensation of the positively charged surface of the LDH with negative surfactant makes the adsorbent versatile on different charge-dye molecules. Kong *et al.* (2018) demonstrated that the inorganic material modified with dodecylsulfate could bind the dye molecules with hydrophobic and hydrogen bonding interactions. The intercalation of surfactants in the interlayer space of clay host has been investigated so far and the adsorption of organic guests is successful (Khaorapapong *et al.*, 2011; Demel *et al.*, 2014; Ogawa and Hiramane, 2014). As potential adsorbent on removal of the dye molecules, in this study, the modification of CoAl-LDH was investigated by incorporation of dodecylsulfate in the interlayer space under hydrothermal reaction, and the difference in the adding amounts of dodecylsulfate was also adjusted. The organo CoAl-LDH was evaluated by the adsorption efficiency of rhodamine 6G, orange II and alizarin molecules in solution.

MATERIALS AND METHOD

Materials

Chloride salts of cobalt (CoCl_2) and aluminium ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) were purchased from Carlo Erba Reagenti. Urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) was purchased from Asia Pacific Specialty Chemicals LTD. Sodium dodecylsulfate ($\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$) was purchased from Ajax Finechem Pty LTD. Rhodamine 6G ($\text{C}_{28}\text{H}_{31}\text{N}_2\text{O}_3\text{Cl}$), orange II ($\text{C}_{16}\text{H}_{11}\text{N}_2\text{NaO}_4\text{S}$) and alizarin ($\text{C}_{14}\text{H}_8\text{O}_4$) were purchased from Acros. All chemicals are the reagent grade and were used directly without any further purification.

Preparation of CoAl-LDH and $\text{DS}_x/\text{CoAl-LDH}$

The synthesis of CoAl-LDH was conducted by the reaction in a two-neck round-bottom flask that equipped with a reflux condition. The aqueous solutions of CoCl_2 (1.9034 g), AlCl_3 (0.9657 g) and $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ (1.6817 g) at the molar ratio of 2:1:7 were mixed under magnetic stirring at about 97°C for 2 days under N_2 atmosphere. CoAl-LDH precipitate was separated by centrifugation, washed many times with deionized (DI) water and then ethanol, and dried at 60°C to obtain magenta-colored powder. Then, the intercalation of CoAl-LDH with dodecylsulfate (DS^-) was conducted by the reaction of an aqueous solution of sodium dodecylsulfate and an aqueous suspension of CoAl-LDH under magnetic stirring for ten minutes, and then transferred into Teflon line autoclave at hydrothermally heating of 120°C for 1 day (Ogawa and Hiramane, 2014). The loading amount of DS^- was adjusted to be 5 (0.8651 g), 10 (1.7303 g), 20 (3.4605 g) and 30 (5.1908 g) times of the theoretical AEC (anion exchange capacity ~ 300 meq/100 g, Wang and O'Hare, 2012) of the LDH. The modified CoAl-LDH was isolated by centrifugation, washed several times with DI water and then ethanol, and dried at 60°C to obtain coral-colored solid. The as-prepared hybrids were abbreviated as $\text{DS}_x/\text{CoAl-LDH}$ s where subscript x is referred to the ratio of the adding amount of DS^- to the AEC.

Removal of dye using the adsorbent

To evaluate the property of the organo $\text{DS}_x/\text{CoAl-LDH}$ s in comparison with pristine CoAl-LDH for eliminating toxic dye, the removal of rhodamine 6G, orange II and alizarin (Scheme 1) was examined at room temperature in the dark area. Each reaction, 50 mL dye solution (1:1 v/v of DI water and ethanol) with 20 ppm concentration and 10 mg of the adsorbent powder were mixed in beaker under magnetic stirring for 3 h in the dark. The adsorption reaction was conducted

under solution pH of rhodamine 6G, orange II and alizarin about 6.5, 5.0 and 6.3, respectively. During interval time of 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150 and 180

min, the residual solution of dye was collected to examine the removal efficiency as the equation 1 by using UV-visible spectrophotometer.

$$\text{Removal efficiency (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad 1$$

where C_0 (mg/L) is the initial concentration of dye and C_t (mg/L) is the concentration of dye at time t (min)

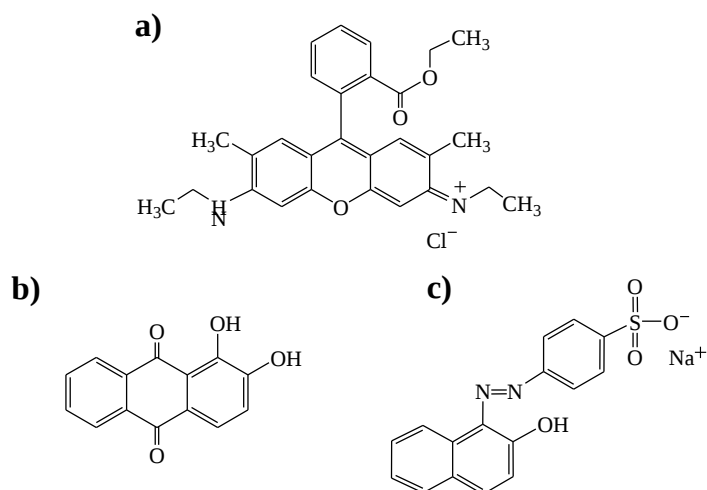
Characterization

Powder X-ray diffraction (XRD) patterns were collected on a Bruker D8 ADVANCE diffractometer using monochromatic $\text{CuK}\alpha$ radiation with $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ operated at 40 kV and 40 mA. The data were collected at the scanning rate of 0.5 degree per minute over the region of 2-50 degrees. Infrared spectra of the samples were recorded on a Perkin Elmer Spectrum One FT-IR spectrophotometer by KBr disk method. UV-visible absorption spectra of the dye solutions were conducted in the wavelength range of 200-800 nm using a Shimadzu UV-1800 Pharmaspec UV-VIS spectrophotometer.

RESULTS AND DISCUSSION

To verify the intercalation of DS^- , the XRD patterns of $\text{DS}_x/\text{CoAl-LDH}$ s and pristine CoAl-LDH are displayed in Figure 1. The characteristic reflection of (003) correlating the size of carbonate (CO_3^{2-}) was observed at 2θ about 11.7° for all

samples with the basal spacing (d_{003}) of *ca.* 0.8 nm that calculated from Bragg's equation ($d = n\lambda/2\sin\theta$, Kong *et al.*, 2018), interpreting to the presence of carbonate in all samples (Scheme 2a). The basal spacings are summarized in Table 1. Commonly, carbonate generated in the reaction through CO_2 dissolved in water, possesses high affinity on positive surface of brucite-like structure due to small size and bidentate nature, resulting in the uncompleted substitution by DS^- . After adding the DS^- , the two basal spacings (d_{003}) of all products were obtained that calculated from Bragg's equation. The first d_{003} value was 0.76 nm, and the second one was 2.61 nm for $\text{DS}_5/\text{CoAl-LDH}$ and $\text{DS}_{10}/\text{CoAl-LDH}$, 3.12 nm for $\text{DS}_{20}/\text{CoAl-LDH}$ and 2.53 nm for $\text{DS}_{30}/\text{CoAl-LDH}$, which corresponded to the size of CO_3^{2-} and DS^- in the interlayer space respectively, indicating the segregation of DS^- and CO_3^{2-} in the interparticle level (Ogawa and Hiramane, 2014).



Scheme 1 Dye structures of (a) rhodamine 6G, (b) alizarin and (c) orange II

As seen in Figure 1, the d_{003} increased from 2.61 nm (Figure 1c-d) to 3.12 nm (Figure 1b) with low XRD peak intensity as increasing the loading amount of DS^- (x from 5 and 10 to 20), while x = 30 (Figure 1a) the d_{003} dropped to 2.53 nm with high XRD peak intensity. This result indicated the difference in nature of species (DS^- and CO_3^{2-}) in the interlayer space such as amount and arrangement. It was thought that the adding amount of DS^- (x = 30) enabled exchanging the intercalated carbonate more resulting in higher crystallinity as a result of high XRD peak ($d_{003} = 2.53$ nm) and low XRD peak ($d_{003} = 0.76$ nm) intensity. Taking the thickness of the LDH nanosheet (0.48 nm, Liu *et al.*, 2006) and the second d_{003} value into account, the expansion of the interlayer space of the products was determined to be 2.13, 2.13, 2.64 and 2.05 nm for $\text{DS}_5/\text{CoAl-LDH}$, $\text{DS}_{10}/\text{CoAl-LDH}$, $\text{DS}_{20}/\text{CoAl-LDH}$ and $\text{DS}_{30}/\text{CoAl-LDH}$, respectively (Table 1). This confirmed the

intercalation of DS^- in the interlayer space of the LDH with paraffin monolayer arrangement of DS^- in the interlayer space (Demel *et al.*, 2014; Okada *et al.*, 2014) as shown in Scheme 2b (Kong *et al.*, 2018), meanwhile some carbonate ions were also residual corresponding to the FTIR result (discussed later). The slight difference in the expansion of the interlayer space might be due to the variations in the amount of the intercalated water, carbonate and/or DS^- , as well as the flexibility of the DS^- long-chains. This study showed that the optimal amount of DS^- was 30 times of AEC, meanwhile Ogawa and Hiramane (2014) used DS^- up to 50 times of AEC for achieving intercalation into CoAl-LDH prepared by hydrothermal method (80 °C for 2 days). The difference in the adding amount of DS^- might be dependent on the presenting amount of the intercalated carbonate that varied by different preparation.

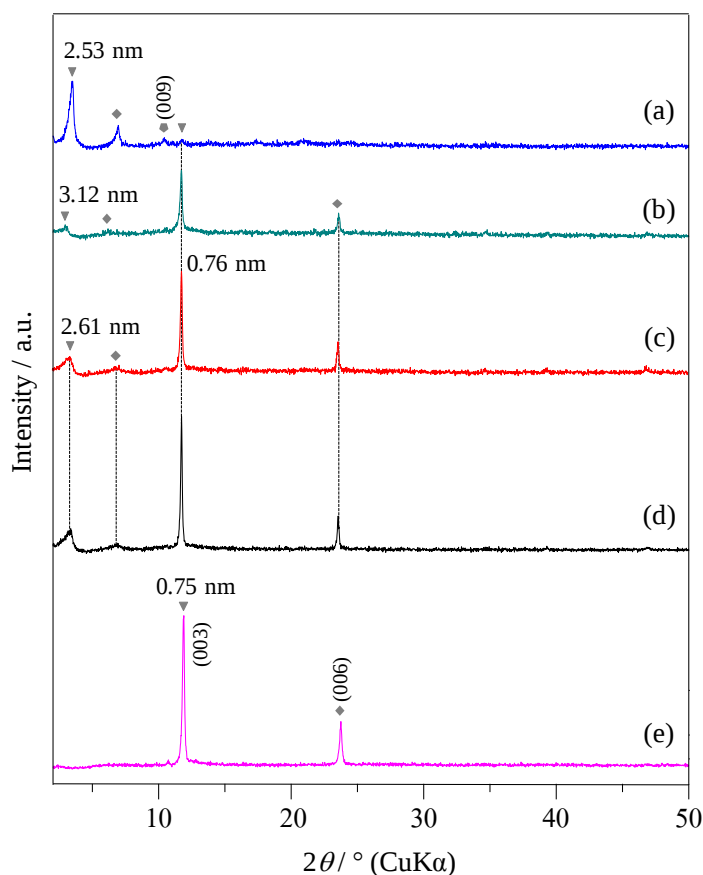


Figure 1 XRD patterns of (a) DS₃₀/CoAl-LDH, (b) DS₂₀/CoAl-LDH, (c) DS₁₀/CoAl-LDH, (d) DS₅/CoAl-LDH and (e) CoAl-LDH

Table 1 Basal spacing and interlayer expansion of all samples

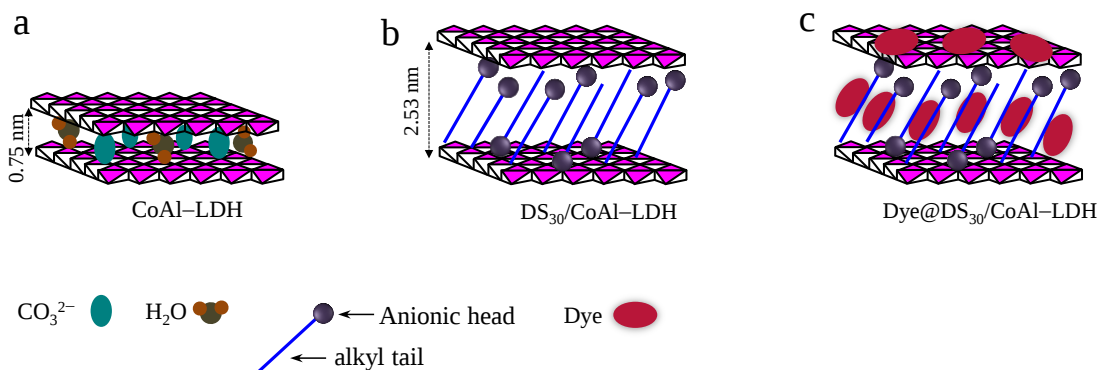
Product	d_{003} due to carbonate (nm)	d_{003} due to DS ⁻ (nm)	Interlayer expansion due to DS ⁻ (nm)
DS ₃₀ /CoAl-LDH	0.76	2.53	2.05
DS ₂₀ /CoAl-LDH	0.76	3.12	2.64
DS ₁₀ /CoAl-LDH	0.76	2.61	2.13
DS ₅ /CoAl-LDH	0.76	2.61	2.13
pristine CoAl-LDH	0.75	–	–

To verify the intercalation of DS⁻ in the interlayer space of CoAl-LDH and the substitution of the intercalated carbonate, the FTIR spectra of DS_x/CoAl-LDH together with CoAl-LDH and SDS were studied (Figure 2). The characteristic absorption bands of CoAl-LDH (Figure 2f) were corresponding to the hydrotalcite-like structure of the LDH counterbalanced with carbonate showing the vibration band about 1359 cm⁻¹ (Liu *et al.*, 2006). Also these characteristic bands were observed for all products (Figure 2b-e), interpreting

to the remaining host structure after intercalation reaction, which corresponded to the XRD result. Besides, the asymmetric and symmetric C–H stretching vibrations were also seen at 2925 and 2854 cm⁻¹ respectively, which shifted to higher energy region in comparison with those of SDS (at 2918 and 2849 cm⁻¹, Figure 2a), suggesting to the intercalation of DS⁻ in the hybrids by substitution of carbonate that evidenced by gradual disappearance of the band observed about 1359 cm⁻¹ (Figure 2). In the experiment, it was found

that increasing the adding amount of DS^- over 30 times of the AEC the small band due to residual carbonate was still appeared, supporting to the $d_{003} = 0.76$ nm,

as a result, the optimal amount of DS^- was $x = 30$ to eliminate carbonate from the interlayer space.



Scheme 2 Proposed arrangement of (a) CoAl-LDH, (b) organo $\text{DS}_{30}/\text{CoAl-LDH}$ in the absence of the intercalated carbonate and (c) dye adsorbed in the adsorbent

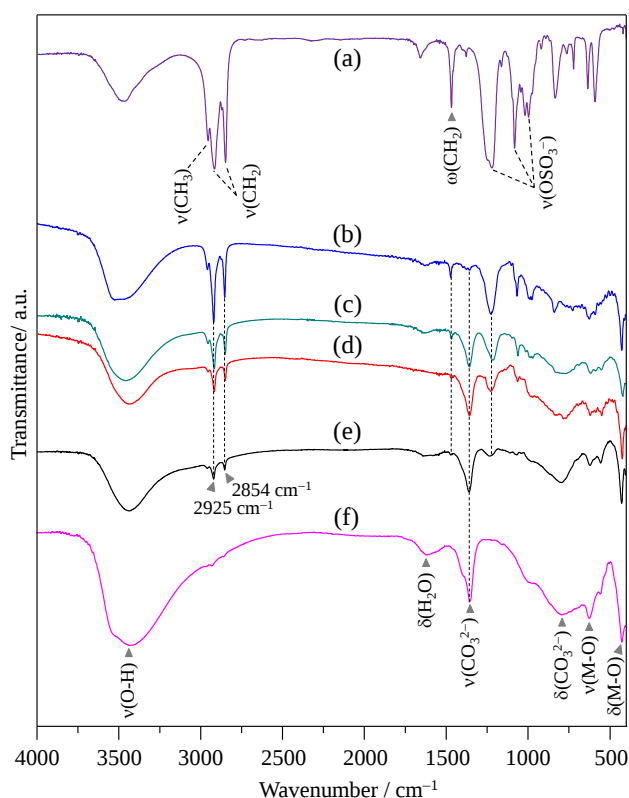


Figure 2 FTIR spectra of (a) sodium dodecylsulfate (SDS), (b) $\text{DS}_{30}/\text{CoAl-LDH}$, (c) $\text{DS}_{20}/\text{CoAl-LDH}$, (d) $\text{DS}_{10}/\text{CoAl-LDH}$, (e) $\text{DS}_5/\text{CoAl-LDH}$ and (f) CoAl-LDH

To solve the contamination due to dye in wastewater, the inorganic adsorbents, CoAl-LDH modified with dodecylsulfate ($\text{DS}_x/\text{CoAl-LDHs}$), were used to remove the toxic dyes in solution.

Among of the pollutants, rhodamine 6G, orange II and alizarin were used as the representative due to highlight of colorful pigment responsive for industrial market, and hardly-decomposable structure via bio

and chemical strategies. The maximum content of the dye adsorbed by the adsorbents was conducted for 60 min under magnetic stirring due to the equilibrium (Figure 3). As seen in Figure 3 and Figure 4, $DS_x/CoAl-LDHs$, where $x =$

5, 10, 20 and 30, showed the efficiency for removal of three dye species higher than $CoAl-LDH$ using as adsorbent, indicating to the effect of DS^- in the interlayer space.

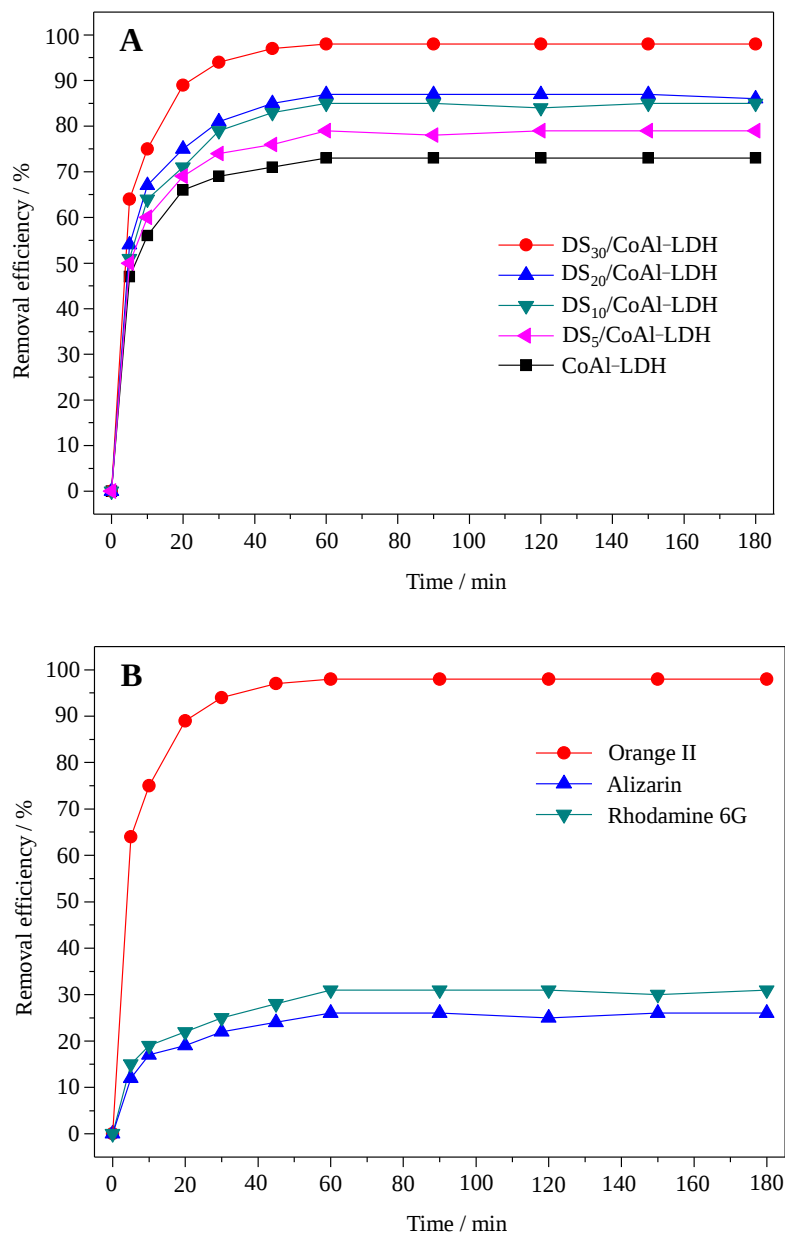


Figure 3 Effect of contact time for the adsorption of orange II using the inorganic adsorbents (A) and for the adsorption of orange II, alizarin and rhodamine 6G using $DS_{30}/CoAl-LDH$ (B)

In addition, the increase of the adding amount of DS^- in the adsorbent promoted the progress of the dye adsorption (Figure 3). This result was

because of the hydrophobic and hydrogen bonding interactions between the intercalated DS^- and the organic-dye structures (Kong *et al.*, 2018). Among of

three dyes possessing positive and negative charges, and neutral, the amounts of negatively charged orange II were mostly removed by 98%, and rhodamine 6G and

alizarin were adsorbed just 26% and 31%, respectively by using DS₃₀/CoAl-LDH as the adsorbent (Figure 3 and Figure 4).

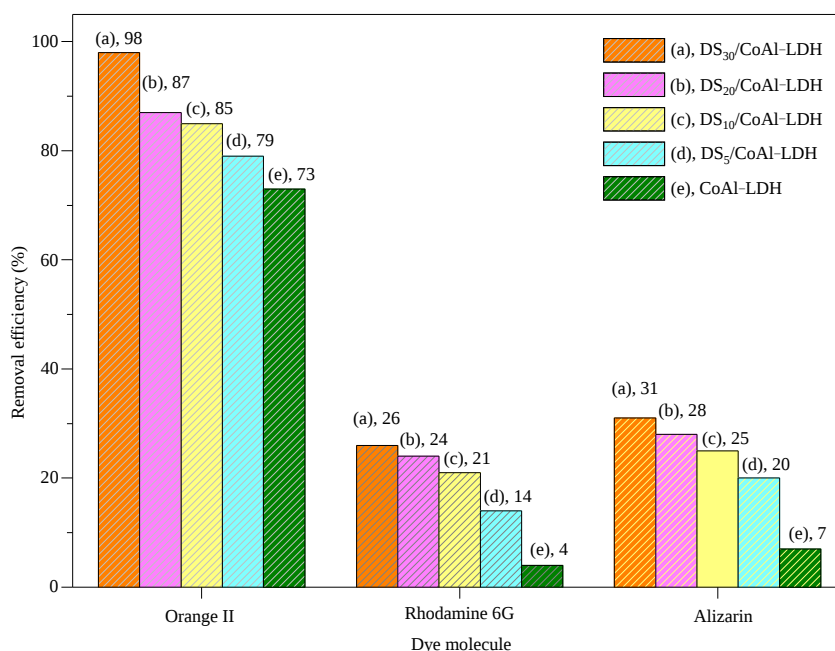


Figure 4 Removal efficiency of various dye molecules by using DS_x/CoAl-LDHs as adsorbent

This resulted mostly from the attractive force between negative-charged orange II and positive surface of the adsorbent, and larger adsorption of alizarin than that of rhodamine 6G might possibly due to the repulsion of positive-charged rhodamine 6G to the positive surface (Kong *et al.*, 2018) and the steric effect due to bigger size (Gamoudi and Srasra, 2019) to intercalate in the interlayer space as shown in Scheme 2c. Besides, the result showed that the electrostatic attraction was more essential role than that of the hydrophobic and hydrogen bonding interactions. We thought that the usage of DS₃₀/CoAl-LDH as the adsorbent for removing other anionic dye molecules should be further investigated.

CONCLUSIONS

The dodecylsulfate was intercalated into the interlayer space of CoAl-layered double hydroxide by hydrothermal conditions at 120 °C for 1 day. The optimal amount of

dodecylsulfate was 30 times of AEC of layered double hydroxide to eliminate carbonate in the interlayer space. The results from XRD patterns and FTIR spectra of DS₃₀/CoAl-layered double hydroxide confirmed the presence of most dodecylsulfate and remaining carbonate in the interlayer space due to the segregation. DS₃₀/CoAl-layered double hydroxide showed the best adsorbent and the potential for removing orange II from solution in comparison with alizarin and rhodamine 6G due to the major effect of the electrostatic interaction.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the Department of Chemistry, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung for providing materials, equipment and facilities. This work was supported by Thaksin University Research Fund, Thailand.

REFERENCES

- Ahmad, A., Mohd-Setapar, S.H., Chuong, C.S., Khatoon, A., Wani, W.A., Kumar, R. And Rafatullah, M. 2015. Recent advances in new generation dye removal technologies: novel search for approaches to reprocess wastewater. **RSC Advances** 5: 30801-30818.
- Demel, J., Hynek, J., Kovář, P., Dai, Y., Taviot-Guého, C., Demel, O., Pospíšil, M. and Lang, K. 2014. Insight into the structure of layered zinc hydroxide salts intercalated with dodecyl sulfate anions. **The Journal of Physical Chemistry C** 118: 27131-27141.
- Gamoudi, S. and Srasra, E. 2019. Adsorption of organic dyes by HDPy⁺-modified clay: Effect of molecular structure on the adsorption. **Journal of Molecular Structure** 1193(5): 522-531.
- Kausar, A., Iqbal, M., Javed, A., Aftab, K., Nazli, Z.I.H., Bhatti, H.N. and Nouren, S. 2018. Dyes adsorption using clay and modified clay: A review. **Journal of Molecular Liquids** 256: 395-407.
- Khaorapapong, N., Pimchan, P. and Ogawa, M. 2011. Formation of mixed-ligand zinc(II) complex-montmorillonite hybrids by solid-solid reactions. **Dalton Transactions** 40(22): 5964-5970.
- Kong, Y., Huang, Y., Meng, C. and Zhang, Z. 2018. Sodium dodecylsulfate-layered double hydroxide and its use in the adsorption of 17 β -estradiol in wastewater. **RSC Advances** 8: 31440-31454.
- Liu, Z., Ma, R., Osada, M., Iyi, N., Ebina, Y., Takada, K. and Sasaki, T. 2006. Synthesis, anion exchange, and delamination of Co-Al layered double hydroxide: Assembly of the exfoliated nanosheet/polyanion composite films and magneto-optical studies. **Journal of the American Chemical Society** 128: 4872-4880.
- Ogawa, M. and Hiramane, M. 2014. Direct correlation between nanostructure and particle morphology during intercalation. **Crystal Growth & Design** 14: 1516-1519.
- Okada, T., Seki, Y. and Ogawa, M. 2014. Designed nanostructures of clay for controlled adsorption of organic compounds. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology** 14(3): 2121-2134.
- Sun, Y., Zhou, J., Cai, W., Zhao, R. and Yuan, J. 2015. Hierarchically porous NiAl-LDH nanoparticles as highly efficient adsorbent for p-nitrophenol from water. **Applied Surface Science** 349: 897-903.
- Wang, Q. and O'Hare, D. 2012. Recent advances in the synthesis and application of layered double hydroxide (LDH) nanosheets. **Chemical Reviews** 112: 4124-4155.
- Yang, Z.Z., Wei, J.J., Zeng, G.M., Zhang, H.Q., Tan, X.F., Ma, C., Li, X.C., Li, Z.H. and Zhang, C. 2019. A review on strategies to LDH-based materials to improve adsorption capacity and photoreduction efficiency for CO₂. **Coordination Chemistry Reviews** 386: 154-182.
- Zhang, C., Yang, S., Chen, H., He, H. and Sun, C. 2014. Adsorption behavior and mechanism of reactive brilliant red X-3B in aqueous solution over three kinds of hydrotalcite-like LDHs. **Applied Surface Science** 301: 329-337.

คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องพื้นเมืองตรัง

Nutritional Values of Trang Indigenous Brown Rice

สุภามิต ชูกลิ้น * ธีระพงศ์ หมวดศรี และ ผกามาศ ปุรินทรภิบาล

Supasit Chooklin * Teerapong Muadsri and Pakamat Purintrapibal

Received: 17 February 2019, Revised: 22 May 2019, Accepted: 6 September 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องพื้นเมืองจังหวัดตรังเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้าวกล้องพื้นเมืองในจังหวัดตรังประกอบด้วย 7 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเบายอดม่วง ข้าวลูกปลา ข้าวช่อมุด ข้าววงช้าง ข้าวหอยสังข์ ข้าวนางขวิด และข้าวนางเอก ผลการวิเคราะห์ พบว่า ข้าวกล้องแต่ละพันธุ์มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกันโดยองค์ประกอบหลักของข้าวทั้ง 7 สายพันธุ์ คือ ค่าสี L* (ความสว่าง) อยู่ระหว่าง 60.81-66.08 ค่า a* (สีแดง) อยู่ระหว่าง 4.78-6.19 และค่า b* (สีเหลือง) อยู่ระหว่าง 19.45-24.78 และองค์ประกอบเคมี เช่น เถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่างร้อยละ 1.25-1.75, 1.63-2.41, 8.60-11.83, 6.38-8.79 และ 75.42-79.88 ตามลำดับ ส่วนปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องพื้นเมืองทั้ง 7 สายพันธุ์ มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 16.53-66.67 และ 0.85-2.45 mg Ferulic Acid/g DW ตามลำดับซึ่งข้าวกล้องพันธุ์เบายอดม่วงมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด ดังนั้นข้าวกล้องพันธุ์เบายอดม่วงเหมาะที่จะนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพต่อไป

คำสำคัญ: คุณค่าทางโภชนาการ, ข้าวกล้องพื้นเมือง, อาหารสุขภาพ

ABSTRACT

This research aimed to evaluate physical properties, chemical properties, total phenolic content and anti-oxidant activity of indigenous brown rice in Trang province as a guideline for the development of healthy food products. Seven brown rice varieties in Trang province, which were Baoyodmong, Chomud, Huangchang, Hoysang, Nangkweit and Nangaek, were used in this research. The results indicated that each brown rice variety has different physical and chemical properties. The physical properties show color value of seven brown rice varieties as followings: L*(brightness) is between 60.81-66.08, a*(red) is between 4.78-6.19 and b*(yellow) is between 19.45-24.78. The proximate analysis such as ash, fat, moisture, protein and carbohydrate is between 1.25-1.75, 1.63-2.41, 8.60-11.83, 6.38-8.79 and 75.42-79.88, respectively. Moreover, antioxidant activity and total phenolic content of these brown rice varieties are 16.53-66.67 and 0.85-2.45 mg ferulic acid/g dry weight, respectively. Baoyodmong has the highest antioxidant activity and total phenolic content. Therefore, this brown rice variety is suitable to develop for healthy food products in the future.

Key words: nutritional values, indigenous brown rice, healthy food

บทนำ

ข้าวถือเป็นอาหารหลักในการดำรงชีวิตของคนไทยและคนในแถบเอเชียโดยข้าวจัดเป็นพืชที่มีความหลากหลายในด้านพันธุ์และมีเอกลักษณ์เฉพาะที่โดดเด่นตามสภาพภูมิประเทศที่เพาะปลูกและเป็นแหล่งรวมของคุณค่าทางอาหารหลายๆ อย่าง เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามิน โยอาหาร แร่ธาตุ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง รวมไปถึงสารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ เช่น สารกลุ่มฟีนอลิก ปริมาณสารอาหารเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และการจัดสีข้าว (ปิ่นธิดา และคณะ, 2560) ข้าวพันธุ์พื้นเมืองเป็นพันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกกันมาแต่ดั้งเดิมและนิยมบริโภคหรือใช้ประโยชน์ในท้องถิ่นเท่านั้น เนื่องจากมักมีข้อจำกัดในด้านผลผลิตที่ต่ำทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้พันธุ์ข้าวใหม่ๆ ที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวพื้นเมืองภาคใต้ (ข้าวสังข์หยด เล็บนก เขียว ทับทิมชุมแพ กระดังงา ฯลฯ) ปลูก

ประมาณ 500,000-600,000 ไร่/ปี และมีผลผลิตมากกว่า 300,000-400,000 ตัน/ปี ทำให้ชาวนามีรายได้ประมาณ 100,000 บาท/ไร่/ปี (อัสวิน, 2561) อย่างไรก็ตามข้าวพันธุ์พื้นเมืองมีลักษณะเด่นบางประการ เช่น คุณภาพ การหุงต้มและรับประทาน ความหอม และความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมจึงมีความจำเป็นต้องอนุรักษ์พันธุ์ข้าวเหล่านี้ไว้ไม่ให้สูญพันธุ์และสามารถจะนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยพัฒนาพันธุ์ทั้งในปัจจุบันและอนาคต ปัจจุบันนี้ข้าวพันธุ์พื้นเมืองกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในแง่ของการนำมาใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เกษตรกรรม เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรม การแปรรูปซึ่งเป็นแนวทางที่จะช่วยเพิ่มมูลค่าข้าวและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร ข้าวพื้นเมืองไทยแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันทั้งในลักษณะทางสัณฐานวิทยา ลักษณะทางการเกษตร และองค์ประกอบทางโภชนาการ เป็นที่ทราบกันดีว่าสีของข้าวกล้องมีความสัมพันธ์กับคุณค่าทางโภชนาการ โดยพันธุ์ข้าว

ที่ข้าวกล้องมีสีเข้มมักจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าพันธุ์ที่มีข้าวกล้องสีขาว (สมทรง และคณะ, มปป.)

จังหวัดตรังตั้งอยู่ทางภาคใต้ฝั่งตะวันตกมีพื้นที่เหมาะสมกับการปลูกข้าวที่ลุ่มแม่น้ำตรัง ลุ่มแม่น้ำปะเหลียนและลุ่มแม่น้ำคลองนางน้อยซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาของแม่น้ำตรัง ในอดีตมีการทำนาในทุกสภาพพื้นที่จากภูเขาสู่ทะเล เนื่องจากคนตรังได้รับบทเรียนทางธรรมชาติภัยแล้ง น้ำท่วมผลผลิตข้าวเสียหายต่อเนื่องกันหลายปีทำให้เกิดภาวะอดอยากหลายครั้งจึงมีความตระหนักในเรื่องความมั่นคงทางอาหารเป็นสำคัญ ในสภาพภูมิศาสตร์การทำนาที่แตกต่างกัน ตั้งแต่บนภูเขา ที่ราบระหว่างหุบเขา ที่ราบบนควน ที่ราบลุ่มแม่น้ำ ที่ราบชายทะเล รวมถึงบนเกาะทำให้จังหวัดตรังในอดีตมีพันธุ์ข้าวพื้นเมืองหลากหลายสายพันธุ์กระจายอยู่เต็มพื้นที่ สายพันธุ์ข้าวตรังที่มีศักยภาพในการพัฒนาและเป็นข้าวประจำจังหวัดตรัง ได้แก่ ข้าวเบายอดม่วง ข้าวลูกปลา ข้าวหอมุด ข้าววงช้าง ข้าวหอยสังข์ ข้าวขาวรวงยาว ข้าวนางขวิด ข้าวนางเอกและข้าวเบาจี๊ควาย (สำราญ, 2560) แต่ในส่วนคุณค่าทางโภชนาการในพันธุ์ข้าวเหล่านี้ก็ยังไม่มีการศึกษา มีเพียงข้อมูลจากคำบอกเล่ามาจากอดีตเท่านั้น ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดในการบริโภคอาหารอย่างสมดุล อย่างไรก็ตามคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดข้าวหรือปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาพการปลูก การเก็บเกี่ยวและกระบวนการแปรรูปจากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง ข้าวสาร การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (Proximate analysis) เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีหรือสารอาหารหลักที่มีในข้าว คือ โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร เกลือและคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก องค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลต่อ

คุณภาพของข้าวทั้งในลักษณะข้าวเปลือก ข้าวสาร และข้าวกล้อง โดยมีคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีสตาร์ชเป็นหลักในสัดส่วนต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของข้าวทำให้ข้าวมีลักษณะในการหุงต้มและคุณภาพในการกินต่างกันไป ตลอดจนมีผลต่อคุณค่าทางอาหารเนื่องจากเป็นแหล่งสะสมพลังงานสำหรับโปรตีนในข้าวยังนับว่าเป็นแหล่งอาหารโปรตีนหลักซึ่งจะช่วยในการเจริญเติบโตสำหรับผู้บริโภคในประเทศที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ส่วนไขมันในข้าวจะอยู่ในกลุ่มไขมันที่มีรูปร่างหยดกลมโดยอยู่ร่วมกับเมล็ดสตาร์ชและโปรตีนในชั้นแอลิวโรนและคัพจะจะมีผลในการเสื่อมเสียขณะเก็บรักษาเมล็ด รวมทั้งเมล็ดที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ และน้ำหรือความชื้นมีผลต่อคุณภาพข้าวในการเก็บรักษา (เชาวนิพร และคณะ, 2560) นอกจากสารอาหารหลักนี้แล้วยังมีข้อมูลว่าข้าวพื้นเมืองเป็นแหล่งหนึ่งของธาตุอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ กรดฟีนอลิก และสารฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่กำลังเป็นกระแสของผู้บริโภคในปัจจุบัน (ปิ่นธิดา และคณะ, 2560)

ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการในเบื้องต้น ได้แก่ การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น เกลือ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน แร่ธาตุ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของข้าวพันธุ์พื้นเมืองตรังเพื่อเป็นข้อมูลทางวิชาการเพิ่มเติมให้แก่ข้าวสายพันธุ์เหล่านี้ในการนำไปพิจารณาส่งเสริมการปลูกเกษตรกรรมและการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างข้าว

นำตัวอย่างข้าวเปลือกของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองตรัง ด.นาข้าวเสียว อ.นาโยง จ.ตรัง มาแปรสภาพเป็นข้าวกล้องด้วยเครื่องสีข้าว (ตารางที่ 1) จากนั้นนำข้าว

กล้องที่ได้ไปบรรจุในถุงพลาสติกชนิดอะลูมิเนียม
ฟอยล์ ปิดผนึกให้เรียบร้อยแล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่
อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนดำเนินการวิเคราะห์

คุณค่าทางโภชนาการและกิจกรรมการต้าน
ออกซิเดชัน

ตารางที่ 1 ข้าวพื้นเมืองตรัง

ลำดับ	ชื่อพันธุ์	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง
1	เบายอดม่วง		
2	นางขวิด		
3	ซ่อมุด		
4	ลูกปลา		
5	หอยสังข์		
6	วงช้าง		
7	นางเอก		

2. วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง พื้นเมือง

นำตัวอย่างข้าวเปลือกของพันธุ์ข้าวพื้นเมือง
ตรังจากข้อ 1 มาแปรรูปเป็นข้าวกล้องด้วยเครื่องสี
ข้าว จากนั้นนำข้าวกล้องที่ได้ไปวิเคราะห์คุณค่าทาง
โภชนาการดังนี้

2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐาน
โดยวิธี AOAC (2000) ดังนี้

- ความชื้นด้วยการอบแห้งตัวอย่างข้าว 4 กรัม ใน
ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ตามวิธีการที่
อธิบายใน AOAC (2000) method No. 44-15 A.

- โปรตีนด้วยการคำนวณปริมาณ
ไนโตรเจนในข้าวด้วย Kjeldahl's method ตามวิธีการ
ที่อธิบาย
ใน AOAC (2000) method No. 46-10. ร้อยละของ
โปรตีนถูกคำนวณโดยการคูณด้วยไนโตรเจนแฟก
เตอร์ด้วย 5.95

- ไขมันด้วยการใช้ปิโตรเลียม อีเทอร์
เป็นตัวทำละลายใน Soxhlet apparatus ตามวิธีการที่
อธิบาย
ใน AOAC (2000) method No. 30-10.35

- เถ้าด้วยการเผาตัวอย่างข้าวเตาเผาอุณหภูมิ 550 ± 5 °C จนเหลือเป็นสีเทาขาว ตามวิธีการที่อธิบาย

ใน AOAC (2000) method No. 08-01

- คาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการที่รายงานโดย Onyeike *et al.* (1995) โดยวิธีการนี้จะนำผลรวมของปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน ของตัวอย่างข้าวที่วิเคราะห์ได้และลบออกจาก 100 ค่าที่ได้คือร้อยละของคาร์โบไฮเดรตในตัวอย่าง

2.2 วิเคราะห์ปริมาณ Vitamin A, Vitamin B₁, Vitamin B₂ และ Vitamin E โดยวิธี AOAC (2000)

2.3 วิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุ ประกอบด้วย Calcium (Ca), Sodium (Na) และ Iron (Fe) โดยวิธี In house method based on AOAC (2000) by Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES)

3. วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันของข้าวกล้องพื้นเมือง

นำข้าวกล้องข้าวพื้นเมือง เช่นเดียวกับข้อ 2 ไปบดให้เป็นผงโดยใช้เครื่องบดชนิดไม่แห้งแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนแบ่งขนาด 0.25 mm นำแบ่งที่ได้ไปสกัดสารต้านออกซิเดชันโดยใช้เอทานอล 60% v/v (Chooklin, 2013) แล้วนำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระดังนี้

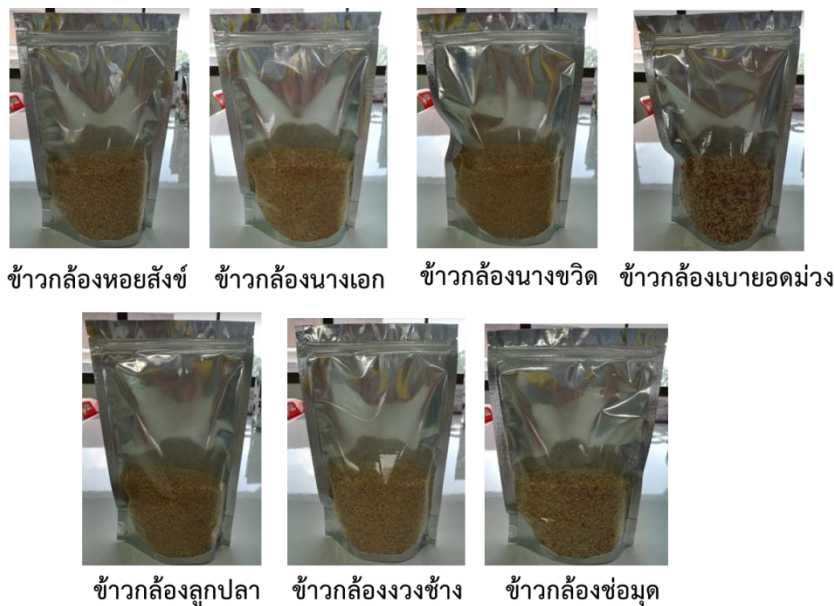
3.1 การตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ตามวิธีของ Singleton *et al.* (1999)

3.2 การวิเคราะห์กิจกรรมการจับกับอนุมูลอิสระ (Radical scavenging activity) โดยใช้ DPPH test และรายงานผลในรูปของ Scavenging ability (%) ตามวิธีของ Brand-Williams *et al.* (1995)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ

การศึกษาคูณลักษณะทางกายภาพของข้าวกล้องพื้นเมืองตรัง (ภาพที่ 1) พบว่า ตัวอย่างข้าวกล้องพื้นเมืองตรังมีค่าสี L* (ความสว่าง) อยู่ระหว่าง 60.81-66.08 ค่า a* (สีแดง) อยู่ระหว่าง 4.78-6.19 และค่า b* (สีเหลือง) อยู่ระหว่าง 19.45-24.78 (ตารางที่ 2) โดยข้าวกล้องงวงช้างมีค่าความสว่างสูงสุด ข้าวกล้องนางขวิดและข้าวกล้องเบายอดม่วงมีความเป็นสีแดงสูงสุด ข้าวกล้องนางขวิดมีความเป็นเหลืองสูงสุด นิพัทธา และ วรวิทย์ (2553) พบว่า ข้าวกล้องมีค่าสี L*, a* และ b* เฉลี่ยเท่ากับ 86.63, 1.17 และ 12.42 ตามลำดับ ส่วนข้าวขาวมีค่าสี L*, a* และ b* เฉลี่ยเท่ากับ 94.00, -0.11 และ 5.90 ตามลำดับ โดยสายพันธุ์ ชนิดและปริมาณของรงควัตถุที่มีอยู่ในบริเวณเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของข้าว (สัญญา, 2552)



ภาพที่ 1 ข้าวกล้องพื้นเมืองตรัง

ตารางที่ 2 ค่าสีของข้าวกล้องพื้นเมือง

พันธุ์ข้าวพื้นเมือง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
งวงช้าง	66.08±0.13 ^a	4.78±0.07 ^c	22.29±0.24 ^c
เบายอดม่วง	60.81±0.43 ^f	6.03±0.10 ^a	19.45±0.07 ^c
หอมสังข์	64.41±0.15 ^d	4.90±0.30 ^c	22.42±0.50 ^c
นางขวิด	61.01±0.29 ^f	6.19±0.09 ^a	24.78±0.47 ^a
ซ่อมุด	65.57±0.08 ^b	4.53±0.02 ^d	21.30±0.01 ^d
นางเอก	61.81±0.13 ^c	5.43±0.05 ^b	22.96±0.06 ^b
ลูกปลา	64.89±0.06 ^c	5.31±0.03 ^b	22.23±0.02 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

2. ผลการศึกษาคุณลักษณะทางเคมี

การศึกษาคูณลักษณะทางเคมีของข้าวกล้องพื้นเมืองตรัง พบว่า ตัวอย่างข้าวกล้องพื้นเมืองตรังมีค่าองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย เถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่างร้อยละ 1.25-1.75, 1.63-2.41, 8.60-11.83, 6.38-8.79 และ 75.42-79.88 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) Juliano (1993) วิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้อง

พบว่า ปริมาณร้อยละเถ้า ไขมัน โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 1.0-1.5, 1.6-2.8, 7.1-8.3 และ 73-87 ตามลำดับ Zubair *et al.* (2015) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสายพันธุ์ miniket ในบังกลาเทศ พบว่า ปริมาณร้อยละเถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 1.23, 1.82, 13.03, 7.28 และ 75.86 ตามลำดับ Verma and Srivastav (2017) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ

ข้าวกล้องสายพันธุ์ที่มีกลิ่นหอมและไม่มีความมันในอินเดีย พบว่า ปริมาณร้อยละ ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 0.35-0.73, 0.06-0.92, 8.90-13.57, 6.87-9.53 และ 75.87-82.70 Abubakar *et al.* (2018) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องสายพันธุ์มาเลเซีย พบว่า ปริมาณร้อยละ ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 0.39-1.83, 3.45-8.90, 10.57-12.89, 7.83-11.00 และ 67.48-77.51 ตามลำดับ เชาวนิพร และคณะ (2560) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องพันธุ์พื้นเมือง จังหวัดพัทลุง พบว่า ปริมาณร้อยละ ไขมัน ความชื้น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 1.41, 1.76, 12.47, 7.56 และ 76.81 ตามลำดับ

2.1 ปริมาณเถ้า

ข้าวกล้องหอยสังข์มีปริมาณเถ้าต่ำสุด (ร้อยละ 1.25) ส่วนข้าวกล้องเบายอดม่วงมีปริมาณเถ้าสูงสุด (ร้อยละ 1.75) โดยปริมาณเถ้าของข้าวสามารถใช้เป็นเครื่องชี้คุณภาพของข้าวได้เนื่องจากปริมาณเถ้า คือ สารประกอบอนินทรีย์ที่เหลืออยู่หลังจากที่เผาให้สารประกอบอินทรีย์สลายไปหมดแล้ว ซึ่งอาจจะบ่งชี้ได้ว่ามีแร่ธาตุในข้าวมากน้อยเท่าไร โดย Julianio (1993) ได้รายงานไว้ว่า ปริมาณเถ้าของข้าวกล้องโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงร้อยละ 1.0-1.5 และปริมาณเถ้าของข้าวกล้องพื้นเมืองตรงที่ทำการวิเคราะห์มีความแตกต่างกัน

2.2 ปริมาณไขมัน

ข้าวกล้องหอยสังข์มีปริมาณไขมันต่ำสุด (ร้อยละ 1.63) ส่วนข้าวกล้องเบายอดม่วงมีปริมาณไขมันสูงสุด (ร้อยละ 2.41) โดยไขมันที่อยู่ในข้าวส่วนใหญ่ คือ กลุ่มของไตรกลีเซอไรด์ฟอสโฟลิพิด ไกลโคลิพิดและเทอร์ปีนอยด์จัดเป็นไขมันที่มีคุณภาพดีเนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง (Linoleic acid และ Oleic acid) มีสารแกมมาโอโรซา

นอล (Gamma Oryzanol) ช่วยในการควบคุมระดับโคเลสเตอรอลในเส้นเลือด ช่วยในการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์ เด็กแรกเกิดและเด็กเล็กปริมาณไขมันในข้าวมีรายงาน พบว่า จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 0.2-2.0 ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพการปลูก (เชาวนิพร และคณะ, 2560) โดยปริมาณไขมันในข้าวพันธุ์พื้นเมืองตรงมีค่าอยู่ในระดับมาตรฐานของปริมาณไขมันในข้าวโดยทั่วไป

2.3 ปริมาณความชื้น

ข้าวกล้องนางเอกมีปริมาณความชื้นต่ำสุด (ร้อยละ 8.60) ส่วนข้าวกล้องเบายอดม่วงมีปริมาณความชื้นสูงสุด (ร้อยละ 11.97) โดยปริมาณความชื้นของข้าวนั้นเป็นผลมาจากสภาพการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยวผลผลิต ความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าว ข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมคุณภาพได้เร็วขึ้นและทำให้ปริมาณสารอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ถ้ามหาข้าวที่เก็บเกี่ยวมีความชื้นน้อยจะมีผลให้การเก็บรักษามีระยะเวลาเพิ่มขึ้นและลดการเสื่อมคุณภาพได้ (อรอนงค์, 2547) ระดับความชื้นของข้าวที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษาข้าวที่เหมาะสมคือร้อยละ 13 ซึ่งจะเก็บได้ศักยภาพใน 6 เดือน ปริมาณความชื้นของข้าวกล้องพื้นเมืองตรงที่ทำการวิเคราะห์มีความแตกต่างกัน

2.4 ปริมาณโปรตีน

ข้าวกล้องหอยสังข์มีปริมาณโปรตีนต่ำสุด (ร้อยละ 6.38) ส่วนข้าวกล้องนางเอกมีปริมาณโปรตีนสูงสุด (ร้อยละ 8.79) และไม่แตกต่างข้าวกล้องเบายอดม่วงและข้าวกล้องนางขวิด (ร้อยละ 8.45 และ 8.43) โปรตีนเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในข้าว รองลงมาจากคาร์โบไฮเดรต โดยในข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันไปโดยสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกเป็นปัจจัยสำคัญต่อปริมาณโปรตีนในข้าว เช่น การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระยะต่างๆ ขณะที่ข้าวเจริญเติบโตมีผล

ต่อการสร้างโปรตีนในเมล็ดข้าวโดยเฉพาะในขณะที่ข้าวกำลังออกดอกจะเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวได้ นอกจากนี้ระยะการปลูกที่สั้น สภาพอากาศที่มีเมฆปกคลุมมากในขณะที่สร้างเมล็ด เช่น ฤดูฝน จะมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวสูงขึ้น สภาพแวดล้อมที่ผิดปกติบางช่วง เช่น มีเกลือหรือเบสในดินสูง อุณหภูมิสูงหรือต่ำมากจะทำให้เมล็ดข้าวมีโปรตีนสูงขึ้นได้ (Juliano, 1993) ซึ่งโปรตีนจะเกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของเมล็ด และจะมีมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดและเนื้อเมล็ดด้านนอกมากกว่าใจกลางเมล็ด โดยในข้าวจะมีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 7.1-8.3 (อรอนงค์, 2547) จากการศึกษาปริมาณโปรตีนในข้าวพันธุ์พื้นเมืองตรงพบว่า โดยส่วนใหญ่มีปริมาณโปรตีนที่ค่อนข้างสูงซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าร้อยละ 7.1 คือ ข้าวกล้องนางเอก ข้าวกล้องเบายอดม่วง ข้าวกล้องนางขวิดและข้าวกล้องหอมมุด

2.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

ข้าวกล้องเบายอดม่วงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำสุด (ร้อยละ 75.42) ส่วนข้าวกล้องลูกปลามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุด (ร้อยละ 79.88) โดยคาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างประมาณร้อยละ 75-80 ในรูปของแป้ง (starch) ที่เหลืออีกเล็กน้อยเป็นซูโครส (sucrose) และเด็คซ์ตริน (dextrin) คาร์โบไฮเดรตที่ได้จากข้าวนี้ร่างกายสามารถย่อยและนำไปใช้เป็นพลังงานได้เกือบทั้งหมด โดยในข้าวกล้องจะมีคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนแบบที่สมบูรณ์ซึ่งมีไฟเบอร์อยู่ครบถ้วนเพราะไม่ได้ผ่านขั้นตอนการขัดสีเมื่อเข้าไปในร่างกายไฟเบอร์ที่มีอยู่จะทำหน้าที่ขวางกั้นเอนไซม์ที่เข้ามาดูดกลูโคสเข้าไปในกระแสเลือดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อกลไกสร้างพลังงานในร่างกาย (เชาวนิพร และคณะ, 2560) และปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวพันธุ์พื้นเมืองตรงที่ทำการวิเคราะห์มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 3 คุณภาพทางเคมี

พันธุ์ข้าว พื้นเมือง	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)				
	เถ้า	ไขมัน	ความชื้น	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต
งวงช้าง	1.53±0.06 ^b	2.11±0.03 ^b	10.53±0.68 ^{abc}	6.49±0.02 ^d	79.34±0.56 ^b
เบายอดม่วง	1.75±0.05 ^a	2.41±0.10 ^a	11.97±1.03 ^a	8.45±0.1 ^{ab}	75.42±0.12 ^d
หอยสังข์	1.25±0.01 ^d	1.63±0.13 ^d	11.30±0.22 ^{ab}	6.38±0.05 ^d	79.44±0.09 ^b
นางขวิด	1.36±0.07 ^{cd}	1.67±0.06 ^d	11.83±0.31 ^a	8.43±0.01 ^{ab}	76.71±0.43 ^c
หอมมุด	1.63±0.13 ^{ab}	1.89±0.11 ^c	9.47±1.03 ^{cd}	8.09±0.10 ^b	78.92±0.11 ^{ab}
นางเอก	1.60±0.06 ^b	2.20±0.09 ^b	8.60±0.43 ^d	8.79±0.04 ^a	78.81±0.34 ^{ab}
ลูกปลา	1.49±0.08 ^{bc}	2.05±0.05 ^{bc}	9.87±0.58 ^{bcd}	6.71±0.09 ^c	79.88±0.21 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

2.6 ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุ

วิตามินบี 1 หรือไทอามีน (Thiamine) พบในปริมาณระหว่าง 0.56-0.65 mg/100 g ข้าวกล้องพันธุ์

ที่มีวิตามินบี 1 มากที่สุด ได้แก่ ข้าวกล้องหอมมุด (0.65 mg/100 g) และไม่แตกต่างข้าวกล้องเบายอดม่วงและข้าวกล้องงวงช้าง (ตารางที่ 4) วิตามินบี 1 เป็น

สารอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต ช่วยเสริมการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตเพื่อให้เกิดพลังงานและมีผลต่อการทำงานของระบบประสาท

วิตามินอี (Tocopherol) พบในปริมาณระหว่าง 0.02-0.22 mg/100 g ข้าวกล้องพันธุ์ที่มีปริมาณโทโคฟีรอล สูงสุด คือ ข้าวกล้องลูกปลา วิตามินอีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระช่วยไขกระดูกในการสร้างเลือด ด้านการแข็งตัวของเลือด ลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดสมองและหัวใจ ช่วยให้ระบบสืบพันธุ์ เซลล์ประสาทและกล้ามเนื้อทำงานได้ตามปกติ

แคลเซียม (Calcium) พบในปริมาณระหว่าง 0.025-0.062 mg/100 g ข้าวกล้องพันธุ์ที่มีแคลเซียม

มากที่สุด ได้แก่ ข้าวกล้องนางขวิด ธาตุแคลเซียมมีความสำคัญต่อการสร้างกระดูกและฟัน รักษากระบวนการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาท แคลเซียมยังจำเป็นต่อการแข็งตัวของเลือดเมื่อมีบาดแผล

เหล็ก พบในปริมาณระหว่าง 0.088-1.372 mg/100 g ข้าวกล้องพันธุ์ที่ให้ปริมาณเหล็กมากที่สุด ได้แก่ ข้าวกล้องนางขวิด ธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเม็ดเลือดแดง พันธุ์ข้าวที่มีธาตุเหล็กสูงจึงอาจช่วยลดการขาดธาตุเหล็กที่เป็นสาเหตุของโรคโลหิตจาง (Anemia) โดยเฉพาะในกลุ่มประชากรที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก (สมทรง และคณะ, มปป.)

ตารางที่ 4 ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุ

พันธุ์ข้าวพื้นเมือง	ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุ (mg/100g)			
	Vitamin B1	Vitamin E	Calcium	Iron
งวงช้าง	0.63±0.01 ^{ab}	0.15±0.01 ^b	0.025±0.001 ^c	0.649±0.001 ^f
เบายอดม่วง	0.63±0.02 ^{ab}	0.11±0.01 ^c	0.032±0.001 ^b	0.955±0.001 ^c
หอยสังข์	0.60±0.01 ^{cd}	0.14±0.01 ^b	0.032±0.001 ^b	0.842±0.002 ^c
นางขวิด	0.62±0.01 ^{bc}	0.04±0.01 ^d	0.062±0.001 ^a	1.372±0.001 ^a
ช่อมุด	0.65±0.01 ^a	0.02±0.01 ^c	0.031±0.001 ^b	1.104±0.01 ^b
นางเอก	0.58±0.01 ^{de}	0.03±0.01 ^{de}	0.029±0.001 ^c	0.088±0.001 ^g
ลูกปลา	0.56±0.01 ^e	0.22±0.01 ^a	0.027±0.001 ^d	0.893±0.001 ^d

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนก็แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

3. ผลการศึกษาการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

การศึกษาการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวกล้องพื้นเมืองครึ่ง พบว่าตัวอย่างข้าวกล้องพื้นเมืองครึ่งมีค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับร้อยละ

16.53-66.67 และ 0.85-2.45 mg Ferulic Acid /g DW ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ซึ่งข้าวกล้องพันธุ์เบายอดม่วงมีปริมาณฟีนอลิกและค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด สารฟีนอลิกสำคัญที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อหุ้มสีน้ำตาลเมล็ดข้าว คือ กรดเฟอรูลิก ส่วนสารฟีนอลิกสำคัญที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อหุ้มสีแดงและดำ คือ แอนโทไซยานิน โดย

ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีความแตกต่างกันตามสายพันธุ์และสีเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (Walter and Marchesan, 2011) อาจจะเนื่องมาจากเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวสายพันธุ์นี้มีสีม่วงแดงสอดคล้องกับค่าสี (a^* และ b^*) ที่สูงในตารางที่ 2 ซึ่งสีของเปลือกหุ้มเมล็ดดังกล่าวอาจจะมีสารแอนโทไซยานินหรือสารฟลาโวนอยด์อื่นๆ เป็นองค์ประกอบทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ ที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีขาว ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ ดวงพร (2559) ศึกษาความหลากหลายของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

และอาหารสุขภาพของจังหวัดยะลา พบว่าปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมดของข้าวพื้นเมืองทั้ง 6 สายพันธุ์ มีค่าตั้งแต่ 11.39-112.24 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งข้าวเหลืองนาขวัญและข้าวเมล็ดมะเขือมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ เนื่องมาจากเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวทั้งสองสายพันธุ์มีสีแดง Sawaddiwong *et al.* (2008) พบว่า ข้าวสังข์หยดพัทลุงซึ่งเป็นข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านออกซิเดชันสูงกว่าข้าวเหนียวพัทลุงและเล็บนกปัตตานี ซึ่งเป็นข้าวที่มีสีขาวตามลำดับ

ตารางที่ 5 ค่าการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

พันธุ์ข้าวพื้นเมือง	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละ)	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg Ferulic Acid /g DW)
งวงช้าง	19.40±0.84 ^d	0.85±0.11 ^d
เบายอดม่วง	66.67±1.18 ^a	2.45±0.11 ^a
หอยสังข์	19.98±0.31 ^{cd}	1.11±0.14 ^{cd}
นางขวิด	21.02±0.20 ^c	1.07±0.04 ^{cd}
ซ่อมุด	23.77±0.99 ^b	2.09±0.13 ^b
นางเอก	24.74±0.93 ^b	1.91±0.11 ^b
ลูกปลา	16.53±0.67 ^c	1.50±0.10 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สรุป

งานวิจัยนี้ พบว่า ข้าวกล้องแต่ละพันธุ์มีสมบัติทางกายภาพ (ค่าสี) และทางเคมี (ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า วิตามิน แร่ธาตุและคาร์โบไฮเดรต) ที่แตกต่างกันขึ้นกับสายพันธุ์ ชนิด พื้นที่และการเพาะปลูก โดยข้าวกล้องพันธุ์เบายอดม่วงมีปริมาณฟีนอลิกและค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดทำให้มีประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคในการป้องกันโรคเมเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคเบาหวาน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปใช้

เป็นข้อมูลพื้นฐานด้านโภชนาการในการเลือกบริโภคข้าวและการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากข้าวโดยข้าวกล้องเบายอดม่วงเหมาะสมที่จะนำไปบริโภคหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินการวิจัย จังหวัดตรังที่ให้ทุนสนับสนุนในการ

วิจัยและ รศ.ดร.ศุภศิลป์ มณีรัตน์ ที่ได้ตรวจสอบและให้คำแนะนำในการแก้ไขบทความงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

ดวงพร ภูษะภา. 2559. ความหลากหลายของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และอาหารสุขภาพของจังหวัดฉะเชิงเทรา. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 44(3): 566-578.

เชาวนิพร จีประเสริฐ, ฤทัยทิพย์ อโนมุณี และ หาสันต์ สาเหล็ม. 2560. องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณอะไมโลสในข้าวพันธุ์พื้นเมือง จังหวัดพัทลุง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 7(2): 84-97.

นิพัทธา ชาศิตสุวรรณ และ วรวิทย์ อารีกุล. 2553. พารามิเตอร์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ, น. 252-260. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปิ่นธิดา ณ ไธสง, สุวิมล กะตาคู, จิตรัตน์ โตกมลธรรม และ ณัฐนิชา ทวีสง. 2560. การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวพื้นเมืองในหมู่บ้านทิพเย อำเภอกองคา จังหวัดกาญจนบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 25(5): 805-812.

สมทรง โชติชื่น, อัจฉราพร ณ ลำปาง, สกุล มุลคำ, จริญญา เฟื่องรัตน์, นิธิศ แสงอรุณ และ สำเริง แซ่ตัน. มปป. คุณค่าทางโภชนาการของข้าวพื้นเมืองไทยบางพันธุ์. กองวิจัยและพัฒนาข้าว, กรมการข้าว. แหล่งที่มา:

<http://WWW.Dspace.tarr.arda.or.th>, 25 มิถุนายน 2563.

สัญญาชัย ขอดมณี. 2552. คุณภาพของข้าวพื้นเมืองมีสีภาคใต้ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำราญ สมาน. 2560. ข้าวตรัง. ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอส.ออฟเซ็ท กราฟฟิค ดีไซน์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อัสวิน ภักฆวรรณ. 2561. ข้าวพื้นเมืองภาคใต้. เทคโนโลยีการเกษตร. แหล่งที่มา: <http://WWW.technologychaoban.com>, 19 มิถุนายน 2562.

Abubakar, B., Yakasai, H.M., Zawawi, N. and Ismail, M. 2018. Composition analyses of white, brown and germinated forms of popular Malaysian rice to offer insight into the growing diet-related diseases. **Journal of Food and Drug Analysis** 26: 706-715.

AOAC. 2000. **Official methods of analysis. Association of official analytical chemist (17th ed).** Gaithersburg, Maryland, U.S.A.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food Science and Technology** 28(1): 25-30.

Chooklin, S. 2013. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from brown rice and their antioxidant activities. **Kasetsart Journal-Natural Science** 47(6): 864-873.

- Juliano, B.O. 1993. **Rice in human nutrition.** The Collaboration of the International Rice Research Institute Publications, Rome.
- Onyeike, E.N., Olungwe, T. and Uwakwe, A.A. 1995. Effect of heat treatment and defatting on the proximate composition of some Nigerian local soup thickeners. **Food Chemistry** 53: 173-175.
- Sawaddiwong, S., Jongjareonrak, A. and Benjakul, S. 2008. Phenolic content and antioxidant activity of germinated brown rice as affected by germination temperature and extraction solvent. **KMITL Science Journal** 8(2): 45-49.
- Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventos, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. **Method in Enzymology** 299: 152-178.
- Verma, D.K. and Srivastav, P.P. 2017. Proximate composition, mineral content and fatty acids analyses of aromatic and non-aromatic indian rice. **Rice Science** 24(1): 21-31.
- Walter, M and Marchesan, E. 2011. Phenolic compound and antioxidant activity of rice. **Brazilian Archives of Biology and Technology** 54(1): 371-377.
- Zubair, M.A., Rahman, M.S., Islam, M.S., Abedin, M.Z. and Sikder, M.A. 2015. A comparative study of the proximate composition of selected rice varieties in Tangail, Bangladesh. **Journal Enviromental Science and Natural Resources** 8(2): 97-102.

การจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกก แบบมีส่วนร่วมของชุมชนท่าข้าม ในเขตเทศบาลตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา

Municipal Solid Waste Management on Koh Nok

by People's Participation of Tha Kham Sub-district Municipality, Bang Pakong District, Chachoengsao Province

จงกร มหาดเล็ก^{1*} และ ปิยะวดี กิ่งมาลา²

Jongporn Mahadlek^{1*} and Piyawadee Kingmala²

Received: 6 March 2019, Revised: 9 September 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สำรวจสภาพพื้นที่ทั่วไปของเกาะนกกและชุมชนโดยรอบ รวบรวมความคิดเห็นของชุมชนในพื้นที่รอบเกาะนกกต่อปัญหาขยะมูลฝอยและการจัดการขยะที่เกิดขึ้น 2) ให้ความรู้กับชุมชนในการดูแลจัดการขยะมูลฝอย และสร้างเครือข่ายชุมชนที่มีศักยภาพในการดูแลสิ่งแวดล้อมบริเวณเกาะนกกและชุมชนโดยรอบ และ 3) ส่งเสริมและประสานความร่วมมือระหว่างเครือข่ายชุมชน ชุมชนและหน่วยงานรัฐในการร่วมทำกิจกรรมระดับพื้นที่ กลุ่มตัวอย่างคือ ประชาชนหมู่ที่ 1 จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ แบบสอบถามการมีส่วนร่วมของประชาชนต่อการจัดการขยะมูลฝอยฯ แบบทดสอบวัดเจตคติต่อการจัดการขยะฯ แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เข้าอบรมฯ วิเคราะห์ข้อมูล โดยหาค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ค่าความถี่ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) สภาพพื้นที่เกาะนกก เป็นเกาะธรรมชาติเกิดจากการทับถมของตะกอนดินสิ่งมีชีวิตได้พัฒนาเป็นระบบนิเวศป่าชายเลนที่ค่อนข้างสมบูรณ์ พืชส่วนใหญ่เป็นต้นโกงกาง ต้นแสมและต้นจาก ด้านทิศใต้เกาะถูกกั้นด้วยพื้นที่ที่มีขยะมูลฝอยสะสมค่อนข้างมากจากการพัดมาด้วยน้ำ พื้นที่ชุมชนใกล้เคียงเกาะนกกคือหมู่ที่ 1 บ้านเรือนส่วนใหญ่อยู่กระจ่ายกันหนาแน่นบางพื้นที่ สภาพปัญหาขยะมูลฝอยมีน้อย ความคิดเห็น

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

¹ Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Rajanagarindra University, Muang, Chachoengsao 24000, Thailand.

² สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

² Department of Mathematics and Applied Statistics, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Rajanagarindra University, Muang, Chachoengsao 24000, Thailand.

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

ของชุมชนรอบเกาะนกกต่อปัญหาขยะมูลฝอยฯ สรุปว่า ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดขยะมูลฝอยคือ การพัดพาขยะมาทับกระแสน้ำแล้วตกสะสม ผลการวัดเจตคติที่มีต่อการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกกและในชุมชนพบว่า อยู่ในระดับดี ผลการประเมินการมีส่วนร่วมอยู่ในระดับปานกลาง 2) ความคิดเห็นผู้เข้าอบรมฯ ภาพรวมอยู่ในระดับมาก การสร้างเครือข่ายชุมชนฯ มีสมาชิก 30 คน ร่วมกันเก็บขยะบนเกาะนกกและในชุมชน 3) ผลการส่งเสริม ประสานความร่วมมือระหว่างเครือข่ายชุมชน ชุมชนและหน่วยงานรัฐ พบว่า เทศบาลให้ความร่วมมือ สนับสนุนกิจกรรมกลุ่มเครือข่ายชุมชนฯ และเชิญชวนร่วมกิจกรรมด้านขยะมูลฝอย

คำสำคัญ: การจัดการขยะมูลฝอย, แบบมีส่วนร่วม, เกาะนกก

ABSTRACT

The objectives of this research were to 1) survey the general conditions of Koh Nok and its surrounding communities and collect the opinions of communities in the surrounding areas of Koh Nok about the solid waste problems and the waste management, 2) educate the community on waste management and create a community network that had the potential to preserve the environment around Koh Nok and surrounding communities, and 3) promote and coordinate among the community, community networks and government agencies to participate in activities at the area level. The samples were 30 volunteers in Moo 1. The tools used in this research were a questionnaire for public participation in the waste management, an attitude test on waste management, an assessment form for the participants. The data were analyzed and expressed as percentage, frequency, means, and standard deviations. The results showed that 1) the area of Koh Nok was a natural island caused by sediment deposition, living organisms that had developed into a relatively complete mangrove forest ecosystem. Most plants were mangrove trees, avicennia trees and nipa palm trees. The south of the island was eroded. The area has accumulated a lot of waste blown with water. The neighboring community of Koh Nok was Moo 1. Most houses were spread out but some areas were densely populated. The problem of solid was minimal. The opinions of communities around Koh Nok on solid waste problem can be concluded that the main factors that caused waste were garbage blown with the current and then accumulated. The result of attitude measurement was at a good level. The evaluation of the participation was at a medium level. 2) The overview of opinions participants was at a high level. The community network was created with 30 members to collect garbage on Koh Nok and in the communities. 3) The results of promotion, collaboration between community networks, communities and government revealed that the municipality helped cooperate and support community network activities and invited the community to participate in waste activities.

Key words: municipal solid waste management, people's participation, Koh Nok

บทนำ

จังหวัดฉะเชิงเทรามีแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงจำนวนมากอยู่ในระดับต้นๆ ของประเทศไทย ทั้งแหล่งท่องเที่ยวด้านศิลปวัฒนธรรมและด้านธรรมชาติ เป็นจังหวัดที่มีประวัติความเป็นมาเก่าแก่ ประชาชนส่วนใหญ่ตั้งถิ่นฐานบ้านเรือนอยู่ริมแม่น้ำบางปะกงและตามลำคลองต่างๆ โดยมีพระพุทธรูปศักดิ์สิทธิ์ “หลวงพ่อโสธร” เป็นศูนย์รวมความศรัทธาของชาวเมืองฉะเชิงเทรา สำหรับอำเภอบางปะกงมีสถานที่พักผ่อนธรรมชาติแห่งหนึ่งที่น่าสนใจ ได้แก่ เกาะนก เป็นเกาะกลางน้ำ อยู่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง มีพื้นที่ประมาณ 125 ไร่ อยู่หมู่ที่ 1 ตำบลท่าข้าม เป็นแหล่งศึกษาเรียนรู้ธรรมชาติด้านระบบนิเวศป่าชายเลน ที่มีความอุดมสมบูรณ์ มีพันธุ์ไม้ป่าชายเลนต่างๆ รวมทั้งนกนานาชนิด (สำนักงานจังหวัดฉะเชิงเทรา, 2560) เกาะนกชื่อเดิมเรียก เกาะลัดหรือเกาะแหลมตาม้วนอยู่ในความดูแลของเทศบาลตำบลท่าข้ามและกรมป่าไม้ เกาะนี้มีสภาพเป็นป่าชายเลน บริเวณกลางเกาะมีต้นจากขึ้นอย่างหนาแน่น มีดินแสมอยู่บริเวณรอบนอกเป็นจำนวนมาก และยังมีพันธุ์ไม้อื่นๆ ทางด้านทิศใต้ของเกาะแต่เดิมมีพื้นที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเกิดจากการทับถมของตะกอนที่มากับน้ำ (กลุ่มงานอำนวยการ สำนักงานจังหวัดฉะเชิงเทรา, 2559) บริเวณชายฝั่งเกาะมีขยะมูลฝอยถูกพัดพามาสะสมจำนวนมาก ซึ่งอยู่ใต้ดินแสมและต้นจาก ถึงแม้ว่ามีสภาพขยะไม่รุนแรง แต่ถ้าไม่มีการจัดการขยะมูลฝอยเหล่านี้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น ปล่อยให้เป็นไปตามธรรมชาติ อาจมีผลกระทบต่อเกาะนกในวันข้างหน้าอย่างเด่นชัด เพราะการสะสมของขยะมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศป่าชายเลนที่มีความซับซ้อนของสิ่งมีชีวิต มีผลต่อความหลากหลายทางชีวภาพของพืช สัตว์น้ำ สัตว์หน้าดิน ป่าชายเลนทำหน้าที่เป็นปราการเชื่อมต่อระหว่างระบบนิเวศบนบกและระบบ

นิเวศทางทะเล ช่วยเก็บกักตะกอนและกรองความสกปรกที่มาจากกิจกรรมบนบก และเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์เล็กอีกด้วย แนวทางหนึ่งในการบริหารจัดการด้านขยะมูลฝอยบนเกาะคือ การมีส่วนร่วมของชุมชน การเปิดโอกาสให้ประชาชนในชุมชนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกภาคส่วนได้มีส่วนร่วมในการร่วมกันแก้ปัญหาขยะมูลฝอย ซึ่งจะทำให้ปัญหาขยะมูลฝอยบนเกาะลดลง ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศบนเกาะนกอีกต่อไป โดยประชาชนได้เรียนรู้ถึงสภาพทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมร่วมกันหาสาเหตุของปัญหา มีการวางแผน ร่วมแสดงความคิดเห็นเพื่อกำหนดวัตถุประสงค์แนวทางดำเนินงานร่วมกัน ซึ่งการมีส่วนร่วมนี้จะประสบผลสำเร็จมากขึ้น อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ โดยเฉพาะด้านความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับขยะมูลฝอย เจตคติของคนในชุมชน รวมถึงความยินดีเพื่อเข้าร่วมกิจกรรม พร้อมทั้งได้ติดตามและประเมินผลการเข้าร่วมกิจกรรมนั้นว่ามีผลสำเร็จเพียงใด (ฉันทพร และ ฐาปกรณ์, 2556) เจตคติของคนในชุมชน หมายถึง ความรู้ ความเชื่อเชิงประเมินค่า ความรู้สึก อารมณ์ และแนวโน้มของพฤติกรรมที่พร้อมจะแสดงออก เพื่อสนองตอบต่อสิ่งเร้า ทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม โดยเป็นผลมาจากประสบการณ์ของแต่ละบุคคลที่จะเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดการแสดงออกและทิศทางของพฤติกรรมต่อสิ่งนั้นๆ ซึ่งมีทั้งทางบวกและทางลบ และสามารถเปลี่ยนแปลงได้ (ทศพร, 2551) เจตคติที่ดีของประชาชนมีผลต่อการทำกิจกรรมลดปัญหาขยะมูลฝอยและในชุมชนเองได้ การให้ความรู้แก่ประชาชน การมีส่วนร่วมในการจัดการขยะร่วมกับหน่วยงานของรัฐเป็นพื้นฐานสำคัญของการลดปริมาณขยะและแก้ไขปัญหาขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สุกิจ, 2550) สำหรับการมีส่วนร่วมในการกำหนดนโยบายและแผนการตัดสินใจควรเปิดโอกาสให้ประชาชนได้ร่วมมือร่วมใจด้วยกันและ

ประสานงานกับภาครัฐในการแก้ไขปัญหา จะทำให้ประชาชนเกิดความตระหนักในปัญหาชุมชน ได้ร่วมคัดแยกขยะ นำมาแปรรูป และส่งผลให้ปริมาณขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองพิจิตรลดลง (นิวัชนันท์, 2554) ปริมาณขยะในแต่ละชุมชนจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับภูมิศาสตร์ฤดูกาล รายได้ขนาดครัวเรือน รูปแบบการดำรงชีวิต รูปแบบสินค้าที่อุปโภคบริโภค และจำนวนประชากร (Kaosol, 2009) ขยะส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นภายในแหล่งท่องเที่ยว ได้แก่ ขยะที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ (Recycle waste) ขยะที่นำมาใช้ประโยชน์ไม่ได้ และขยะอันตราย การคัดแยกขยะก่อนทิ้งลงถังที่เตรียมไว้แต่ละประเภท ทำให้ชุมชนสามารถนำขยะที่แยกได้ไปขายเป็นรายได้ ยังเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจ้างบริษัทเอกชนมาเก็บขยะไปทิ้ง แต่อย่างไรก็ตามต้องมีหน่วยงานที่เข้ามาดูแลเรื่องขยะมูลฝอยโดยเฉพาะ (อนุสิทธิ์, 2553) โดยร้อยละ 96.3 ของขยะที่เกิดจากนักท่องเที่ยวเป็นขยะที่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ จึงควรให้คำแนะนำนักท่องเที่ยวในการคัดแยกขยะก่อนทิ้งก่อนเข้าสู่สถานที่ท่องเที่ยวต่างๆ (Kuniyal *et al.*, 2003) ดังนั้นผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าถ้าดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกกแบบมีส่วนร่วมของชุมชนท่าข้ามแล้ว จะทำให้ชุมชนมีความตระหนักในปัญหาขยะมูลฝอยมีใจรักท้องถิ่นเสียสละร่วมมือกันแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยบนเกาะนกกและในชุมชนได้ในระดับที่น่าพอใจ

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน โดยปรับวิธีการดำเนินการวิจัยให้สอดคล้องกับกระบวนการวิจัยที่ผสมผสานการศึกษาวิจัยเชิงคุณภาพเสริมด้วยการใช้เครื่องมือการวิจัยเชิงปริมาณมาช่วยในการศึกษาด้านเจตคติและด้านการมีส่วนร่วมของชุมชน

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากรที่ใช้เป็นประชาชนหมู่ที่ 1 ของตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา เนื่องจากมีบ้านเรือนอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับเกาะนกกมากที่สุด และเกี่ยวข้องกับปัญหาด้านขยะมูลฝอยบนเกาะนกก กลุ่มตัวอย่างที่ได้เป็นการสุ่มแบบเจาะจง จากประชาชนหมู่ที่ 1 หมู่บ้านหัวแหลม ตำบลท่าข้าม จำนวน 30 คน โดยได้ขอความร่วมมือจากผู้นำชุมชนคือผู้ใหญ่บ้านหมู่ที่ 1 ได้นำคณะวิจัยเข้าพบประชาชนแต่ละครัวเรือนในหมู่ที่ 1 เพื่อสอบถามความสมัครใจ สามารถเสียสละเวลาในการเข้าร่วมกิจกรรม การอบรมให้ความรู้ เรื่องการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกก ซึ่งแต่เดิมตั้งเป้าหมายผู้เข้าร่วมกิจกรรมไว้ 40 คน โดยบางส่วนเลือกจากผู้ที่มีบทบาทในชุมชน และประชาชนทั่วไป ผลจากการสำรวจได้ประชาชนที่ยินยอมเข้าร่วมกิจกรรมจำนวน 30 คน

ระยะเวลาการศึกษา โดยศึกษาวิจัยในปี พ.ศ. 2561 ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2560 - 30 กันยายน 2561

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา เครื่องมือประกอบด้วยแบบสัมภาษณ์ แบบสอบถามการมีส่วนร่วมของประชาชนต่อการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกกและในชุมชน แบบทดสอบวัดเจตคติต่อการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกกและในชุมชน และแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เข้าอบรมต่อโครงการวิจัยการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกกแบบมีส่วนร่วมของชุมชนท่าข้าม

การเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการสำรวจสภาพพื้นที่ทั่วไปและสภาพปัญหาขยะมูลฝอยบนเกาะนกกและในชุมชน เข้าพบคณะผู้บริหารของเทศบาลตำบลท่าข้ามเพื่อรวบรวมปัญหา สืบถามความคิดเห็นการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกกและในชุมชน จัดอบรมให้ความรู้ความเข้าใจแก่ประชาชนในชุมชน เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยสร้างเครือข่ายชุมชนโดยมีคณะผู้บริหารเทศบาล

ตำบลท่าข้าม ผู้ใหญ่บ้าน ผู้นำชุมชนและประชาชน เพื่อจัดการขยะมูลฝอยและรักษาสิ่งแวดล้อมบนเกาะนก นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์หาค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าความถี่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ความสอดคล้องของวิธีดำเนินงานวิจัย ระหว่างวัตถุประสงค์ กิจกรรมและกลุ่มตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสอดคล้องของวิธีดำเนินงานวิจัยระหว่างวัตถุประสงค์ กิจกรรมและกลุ่มตัวอย่าง

วัตถุประสงค์	กิจกรรม	กลุ่มตัวอย่าง
1. สำรวจสภาพพื้นที่ทั่วไปของเกาะนกและชุมชนฯ	ลงสำรวจพื้นที่เกาะนก และชุมชนโดยรอบ	เกาะนก, ผู้ใหญ่บ้านหมู่ที่ 1, ผู้มีบทบาทในชุมชน, เจ้าหน้าที่เทศบาลฯ
2. รวบรวมความคิดเห็นของชุมชนฯ ต่อปัญหาขยะฯ	ปรึกษาหารือ, สัมภาษณ์ แบบสอบถาม	ประชาชนกลุ่มตัวอย่างหมู่ที่ 1 จำนวน 30 คน (30 ครัวเรือน)
3. ให้ความรู้เกี่ยวกับขยะฯกับชุมชน และการสร้างเครือข่ายฯ	ให้ความรู้, วัตถุประสงค์, วัดการมีส่วนร่วม	ประชาชนกลุ่มตัวอย่าง หมู่ที่ 1 จำนวน 30 คน
4. ส่งเสริมและประสานความร่วมมือระหว่างเครือข่ายชุมชนฯ	สัมภาษณ์ ปรึกษาหารือ	ผู้บริหารเทศบาลฯ, ตัวแทนเครือข่ายชุมชน, ผู้นำหมู่บ้าน, คณะผู้วิจัย

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการสำรวจสภาพพื้นที่ทั่วไปของเกาะนก และชุมชนโดยรอบ

จากการสำรวจพบว่า เกาะนกเป็นเกาะธรรมชาติ ที่อยู่บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ห่างจากปากแม่น้ำ 4.0 กิโลเมตร อยู่ในส่วนที่เป็นคิ่งน้ำด้านใน เป็นเกาะที่เกิดจากการทับถมของตะกอนดินที่มากับกระแสน้ำ สะสมรวมกันนับเป็นเวลานานมาก สิ่งมีชีวิตได้พัฒนาขึ้นจนเกิดระบบนิเวศป่าชายเลนที่ค่อนข้างสมบูรณ์ มีเนื้อที่ประมาณ 125 ไร่ ตั้งอยู่หมู่ที่ 1 ตำบลท่าข้าม เป็นลักษณะเกาะรูปร่างยาว ความกว้าง 300 เมตร ความยาวประมาณ 900 เมตร ตัวเกาะวางตัวในแนวเหนือถึงใต้ เกาะด้านทิศใต้ที่อยู่ใกล้ปากน้ำจะมีลักษณะแหลมและแคบกว่า สภาพระบบนิเวศป่าชายเลนของเกาะพบว่า อยู่ในระดับค่อนข้างสมบูรณ์ มีพันธุ์ไม้ป่าชายเลนหลายประเภท ได้แก่ ต้นโกงกาง ต้นแสม ต้นโปรงแดง ต้นตะบูน ต้นประสัก ต้นถั่วหอยลิ้ง ต้นจาก ฯลฯ ทำเรื่องของ

เกาะนกเป็นทางเดินไม้โดยรอบ สองข้างทางจะเป็นไม้โกงกางใบเล็ก กลางเกาะจะเป็นป่าต้นแสมขึ้นค่อนข้างหนาแน่น ป่าที่อยู่ติดกับลำน้ำส่วนใหญ่เป็นป่าจากสลัดกับไม้โกงกางจนถึงท้ายของเกาะ ท้ายของเกาะมีศาลาเอนกประสงค์ให้นักท่องเที่ยวทำกิจกรรมกลุ่มได้ มีหอสูงสำหรับดูนกหรือหอส่องนกสูงประมาณ 10 เมตร มีท่าเรือขึ้นเกาะ 2 แห่ง ส่วนใกล้ท้ายของเกาะยังมีที่ว่างบางส่วนที่ให้นักท่องเที่ยวได้มาทำกิจกรรมปลูกป่าชายเลนได้ ส่วนทางเดินเป็นสะพานไม้ อ้อมเลียบริมเกาะด้านทิศตะวันตกของเกาะจนไปบรรจบทางขึ้นของเกาะเป็นวงกลม ซึ่งนักท่องเที่ยวสามารถเดินชมได้รอบเกาะ จากการสำรวจด้านปัญหาพบว่า ด้านท้ายเกาะที่อยู่ทิศใต้ จะเป็นส่วนที่ถูกกัดเซาะจากคลื่นน้ำทะเลที่มาจากปากแม่น้ำเป็นประจำ ทำให้น้ำที่เกาะบางส่วนพังทลายลง ทางเทศบาลตำบลท่าข้ามร่วมกับชุมชนได้นำเสาคอนกรีตมาปักเป็นแนวกันคลื่น สลับกับนำยางรถยนต์เก่าจำนวนมากมาสวมเสาคอนกรีตกันเป็น

กำแพงกันคลื่น ซึ่งพบว่า สามารถกันได้บางส่วน เท่านั้น มีการนำพันธุ์ไม้โกงกางมาปลูกเสริมกันคลื่น แต่ก็ไม่ประสบผลสำเร็จ ดังนั้นการปลูกไม้โกงกางจึงเป็นการปลูกเสริมในพื้นที่บนเกาะที่เป็นพื้นที่ว่างเท่านั้น เกาะนกที่ไม่มีคนอาศัย จากสภาพธรรมชาติ การไหลเวียนของแม่น้ำบางปะกง พบว่ามีขยะมูลฝอยสะสมบริเวณริมฝั่งเกาะลึกเข้าไป 10-20 เมตร กองสะสมในเนินดินและในบริเวณรากของป่าโกงกาง ป่าจากและไม้อื่นๆ โดยขณะน้ำขึ้นสูงจะพัดขยะมูลฝอยเข้าไปในป่าบนเกาะได้ลึก ขยะจะไปติดค้างตามรากของต้นไม้โกงกางและตามพื้นดินทั่วไปเป็นจำนวนมาก สะสมทุกๆ วันมากน้อยแล้วแต่ปริมาณขยะที่ถูกพัดมา เมื่อน้ำลงขยะจะติดอยู่ออกไม่ได้ บริเวณที่สะสมขยะมาก ได้แก่ บริเวณป่าทางทิศใต้ของเกาะ ส่วนด้านอื่นๆ ก็มีขยะกระจายทั่วไป สำหรับพื้นที่ชุมชนโดยรอบเกาะ หมู่บ้านที่อยู่ใกล้ติดเกาะนกมากที่สุดคือ หมู่ที่ 1 หมู่บ้านหัวแหลม สภาพบ้านเรือนส่วนใหญ่อยู่กระจ่ายกันทั่วไป จะหนาแน่นบ้างบริเวณริมฝั่งแม่น้ำ เช่น บริเวณท่าเรือของเทศบาลท่าข้าม บ้านหัวแหลมมีบ้านเรือนรวมตัวกันอยู่ค่อนข้างหนาแน่น และส่วนใหญ่มีอาชีพรับจ้างรายวัน และมีอาชีพค้าขายบ้าง ด้านการจัดการขยะมูลฝอย เทศบาลท่าข้ามได้นำถังขยะสีน้ำเงินมาวางไว้ทั่วไป ไม่ค่อยพบสภาพที่มีกองขยะเหลือทิ้งไว้จากการเหลือเก็บของเทศบาล

2. ผลการรวบรวมความคิดเห็นของชุมชนในพื้นที่รอบๆ เกาะนก ต่อปัญหาขยะมูลฝอยและการจัดการขยะที่เกิดขึ้น ในบริเวณเกาะนกและพื้นที่ชุมชนโดยรอบ

ผลการศึกษาจากการสนทนากลุ่มกับสมาชิกของชุมชนท่าข้ามประกอบด้วยผู้ใหญ่บ้านหมู่ที่ 1 ประชาชนในชุมชนท่าข้าม เป็นผู้มีส่วนเกี่ยวข้องและรับทราบปัญหาขยะมูลฝอย มีหัวข้อสนทนา 4 ด้าน คือ 1. ด้านปัจจัยที่ก่อให้เกิดขยะมูลฝอยบนเกาะนก

สรุปว่า ปัจจัยใหญ่ที่ส่งผลให้เกิดขยะมูลฝอยคือ การที่ขยะมูลฝอยถูกพัดพามากับกระแสน้ำขณะน้ำขึ้นสูง แล้วถูกพัดผ่านเข้าไปบริเวณริมฝั่งของเกาะ ผ่านต้นไม้ที่อยู่ริมฝั่งเข้าไป ได้แก่ ต้นโกงกาง ต้นจากต้นแสม เมื่อน้ำลดลงขยะมูลฝอยต่างๆ เหล่านั้น ไม่สามารถออกมาได้กับน้ำได้ จะถูกรากและลำต้นของต้นไม้ป่าชายเลนกั้นไว้ ขยะมูลฝอยจึงตกสะสมอยู่ในบริเวณป่าชายเลนและบริเวณที่โล่งบางแห่ง ส่วนขยะมูลฝอยที่มากับนักท่องเที่ยวหรือคณะผู้มาทำกิจกรรมต่างๆ เช่น ปลูกป่าชายเลน นักท่องเที่ยว จะมีบางส่วนซึ่งมีไม่มากนักเมื่อเทียบกับปริมาณที่มากับกระแสน้ำ สมาชิกในชุมชนกล่าวว่า ถึงแม้จะเคยร่วมมือกันเก็บจนหมดแล้ว แต่ไม่นานขยะมูลฝอยเหล่านั้นก็จะเกิดสะสมขึ้นอีก จึงกลายเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบนเกาะนกโดยคนในชุมชนไม่ได้ก่อขึ้น และขยะมูลฝอยที่เกิดจากการทิ้งลงแม่น้ำลำคลองของชุมชนท่าข้ามก็ยังมีผลอยู่บ้างแต่ไม่น่าจะสร้างปัญหามากขนาดนี้ 2. ด้านปัจจัยที่ก่อให้เกิดขยะมูลฝอยในชุมชนใกล้เคียงเกาะนก ผลสรุปว่า ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดขยะมูลฝอยในชุมชนคือ การอุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวัน การค้าขาย ตลาดสด ร้านขายของชำ การทำประมง การเลี้ยงปลากระพงขาว ในกระชังริมแม่น้ำ การเลี้ยงกุ้ง การเลี้ยงปู และเกษตรกรรม แต่ไม่มีปัญหาขยะมูลฝอยตกค้าง เพราะทางเทศบาลตำบลท่าข้ามได้มาเก็บอย่างสม่ำเสมอ และปริมาณขยะในชุมชนยังมีไม่มาก 3. ประเภทและปริมาณขยะบนเกาะนก พบว่า ขยะมูลฝอยที่เก็บได้บนเกาะนก ส่วนใหญ่จะเป็นเศษโฟมที่ใช้แล้ว ขวดพลาสติก ที่เป็นทั้งขวดน้ำดื่มและขวดอื่นๆ เศษไม้ ขวดเครื่องดื่ม หลอดเครื่องดื่ม ขวดพลาสติกทั้งสีใสและสีดำ เป็นต้น ส่วนปริมาณขยะบนเกาะนกจะมีมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล ปริมาณน้ำทะเลขึ้นสูงหรือต่ำ และปริมาณน้ำแม่น้ำที่ไหลลงมาสู่ปากแม่น้ำ ส่วนประเภทและปริมาณขยะมูลฝอยในชุมชน

ส่วนใหญ่จะเป็นขยะชุมชน ที่มีทั้งขยะเปียก ขยะรีไซเคิล ขยะทั่วไปและขยะอันตราย ซึ่งปริมาณที่ทิ้งในแต่ละวันไม่มาก เพราะปริมาณความหนาแน่นของชุมชนยังมีไม่มาก 4. ด้านผลกระทบที่เกิดจากขยะมูลฝอยพบว่า ขยะมูลฝอยเป็นปัญหากับระบบนิเวศบนเกาะนกก่อนข้างมาก เนื่องจากขยะมูลฝอยสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สำหรับปัญหาขยะมูลฝอยในชุมชนใกล้เคียงเกาะนกรูปร่างได้ว่า ยังไม่ก่อปัญหามากเพราะเทศบาลสามารถเก็บขยะมูลฝอยได้ตามเวลา ไม่เกิดการสะสมของขยะมูลฝอยในถังขยะ และถังขยะของเทศบาลส่วนใหญ่เป็นแบบรวม มีน้อยจุดที่เป็นแบบคัดแยก และพบว่าประชาชนในชุมชนส่วนน้อยที่ทิ้งขยะมูลฝอยลงในแม่น้ำ หรือทิ้งทั่วไปไม่ลงถังขยะยังมีเห็นอยู่บ้าง จากข้อมูลของทางเทศบาลตำบลท่าข้ามพบว่า ตำบลท่าข้ามมีขยะมูลฝอยเกิดขึ้นทั้งหมดวันละประมาณ 16 ตัน และหมู่ที่ 1 มีขยะมูลฝอยเกิดขึ้นเพียงวันละประมาณ 140 กิโลกรัม ซึ่งทางเทศบาลได้จัดเก็บขยะหมดตามเวลาที่กำหนด (เทศบาลตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา, 2561)

3. ผลการวัดเจตคติของประชาชนที่มีต่อการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกกและชุมชนโดยรอบ

ผลการวัดเจตคติของประชาชนที่มีต่อการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกก ประกอบด้วย ข้อมูลส่วนตัวของผู้ทำแบบทดสอบที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง และ

ข้อมูลการวัดเจตคติของกลุ่มตัวอย่าง ข้อมูลส่วนตัวที่ทดสอบวัดเจตคติ (N=30) ประกอบด้วยเพศ สถานภาพ ช่วงอายุ ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ ของครอบครัว ระยะเวลาที่พักอาศัยอยู่ในตำบลท่าข้ามและสถานภาพในชุมชน โดยการแจกแจงค่าความถี่ร้อยละ ค่าที่มากที่สุด พบว่าเป็นเพศหญิง 20 คน คิดเป็นร้อยละ 66.67 สถานภาพเป็นประชาชน หมู่ 1 จำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 66.67 ช่วงอายุ 51-60 ปี 12 คน คิดเป็นร้อยละ 40.00 ระดับการศึกษา ช่วงประถมศึกษา 15 คนคิดเป็นร้อยละ 50 อาชีพรับจ้างทั่วไป 20 คน คิดเป็นร้อยละ 66.67 รายได้ของครอบครัวต่ำกว่า 10,000 บาทต่อเดือน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 73.33 ระยะเวลาที่พักอาศัยอยู่ในตำบลท่าข้าม 15 ปีขึ้นไปจำนวน 26 คน คิดเป็นร้อยละ 86.67

ผลการวัดเจตคติของกลุ่มตัวอย่างพบว่า โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยเจตคติข้อที่อยู่ในระดับมากมี 6 ข้อ ระดับปานกลางมี 4 ข้อ เจตคติของกลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยมากที่สุด คือ ท่านรู้สึกหงวเหงากับทรัพยากรในท้องถิ่น เช่น เกาะนก (ร้อยละ 100) รองลงมาคือ การจัดการขยะมูลฝอยที่ดีควรเริ่มต้นที่ครัวเรือนก่อน (ร้อยละ 90) ยินดีจะเข้าร่วมประชุมกับทางเทศบาลตำบลท่าข้าม เพื่อจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกกและในชุมชนของเรา (ร้อยละ 86.7) แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่แสดงเจตคติต่อการจัดการขยะมูลฝอย (N = 30)

ข้อที่	การจัดการขยะมูลฝอย	ความคิดเห็น (จำนวน/ร้อยละ)		
		เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ	ไม่เห็นด้วย
1	การแก้ปัญหาขยะมูลฝอยเป็นหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานที่รับผิดชอบ	8 (26.7)	6 (20.0)	16 (53.3)
2	การคัดแยกขยะมูลฝอยในครัวเรือนไม่ใช่หน้าที่เจ้าของบ้าน	11 (36.7)	3 (10.0)	16 (53.3)
3	กิจกรรมเพื่อส่งเสริมการคัดแยกขยะมูลฝอยจะไม่ช่วยให้ขยะในชุมชนลดลงได้	4 (13.3)	3 (10.0)	23 (76.7)
4	การลดปริมาณขยะมูลฝอยจะช่วยลดปัญหาโลกร้อนได้	24 (80.0)	4 (13.3)	2 (6.7)
5	ท่านยินดีจะร่วมมือในการคัดแยกขยะก่อนทิ้งเสมอ	24 (80.0)	6 (20.0)	0
6	ท่านคิดว่าขยะเปียกจะสามารถนำไปทำปุ๋ยหมักใช้ในบ้านได้	20 (66.7)	10 (33.3)	0
7	ท่านคิดว่าถ้าเกิดปัญหาขยะมูลฝอยบนเกาะนกกและในชุมชนย่อมส่งผลกระทบต่อมายังครอบครัวของท่านไม่มากนัก	20 (66.7)	10 (33.3)	0

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ข้อที่	การจัดการขยะมูลฝอย	ความคิดเห็น (จำนวน/ร้อยละ)		
		เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ
8	ท่านรู้สึกหงุดหงิดกับทรัพยากรในท้องถิ่น เช่น เกษะนก	30 (100.0)	0	0
9	การจัดการขยะมูลฝอยที่ดีควรเริ่มต้นที่ครัวเรือนก่อน	27 (90.0)	3 (10.0)	0
10	ยินดีจะเข้าร่วมประชุมกับทางเทศบาลตำบลท่าข้าม เพื่อจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกและในชุมชนของเรา	24 (86.7)	6 (13.3)	0

4. ผลการศึกษาระดับการมีส่วนร่วมของประชาชนต่อการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกและชุมชนโดยรอบ

พบว่า ภาพรวมการมีส่วนร่วมของกลุ่มตัวอย่างต่อการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชนและบนเกาะนก อยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X} = 3.29$, S.D. = 0.92) โดยข้อที่คะแนนระดับมาก 3 อันดับ ได้แก่ ท่านมี

ส่วนร่วมในการประชุมประชาคมเพื่อเสนอปัญหาและความต้องการ ($\bar{X} = 4.0$, S.D. = 0.73) จัดบ้านเรือนตนเองให้มีความเป็นระเบียบสะอาดขึ้น ($\bar{X} = 3.73$, S.D. = 1.00) ท่านมีส่วนในการวิเคราะห์ปัญหาและจัดทำโครงการพัฒนา ($\bar{X} = 3.67$, S.D. = 0.70) และข้อที่อยู่ในระดับน้อยคือ เคนำไปทำปุ๋ยหมัก น้ำปุ๋ยชีวภาพใช้ในครัวเรือน ($\bar{X} = 2.37$, S.D. = 1.20) แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับการมีส่วนร่วมของประชาชนต่อการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนก (N = 30)

ข้อที่	รูปแบบการมีส่วนร่วม	$\bar{X}$	S.D.	ระดับการมีส่วนร่วม
มีส่วนร่วมในการตัดสินใจ				
1	ท่านมีส่วนร่วมในการประชุมประชาคมเพื่อเสนอปัญหาและความต้องการ	4.00	0.73	มาก
2	ท่านมีส่วนในการวิเคราะห์ปัญหาและจัดทำโครงการพัฒนา	3.67	0.70	มาก
3	ท่านมีส่วนรับรู้ข่าวสารเกี่ยวกับการจัดการขยะของเทศบาล	3.47	0.96	ปานกลาง
4	ท่านเคยร่วมวางแผน/โครงการเพื่อแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอย	3.47	0.88	ปานกลาง
5	ท่านมีส่วนร่วมในการช่วยรักษากฎระเบียบในชุมชนเกี่ยวกับขยะมูลฝอย	3.33	0.79	ปานกลาง
มีส่วนร่วมในการปฏิบัติการ				
1	ท่านมีส่วนร่วมในกิจกรรมของเทศบาลเกี่ยวกับขยะมูลฝอย	3.40	1.08	ปานกลาง
2	ท่านเคยร่วมวางแผนในการนำขยะไปใช้ประโยชน์	2.93	0.85	ปานกลาง
3	ท่านมีส่วนร่วมในการคัดแยกขยะมูลฝอยก่อนทิ้ง	2.93	0.85	ปานกลาง
4	มีส่วนในการใช้ถุงผ้า ปิ่นโต แทนถุงพลาสติก	3.27	0.68	ปานกลาง
5	ท่านมีส่วนในการเสียค่าธรรมเนียมแก่เทศบาลฯ	3.40	1.31	ปานกลาง
ดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน				
1	เคยร่วมมือกับเทศบาลในการร่วมแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอย	3.47	0.72	ปานกลาง
2	เคยเชิญชวนคนอื่นให้ช่วยกันปฏิบัติตามข้อกำหนดของเทศบาล	3.20	0.75	ปานกลาง
3	ร่วมกิจกรรมเพื่อรณรงค์การทำความสะอาดชุมชนในวันสำคัญ	3.17	0.97	ปานกลาง
4	เคยร่วมบริจาคสิ่งของ/เงินในการแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอย	3.20	0.98	ปานกลาง
5	เคยเข้ารับการอบรมรับความรู้เกี่ยวกับปัญหาขยะมูลฝอย	3.33	1.01	ปานกลาง
ประโยชน์ที่ได้รับ				
1	มีรายได้จากการขายขยะรีไซเคิลบ้างแต่พอใจ	3.47	0.96	ปานกลาง
2	เคยนำไปทำปุ๋ยหมัก น้ำปุ๋ยชีวภาพใช้ในครัวเรือน	2.37	1.20	น้อย
3	จัดบ้านเรือนตนเองให้มีความเป็นระเบียบสะอาดขึ้น	3.73	1.00	มาก

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ข้อที่	รูปแบบการมีส่วนร่วม	$\bar{X}$	S.D.	ระดับการมีส่วนร่วม
4	เคยเข้าร่วมกับเทศบาล/ชุมชนจัดการขยะมูลฝอย	3.13	0.96	ปานกลาง
5	เคยเผยแพร่ ชักชวนเพื่อนบ้านร่วมกันในเรื่องนี้	2.90	1.08	ปานกลาง
	เฉลี่ย	3.29	0.92	ปานกลาง

5. ผลการจัดกิจกรรมให้ความรู้กับชุมชนในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมและการจัดการขยะมูลฝอย

5.1 ความคิดเห็นของผู้เข้าอบรมเรื่อง การจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกแบบมีส่วนร่วม

พบว่า ความคิดเห็นของผู้เข้ารับการอบรมต่อการจัดโครงการฯ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.90$, S.D. = 0.61) และมีคะแนนระดับมาก

ทุกข้อ ข้อที่มีคะแนนสูง 4 อันดับ ได้แก่ สามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน ($\bar{X} = 4.08$ S.D. = 0.57) บรรยากาศในการจัดกิจกรรม ($\bar{X} = 4.08$, S.D. = 0.76) การอำนวยความสะดวกในการเข้าร่วมกิจกรรม ($\bar{X} = 4.04$, S.D. = 0.67) และเปิดโอกาสให้ผู้เข้าอบรมซักถามข้อมูลเพิ่มเติม ($\bar{X} = 4.04$, S.D. = 0.61) แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เข้าอบรมเรื่อง การจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกแบบมีส่วนร่วม

ข้อที่	ประเด็น	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านกระบวนการ ขั้นตอนการจัดกิจกรรม				
1	กระบวนการจัดกิจกรรมตรงกับวัตถุประสงค์การจัดงาน	3.83	0.62	มาก
2	การอำนวยความสะดวกในการเข้าร่วมกิจกรรม	4.04	0.67	มาก
3	ขั้นตอนการจัดกิจกรรมหรือการให้บริการมีความยืดหยุ่น สามารถปรับให้เหมาะสมกับสถานการณ์ได้	4.0	0.65	มาก
4	ได้รับความรู้หรือประโยชน์จากการจัดกิจกรรมทุกขั้นตอน	3.92	0.70	มาก
5	ความเหมาะสมของระยะเวลาดำเนินงาน	3.83	0.69	มาก
ด้านคุณภาพ				
6	ได้เข้าร่วมโครงการหรือได้รับบริการอย่างประทับใจ	3.83	0.55	มาก
7	เข้าร่วมโครงการ/ได้รับบริการตรงตามความต้องการ	3.96	0.61	มาก
8	ได้เข้าร่วมโครงการหรือได้รับบริการที่เป็นประโยชน์	3.83	0.62	มาก
9	สามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน	4.08	0.57	มาก
ด้านเจ้าหน้าที่วิทยากร				
10	ความเหมาะสมการแต่งกาย บุคลิกท่าทางการให้บริการ	4.0	0.58	มาก
11	บริการด้วยความสุภาพ กระตือรือร้น รวดเร็ว	3.75	0.43	มาก
12	เปิดโอกาสให้ผู้เข้าอบรมซักถามข้อมูลเพิ่มเติม	4.04	0.61	มาก
13	ความรู้ความสามารถในการบริการ เช่น การตอบคำถาม ชี้แจงข้อสงสัย แนะนำ	3.92	0.57	มาก
ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก				
14	ความเหมาะสมของสถานที่ที่ใช้จัดกิจกรรม	3.83	0.62	มาก
15	วัสดุ อุปกรณ์ เช่น เก้าอี้ ที่นั่ง ระบบภาพและเสียงที่ใช้	4.04	0.67	มาก
16	สื่อที่ใช้ในการจัดกิจกรรมมีความเหมาะสม	4.00	0.65	มาก

ตารางที่ 4 ผลวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เข้าอบรมเรื่อง การจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกแบบมีส่วนร่วม

ข้อที่	ประเด็น	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ภาพรวมของกิจกรรม				
17	บรรยากาศในการจัดกิจกรรม	4.08	0.76	มาก
18	ความพึงพอใจในโครงการฯในภาพรวม	3.92	0.76	มาก
19	ควรมีการจัดกิจกรรมโครงการลักษณะนี้ในครั้งต่อไป	3.83	0.69	มาก
	เฉลี่ย	3.90	0.61	มาก

5.2 ผลการจัดกิจกรรมเก็บขยะมูลฝอยบนเกาะนก

การจัดกิจกรรมเก็บขยะมูลฝอยบนเกาะนก หลังการอบรมให้ความรู้เรียบร้อยแล้ว โดยให้ผู้เข้าอบรมแบ่งเป็นกลุ่ม ได้ช่วยกันติดป้ายไวนิลรณรงค์เกี่ยวกับขยะมูลฝอยบนเกาะกับเสาไม้ที่ทางเจ้าหน้าที่เตรียมไว้ให้ โดยป้ายไวนิลมีจำนวน 4 ป้ายให้ผู้เข้าอบรมสวมรองเท้ากันน้ำ เพราะต้องลงเหยียบโคลน เมื่อช่วยกันติดป้ายกับเสาเรียบร้อยแล้ว แต่ละกลุ่มนำไปปักกับดินในตำแหน่งที่ทางเจ้าหน้าที่ได้กำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมไว้ กิจกรรมต่อไปคือการเก็บขยะมูลฝอยบนเกาะนก โดยแต่ละกลุ่มจะมีถุงดำหรือตะกร้าใส่ขยะ แบ่งหน้าที่ลงไปเก็บขยะที่อยู่ในป่าชายเลน กระจายกันเพื่อให้เก็บได้ทั่วถึงและครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดที่มีขยะ ซึ่งรวมระยะทางประมาณ 300 เมตร จนขยะมูลฝอยได้ถูกเก็บเรียบร้อยแล้ว ได้ขยะรวมกันในถุงดำใหญ่ประมาณ 30 ถุง คิดเป็นปริมาตร 10 ลูกบาศก์เมตร น้ำหนักประมาณ 400 กิโลกรัม จากการประเมินของผู้เกี่ยวข้องพบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยบนเกาะนกมีปีละมากกว่า 2 ตันต่อปี

5.3 ผลการสร้างเครือข่ายชุมชนที่มีศักยภาพในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมบริเวณเกาะนกและพื้นที่ชุมชนโดยรอบ และผลการประชุมปรึกษาหารือของเครือข่ายชุมชนฯ

ผลการสร้างเครือข่ายชุมชน พบว่า มีประชาชนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างมีจิตอาสาทุกคนสมัคร

เข้าร่วมกลุ่ม 30 คน และผลการประชุมปรึกษาหารือของเครือข่าย สรุปดังนี้ 1. การจัดตั้งเครือข่าย มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยกันดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมบนเกาะนกและในพื้นที่ชุมชนโดยเฉพาะเรื่องกำจัดขยะมูลฝอย 2. เครือข่ายชุมชนมีกิจกรรมที่ทำร่วมกันคือร่วมกันเก็บขยะมูลฝอยบนเกาะนกเป็นระยะๆ หรือในโอกาสอันควรและวันสำคัญๆ 3. เครือข่ายชุมชนให้ความร่วมมือกับทางเทศบาลตำบลท่าข้ามในโอกาสต่างๆ ที่ขอความร่วมมือหรือเชิญชวนให้ทำกิจกรรมด้านขยะ 4. เครือข่ายชุมชนจะร่วมกันเก็บขยะบนเกาะนกหลังจากการประชุมครั้งแรก ในวันที่ 24 เมษายน 2561 และครั้งที่ 2 สมาชิกเครือข่ายฯ เข้าร่วมเก็บขยะมูลฝอยกับพนักงานบริษัทฟงชัน ฟรินด์ จำกัด หลังเสร็จกิจกรรมการปลูกป่าชายเลนแล้วในวันที่ 14 กรกฎาคม 2561 จะเข้าร่วมกับคณะอื่นๆ ตามโอกาสอันควร 5. สมาชิกเครือข่ายจะช่วยกันดูแลขยะมูลฝอยที่บ้านและในชุมชน 6. ประธานเครือข่ายเป็นผู้ประสานงานกับหน่วยงานอื่นที่จะเข้ามาจัดกิจกรรมบนเกาะนก ผ่านทางเทศบาล 7. เครือข่ายชุมชนจะเข้าร่วมกิจกรรมกับทางเทศบาลเพื่อทำกิจกรรมพัฒนาเกาะนกในการกำจัดขยะมูลฝอยด้วย

5.4 ผลการส่งเสริมและประสานความร่วมมือระหว่างเครือข่ายชุมชน ชุมชนและหน่วยงานรัฐในการร่วมทำกิจกรรมระดับพื้นที่

ผลการเข้าพบ สัมภาษณ์พูดคุยกับนางสมจิตร พันธุ์สุวรรณ เป็นนายกเทศมนตรี นายมานิตย์ ดีเอื้อ ผู้อำนวยการกองสาธารณสุขและ

สิ่งแวดล้อม ผู้ให้คำปรึกษาและข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัยครั้งนี้ พบว่า ทางเทศบาลมีนโยบายและแนวทางปฏิบัติด้านการแก้ปัญหาขยะมูลฝอยในชุมชนและการพัฒนาเกาะนกออยู่แล้ว มีประเด็นเกี่ยวข้องดังนี้ การแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาขยะมูลฝอย ได้มีการรณรงค์ให้ประชาชนได้เห็นความสำคัญของการคัดแยกขยะก่อนทิ้ง เพื่อลดปริมาณขยะได้จัดงบประมาณเพื่อพัฒนาเกาะนกอให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ เป็นศูนย์การเรียนรู้ เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน แต่ปัญหาขยะมูลฝอยบนเกาะนกอ ยังไม่ได้ดำเนินการอย่างจริงจัง จึงทำให้ทางเทศบาลเห็นด้วยและจะร่วมมือสนับสนุนกิจกรรมงานวิจัยครั้งนี้ ผลการปริกษาหาหรือสรุปผลดังนี้ กลุ่มเครือข่ายชุมชนสามารถดำเนินกิจกรรมเกี่ยวกับขยะมูลฝอยบนเกาะนกอได้ แล้วแจ้งผลการดำเนินงานให้เทศบาลทราบด้วย ถ้าทางเทศบาลมีกิจกรรมรณรงค์เกี่ยวกับขยะมูลฝอยจะขอเชิญให้ทางเครือข่ายชุมชนได้เข้าร่วมกิจกรรมด้วย ทางเทศบาลจะสนับสนุนและให้ความช่วยเหลืออุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรมตามความเหมาะสม ให้ทางเครือข่ายชุมชนดูแลบนเกาะนกร่วมกับกลุ่มจิตอาสาหรือหน่วยงานอื่นๆ ที่เข้ามาพัฒนาเกาะนกอได้ โดยผ่านทางเทศบาลเช่น การปลูกป่าชายเลน กลุ่มศึกษาธรรมชาติ เป็นต้น

จากการสำรวจสภาพพื้นที่ของเกาะนกอและในชุมชน สรุปได้ว่าเกาะนกอเป็นเกาะธรรมชาติที่เกิดจากการทับถมของดินตะกอนที่มาจากแม่น้ำเป็นระยะเวลานาน จนกลายเป็นเกาะ (กองประสานการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2545) และระบบนิเวศป่าชายเลนได้พัฒนาจนมีสภาพค่อนข้างสมบูรณ์ การไหลของแม่น้ำที่ไหลขึ้นและลงทุกวันทำให้เกิดการสะสมขยะมูลฝอยเป็นหลัก โดยเฉพาะช่วงแม่น้ำมีปริมาณสูง คนในชุมชนได้พบเห็นจนชินตาว่า เมื่อได้เก็บขยะมูลฝอยบนเกาะหมดแล้ว ไม่นานก็จะเกิดการสะสมขึ้นอีก จากการวิเคราะห์ด้าน

กายภาพพบว่า เกาะนกออยู่ในกึ่งน้ำด้านใน ทำให้เมื่อน้ำไหลลงทะเล กระแสน้ำจะไหลปะทะด้านฝั่งตรงข้ามของเกาะทั้งทิศเหนือและทิศตะวันตกแล้ว ไหลวนอ้อมเกาะด้านทิศใต้ น้ำไหลช้าลงมีผลให้ขยะไหลเข้าไปในช่วงท้ายเกาะ ผ่านรากต้นไม้ต่างๆ แต่ไม่สามารถไหลออกได้ ในกรณีน้ำไหลขึ้นก็จะพาขยะมูลฝอยเข้าฝั่งด้านทิศใต้ของเกาะโดยตรง ช่วงท้ายเกาะจึงมีโอกาสสะสมขยะมากกว่าบริเวณอื่นๆ และจากการสำรวจพื้นที่ชุมชนริมฝั่ง พบว่ามีบ้านเรือนอยู่ริมฝั่งแม่น้ำบ้าง แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ติดถนนห่างจากแม่น้ำ ซึ่งการทิ้งขยะในถังที่ทางเทศบาลจัดไว้ตามจุดต่างๆ มีเพียงพอ จึงทำให้การทิ้งขยะของชุมชนลงในแม่น้ำมีค่อนข้างน้อย จากความคิดเห็นของชุมชนต่อปัญหาขยะมูลฝอยบนเกาะนกอ ผลการสนทนากับตัวแทนสมาชิกของชุมชนท่าข้าม พบว่าส่วนใหญ่เห็นตรงกันว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดขยะมูลฝอยบนเกาะนกอ คือการพัดพาขยะมูลฝอยที่มาจากแม่น้ำ แล้วถูกพัดผ่านเข้าไปในเกาะตามลักษณะกายภาพที่เอื้ออำนวย จึงสะสมอยู่ตามรากพืชและบนพื้นดิน ส่วนปัจจัยที่มาจากกาทิ้งของคนในชุมชนจะมีน้อย เมื่อจากการวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบของขยะที่เก็บได้ พบว่าน่าจะมาจากแหล่งอื่นๆ จริง เช่น เศษโฟมจำนวนมาก ขวดพลาสติก ขวดน้ำดื่ม ขวดแก้ว เศษไม้ ขวดเครื่องดื่ม หลอดเครื่องดื่ม ขวดพลาสติกทั้งสีใสและดุนสีดำ เป็นต้น จากผลการวัดเจตคติของกลุ่มตัวอย่างโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยมีเจตคติของกลุ่มตัวอย่างเห็นด้วยมากที่สุด คือท่านรู้สึกห่วงใยกับทรัพยากรในท้องถิ่น เช่น เกาะนกอ (ร้อยละ 100) รองลงมาคือ การจัดการขยะมูลฝอยที่ดีควรเริ่มต้นที่ครัวเรือนก่อน (ร้อยละ 90) ยินดีจะเข้าร่วมประชุมกับทางเทศบาลตำบลท่าข้ามเพื่อจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกอและในชุมชนของเรา (ร้อยละ 86.7) ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชุมชนมีเจตคติที่ดีในด้านสิ่งแวดล้อม รักท้องถิ่น ห่วงใยทรัพยากรใน

ท้องถิ่น และยินดีให้ความร่วมมือกับส่วนรวมและรวมถึงบนเกาะนกง จากข้อมูลส่วนตัวของกลุ่มตัวอย่างพบว่า ส่วนใหญ่เป็นผู้ใหญ่และสูงอายุ (อายุ 41 - 65 ปี 63.33 %) เป็นคนในท้องถิ่นที่อาศัยอยู่นาน (อยู่นานกว่า 15 ปี 86.67 %) มีการศึกษาน้อย (การศึกษาระดับประถม-มัธยม 70.00 %) สำหรับระดับการมีส่วนร่วมของประชาชนต่อการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกงและชุมชนพบว่า ภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง เป็นเพราะว่า ประชาชนส่วนใหญ่มีรายได้น้อย ต้องทำงานหาเงินเป็นรายวัน จึงไม่ค่อยมีเวลาให้แก่ส่วนรวมมากนัก จากข้อมูลส่วนตัวของกลุ่มตัวอย่างพบว่า มีรายได้น้อยกว่า 10,000 บาทต่อเดือน (73.33 %) มีอาชีพรับจ้าง (67.66 %) แต่ด้านเจตคติของชุมชนในเรื่องขยะมูลฝอยอยู่ในระดับมาก จึงทำให้ความร่วมมืออยู่ในระดับปานกลาง ส่วนหัวข้อประโยชน์ที่ได้รับ เคยนำไปทำปุ๋ยหมัก น้ำปุ๋ยชีวภาพใช้ในครัวเรือน อยู่ในระดับน้อย เป็นเพราะว่า ประชาชนส่วนใหญ่มีอาชีพรับจ้าง ไม่ได้ทำเกษตรกรรม จึงไม่ค่อยเห็นความสำคัญด้านการนำขยะอินทรีย์มาทำปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำชีวภาพใช้ในครัวเรือน แต่ถ้าต้องการให้ประชาชนหันมาสนใจในเรื่องนี้ ควรที่จะมุ่งให้หน่วยงานบริการของเทศบาลตำบลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้จัดอบรมเชิงปฏิบัติการทำปุ๋ยหมักและปุ๋ยน้ำชีวภาพใช้เอง เพื่อนำไปใช้กับพืชสวนครัว พืชไม้ดอกไม้ประดับจะได้เป็นจุดเริ่มต้นในการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างง่ายและใกล้ชิด ผลการประเมินความคิดเห็นผู้เข้าอบรมต่อการจัดอบรมให้ความรู้เรื่องการจัดการขยะมูลฝอย พบว่าอยู่ในระดับมาก เพราะผู้เข้าอบรมได้รับประโยชน์ที่นำไปใช้ในชีวิตประจำวัน รู้สึกพึงพอใจในบรรยากาศการจัดกิจกรรม มีความประสงค์ให้จัดอบรมในโอกาสต่อไป ให้ความร่วมมือในกิจกรรมติดป้ายรณรงค์กำจัดขยะมูลฝอยบนเกาะนกง และกลุ่มเครือข่ายชุมชนร่วมกันเก็บขยะด้วยความเสียสละ จน

ได้ปริมาณขยะจำนวนมาก แสดงให้เห็นว่าชุมชนได้รับความรู้ความเข้าใจ ได้ปรับเจตคติที่ดี และอาสาสมัครเข้าเป็นกลุ่มเครือข่ายชุมชนทำข้ามที่มีศักยภาพในการช่วยกันดูแลรักษาแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยบริเวณเกาะนกงและในชุมชน จนกิจกรรมประสบผลสำเร็จอย่างดี กลุ่มเครือข่ายชุมชนได้ปรึกษากับทางเทศบาลตำบลท่าข้ามในการทำกิจกรรมเกี่ยวกับขยะมูลฝอยบนเกาะนกง ซึ่งทางเทศบาลให้การสนับสนุนในการทำกิจกรรมเกี่ยวกับขยะมูลฝอยบนเกาะให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น แล้วแจ้งผลรายงานให้ทางเทศบาลทราบ ซึ่งทางเทศบาลได้เชิญเครือข่ายชุมชนเข้าร่วมกิจกรรมเกี่ยวกับขยะมูลฝอยด้วย และได้ช่วยเหลือกลุ่มเครือข่ายชุมชนตามความเหมาะสม รวมถึงสามารถร่วมกับกลุ่มจิตอาสากลุ่มอื่นๆ ที่เข้ามาพัฒนาเกาะนกงเพื่อณรงค์ด้านขยะมูลฝอย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยเรื่อง พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของประชาชนในเขตเทศบาลเมืองนครปฐม พบว่า ปัจจัยด้านความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะมูลฝอย มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกต่อพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของประชาชน (วิรัช, 2537) การหาแนวทางในการจัดการขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยไม่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย ในขณะที่เจตคติของประชาชนมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย ดังนั้นควรให้ความสำคัญในการสร้างและปลูกฝังเจตคติที่ดีอย่างถูกต้องและเหมาะสมมากกว่าการมุ่งให้ความรู้ในการจัดการขยะมูลฝอยอย่างเดียว (ประภาพร, 2549) และสอดคล้องกับการศึกษาผลของความรู้และเจตคติที่มีต่อการกำจัดขยะมูลฝอยของประชาชนที่อาศัยในเขตเทศบาลตำบลฉลุง อำเภอเมืองสตูล พบว่าประชาชนมีความรู้ระดับปานกลาง (ร้อยละ 76.50) มีเจตคติอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 51.25)

แต่การจัดการขยะมูลฝอยอยู่ในระดับดี จากการวิเคราะห์พบว่า ถึงแม้ว่าประชาชนจะมีเจตคติในบางประเด็นไม่ถูกต้อง แต่ยังมีพลังด้านจิตอาสาในการช่วยเหลือจัดการขยะมูลฝอยเพื่อส่วนร่วมมีอยู่มาก (ศุภัสร์มา, 2554)

สรุป

1) เกะนกเป็นเกาะธรรมชาติที่อยู่บริเวณปากแม่น้ำ เป็นเกาะที่เกิดจากการทับถมของตะกอนดินที่มากับกระแสน้ำและได้พัฒนาขึ้นจนเป็นระบบนิเวศป่าชายเลนที่ค่อนข้างสมบูรณ์ มีพันธุ์ไม้ได้แก่ ต้นโกงกาง ต้นแสม ต้นโปรงแดง ต้นตะบูน ต้นจาก ต้นประสัก ต้นถั่วหาวยลิง มีทางเดินไม้ไผ่รอบ มีท่าเรือขึ้นเกาะ 2 แห่ง ท้ายเกาะยังมีที่ว่างที่สามารถปลูกป่าชายเลนได้ ทิศใต้เกิดการกัดเซาะจากคลื่นน้ำ มีเสาคอนกรีตเป็นแนวกันคลื่น พบขยะมูลฝอยสะสมบริเวณริมฝั่ง ในเนินดินและบริเวณรากไม้ป่าโกงกาง ป่าจาก สำหรับด้านอื่นๆ ก็มีขยะกระจายทั่วไป ชุมชนหมู่ที่ 1 อยู่ใกล้ชิดกับเกาะนกมากที่สุด บ้านเรือนส่วนมากอยู่กระจายกันทั่วไป อยู่หนาแน่นบ้างบริเวณริมฝั่งแม่น้ำ ประชาชนในชุมชนหมู่ที่ 1 ไม่เกิดปัญหาด้านขยะมูลฝอย

2) ความคิดเห็นของประชาชนในพื้นที่รอบๆ เกาะนกต่อปัญหาขยะมูลฝอย สรุปว่า ปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดขยะมูลฝอยบนเกาะนกมาจากการพัดพาของกระแสน้ำ ซึ่งพิจารณาได้จากองค์ประกอบของขยะที่เก็บได้และตกค้างตามรากต้นไม้ที่อยู่ริมฝั่ง มีส่วนน้อยมากที่มาจากกาทิ้งขยะของชุมชนหมู่ที่ 1 และผู้มาท่องเที่ยวบนเกาะนก ซึ่งปัจจุบันยังหาทางแก้ไขอย่างถาวรไม่ได้ จึงต้องพึ่งพาตนเองจากกลุ่มเครือข่ายชุมชนที่ได้รวมตัวกันขึ้นเป็นแกนนำในการดูแลเก็บขยะมูลฝอยบนเกาะเป็นระยะๆ คือเก็บปีละ 3 - 4 ครั้ง เพื่อไม่ให้ขยะเกิดการสะสมมากจนเกิดผลกระทบขึ้น และได้รับความร่วมมือจากกลุ่ม

อาสาสมัครที่เข้ามาพัฒนาเกาะนกได้ช่วยกันเก็บขยะด้วย ซึ่งผลการวัดเจตคติของประชาชนกลุ่มตัวอย่างอยู่ในระดับมาก และระดับการมีส่วนร่วมของประชาชนกลุ่มตัวอย่างต่อการจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกๆ อยู่ในระดับปานกลาง

3) ความคิดเห็นของผู้เข้าอบรมด้านความรู้เรื่อง การจัดการขยะมูลฝอยบนเกาะนกแบบมีส่วนร่วมอยู่ในระดับมาก มีการสร้างเครือข่ายชุมชน มีประชาชนกลุ่มตัวอย่างสมัครเข้าร่วมทั้งสิ้น 30 คน และมีการประชุมปรึกษาหารือในหน้าที่ของกลุ่มเครือข่ายชุมชน ได้ทำกิจกรรมจิตบำเพ็ญประโยชน์เกี่ยวกับขยะมูลฝอย และกิจกรรมการเก็บขยะมูลฝอย ซึ่งได้ขยะใส่ถุงดำใหญ่รวม 30 ถุง

4) ด้านการส่งเสริมและประสานความร่วมมือ ทางเทศบาลเห็นด้วยและสนับสนุนกิจกรรมนี้ เมื่อทางเทศบาลมีกิจกรรมเกี่ยวกับขยะ จะเชิญกลุ่มเครือข่ายชุมชนให้เข้าร่วมกิจกรรมด้วย และได้ให้ความช่วยเหลืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำกิจกรรม ให้ทางกลุ่มเครือข่ายชุมชนเข้าร่วมกับกลุ่มจิตอาสาที่เข้ามาพัฒนาเกาะนกอีกด้วยทั้งนี้ทางเทศบาลได้ให้ข้อเสนอแนะกับกลุ่มเครือข่ายชุมชนถึงการแก้ปัญหาขยะมูลฝอยบนเกาะนกอย่างถาวร โดยให้คิดออกแบบทำเครื่องมือดักจับขยะที่มากับกระแสน้ำเพื่อขยะบนเกาะนกจะได้น้อยลง

ข้อเสนอแนะ

1. เทศบาลตำบลท่าข้ามควรบรรจุเป็นกลยุทธ์การพัฒนาเกาะนกด้านบริหารจัดการขยะมูลฝอยเข้ากับแผนพัฒนาประจำปีและแผนพัฒนาระยะยาว โดยมีแนวปฏิบัติบนเกาะนกที่เด่นชัด

2. ควรพัฒนาเกาะนกให้เป็นแหล่งเรียนรู้ด้านระบบนิเวศป่าชายเลนให้เป็นจุดเด่นแก่เยาวชน โดยให้เยาวชนที่เป็นนักเรียนในชุมชนโดยรอบได้รับการอบรมจนสามารถเป็นวิทยากรน้อยได้ ให้วิทยากร

น้อยได้มีความรู้ในด้านปัญหาขยะมูลฝอยและสามารถประชาสัมพันธ์ให้ผู้มาท่องเที่ยวเกาะนก

3. ควรมีกระบวนการให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยให้ประชาชนในชุมชนอย่างทั่วถึง เพื่อจะได้จัดการขยะที่ต้นทาง กลางทาง และปลายทางได้ และใช้กระบวนการ 3R อย่างมีประสิทธิภาพ

4. จากปัญหาขยะมูลฝอยบนเกาะนกส่วนใหญ่มาจากการพัฒนามาของกระแสน้ำ ดังนั้นควรมีการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษที่มากับกระแสน้ำอย่างถาวร เช่น ออกแบบสร้างเขื่อนกั้นขยะหรืออุปกรณ์ขนาดใหญ่กั้นขยะ หรือตะแกรงขนาดใหญ่กักเก็บขยะที่จะพัดเข้าในเกาะ โดยสร้างไว้บริเวณด้านต้นน้ำที่จะไหลเข้าเกาะ และสามารถเข้าจัดเก็บไปกำจัดได้โดยง่าย ซึ่งอาจต้องเสนอทางเทศบาลให้ดำเนินงานเรื่องนี้เพราะต้องใช้งบประมาณค่อนข้างมาก หรือในระยะสั้น ชุมชนอาจร่วมกันออกแบบใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นสร้างเครื่องมือกั้นถาวรดักขยะขึ้นใช้ก่อนก็ได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ขอขอบคุณหน่วยงานทางเทศบาลตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา และขอขอบคุณชาวชุมชนท่าข้ามที่ให้ความร่วมมือร่วมใจในการทำให้งานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กลุ่มงานอำนวยการ สำนักงานจังหวัดฉะเชิงเทรา. 2559. เกาะนก. เกาะนก ตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง. แหล่งที่มา: <http://www.chachoengsao.go.th/ccoprovince/index.php/2016-02-15-07-24-53/2016-04-29-06-35-58>, 12 สิงหาคม 2560

chachoengsao.go.th/ccoprovince/index.php/2016-02-15-07-24-53/2016-04-29-06-35-58, 12 สิงหาคม 2560

วิรัช ชมชื่น. 2537. พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของประชาชนในเขตเทศบาลเมืองนครปฐม. วิทยานิพนธ์สังคมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล.

ณัฐพร ดอกบุญนาค และ ธาปกรณ์ ทองคำนุช. 2556. รายงานการวิจัยการมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการการท่องเที่ยวกรณีศึกษาชุมชนในตลาดร้อยปีสามชุก อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี. กองทุนส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

ทศพร บุญประภา. 2551. ทักษะคิดของเยาวชนในสถานพินิจและคุ้มครองเด็กและเยาวชนต่อพระพุทธศาสนา : กรณีศึกษาเยาวชนในศูนย์ฝึกและอบรมเด็กและเยาวชนชายในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. ภาคนิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

เทศบาลตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา.

2560. สภาพทั่วไปและข้อมูลพื้นฐาน. แหล่งที่มา: http://www.thakam.go.th/data.php?page=5&menu_id=2, 10 เมษายน 2561

นิวัชนันท์ โทบุญญานนท์. 2544. การมีส่วนร่วมของประชาชนในแผนปฏิบัติการเพื่อจัดการขยะในเขตเทศบาล กรณีศึกษาเทศบาลเมืองพิจิตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ประภาพร แก้วสุกใส. 2549. การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการจัดการขยะมูลฝอยของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรรักษ์.

- ปริญญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต,
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ศุภัสร์มา ยี่สุนศรี. 2554. ความสัมพันธ์ระหว่าง
ความรู้และเจตคติกับพฤติกรรมการจัดการ
มูลฝอยของประชาชนในเขตเทศบาลตำบล
ฉลุง อำเภอเมืองสตูล จังหวัดสตูล.
วิทยานิพนธ์สาขารัฐศาสตรมหาบัณฑิต,
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- สุกิจ ดันโสภณธนาศักดิ์. 2550. ทักษะคิดของ
ประชาชนต่อการบริหารงานขององค์การ
บริหารส่วนตำบลแะ อำเภอศรีบุรี จังหวัด
นครราชสีมา. วิทยานิพนธ์รัฐ
ศาสตรมหาบัณฑิต,
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักงานจังหวัดฉะเชิงเทรา. 2560. **แผนพัฒนา
จังหวัดฉะเชิงเทรา (พ.ศ. 2557 – 2560)
ฉบับทบทวนใหม่ (รอบปี พ.ศ. 2560).** กลุ่ม
งานยุทธศาสตร์และข้อมูลเพื่อการพัฒนา
จังหวัด, ฉะเชิงเทรา. แหล่งที่มา: [http://](http://www.ccoprovince.chachoengsao.go.th/images/file_links/plan2557-2560.pdf)
- www.ccoprovince.chachoengsao.go.th/images/file_links/plan2557-2560.pdf, 15 สิงหาคม
2560.
- อนุสิษฐ์ บางแสง. 2553. การจัดการขยะภายใน
แหล่งท่องเที่ยว : กรณีศึกษาพิพิธภัณฑ์เมือง
โบราณ จังหวัดสมุทรปราการ. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต,
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Kaosol, T. 2009. Sustainable solution for
municipal solid waste management in
Thailand. **World Academy of Science,
Engineering and Technology** 60: 665-
670.
- Kuniyal, J.C., Jain, P.A. and Shannigrahi, A.S.
2003. Solid waste management in Indain
Himalayan tourists' treks: a case study in
and around the valley of flowers and
hemkund sahib. **Waste Management**
23(9): 807-816.

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการลดอุณหภูมิสารทำความเย็น ก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อน

Performance Enhancement of Air Conditioning with Refrigerant Temperature Reduction before Entering the Condenser Using Heat Exchanger Storage Tank

สิริสวัสดิ์ จิงเจริญนิรรช^{1*} และ ทวีวัฒน์ สุภารส²

Sirisawat Juengjaroennirachon^{1*} and Taveewat Suparos²

Received: 11 June 2019, Revised: 11 July 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อน ชุดทดลองประกอบด้วยระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 3.52 กิโลวัตต์ (12,000 บีทียูต่อชั่วโมง) ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศแบบไม่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน และระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดลองพบว่า ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์เมื่อไหลผ่านถังแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีอุณหภูมิลดลงเฉลี่ย 11.03 องศาเซลเซียส ในส่วนอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์เมื่อไหลผ่านถังแลกเปลี่ยนความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเฉลี่ย 5.63 องศาเซลเซียส อีกทั้งระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนได้เพิ่มขึ้น 12.11 เปอร์เซ็นต์ ใช้กำลังไฟฟ้าลดลง 3.10 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้น 15.38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่ได้ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000

¹ Department of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University, Talaychubsorn, Muang, Lopburi 15000, Thailand.

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

² Department of Mechanical Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Pracha Uthit Road, Bang Mod, Thung Khru, Bangkok 10140, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): sirisawat74@hotmail.com

คำสำคัญ: ระบบปรับอากาศ, การลดอุณหภูมิ, ถังแลกเปลี่ยนความร้อน, สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ

ABSTRACT

The aim of this research was to examine performance enhancement of air conditioning with refrigerant temperature reduction before entering the condenser using heat exchanger storage tank. The experimental unit consisted of a vapor compression of 3.52 kW (12,000 BTU/hr) capacity with R-22 refrigerant and air cooled condenser. This study was divided into two experimental systems – the system without the heat exchanger storage tank and the system with the heat exchanger storage tank. Considering the system with the heat exchanger storage tank, the results showed that the refrigerant temperature at the compressor outlet passing through the heat exchanger storage tank decreased at 11.03 °C while the refrigerant temperature at the evaporator outlet passing through the heat exchanger storage tank increased to 5.63 °C. Nevertheless, comparable results between the system without the heat exchanger storage tank and the system with the heat exchanger storage tank indicated that the heat transfer rate of condenser increased to 12.11 %, reduced power consumption by up to 3.10 %, and the highest coefficient of performance with an increase of 15.38 %.

Key words: air-conditioning system, temperature reduction, heat exchanger storage tank, coefficient of performance

บทนำ

ปัจจุบันระบบปรับอากาศเป็นอีกระบบหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในทุกภาคส่วน เช่น ภายในอาคาร ที่อยู่อาศัย และสำนักงาน เป็นต้น ระบบปรับอากาศส่วนมากที่ใช้จะเป็นแบบแยกส่วน (Split type) เพราะเป็นระบบปรับอากาศที่ราคาไม่สูง และติดตั้งง่าย ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนใช้หลักการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ (Stoecker and Jones, 1982) แต่เนื่องด้วยปัจจุบันประเทศไทยมีอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ระบบปรับอากาศทำงานหนักขึ้น ใช้พลังงานมากขึ้น ส่งผลให้ระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพลดลง เพราะคอนเดนเซอร์ถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดี เมื่อมีการใช้พลังงานมากขึ้นอาจทำให้เกิดการขาดแคลนพลังงานได้ในอนาคต ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาหลายวิธีการ

ในการเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานให้กับระบบปรับอากาศ เช่น (Yamtraipat *et al.*, 2006) ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศให้มีความเหมาะสมเพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (Atthajariyakul and Lertsatittanakom, 2008) ศึกษาการใช้พัดลมขนาดเล็กเป็นตัวช่วยเครื่องปรับอากาศในการถ่ายเทความร้อนเพื่อการประหยัดพลังงาน พบว่าเมื่อใช้พัดลมขนาดเล็กร่วมกับระบบปรับอากาศสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศลงได้ (Hajidavalloo and Eghtedari, 2010) ได้ปรับปรุงสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศด้วยการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยการติดตั้งแผ่นลดอุณหภูมิ พบว่าความสามารถในการทำทำความเย็นและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้น อีกทั้งยัง

สามารถลดการใช้พลังงานของระบบลงด้วย (Juengjaroennirachon *et al.*, 2012) ศึกษาปริมาณน้ำควบแน่นที่ออกมาจากอีวาพอเรเตอร์ภายใต้สภาวะต่างๆ ของระบบปรับอากาศ พบว่าการลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศส่งผลต่อการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ อีกทั้ง (Hsiao *et al.*, 2009) ได้ศึกษาการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ด้วยถังกักเก็บพลังงาน พบว่าถังกักเก็บพลังงานสามารถลดอุณหภูมิสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศได้ จึงส่งผลให้ระบบปรับอากาศใช้พลังงานลดลง นอกจากนี้การลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ด้วยถังกักเก็บพลังงานร่วมกับท่อความร้อน (Juengjaroennirachon *et al.*, 2017) และการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเข้ากับระบบปรับอากาศ (Nasution, *et al.*, 2019) ก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ และลดการใช้พลังงานให้กับระบบปรับอากาศได้เช่นกัน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ซึ่งข้อดีของถังแลกเปลี่ยนความร้อนคือ ใช้หลักการถ่ายโอนความร้อนภายในระบบระหว่างสารทำความเย็นด้านอุณหภูมิสูงและสารทำความเย็นด้านอุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นการพัฒนาให้ระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานที่ลดลงโดยที่สามารถให้ความเย็นได้เท่าเดิมหรือ

เพิ่มขึ้น จะส่งผลดีกับทั้งผู้ใช้และประเทศชาติ อีกทั้งยังเป็นการใช้พลังงานให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุดและเป็นการช่วยลดภาวะโลกร้อนอีกด้วย

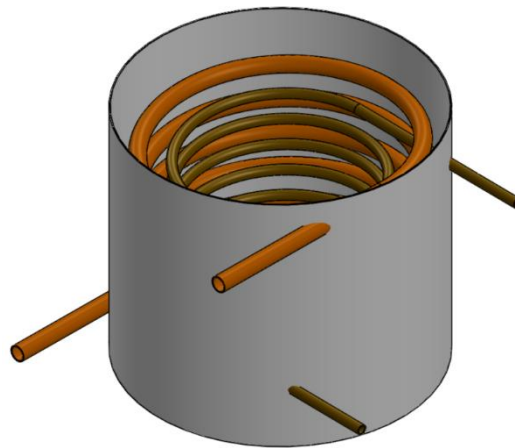
วิธีดำเนินการวิจัย

1. อุปกรณ์และการออกแบบ

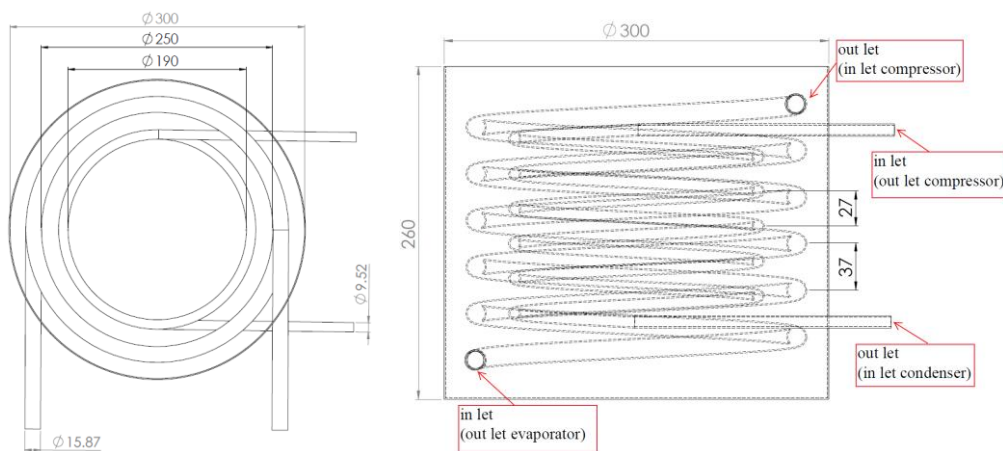
การศึกษการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น ได้ใช้ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 3.52 kW (12,000 บีทียูต่อชั่วโมง) โดยใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ แสดงดังภาพที่ 1 ชุดถังแลกเปลี่ยนความร้อนสร้างจากถังสแตนเลสทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาด 300 มิลลิเมตร สูง 260 มิลลิเมตร หุ้มฉนวนกันความร้อน ด้านในถังมีท่อทองแดงขดอยู่ 2 ขด แสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งขดที่ 1 ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.52 มิลลิเมตร นำมาขดให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขดท่อ 190 มิลลิเมตร ระยะพิตช์ 27 มิลลิเมตร ถูกติดตั้งระหว่างคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์ ในส่วนขดที่ 2 ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.87 มิลลิเมตร นำมาขดให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขดท่อ 250 มิลลิเมตร ระยะพิตช์ 37 มิลลิเมตร ถูกติดตั้งระหว่างอีวาพอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์ แสดงดังภาพที่ 3 โดยภายในถังบรรจุน้ำ 17 ลิตร



ภาพที่ 1 ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน



ภาพที่ 2 ถังแลกเปลี่ยนความร้อน

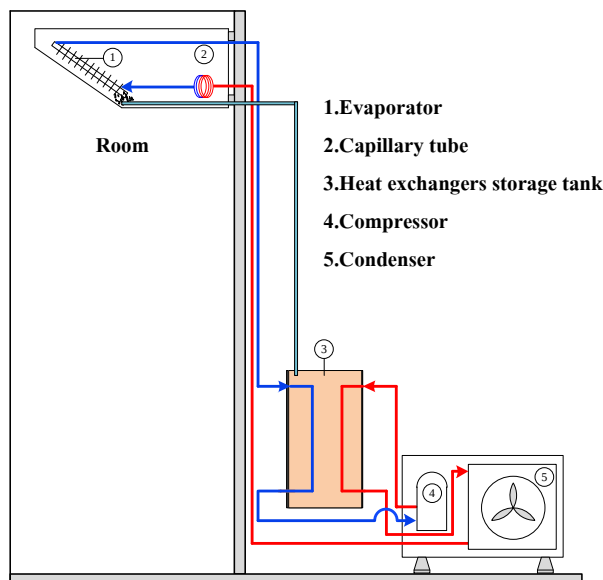


ภาพที่ 3 รายละเอียดของถังแลกเปลี่ยนความร้อน

2. หลักการทำงานของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งชุดถังแลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อเปิดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์จะดูดสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ แรงดันต่ำ สถานะเป็นแก๊สจากอีวาพอเรเตอร์แล้วอัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิสูง และแรงดันสูงไปที่ชุดถังแลกเปลี่ยนความร้อน สารทำความเย็นจะถูกน้ำที่บรรจุภายในถังดูดซับความร้อนไว้ส่วนหนึ่งก่อนที่สารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่คอนเดนเซอร์ เพื่อควบแน่นเป็นของเหลว และมีการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นก่อนที่จะไปลดแรงดันที่แคปิลารีทิว และสารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่อีวาพอเรเตอร์ ขณะที่

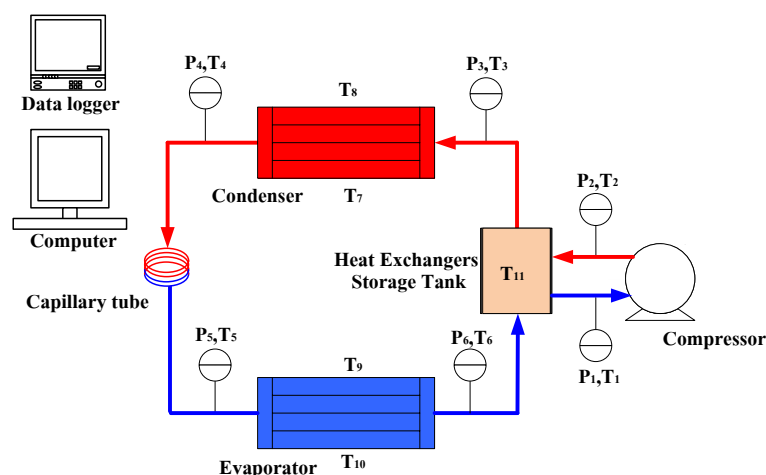
สารทำความเย็นสถานะของเหลวภายในอีวาพอเรเตอร์จะเหวี่ยงตัวเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส จะดูดซับปริมาณความร้อนจากอากาศโดยรอบ ทำให้อากาศโดยรอบอีวาพอเรเตอร์ มีอุณหภูมิต่ำลง และจะเกิดน้ำควบแน่นที่อีวาพอเรเตอร์ สารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์จะมีอุณหภูมิที่ต่ำ และไหลเข้าสู่ชุดถังแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อช่วยควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่บรรจุภายในถัง ก่อนที่สารทำความเย็นจะถูกคอมเพรสเซอร์ดูดแล้วอัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิสูงและแรงดันสูงเป็นวัฏจักรต่อไป แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การทำงานของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน

ในการทดลองเติมน้ำในถังแลกเปลี่ยนความร้อน 17 ลิตร อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิในห้องทดลองที่ 24 - 26 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิของสารทำความเย็น อากาศ และน้ำภายในถังแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K โดยต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิยี่ห้อ LOGOSCREEN รุ่น Type 706550 ความแม่นยำ ± 1 องศาเซลเซียส วัดความดันของสาร

ทำความเย็นในระบบปรับอากาศโดยใช้บูดองเกจ และใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ายี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX รุ่น C.A.8210 ความถูกต้อง ± 0.3 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการเก็บข้อมูลการทดลองนั้นทำการเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยบันทึกค่าทุก 30 นาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 5 และในขั้นตอนของการทดลองนั้น ได้ดำเนินการทดลองซ้ำ



ภาพที่ 5 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิและความดันของระบบปรับอากาศ

โดยที่ $P_1 - P_6$ คือความดันของสารทำความเย็น $T_1 - T_6$ คืออุณหภูมิของสารทำความเย็น $T_7 - T_{10}$ คืออุณหภูมิของอากาศ T_{11} คืออุณหภูมิของน้ำ ระบบปรับอากาศแบบอัดไอจากการทดลอง

สามารถพิจารณาได้ดังนี้ (Juengjaroennirachon *et al.*, 2017)

อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์จากการทดลองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$Q_{cond} = \dot{m}_r ((h_2 - h_3) + (h_3 - h_4)) \quad (1)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาพอเรเตอร์จากการทดลองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$Q_{evap} = \dot{m}_r ((h_6 - h_5) + (h_1 - h_6)) \quad (2)$$

งานคอมเพรสเซอร์จากการทดลองสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$W_{comp} = \dot{m}_r (h_2 - h_1) \quad (3)$$

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 4

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_{comp}} \quad (4)$$

เมื่อ

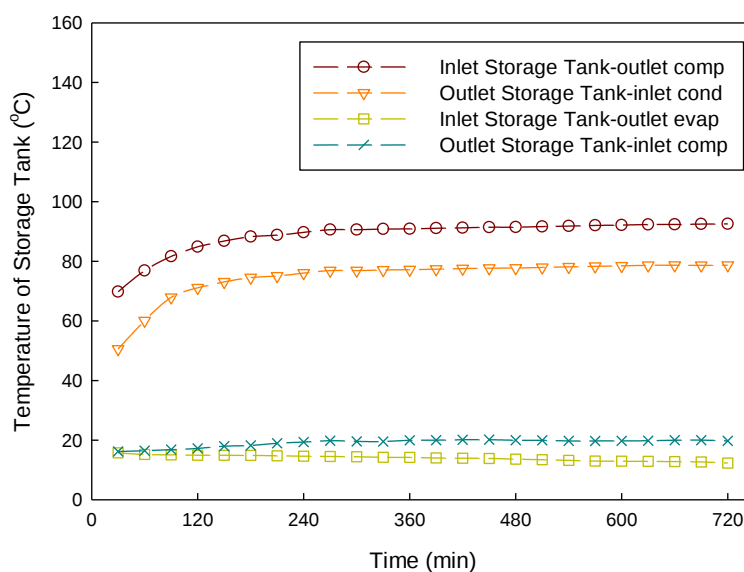
COP	คือ	สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบปรับอากาศ
h	คือ	เอนทาลปี
$\dot{m}_r$	คือ	อัตราการไหลสารทำความเย็น
Q_{cond}	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์
Q_{evap}	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาพอเรเตอร์

W_{comp} คือ งานคอมเพรสเซอร์

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2

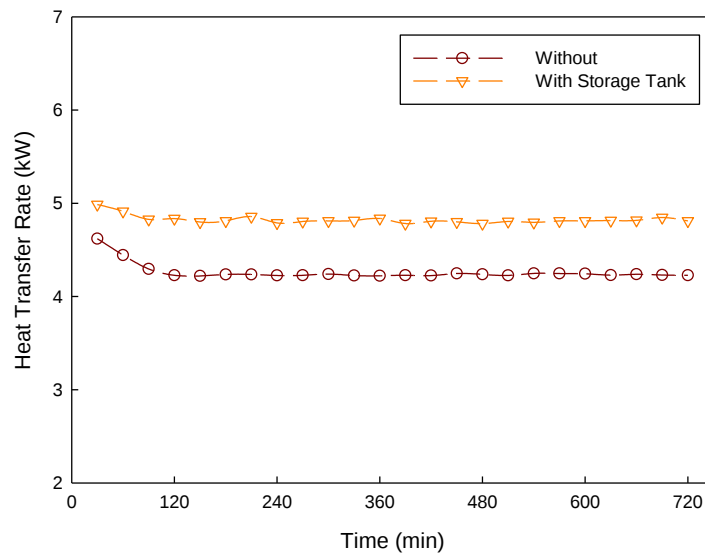
ระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศแบบไม่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน และระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าและออกจากถังแลกเปลี่ยนความร้อน

ภาพที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าและออกจากถังแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 88.65 องศาเซลเซียส และเมื่อไหลผ่านถังแลกเปลี่ยนความร้อน น้ำที่บรรจุอยู่ภายในถังจะดูดซับอุณหภูมิของสารทำความเย็น ซึ่งอุณหภูมิของสารทำความเย็นจะลดลงเฉลี่ย 11.03 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะไหลเข้าสู่คอนเดนเซอร์ ส่งผลให้ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำ

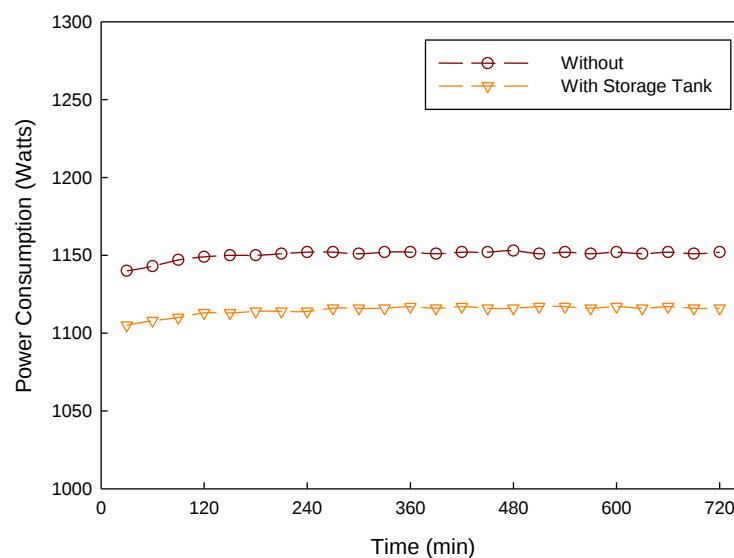
ความเย็นได้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 7 ในส่วนอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 13.08 องศาเซลเซียส และเมื่อไหลผ่านถังแลกเปลี่ยนความร้อน สารทำความเย็นจะดูดซับความร้อนของน้ำภายในถังอุณหภูมิของสารทำความเย็นก่อนไหลเข้าสู่คอมเพรสเซอร์จะสูงขึ้นเฉลี่ย 5.63 องศาเซลเซียส ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานในการขับเคลื่อนซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 8



ภาพที่ 7 อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์

ภาพที่ 7 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ในระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนและระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์เฉลี่ยเท่ากับ 4.21 กิโลวัตต์ และ 4.72 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า เนื่องจากถังแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถช่วยเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนระหว่างสาร

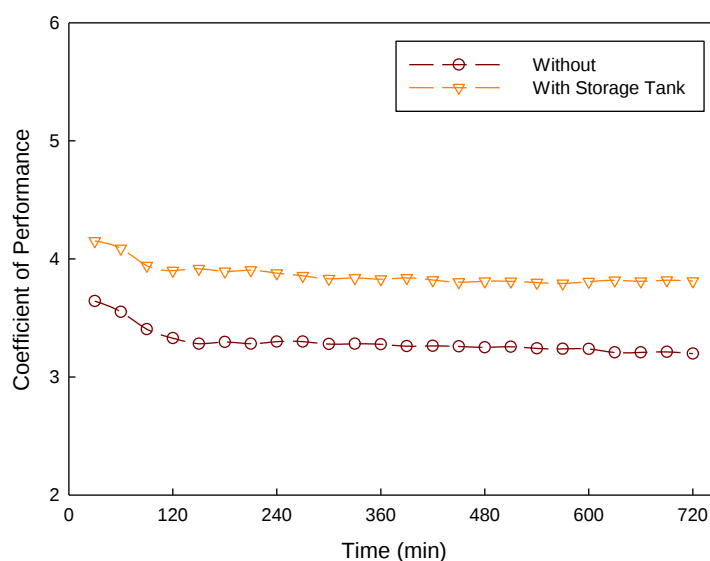
ทำความเย็นที่มีอุณหภูมิสูงกับสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ จึงส่งผลให้สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ออกมาจากคอนเดนเซอร์จะมีสถานะ Subcooled โดยสารทำความเย็นจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของสารทำความเย็นอิ่มตัวที่มีความดันเดียวกัน ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ในระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนจึงสูงกว่าระบบปรับอากาศที่ไม่ได้ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน



ภาพที่ 8 กำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

ภาพที่ 8 แสดงกำลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนและระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 1,150.38 วัตต์ และ 1,114.71 วัตต์ ตามลำดับ ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศได้มากกว่า เนื่องมาจากระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเพิ่ม

การระบายความร้อนและลดแรงดันของสารทำความเย็นทางเข้าคอนเดนเซอร์ในระบบปรับอากาศได้ดีกว่าระบบที่ไม่ได้ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน อีกทั้งสารทำความเย็นที่ออกจากถังแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ จะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและสถานะเป็นไอเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานในการขับเคลื่อน ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 9



ภาพที่ 9 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศ

ภาพที่ 9 แสดงสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนและระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.25 และ 3.75 ตามลำดับ ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูงกว่า เนื่องจากระบบทำความเย็นที่ออกจากคอนเดนเซอร์มีสถานะเป็น Subcool มากกว่า ทำให้ปริมาณของสารทำความเย็นที่เข้าสู่อีวาพอเรเตอร์มีปริมาณมากกว่าและแตกตัวเป็นฝอยละอองได้ดีกว่า จึงทำให้สามารถแลกเปลี่ยนกับภาวะในการปรับอากาศได้ปริมาณความร้อนที่สูง จึงส่งผลให้

สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูงกว่าระบบปรับอากาศที่ไม่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน

จากการศึกษาพบว่าผลการทดลองมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Hsiao *et al.*, 2009) ที่ได้ศึกษาการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ด้วยถังกักเก็บพลังงาน พบว่าผลการศึกษการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศของการให้ไหลลดความเย็นคงที่ 3.05 กิโลวัตต์, 3.50 กิโลวัตต์ และ 3.95 กิโลวัตต์ มีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะเพิ่มขึ้น 16.0 เปอร์เซ็นต์, 15.6 เปอร์เซ็นต์ และ 14.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนของ

(Hajidavalloo and Eghtedari, 2010) ได้ปรับปรุงสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศด้วยการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ พบว่าใช้กำลังไฟลดลง 20 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะเพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ และ (Juengjaroenirachon *et al.*, 2017) ได้ศึกษาการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ด้วยถังเก็บพลังงานร่วมกับท่อความร้อน ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบปรับอากาศได้ 22.75 เปอร์เซ็นต์ และลดการใช้พลังงานให้กับระบบปรับอากาศได้ 3.76 เปอร์เซ็นต์ การใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบปรับอากาศได้ ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพอาจน้อยกว่าวิธีอื่น แต่มีข้อดีคืออุปกรณ์ไม่ซับซ้อน ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยและใช้การควบคุมอุณหภูมิด้วยการถ่ายโอนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิสูงและสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำโดยอาศัยน้ำภายในถัง

สรุป

จากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบปรับอากาศด้วยการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าคอนเดนเซอร์โดยใช้ถังแลกเปลี่ยนความร้อน ชุดทดลองประกอบไปด้วยระบบทำความเย็นแบบอัดไอ ขนาด 3.52 กิโลวัตต์ (12,000 บีทียูต่อชั่วโมง) ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ถึงแลกเปลี่ยนความร้อนสร้างจากถังสแตนเลสทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาด 300 มิลลิเมตร สูง 260 มิลลิเมตร หุ้มฉนวนกันความร้อน ด้านในถังมีท่อทองแดงขดอยู่ 2 ชุด ซึ่งชุดที่ 1 ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.52 มิลลิเมตร นำมาขดให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในชุดท่อ 190 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 27 มิลลิเมตร ถูกติดตั้งระหว่าง

คอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์ ในส่วนชุดที่ 2 ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.87 มิลลิเมตร นำมาขดให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในชุดท่อ 250 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 37 มิลลิเมตร ถูกติดตั้งระหว่างอีวาพอเรเตอร์และคอมเพรสเซอร์ โดยภายในถังบรรจุน้ำ 17 ลิตร ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศแบบไม่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน และระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดลองพบว่าสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 88.65 องศาเซลเซียส และเมื่อไหลผ่านถังแลกเปลี่ยนความร้อน สารทำความเย็นจะมีอุณหภูมิลดลงเฉลี่ย 11.03 องศาเซลเซียส ในส่วนอุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 13.08 องศาเซลเซียส และเมื่อไหลผ่านถังแลกเปลี่ยนความร้อน สารทำความเย็นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเฉลี่ย 5.63 องศาเซลเซียส อีกทั้งระบบปรับอากาศที่ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถ่ายเทความร้อนได้เพิ่มขึ้น 12.14 เปอร์เซ็นต์ ใช้กำลังไฟฟาลดลง 3.10 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้น 15.38 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่ได้ติดตั้งถังแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจากการทดลองนั้น มีความเป็นไปได้ที่จะนำถังแลกเปลี่ยนความร้อนมาติดตั้งใช้งานจริงกับระบบปรับอากาศ นอกจากนี้ในการวิจัยต่อไปในอนาคตควรศึกษาการเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนให้กับท่อภายในถังแลกเปลี่ยนความร้อน และศึกษาในส่วนของเหลวที่บรรจุในถังแลกเปลี่ยนความร้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีที่สนับสนุนทุนวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่อำนวยความสะดวก
สถานที่ทำงานวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาครุศาสตร์
เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความ
อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในงานวิจัยจน
สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Atthajariyakul, S. and Lertsattitnakorn, C. 2008. Small fan assisted air conditioner for thermal comfort and energy saving in Thailand. **Energy Conversion and Management** 49(10): 2499-2504.
- Hajidavalloo, E. and Eghtedari, H. 2010. Performance improvement of air-cooled refrigeration system by using evaporatively cooled air condenser. **International Journal of Refrigeration** 33: 982-988.
- Hsiao, M.J., Heng, C.H.C., Huang, M.C. and Chen, S.L. 2009. Performance enhancement of a subcooled cold storage air conditioning system. **Energy Conversion and Management** 50(12): 2992-2998.
- Juengjaroennirachon, S., Namprakai, P., Pratinthong, N., Suparos, T. and Roonprasang, N. 2012. A study of the amount of condensed water coming out of evaporator under different air temperature conditions affecting energy savings in air-conditioning system, pp. 1081-1087. *In The International conference 13th of the Thai Society of Agricultural Engineering 2012*. Chiangmai, Thailand.
- Juengjaroennirachon, S., Pratinthong, N., Namprakai, P. and Suparos, T. 2017. Performance enhancement of air conditioning using thermosyphon system's energy storage unit for cooling refrigerant before entering the condenser. **Journal of Mechanical science and Technology** 31(1): 393-400.
- Nasution, D.M., Idris, M., Pambudi, N.A. and Weriono. 2019. Room air conditioning performance using liquid-suction heat exchanger retrofitted with R290. **Case Studies in Thermal Engineering** 13: 1-7.
- Stoecker, W.F. and Jones, J.W. 1982. **Refrigeration & Air Conditioning, 2nd International edition**. McGraw-Hill, Singapore.
- Yamtraipat, N., JKhedari, J., Hirunlabh, J. and Kunchornrat, J. 2006. Assessment of Thailand indoor set-point impact on energy consumption and environment. **Energy Policy** 34: 765-770.

**ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านครอบครัว และปัจจัย
ด้านที่ทำงานที่มีต่อองค์ประกอบคุณภาพชีวิตบุคลากร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย**

**Relationship between Personal Factor, Family Factor and Workplace
Factor on Personnel's Quality of Life of Rajamangala University
of Technology Srivijaya**

พัชร แสงสุวรรณ^{1*} สุทธิพร บุญมาก² และ เมธี ดิสวัสดิ์³

Phatchara Seangsuwan^{1*} Suttiporn Bunmak² and Mathi Di-sawat³

Received: 6 March 2019, Revised: 26 June 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันสังคมไทยมีการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง วัฒนธรรมและสภาพแวดล้อม ซึ่งผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงมีอำนาจในการกำหนดบทบาท หน้าที่และคุณภาพชีวิต คุณภาพชีวิตที่ดีทำให้คนทำงานอย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้องค์กรประสบความสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ การศึกษาครั้งนี้อาศัยระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านครอบครัว และปัจจัยด้านที่ทำงานที่มีต่อองค์ประกอบคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย โดยเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 300 คน และอาศัยวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Product Moment Correlation Coefficient : r) ผลการศึกษาพบว่า อายุ ระดับการศึกษา อายุการปฏิบัติงาน รายได้ต่อเดือน สบายงาน สภาพแวดล้อมกายภาพที่บ้าน การสนับสนุนทางสังคมจากครอบครัว รายได้ของสมาชิกในครอบครัว สภาพแวดล้อมกายภาพที่บ้าน และการสนับสนุนทางสังคมจากเพื่อนร่วมงาน มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 0.01 ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยและ

¹ สาขาการบริหารและพัฒนาสังคม คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดสงขลา 90000

¹ Social Administration and Development Department, Faculty of Humanities and Social Sciences, Taksin University, SongKhla 90000, Thailand.

² สาขาการบริหารและพัฒนาชุมชน คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดสงขลา 90000

² Community Development Department, Faculty of Humanities and Social Sciences, Taksin University, SongKhla 90000, Thailand.

³ สาขาวิชาการประเมินผลและวิจัย คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดสงขลา 90000

³ Evaluation and Research Department, Faculty of Education, Taksin, Taksin University, SongKhla 90000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): phat.chara@yahoo.com

สามารถนำเป็นแนวทางการกำหนดกลยุทธ์ในการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

คำสำคัญ: คุณภาพชีวิต, ปัจจัยด้านครอบครัว, ปัจจัยด้านที่ทำงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ABSTRACT

Nowadays, Thai society has changed in terms of economy, society, politics, culture and environment which the impact of change has its power to define rules, duties and quality of life. Therefore, having a good quality of life enables a person to work effectively and, as a result, the organization achieves its goals. This study was conducted as quantitative research with the purpose of investigating the relationship between personal factors, family factor, and work factors with the quality of life. The sample consisted of 300 staffs of Rajamangala University of Technology Srivijaya. The data were statistically analyzed using Pearson's Product Moment Correlation Coefficient. The results of the study showed that factors that related to the quality of life of personnel at Rajamangala University of Technology Srivijaya were age, education degree, working tenures, monthly income, working lines, housing physical environment, social support from family, family members' incomes, working physical environment, and social support from colleagues with statistical significance at 0.05 and 0.01 levels. The result of this study indicated the quality of life of personnel at Rajamangala University of Technology Srivijaya and it will be used as a guideline for creating strategies to improve and develop the quality of life of personnel at Rajamangala University of Technology Srivijaya.

Key words: quality of life, family factor, work factors, Rajamangala University of Technology Srivijaya

บทนำ

คุณภาพชีวิตเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อบุคคลและสังคม คุณภาพชีวิตจึงเป็นเป้าหมายและวิธีการของการพัฒนามนุษย์และสังคม นักพัฒนาทรัพยากรมนุษย์และผู้บริหารจึงพยายามที่จะปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพชีวิตของบุคลากรในองค์กรให้ทุกคนมีความเป็นอยู่ที่ดีตามมาตรฐานที่เหมาะสม (สำราญ และคณะ, 2555) นอกจากนี้คุณภาพชีวิตจะมีความสำคัญที่ส่งผลต่อตนเองในระดับปัจเจกชนแล้ว คุณภาพชีวิตยังมีความสำคัญที่ส่งผลต่อองค์กรและสังคมในระดับเมโสและระดับมหภาคเช่นกัน

กล่าวคือ เมื่อปัจเจกบุคคลมีคุณภาพชีวิตที่ดีแล้ว ช่วยทำให้ 1) คนที่มีคุณภาพชีวิตจะใช้ชีวิตในงานที่ดี ไม่ก่อให้เกิดปัญหาทั้งต่อตนเองและผู้อื่น 2) คนที่มีคุณภาพชีวิตจะปรับปรุงตนเอง สังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างสร้างสรรค์ 3) คนที่มีคุณภาพชีวิตจะใช้สติปัญญา เหตุผล และสันติในการแก้ไขปัญหา 4) คนที่มีคุณภาพชีวิตจะยอมรับในคุณค่าของตนเอง ผู้อื่น และสิ่งแวดล้อม คุณภาพชีวิตในระดับปัจเจกบุคคล จึงส่งผลทำให้คนอยู่ร่วมกับคนอื่น ๆ และสิ่งแวดล้อมอย่างราบรื่นปราศจากอคติ 5) คนที่มีคุณภาพชีวิตจะทำให้เกิดความสงบสุขในครอบครัว

สังคม และทำให้ครอบครัวสังคมเจริญก้าวหน้า มีความมั่นคง ปลอดภัย และเป็นระเบียบเรียบร้อย (ทิพย์วัลย์, 2554)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ภายใต้พระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2548 มาตรา 7 กำหนดให้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยเป็นสถาบันอุดมศึกษาด้านวิชาชีพและเทคโนโลยี มีวัตถุประสงค์ให้การศึกษา ส่งเสริมวิชาการ และวิชาชีพชั้นสูงที่เน้นการปฏิบัติ ทำการสอน ทำการวิจัย ผลิตครูวิชาชีพ ให้บริการทางวิชาการ ในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่สังคม ทำนุบำรุงศิลปะและวัฒนธรรม และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม โดยให้ผู้สำเร็จอาชีวศึกษามีโอกาสในการศึกษาต่อด้านวิชาชีพเฉพาะทางระดับปริญญาเป็นหลัก ซึ่งได้รวมคณะและวิทยาเขตของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลในกลุ่มภาคใต้ 5 หน่วยงานเข้าด้วยกัน ได้แก่ 1) คณะเกษตรศาสตร์ (ทุ่งใหญ่) จังหวัดนครศรีธรรมราช 2) วิทยาเขตนครศรีธรรมราช (ไสใหญ่) 3) วิทยาเขตศรีวิชัย (ขนอม) จังหวัดนครศรีธรรมราช 4) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง จังหวัดตรัง และ 5) วิทยาเขตภาคใต้ จังหวัดสงขลา ทำให้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มีพื้นที่จัดการศึกษา 4 จังหวัด คือ 1) จังหวัดสงขลา 2) จังหวัดตรัง 3) จังหวัดนครศรีธรรมราช และ 4) จังหวัดชุมพร โดยพื้นที่จัดการศึกษาในจังหวัดสงขลาเป็นที่ตั้งของสำนักงานอธิการบดีในการบริหารจัดการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย โดยมีจำนวนบุคลากรมากที่สุด และพื้นที่จังหวัดสงขลาเป็นพื้นที่หลักในการจัดการเรียนการสอน ในกรณีนี้ จึงกำหนดขอบเขตการศึกษาเฉพาะพื้นที่บ่อทราย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา โดยมีบุคลากรที่ทำงานในพื้นที่สงขลา จำนวน 698 คน

คุณภาพชีวิตของบุคลากรในสถาบันการศึกษาเป็นสิ่งที่สำคัญ บุคลากรที่มี

คุณภาพชีวิตที่ดีส่งผลทำให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และความรู้สึกรักสถาบันการศึกษา การศึกษาคุณภาพชีวิตของบุคลากรในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยในระดับปัจเจกบุคคล จึงมีคุณค่าและมีความสำคัญต่อการพัฒนาสถาบันการศึกษา เนื่องจากคุณภาพชีวิตของบุคลากรส่งผลต่อองค์กรในระดับเมโสเช่นกัน ในการวิจัยครั้งนี้ นักวิจัยต้องการตอบคำถามวิจัยว่า ปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านครอบครัว และปัจจัยด้านการทำงานมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยหรือไม่ ในการศึกษาคุณภาพชีวิตบุคลากรในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยครั้งนี้ จึงกำหนดวัตถุประสงค์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยกับปัจจัยต่างๆ โดยกำหนดตัวแปรอิสระดังนี้ 1) ปัจจัยส่วนบุคคล คือ อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา อายุการปฏิบัติงาน รายได้ต่อเดือน สายงาน จำนวนสมาชิกในครัวเรือน จำนวนสมาชิกที่มีรายได้ในครอบครัว และรายได้ของสมาชิกในครอบครัว 2) ปัจจัยด้านครอบครัว คือ สภาพแวดล้อมกายภาพที่บ้าน และการสนับสนุนทางสังคมจากครอบครัว 3) ปัจจัยด้านที่ทำงาน คือ สภาพแวดล้อมกายภาพในที่ทำงาน และการสนับสนุนทางสังคมจากเพื่อนร่วมงาน เพื่อตอบคำถามวิจัยดังกล่าวต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้อาศัยระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณ เพื่อตอบวัตถุประสงค์ในการวิจัย ซึ่งจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณจากสูตรของ ทาโร่ ยามาเน่ (Taro Yamane) ไม่น้อยกว่า จำนวน 254 คน จากประชากร 698 คน ณ วันที่ 6 เมษายน 2560 ที่บุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยใน

พื้นที่ตำบลบ่อทราย อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา ในการนี้ จึงออกแบบเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง โดยกำหนดจำนวนประเภทสายงานวิชาการและสายงานสนับสนุนอย่างละ 150 คน รวมขนาดตัวอย่างจำนวน 300 คน เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพชีวิตบุคลากรสายสนับสนุนและสายวิชาการ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบสอบถาม ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ข้อมูลลักษณะส่วนบุคคล ตอนที่ 2 ข้อมูลคุณภาพชีวิต ประกอบไปด้วย 3 ด้านคือ 1) ด้านสุขภาพ ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่น 0.84 2) ด้านครอบครัว ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่น 0.93 และ 3) ด้านการทำงาน ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่น 0.94 ตอนที่ 3 ข้อคำถามเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมกายภาพ ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ 1) สภาพแวดล้อมกายภาพที่บ้าน ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่น 0.84 2) สภาพแวดล้อมกายภาพที่ทำงาน ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่น 0.92 ตอนที่ 4 ข้อคำถามเกี่ยวกับการสนับสนุนทางสังคม ซึ่งได้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ 1) การสนับสนุนทางสังคมจากครอบครัว ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่น 0.95 2) การสนับสนุนทางสังคมจากเพื่อนร่วมงาน ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่น 0.97 ตอนที่ 5 ปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ ประกอบด้วยข้อคำถามปลายเปิดเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะต่อคุณภาพชีวิตบุคลากรในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เมื่อรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามกลับมาแล้ว ผู้วิจัยนำแบบสอบถามมาตรวจสอบความถูกต้องและสมบูรณ์ แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลข้อมูลโดยอาศัยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูปเพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติทางคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยสถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน ทั้งนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาเพื่ออธิบายข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับปัจจัยบุคคล ปัจจัยด้านครอบครัว ปัจจัยด้านที่ทำงาน สถิติที่ใช้ในการ

วิเคราะห์ ได้แก่ ความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และสถิติเชิงอนุมานเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยกับปัจจัยต่างๆ อาศัยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Product Moment Correlation Coefficient : r) ในกรณีที่ตัวแปรอิสระอยู่ในระดับมาตราอันตรภาคหรืออัตราส่วน (Interval/Ratio) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (Point Biserial Correlation Coefficient) สำหรับกรณีที่ตัวแปรอิสระเป็น มาตรานามบัญญัติ (Nominal) ซึ่งได้ทำเป็นตัวแปรหุ่น (Dummy variable) โดยมีเกณฑ์วัดระดับความสัมพันธ์ ดังนี้

-1.00 หมายถึง มีความสัมพันธ์เต็มที่และไปในทิศทางตรงข้าม

-0.76 ถึง -0.99 หมายถึง มีความสัมพันธ์ในระดับสูงมากและไปในทิศทางตรงกันข้าม

-0.56 ถึง -0.75 หมายถึง มีความสัมพันธ์ในระดับสูง และไปในทิศทางตรงข้าม

-0.26 ถึง -0.55 หมายถึง มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางไปในทิศทางตรงข้าม

-0.01 ถึง -0.25 หมายถึง มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำและไปในทิศทางตรงข้าม

0.00 หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์

0.01 ถึง 0.25 หมายถึง มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ และไปในทิศทางเดียวกัน

0.26 ถึง 0.55 หมายถึง มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางและไปในทิศทางเดียวกัน

0.56 ถึง 0.75 หมายถึง มีความสัมพันธ์ในระดับสูง และไปในทิศทางเดียวกัน

0.76 ถึง 0.99 หมายถึง มีความสัมพันธ์ในระดับ สูงมากและไปในทิศทางเดียวกัน

1.00 หมายถึง มีความสัมพันธ์เต็มที่
และไปในทิศทางเดียวกัน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

บุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 30-40 ปี มีสถานภาพโสดและสมรส มีระดับการศึกษาปริญญาตรีและปริญญาโท มีอายุการปฏิบัติงาน 1-5 ปี เป็นส่วนใหญ่ มีรายได้ต่อเดือนระหว่าง 25,001-35,000 บาท มีจำนวนสมาชิกในครอบครัว 1-3 คน มีจำนวนสมาชิกที่มีรายได้ในครอบครัว 1-2 คน มีรายได้ของสมาชิกในครอบครัวต่อเดือน 25,000-40,000 บาท และระดับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยมีคุณภาพชีวิตโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 3.69$) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า คุณภาพชีวิตด้านสุขภาพ บุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.68$) คุณภาพชีวิตด้านครอบครัว บุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.06$) และคุณภาพชีวิตด้านการทำงานบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}=3.32$)

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคุณภาพชีวิตบุคลากร โดยอาศัยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (r) ในกรณีที่ตัวแปรอิสระอยู่ในระดับมาตราอันตรภาคหรืออัตราส่วนและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล ในกรณีที่ตัวแปรอิสระเป็นมาตรานามบัญญัติ

ซึ่งได้ทำเป็นตัวแปรหุ่น ผลการศึกษา จำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านครอบครัว และปัจจัยด้านที่ทำงาน ดังนี้

1. ปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ อายุ ระดับการศึกษา อายุการปฏิบัติงาน รายได้ต่อเดือน มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับคุณภาพชีวิตโดยรวม และเมื่อพิจารณารายด้านพบว่า อายุ ระดับการศึกษา อายุการปฏิบัติงาน รายได้ต่อเดือน และสถานภาพ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับคุณภาพชีวิตด้านการทำงาน ยกเว้นสายงานมีความสัมพันธ์เชิงลบกับคุณภาพชีวิตด้านครอบครัว คุณภาพชีวิตด้านการทำงาน และคุณภาพชีวิตโดยรวม

2. ปัจจัยด้านครอบครัว ได้แก่ สภาพแวดล้อมกายภาพที่บ้านและการสนับสนุนทางสังคมจากครอบครัวและรายได้ของสมาชิกในครัวเรือนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับคุณภาพชีวิตโดยรวม และเมื่อพิจารณารายด้านพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกคุณภาพชีวิตด้านสุขภาพ คุณภาพชีวิตด้านครอบครัว คุณภาพชีวิตด้านการทำงานเช่นกัน

3. ปัจจัยด้านที่ทำงาน ได้แก่ สภาพแวดล้อมกายภาพในที่ทำงาน และการสนับสนุนทางสังคมจากเพื่อนร่วมงานมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับคุณภาพชีวิตโดยรวม และเมื่อพิจารณารายด้านพบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับคุณภาพชีวิตด้านครอบครัว คุณภาพชีวิตด้านการทำงานเช่นกัน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพชีวิตของบุคลากรกับปัจจัยทุกด้าน

ปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคุณภาพชีวิต			
	ด้านสุขภาพ	ครอบครัว	ด้านการทำงาน	รวม
ปัจจัยส่วนบุคคล				
อายุ	0.01	-0.03	0.27**	0.14*
สถานภาพ	-0.10	-0.90	0.15*	-0.00
ระดับการศึกษา	-0.04	0.09	0.49**	0.30**
อาชुการปฏิบัติงาน	-0.04	-0.03	0.27**	0.12*
รายได้ต่อเดือน	-0.04	0.08	0.61**	0.36**
สายงาน	0.01	-0.12*	-0.46**	-0.31**
ปัจจัยด้านครอบครัว				
สภาพแวดล้อมกายภาพที่บ้าน	0.34**	0.38**	0.13*	0.40**
การสนับสนุนทางสังคมจากครอบครัว	0.27**	0.54**	0.21**	0.48**
จำนวนสมาชิกในครัวเรือน	-0.07	-0.05	-0.01	-0.06
จำนวนสมาชิกที่มีรายได้	0.01	0.07	-0.01	0.03
รายได้ของสมาชิกในครอบครัว	-0.07	0.03	0.32**	0.16**
ปัจจัยด้านที่ทำงาน				
สภาพแวดล้อมกายภาพที่ทำงาน	-0.06	0.20**	0.56**	0.37**
การสนับสนุนทางสังคมจากเพื่อนร่วมงาน	-0.07	0.22**	0.59**	0.39**

** และ* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 0.05 ตามลำดับ

คุณภาพชีวิตที่ดี คือ ความอยู่ดีมีสุข (Well-Being) ของบุคลากรที่มีต่อร่างกาย จิตใจ ครอบครัว สังคม การทำงาน ตามมาตรฐานการดำเนินชีวิตของบุคคล (Standard of Living) เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิต ได้แก่ ปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านครอบครัว และปัจจัยด้านที่ทำงาน กับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สามารถอภิปรายผลการศึกษาดังนี้

1. ปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ อายุ ระดับการศึกษา อาชุการปฏิบัติงาน รายได้ต่อเดือน และสายงานมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ยกเว้นสถานภาพ ซึ่งสามารถผลอภิปรายได้ดังนี้

1.1 อายุมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับต่ำกับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นั่นคือ เมื่ออายุเพิ่มมากขึ้นระดับคุณภาพชีวิตของบุคลากรจะสูงขึ้น อาจกล่าวได้ว่าเมื่อบุคลากรมีอายุเพิ่มมากขึ้นทำให้บุคลากรมี

ประสบการณ์ในการแก้ปัญหาได้ดี และส่งผลให้รู้แหล่งข้อมูลที่จะนำมาใช้ประกอบการตัดสินใจ และสามารถแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องผลการศึกษาของณัฐพร (2558) ศึกษาคุณภาพชีวิตการทำงาน ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดปทุมธานี พบว่า อายุ ส่งผลต่อระดับคุณภาพชีวิตการทำงาน ประกอบกับการศึกษาของดวงใจ (2554) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ ตำบลลำสินธุ์ อำเภอนครินทร์ จังหวัดพัทลุง พบว่า ปัจจัยด้านอายุ ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ

1.2 สถานภาพไม่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นั่นคือ สถานภาพไม่ได้ทำให้คุณภาพชีวิตของบุคลากรสูงขึ้นหรือลดลง อาจกล่าวได้ว่าบุคลากรให้ความสำคัญกับหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย จึงให้ความสำคัญกับหน้าที่การงานมากกว่าสถานภาพ โสด สมรส หม้าย หรือหย่าร้าง จึงไม่

ส่งผลต่อคุณภาพชีวิต สอดคล้องผลการศึกษาของปริยาภรณ์ (2559) ศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการทำงานของเจ้าหน้าที่พยาบาลโรงพยาบาลเอกชนแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคล อย่างสถานภาพไม่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตการทำงานของเจ้าหน้าที่พยาบาล ประกอบกับการศึกษาของบุญเอื้อ และ ปิยะดา (2554) ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยสุขภาพต่อคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ พบว่า สถานภาพสมรสไม่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ

1.3 ระดับการศึกษามีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นั่นคือ เมื่อบุคลากรมีระดับการศึกษาที่สูงระดับคุณภาพชีวิตของบุคลากรจะสูงขึ้น อาจกล่าวได้ว่า การศึกษาเป็นการพัฒนาความคิด และทัศนคติต่าง ๆ ทำให้สามารถเข้าใจและดำรงชีวิตในสังคมปัจจุบัน และสามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของชมพูนุท (2555) ศึกษาคุณภาพชีวิตการทำงานของพนักงานภาคธุรกิจเอกชนในจังหวัดยะลา พบว่า ระดับการศึกษา มีผลต่อคุณภาพชีวิตในการทำงานโดยรวมแตกต่างกัน

1.4 อายุการปฏิบัติงานมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับต่ำกับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นั่นคือ เมื่อบุคลากรมีอายุการปฏิบัติงานเพิ่มมากขึ้นก็จะมีคุณภาพชีวิตในระดับสูงขึ้น อาจกล่าวได้ว่า อายุการปฏิบัติงานนั้นส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดความผูกพันกับองค์กรจนเกิดความรักภักดี และเมื่อมีปัญหาจะใช้ประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับปัญหาที่หลากหลาย พร้อมทั้งยังมีการเรียนรู้ปรับตัวเรียนรู้สิ่งใหม่ๆ ทำให้มีความรู้ความเข้าใจต่อการทำงานและมีแบบแผนการใช้ชีวิตได้ดี ซึ่งเช่นเดียวกับผลการศึกษาของชมพูนุท

(2555) ศึกษาคุณภาพชีวิตการทำงานของพนักงานภาคธุรกิจเอกชนในจังหวัดยะลา พบว่า อายุงานมีผลกับคุณภาพชีวิตในภาพรวมแตกต่างกัน

1.5 รายได้ต่อเดือนมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับคุณภาพชีวิตของบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย คือ เมื่อบุคลากรมีรายได้เพิ่มมากขึ้นก็จะมีคุณภาพชีวิตในระดับสูงขึ้น อาจกล่าวได้ว่า บุคลากรที่มีรายได้สูงทำให้มีฐานะทางการเงินสูงซึ่งส่งผลต่อการดำรงชีวิตประจำวัน ไม่กังวลเรื่องหนี้สิน และสามารถสนับสนุนช่วยเหลือเพื่อนร่วมงานทำให้เป็นที่ยอมรับในหน่วยงาน เพื่อความอยู่รอดในการดำเนินชีวิตประจำวันได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของสมพร (2555) ศึกษาคุณภาพชีวิตการทำงานของบุคลากรสายสนับสนุนมหาวิทยาลัยเอกชนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่า รายได้เฉลี่ยต่อเดือนมีผลต่อคุณภาพชีวิตในการทำงาน

1.6 สายงานมีความสัมพันธ์เชิงลบระดับปานกลางกับบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นั่นคือ ภาระหน้าที่หรือภาระงานสูงขึ้นไปจะมีคุณภาพชีวิตน้อยลง อาจกล่าวได้ว่า ภาระงานที่มากขึ้นส่งผลต่อหน้าที่ความรับผิดชอบที่มากขึ้นไปด้วย ซึ่งส่งผลต่อตัวเองทำให้คุณภาพชีวิตน้อยลง ขาดการดูแลเอาใจใส่ตัวเอง ทั้งด้านสุขภาพ ด้านครอบครัว และด้านการทำงาน ซึ่งสอดคล้องกับสมพร (2555) ศึกษาคุณภาพชีวิตการทำงานของบุคลากรสายสนับสนุนมหาวิทยาลัยเอกชนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่า ภาระงานที่แตกต่างกันส่งผลให้คุณภาพชีวิตของบุคลากรแตกต่างกัน กล่าวคือ ภาระงานสูงขึ้นไปคุณภาพชีวิตลดลง

1.7 จำนวนสมาชิกในครัวเรือนไม่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิต นั่นคือ ครอบครัวของบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ส่วนใหญ่จะเป็นครอบครัวที่อยู่กันเดี่ยวๆ สมาชิกในครัวเรือนจึงไม่ต้องพึ่งพาซึ่งกันและกัน ซึ่งสอดคล้องกับบังอร และคณะ (2551) ศึกษาปัจจัยที่สัมพันธ์กับครอบครัวเข้มแข็ง พบว่า ครัวเรือนไทยมีขนาดเล็กลงจากเดิมเฉลี่ยประมาณ 4 คน ต่อไปครอบครัวในอนาคตน่าจะเป็นครอบครัวที่อยู่กันเดี่ยวมากยิ่งขึ้น ด้วยสมาชิกในครัวเรือนไม่ต้องพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน ประกอบกับการศึกษาของชลกรและทิพย์วัลย์ (2556) ศึกษาการยอมรับตนเองสัมพันธ์ภาพในครอบครัวการมีส่วนร่วมในชุมชนกับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุในเคหะชุมชนดินแดง กรุงเทพมหานคร พบว่า สัมพันธภาพในครอบครัวไม่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิต

1.8 จำนวนสมาชิกที่มีรายได้ไม่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิต นั่นคือ บทบาทและหน้าที่ของสมาชิกในครอบครัวมีความเสมอภาคระหว่างหญิงชายมากยิ่งขึ้น ไม่จำเป็นต้องพึ่งพากันจึงไม่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของบุคลากร สอดคล้องกับบังอร และคณะ (2551) ศึกษาปัจจัยที่สัมพันธ์กับครอบครัวเข้มแข็ง พบว่า ผู้หญิงมีบทบาทในครัวเรือนมากยิ่งขึ้น บทบาทในครัวเรือนจึงมีความเสมอภาคระหว่างหญิงชายมากขึ้น

1.9 รายได้ของสมาชิกในครอบครัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับต่ำกับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย คือ เมื่อครอบครัวของบุคลากรมีรายได้เพิ่มมากขึ้น ก็จะมีคุณภาพชีวิตในระดับสูงขึ้น อาจกล่าวได้ว่าครอบครัวที่มีรายได้มากย่อมทำให้ครอบครัวนั้นมีความมั่นคง มีสถานภาพทางเศรษฐกิจที่ดี ส่งผลต่อการตอบสนองความต้องการทางด้านร่างกายและจิตใจของสมาชิกในครอบครัว ทำให้สภาพความเป็นอยู่ภายในครอบครัวและคุณภาพชีวิตของสมาชิกในครอบครัวและตนเอง เช่นเดียวกับผลงานวิจัยของกาญจนา (2554) ศึกษาคุณภาพชีวิตของผู้ปกครองเด็ก

พัฒนาการซ้ำ พบว่า ความเพียงพอของรายได้ของครอบครัว กลุ่มตัวอย่างที่มีรายได้สูงจะมีระดับคุณภาพชีวิตดีกว่าผู้ที่มีรายได้ต่ำกว่า เนื่องจากรายได้เป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิต เป็นปัจจัยขั้นพื้นฐานของบุคคลและเป็นตัวกำหนดความพึงพอใจในชีวิต

2. ปัจจัยด้านครอบครัว ได้แก่ สภาพแวดล้อมกายภาพที่บ้าน การสนับสนุนทางสังคมจากครอบครัวและรายได้ของสมาชิกในครอบครัว มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ยกเว้นจำนวนสมาชิกในครัวเรือน และจำนวนสมาชิกที่มีรายได้ ซึ่งสามารถอภิปรายได้ดังนี้

2.1 สภาพแวดล้อมกายภาพที่บ้านมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย คือ เมื่อบุคลากรมีสภาพแวดล้อมกายภาพที่บ้านที่ดีและเหมาะสม จะมีระดับคุณภาพชีวิตสูงขึ้น อาจกล่าวได้ว่า การอยู่อาศัยในสภาพแวดล้อมที่ดี จึงเป็นการส่งเสริมให้บุคลากรมีคุณภาพชีวิตที่ดีและมีความสุขได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของบัณฑิต (2558) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัยภายในโครงการบ้านเอื้ออาทรร่มเกล้าสองพบว่า คุณภาพชีวิตของผู้ที่พักอาศัยในโครงการบ้านเอื้ออาทรที่ได้รับการดูแล การบริหารจัดการจากภาครัฐเป็นอย่างดี จะทำให้คุณภาพชีวิตอยู่ในระดับดีมากขึ้น

2.2 การสนับสนุนทางสังคมจากครอบครัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นั่นคือ เมื่อบุคลากรได้รับการสนับสนุนทางสังคมจากครอบครัวมากขึ้น จะมีคุณภาพชีวิตสูงขึ้น อาจกล่าวได้ว่า บุคลากรที่ได้รับการสนับสนุนทางสังคมจากครอบครัว ซึ่งการได้รับความรัก ความ

สนใจ และการดูแลเอาใจใส่ การได้รับการยอมรับยกย่อง ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณภาพชีวิตที่สมบูรณ์ ทำให้บุคคลสามารถปรับตัวเข้ากับสังคมได้อย่างเหมาะสม ทำให้มีคุณภาพชีวิตที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของวิชภา (2552) ศึกษาการสนับสนุนทางสังคมและการปรับตัวทางสังคมที่มีผลต่อบทบาทในครอบครัว และการมีส่วนร่วมในชุมชน ของสตรีกะเหรี่ยงจังหวัดราชบุรี พบว่า การสนับสนุนทางสังคม ด้านการยอมรับและเห็นคุณค่า มีผลในเชิงบวกกับบทบาทด้านการผลิตของสตรีกะเหรี่ยง กล่าวได้ว่า สตรีกะเหรี่ยงได้รับการยอมรับและเห็นคุณค่าจากคนในครอบครัวมาก ทำให้สตรีกะเหรี่ยงมีบทบาทด้านการผลิตมากขึ้น การสนับสนุนทางสังคมด้านเครื่องมือ สิ่งของ เงินทอง และแรงงาน มีผลเชิงบวกต่อบทบาทการมีส่วนร่วมในชุมชนของสตรีกะเหรี่ยง ประกอบกับการศึกษาปิยะกมล และ บัวทอง (2555) ศึกษาการสนับสนุนทางสังคม และความพึงพอใจทางใจของผู้สูงอายุในชมรมผู้สูงอายุ พบว่า การสนับสนุนทางสังคมโดยรวมมีความสัมพันธ์ทางบวกกับความพึงพอใจโดยรวมของผู้สูงอายุ หากพิจารณาเป็นรายด้านแล้ว การสนับสนุนด้านอารมณ์ด้านการเป็นส่วนหนึ่งของสังคมและด้านเงินทอง สิ่งของแรงงาน มีความสัมพันธ์กับความพึงพอใจสูงกว่าด้านอื่นๆ

3. ปัจจัยด้านการทำงาน ได้แก่ สภาพแวดล้อมกายภาพที่ทำงาน และการสนับสนุนทางสังคมจากเพื่อนร่วมงาน มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ซึ่งสามารถอภิปรายผลการศึกษาดังนี้

3.1 สภาพแวดล้อมกายภาพที่ทำงานมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นั่นคือ เมื่อบุคลากรมีสภาพแวดล้อมกายภาพที่ทำงานที่เหมาะสมดีจะมีคุณภาพชีวิตสูงขึ้น อาจกล่าว

ได้ว่า สภาพแวดล้อมเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อสุขภาพของบุคลากรและในที่ทำงานสภาพแวดล้อมจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานที่ของบุคลากรที่ได้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ดี จึงเป็นการส่งเสริมให้บุคลากร มีคุณภาพชีวิตที่ดี ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับผลงานวิจัยของพิชญ (2552) ศึกษา สภาพการทำงานที่ส่งผลคุณภาพชีวิตในการทำงานของพนักงานควบคุมการจราจรทางอากาศ บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด พบว่า สุขภาวะในการปฏิบัติงานส่งผลต่อคุณภาพชีวิตในการปฏิบัติงานในระดับมาก สอดคล้องกับธนชฤดี (2557) ศึกษาคุณภาพชีวิตการทำงานของพนักงานการเคหะแห่งชาติ: กรณีศึกษาพนักงานผู้ปฏิบัติงานที่ในสำนักงานใหญ่ พบว่า สภาพแวดล้อมในการทำงานมีความสัมพันธ์ต่อคุณภาพชีวิตของพนักงานการเคหะแห่งชาติ

3.2 การสนับสนุนจากเพื่อนร่วมงานมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นั่นคือ เมื่อบุคลากรได้รับการสนับสนุนทางสังคมจากเพื่อนร่วมงานมากขึ้นจะมีคุณภาพชีวิตสูงขึ้น อาจกล่าวได้ว่า การสนับสนุนทางสังคมจากเพื่อนและผู้ร่วมงานจะช่วยลดความเครียดในการทำงาน ทำให้สามารถปฏิบัติงานได้เสร็จและมีคุณภาพ ซึ่งอาจทำให้คุณภาพชีวิตดีขึ้น ด้วยสอดคล้องกับผลงานวิจัยของธนชฤดี (2557) ศึกษาคุณภาพชีวิตการทำงานของพนักงานการเคหะแห่งชาติในสำนักงานใหญ่ พบว่า ความสัมพันธ์กับเพื่อนร่วมงานส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของพนักงานการเคหะแห่งชาติ

สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้าน

ครอบครัว และปัจจัยด้านที่ทำงานที่มีต่อองค์ประกอบคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เพื่อตอบคำถามวิจัยที่ว่า “ปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านครอบครัว และปัจจัยด้านการทำงานมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยหรือไม่” นักวิจัยอาศัยระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณเพื่อตอบคำถามวิจัยดังกล่าว โดยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยพื้นที่จังหวัดสงขลา จำนวน 300 คน และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Product Moment Correlation Coefficient : r) ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระอยู่ในระดับมาตราอันดับภาคหรืออัตราส่วน (Interval/Ratio) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบเซรียล (Point Biserial Correlation Coefficient) สำหรับกรณีที่มีตัวแปรอิสระเป็นมาตรานามบัญญัติ (Nominal) ทำเป็นตัวแปรหุ่น (Dummy variable) ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาเพื่อตอบคำถามวิจัยได้ดังนี้

1. ปัจจัยส่วนบุคคลมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ อายุ ระดับการศึกษา อายุการปฏิบัติงาน รายได้ต่อเดือน สายงานของบุคลากร และรายได้ของสมาชิกในครอบครัวมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

2. ปัจจัยด้านครอบครัวมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย พบว่า ปัจจัยด้านครอบครัว ได้แก่ สภาพแวดล้อมกายภาพที่บ้าน และการสนับสนุนทางสังคมจากครอบครัวมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

3. ปัจจัยด้านที่ทำงานมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย พบว่า ปัจจัยด้านที่ทำงาน ได้แก่ สภาพแวดล้อมกายภาพที่ทำงาน และการสนับสนุนทางสังคมจากเพื่อนร่วมงานมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.1 ผู้บริหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยควรจัดกิจกรรมสร้างสภาพแวดล้อมกายภาพในที่ทำงานที่ดี และส่งเสริมการสนับสนุนทางสังคมจากเพื่อนร่วมงานให้แก่บุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมคุณภาพชีวิตบุคลากร

1.2 ผู้บริหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยควรให้ความสำคัญต่อคุณภาพชีวิตด้านครอบครัวของบุคลากร โดยจัดทำนโยบายและแนวทางการพัฒนาการสภาพแวดล้อมกายภาพที่บ้าน การสนับสนุนทางสังคมจากครอบครัว และรายได้ของครอบครัว เพื่อส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีของบุคลากรเนื่องจากคุณภาพชีวิตด้านครอบครัวมีผลต่อคุณภาพชีวิตด้านการทำงานในองค์กรเช่นกัน

1.3 ผู้บริหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยควรจัดทำแผนกลยุทธ์ในการบริหารทรัพยากรมนุษย์ในระยะยาวโดยเฉพาะ คุณภาพชีวิตด้านการทำงานของบุคลากรสายสนับสนุน เพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตบุคลากรสายสนับสนุนโดยรวม

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

2.1 ควรศึกษาคุณภาพชีวิตบุคลากรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยให้ครบทุกพื้นที่ การ

จัดการเรียนการสอนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพชีวิตบุคลากรให้ดีขึ้น

2.2 ควรศึกษาคุณภาพชีวิตของบุคลากรในมิติอื่นๆ ประกอบเช่น คุณภาพชีวิตที่เป็นอยู่จริงกับคุณภาพชีวิตที่ต้องการ เพื่อให้ทราบสภาพความเป็นอยู่ของบุคลากรและสิ่งที่บุคลากรต้องการพัฒนาคุณภาพชีวิต

2.3 ควรศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพชีวิตของกลุ่มบุคลากรที่เป็นข้าราชการกับพนักงานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้มาจากวิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการบริหารและพัฒนาสังคม มหาวิทยาลัยทักษิณ นักวิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนการตีพิมพ์เผยแพร่จากหน่วยวิจัยการเปลี่ยนแปลงทางสังคมเพื่อพัฒนาสังคมในภาคใต้ของประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา คุณรังสีสมบูรณ์. 2554. **คุณภาพชีวิตของผู้ปกครองเด็กพัฒนาการช้า**. แหล่งที่มา: <http://thailand.digitaljournals.org/index.php/BSParticle/download/19097/18418>, 25 เมษายน 2560.
- ชมพูนุท ศรีพงษ์. 2555. **คุณภาพชีวิตการทำงานของพนักงานภาคธุรกิจเอกชนในจังหวัดยะลา**. วารสารปริชาต 15(3)(ฉบับพิเศษ): 11-19.
- ชลกร ศิรวรรณะ และ ทิพวัลย์ สุรินยา. 2556. **การยอมรับตนเองสัมพันธ์ภาพในครอบครัวการมีส่วนร่วมในชุมชนกับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุในเคหะชุมชนดินแดง**

กรุงเทพมหานคร. **วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์** 36(2): 80-94

- ณัฐพร ฉายประเสริฐ. 2558. **คุณภาพชีวิตการทำงานส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของโรงงานอุตสาหกรรม ในจังหวัดปทุมธานี**. วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา 14(2): 58.
- ดวงใจ คำคง. 2554. **ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ ตำบลลำสินธุ์ อำเภอสรีนครินทร์ จังหวัดพัทลุง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ทิพย์วัลย์ เรืองขจร. 2554. **วิทยาศาสตร์เพื่อคุณภาพชีวิต**. แหล่งที่มา: [http://sci.skru.ac.thsci_book/file/science for quality of life.pdf](http://sci.skru.ac.thsci_book/file/science%20for%20quality%20of%20life.pdf), 3 พฤษภาคม 2560.
- บั้งอร เทพเทียน, ปรีดา ตาสี, ปิยะฉัตร ตระกูลวงษ์ และ สุภัทรา อินทร์ไพบูลย์. 2551. **ปัจจัยที่สัมพันธ์กับครอบครัวเข้มแข็ง**. วารสารสาธารณสุขและการพัฒนา 6(2): 25-38.
- บัณฑิต ผังนรินทร์. 2558. **ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุภายในโครงการบ้านเอื้ออาทร ร่มเกล้า 2, น. 98**. ใน การประชุมสวนสุนันทาวิชาการระดับชาติครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, กรุงเทพฯ.
- บุญเอื้อ ยงวานิชกร และ ปิยะดา ประเสริฐสม. 2554. **ความสัมพันธ์ของปัจจัยสุขภาพต่อคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ**. วิทยาสารทันตสาธารณสุข 16(1): 1-73.
- ปรียาภรณ์ แสงแก้ว. 2559. **ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการทำงานของเจ้าหน้าที่พยาบาลโรงพยาบาลเอกชนแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ**. วิทยานิพนธ์ปริญญา

สาธารณสุขศาสตร์มหบัณฑิต,
มหาวิทยาลัยเกริก.

ปิยะกมล วิจิตศิริ และ บัวทอง สว่างโสภาค.

2555. ความเป็นปราชญ์การสนับสนุนทาง
สังคม และความผาสุกทางใจของผู้สูงอายุ
ในชมรมผู้สูงอายุวัดสารอดเขตราษฎร์บูรณะ
กรุงเทพมหานคร. **วารสารสังคมศาสตร์และ
มนุษยศาสตร์** 38(2): 139-151.

พิชญา สวัสดิ์. 2552. สภาพการทำงานที่ส่งผลต่อ
คุณภาพชีวิตในการทำงานของพนักงาน
ควบคุมการจราจรทางอากาศ บริษัท วิทยุ
การบินแห่งประเทศไทย จำกัด. สารนิพนธ์
พัฒนาแรงงานและสวัสดิการมหบัณฑิต,
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

รณชฤดี ป้องกันภัย. 2557. คุณภาพชีวิตการทำงาน
ของพนักงานการเคหะแห่งชาติ กรณีศึกษา
พนักงานผู้ปฏิบัติหน้าที่ในสำนักงานใหญ่.

วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต,
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

วิชา หลวงจอก. 2552. การสนับสนุนทางสังคม
และการปรับตัวทางสังคมที่มีผลต่อบทบาท
ในครอบครัว และการมีส่วนร่วมในชุมชน
ของสตรีกะเหรี่ยงจังหวัดราชบุรี. **วารสาร
มจร.วิชาการ** 12(24): 1-12.

สมพร สังข์เพิ่ม. 2555. คุณภาพชีวิตการทำงานของ
บุคลากรสายสนับสนุนมหาวิทยาลัยเอกชน
ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหาร
ศาสตร์.

สำราญ จุช่วย, สลักจิตร หิรัญสาลี และ สุนทรีย์
สองเมือง. 2555. รายงานการวิจัย คุณภาพ
ชีวิตนักศึกษาวิทยาลัยราชพฤกษ์ :
กรณีศึกษานักศึกษาเข้าใหม่ ปีการศึกษา
2555. วิทยาลัยราชพฤกษ์.

ชนิดของแผ่นแป้งและไส้สำหรับการผลิตปอเปี๊ยะ

Types of Dough Sheet and Filling for Spring Roll Production

ชมภู ยิ้มโต *

Shompoo Yimtoe *

Received: 20 February 2019, Revised: 13 May 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาชนิดแผ่นแป้งที่นิยมใช้ห่อไส้ทอด 2 ชนิด คือ แผ่นแป้งเกี๊ยวและแผ่นแป้งโรตีสี่ และชนิดของไส้ ประกอบด้วย หมูสับผสมวุ้นเส้น ข้าวกล้องหมูสับผสมปลาหมึก แองเจียวหวานหมูสับผสมปลาหมึก และลาบหมูสับผสมปลาหมึก จากการศึกษาพบว่า การใช้แผ่นแป้งเกี๊ยวห่อปอเปี๊ยะจะคงความกรอบหลังจากการทอดได้ดี ไส้ที่ผู้บริโภคให้ความชอบมากที่สุด คือ แองเจียวหวานหมูสับผสมปลาหมึก โดยตัดแผ่นแป้งขนาด 4.5×7 ตารางเซนติเมตร ห่อด้วยไส้ผัดแห้ง 3 กรัม จะได้ปอเปี๊ยะขนาดพอดีคำ ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า คุณลักษณะด้านสี ขนาด รูปร่าง ปริมาณไส้ รสชาติโดยรวม ความกรอบ และความชอบรวม ได้ระดับความชอบมากที่สุด คะแนนเฉลี่ย 7.55 7.71 7.65 7.57 7.58 7.72 และ 7.65 ตามลำดับ คุณลักษณะกลิ่น เครื่องแกง รสเค็ม และความเผ็ด ได้ระดับความชอบปานกลาง คะแนนเฉลี่ย 7.44 7.26 และ 7.34 ตามลำดับ ผลการหาค่าปอเปี๊ยะไส้แองเจียวหวานหมูสับผสมปลาหมึกทอดมีค่าความสว่างของสี L^* เท่ากับ 55.86 ค่าความเป็นสีแดง a^* เท่ากับ 6.52 ค่าความเป็นสีเหลือง b^* เท่ากับ 40.70 โปรตีนร้อยละ 15.85 ไขมันร้อยละ 8.71 พลังงาน 291 กิโลแคลอรี/100 กรัม ค่าความแข็ง 1.34 นิวตัน พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหาร 1.12 นิวตัน.มิลลิเมตร และความแตกเปราะ 0.27 นิวตัน

คำสำคัญ: แผ่นแป้งเกี๊ยว, แผ่นแป้งโรตีสี่, ปอเปี๊ยะ, แองเจียวหวาน

สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Department of Food and Nutrition, Faculty of Home Economic Technology, Rajamangala Technology University of Thanyaburi, Klong Hok, Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): shompoo_y@rmutt.ac.th Tel: 0 2549 3133

ABSTRACT

The objective of this research was to study two types of dough sheets: wonton and roti dough sheets. Different types of stuff for making spring roll were used: minced pork mixed with vermicelli noodle, minced pork mixed with mackerel kua kling, minced pork mixed with mackerel green curry, and spicy minced pork mixed with mackerel. The results showed that the spring roll with wonton dough sheets maintained the crispness well after frying while the minced pork mixed with mackerel green curry stuff obtained the highest overall acceptability score. The optimum bite-size piece of spring roll was made from $4.5 \times 7 \text{ cm}^2$ wonton dough sheets with 3-gram minced pork mixed with mackerel green curry stuff. The consumer acceptance test indicated that the features of color, size, shape, quality of stuff, overall taste, crispness and overall liking were highly found at 7.55 7.71 7.65 7.57 7.58 7.72 and 7.65, respectively. The moderate fondness on curry odor, salt and spicy was perceived at 7.44 7.26 and 7.34, respectively. The fried spring roll with minced pork mixed with mackerel green curry stuff had L^* , a^* and b^* values of 55.86, 6.52 and 40.70, respectively; protein 15.85%, fat 8.71%, energy 291 kilocalories/100 grams, hardness 1.34 N, chewiness 1.12 N.mm. and fracturability 0.27 N.

Key words: wonton dough sheet, roti dough sheet, spring roll, green curry

บทนำ

ปอเปี๊ยะเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมรับประทานเป็นอาหารว่างวัตถุดิบในการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แป้งสำหรับห่อหุ้มไส้แผ่นแป้งโรตีกับส่วนไส้ โดยนำแผ่นแป้งมาห่อไส้ จากนั้นทอดให้แป้งเหลืองกรอบ ส่วนของไส้จะผ่านการทำให้สุกก่อนจึงไม่ต้องใช้เวลาในการทอดนาน (อุบล, 2547) ปอเปี๊ยะนิยมรับประทานกับน้ำจิ้มถั่ว น้ำจิ้มบ๊วย หรือ ซอสพริกปอเปี๊ยะวางจำหน่ายในตลาดมีหลายรูปแบบ เช่น ปอเปี๊ยะทอด ปอเปี๊ยะเวียคนาม ปอเปี๊ยะสด ฯลฯ ปอเปี๊ยะแต่ละชนิดมีสูตรแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผู้ประกอบอาหารและความต้องการของผู้บริโภคปอเปี๊ยะที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปมักจะมีชิ้นขนาดใหญ่ไม่พอดีคำต้องตัดให้เป็นชิ้นก่อนรับประทานทำให้ไส้ของปอเปี๊ยะอาจหลุดไหลออกจากแผ่นแป้งร่วงหล่นลงบนเสื้อผ้าทำให้เปรอะเปื้อน อีกทั้งเป็นอุปสรรคในการรับประทาน จากผลการวิจัยของ

(เบญจมาภรณ์ และคณะ, 2550) รายงานว่าจากการทดสอบผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะแช่เยือกแข็งกับผู้บริโภค ผู้บริโภคต้องการให้ปอเปี๊ยะมีขนาดชิ้นพอดีคำ หรือ มีรูปร่างที่เปลี่ยนไปจากเดิมนอกจากนั้นชนิดของไส้ปอเปี๊ยะมีรสชาติไม่หลากหลาย แผ่นแป้งที่ใช้ห่อเป็นแผ่นแป้งโรตีก่อนทอดทิ้งไว้นานๆ แป้งจะไม่กรอบ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดแผ่นแป้ง 2 ชนิด คือ แผ่นแป้งเกี๊ยวและแผ่นแป้งโรตีก่อนทอด เนื่องจากเป็นแผ่นแป้งใช้สำหรับห่อไส้ทอดซื้อได้จากตลาดทั่วไป ห่อด้วยไส้ 4 ชนิด ประกอบด้วย หมูสับผสมวุ้นเส้นเป็นไส้ที่นิยม ส่วนอีก 3 ชนิด คือ ข้าวกล้องเป็นอาหารได้ที่นิยมบริโภคกันมากขึ้น แกงเขียวหวานและลาบเป็นอาหารยอดนิยมของคนไทย และคนต่างชาติ ขนาดแผ่นแป้งที่ใช้ห่อ 2 ขนาด คือ 4.5×7 และ 5.5×7 ตารางเซนติเมตร เพราะเมื่อห่อไส้แล้วมีขนาดพอดีคำ ใช้เนื้อหมูสับผสมเนื้อปลาหูเป็นส่วนผสมหลักในไส้ 3 ชนิด เนื่องจากต้องการ

เพิ่มปริมาณโปรตีน ไอโอซินและกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกายโดยเฉพาะโอเมก้า 3 และปริมาณไขมันที่เหมาะสมในการห่อปอเปียะเพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภค (Ready to Eat) เพราะปัจจุบันผู้บริโภคยุคใหม่ต้องการความสะดวกสบายในการรับประทานอาหาร โดยไม่ต้องประกอบเอง ไม่ว่าจะเป็นด้วยเหตุผลของขนาดครอบครัวเล็กกลาง การทำงานนอกบ้าน หรือไม่มีฝีมือในการปรุงอาหาร ผู้บริโภคต้องการบริโภคอาหารที่มีคุณภาพ รสชาติอร่อย และถูกสุขลักษณะ จากการสำรวจความคิดเห็นและพฤติกรรมในการบริโภคอาหารพร้อมบริโภคในประเทศ พบว่าผู้บริโภคยอมรับว่าอาหารพร้อมบริโภคเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น โดยผู้ตอบแบบสำรวจร้อยละ 87 เห็นว่าการซื้ออาหารพร้อมบริโภคสะดวก และร้อยละ 40 เห็นว่าอาหารพร้อมบริโภคมีราคาถูกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการซื้อวัตถุดิบมาปรุงอาหารเอง นอกจากนี้การพิจารณาเลือกซื้ออาหารพร้อมบริโภค ผู้บริโภคยังคงให้ความสำคัญเรื่องสุขภาพควบคู่ไปด้วย (สถาบันอาหาร, 2552)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

ปอเปียะไส้วุ้นเส้นหมูสับ (วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี) และแผ่นแป้งเกี๊ยวตราไก่ (ตลาดเคหะคลองหก อำเภอรัญบุรี จังหวัดปทุมธานี) แผ่นแป้งโรตีส ตรายิตเติลเซฟ (เทศโก้โตตัสรังสิต คลองเจ็ด อำเภอรัญบุรี จังหวัดปทุมธานี)

2. ขั้นตอนการผลิตปอเปียะ

- การเตรียมแผ่นแป้ง นำแผ่นแป้งวางบนเขียงเรียบ วางแบบขนาดบนแผ่นแป้งแล้วใช้มีดตัดแผ่นแป้งให้ได้ขนาดตามต้องการ

- การเตรียมไส้เตรียมส่วนผสมตามสูตรของไส้ชนิดต่างๆ ทำการผัดไส้ให้สุกและแห้ง

- การห่อ ใช้ฟูกันจุ่มไข่ขาวทาให้ทั่วแผ่นแป้ง นำไส้ใส่ลงตรงกลางแผ่นแป้ง ม้วนแผ่นแป้งปิดทับกันแล้วบีบปิดหัวและท้ายให้สนิทนำปอเปียะใส่กล่องพลาสติกไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส 15 นาที

- การทอดนำปอเปียะทอดในน้ำมันปาล์ม โอเลอินสกัดจากเนื้อปาล์ม มีปริมาณกรดโอเลอิกสูง ไม่มีผลในการเพิ่มการสร้างโคเลสเตอรอลในเลือด (ธารดาว, 2546) ด้วยหม้อทอดไฟฟ้ายี่ห้อ Fritel รุ่น FR 1265 อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 10 วินาที จนสุกเหลืองทั้งสองด้านตักขึ้นวางบนกระดาษอเนกประสงค์เพื่อซับน้ำมัน

3. การศึกษาชนิดของแผ่นแป้งในการผลิตปอเปียะ

นำแผ่นแป้งเกี๊ยวและแผ่นแป้งโรตีสมาตัดขนาด 7×7 ตารางเซนติเมตร ห่อด้วยไส้หมูสับผสมวุ้นเส้น 5 กรัม นำปอเปียะ 2 สิ่งทดลองไปทอด จากนั้นนำไปประเมินการยอมรับโดยวิธีให้คะแนนความชอบกับผู้ทดสอบที่เคยบริโภคปอเปียะทอดจำนวน 60 คนผู้ทดสอบจะได้รับตัวอย่าง 1 ชุด ประกอบด้วยตัวอย่าง 2 ตัวอย่าง (เสิร์ฟพร้อมกัน) ประเมินความชอบที่มีต่อคุณลักษณะปรากฏ (สี) รสชาติ (รสชาติโดยรวม) เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบรวมด้วยแบบทดสอบสเกลความชอบ 9 Point Hedonic Scales วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของแผ่นแป้งเกี๊ยวและแผ่นแป้งโรตีสทอดขนาด 7×7 ตารางเซนติเมตร อย่างละ 5 ซ้ำ หลังจากทอดมีการพักน้ำมันที่เวลาต่างกัน ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer: รุ่น LF Plus) การทดสอบใช้ Load Cell ขนาด 50 นิวตัน หัววัดชนิด Ball ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.05 เซนติเมตร ความเร็วขณะทดสอบ (Test Speed) 100 มิลลิเมตร/วินาที ระยะทาง (Distance) 2 มิลลิเมตร รายงานเป็นค่าความแข็ง (Hardness) พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (Chewiness) และความแตกเปราะ (Fracturability) และวิเคราะห์

องค์ประกอบทางเคมี (Proximate Analysis) ของแผ่นแป้งกล้วยและแผ่นแป้งโรตีสี นำค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยการทดสอบ t-test เพื่อคัดเลือกแผ่นแป้งที่ผู้ทดสอบชอบมากที่สุดสำหรับห่อปอเปี๊ยะในขั้นต่อไป

4. การศึกษาชนิดของไส้ในการผลิตปอเปี๊ยะ

วางแผนการทดลองแบบ RCBD ศึกษาไส้ 4 ชนิด ประกอบด้วย หมูสับผสมวุ้นเส้น กุ้งก้ามกุ้งผสมปลาหมึก แงงเขียวหวานหมูผสมปลาหมึก และปลาหมึกผสมปลาหมึก ชั่งไส้ 5 กรัม ห่อด้วยแผ่นแป้งกล้วย ขนาด 7×7 ตารางเซนติเมตร นำปอเปี๊ยะ 4 สิ่งทดลองไปทอด จากนั้นนำไปประเมินการยอมรับโดยวิธีให้คะแนนความชอบกับผู้ทดสอบที่เคยบริโภคปอเปี๊ยะทอดจำนวน 60 คน ผู้ทดสอบจะได้รับตัวอย่าง 1 ชุด ประกอบด้วยตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง (สุ่มพร้อมกัน) ประเมินความชอบที่มีต่อคุณลักษณะปรากฏ (สี กลิ่น (กลิ่นโดยรวม) รสชาติ (รสเค็ม ความเผ็ด รสชาติโดยรวม) เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) และความชอบรวม ด้วยแบบทดสอบสเกลความชอบ 9 Point Hedonic Scales นำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference เพื่อคัดเลือกไส้ที่ผู้ทดสอบชอบมากที่สุดสำหรับห่อปอเปี๊ยะในลำดับต่อไป

5. การศึกษาขนาดแผ่นแป้งและปริมาณไส้แกงเขียวหวานหมูผสมปลาหมึกในการผลิตปอเปี๊ยะ

ศึกษาขนาดแผ่นแป้งและปริมาณไส้ที่เหมาะสมในการห่อปอเปี๊ยะด้วยวิธีการทดลองแบบแฟกทอเรียลทำการสุ่มโดยสมบูรณ์ (Factorial in Completely Randomized Design) 2×2 ปัจจัยที่ศึกษา คือ ขนาดแผ่นแป้งกล้วย 2 ระดับ 4.5×7 และ 5.5×7 ตารางเซนติเมตร และปริมาณไส้แกงเขียวหวานหมูผสมปลาหมึก 2 ระดับ 3 และ 4 กรัม นำปอเปี๊ยะ 4 สิ่งทดลอง

ไปทอด จากนั้นนำไปประเมินการยอมรับโดยวิธีให้คะแนนความชอบกับผู้ทดสอบที่เคยบริโภคปอเปี๊ยะทอดจำนวน 60 คน ผู้ทดสอบจะได้รับตัวอย่าง 1 ชุด ประกอบด้วยตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง (สุ่มพร้อมกัน) ประเมินความชอบที่มีต่อคุณลักษณะปรากฏ (สี ขนาด ปริมาณไส้) กลิ่น (เครื่องแกง) รสชาติ (รสเค็ม ความเผ็ด รสชาติโดยรวม) เนื้อสัมผัส (ความกรอบ) ความรู้สึกตกค้าง (ความเลี่ยนมัน) และความชอบรวมด้วยแบบทดสอบสเกลความชอบ 9 Point Hedonic Scales นำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธีการศึกษาอิทธิพลของขนาดแผ่นแป้งและปริมาณไส้แกงเขียวหวานหมูผสมปลาหมึกที่มีต่อความชอบผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะของผู้ทดสอบ (Least Significant Difference)

6. การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะไส้แกงเขียวหวานหมูผสมปลาหมึก

นำแผ่นแป้งกล้วยมาตัดขนาด 4.5×7 ตารางเซนติเมตร ห่อไส้แกงเขียวหวานหมูผสมปลาหมึก 3 กรัม ทอดในน้ำมันปาล์ม โอเลอินสกัดจากเนื้อมันด้วยหม้อทอดไฟฟ้าหือ Fritel รุ่น FR 1265 อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส 10 วินาที จนสุกเหลืองทั้งสองด้านตักขึ้นวางบนกระดาษอเนกประสงค์เพื่อซับน้ำมัน วัดค่าสีในระบบ CIE ด้วยเครื่องวัดสีหือ Minolta รุ่น CR-10 วัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) โดยวัดค่าตรงกลางของชิ้นด้านที่ไม่มีรอยต่อของแผ่นแป้งกล้วยมาประกบกัน วัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer: รุ่น LF Plus) ในการทดสอบใช้ Load Cell ขนาด 50 นิวตัน ด้วยหัววัดชนิด Ball ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.05 เซนติเมตร ความเร็วขณะทดสอบ (Test Speed) 100 มิลลิเมตร/วินาที ระยะทาง (Distance) 5 มิลลิเมตร

รายงานเป็นค่าความแข็ง (Hardness) พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (Chewiness) และความแตกเปราะ (Fracturability) ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะที่พัฒนาได้ด้วยวิธี Central Location Test กับผู้บริโภคที่เคยบริโภคผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะจำนวน 200 คน ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีด้วยแบบทดสอบสเกลความชอบ 9 Point Hedonic Scales และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate Analysis) เพื่อเปรียบเทียบกับปอเปี๊ยะไส้วันเส้น หมูสับที่มีขายตามตลาดทั่วไป นำค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยการทดสอบ t- test

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การศึกษาชนิดของแผ่นแป้งในการผลิตปอเปี๊ยะ

จากการวัดค่าคุณภาพเนื้อสัมผัสของแผ่นแป้งเปียกและแผ่นแป้งโรตีสอดพักที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า เมื่อระยะเวลาในการพักเพิ่มขึ้น ค่าความแข็ง ความแตกเปราะ และพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวแผ่นแป้งทั้งสองชนิดมีค่าลดลง ที่ระยะเวลาการพักเดียวกัน พบว่า ค่าความแข็ง พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว และความแตกเปราะของแผ่นแป้งเปียกและแผ่นแป้งโรตีสอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารของแผ่นแป้งเปียกมีค่าน้อยกว่าแผ่นแป้งโรตีสอด ค่าความแข็งและความแตกเปราะของแผ่นแป้งเปียกมีค่ามากกว่าแผ่นแป้งโรตีสอด ดังแสดงในตารางที่ 1 ความกรอบของอาหารมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในอาหาร ความกรอบจะลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจากอาหารดูดความชื้นจากบรรยากาศเข้าไปในชิ้นอาหารทำให้คุณลักษณะอาหารเปลี่ยนจากกรอบเปราะเป็นนุ่มเหนียวแผ่นแป้งเปียกและแผ่นแป้งโรตีสอดทำจากแป้งสาลีอเนกประสงค์มีอะมิโลสร้อยละ 28

อะมิโลเพกตินร้อยละ 72 และโปรตีน (กลูเต็น) ร้อยละ 10-11 ปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกตินมีผลต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์ แป้งที่มีอะมิโลสต่ำโครงสร้างของสตาร์ชมีความคงตัวต่ำจับตัวกันอย่างหลวมๆ พองตัวได้อย่างอิสระในระหว่างการให้ความร้อน ส่วนแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงโครงสร้างมีความแข็งแรงไม่สามารถพองตัวได้อย่างอิสระและการละลายต่ำ (Tester and Morrison, 1990) แผ่นแป้งเปียกทำจากแป้งสาลีอเนกประสงค์ ไข่ไก่ น้ำ เกลือ ปั่น และสารละลายด่าง นำมาผสมและนวดให้เกิดโด จากนั้นนำมารีดเป็นแผ่นแล้วตัดให้เป็นแผ่นไม่มีการสูญเสียในการผลิต (รติดา, 2547) แผ่นแป้งโรตีสอดมีส่วนผสมของแป้งสาลีอเนกประสงค์ น้ำ และเกลือ เติมน้ำและกลั่นได้ นวดส่วนผสมให้เข้ากันจนเหนียวเนียน พักแป้งให้ขึ้นโด 15 นาที นำแป้งมานวดต่อ 10 นาที แล้วนำแป้งมาแผ่เป็นแผ่นกลมบนกระดาษแบน ร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนแผ่นแป้ง 30 วินาที แล้วเอาแผ่นแป้งออกจากกระทะ (จันทร์เพ็ญ และ ปิยธิดา, 2553) แผ่นแป้งโรตีสอดได้รับความร้อนจากกระทะแบนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโมเลกุลของเม็ดแป้ง ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของสตาร์ชในเม็ดแป้ง สายพอลิเมอร์ของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่อัดแน่นในเม็ดแป้งจะคลายตัวรวมกับน้ำที่ล้อมรอบส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของเม็ดแป้งเกิดการพองตัวและความหนืด (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแผ่นแป้งเปียกและแผ่นแป้งโรตีสอด พบว่า แผ่นแป้งเปียกมีปริมาณโปรตีนมากกว่าส่วนปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตมีค่าน้อยกว่าแผ่นแป้งโรตีสอด ดังแสดงในตารางที่ 2 กระบวนการทอดทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง คือ หลังจากทำให้อาหารจุ่มลงในน้ำมันร้อนจะทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำในอาหารเริ่มระเหย เริ่มเกิดเปลือกแข็ง

(Crust) บริเวณผิวหนัง เมื่อระยะเวลาการทอดเพิ่มขึ้น น้ำภายในอาหารจะระเหยออกมากขึ้น อุณหภูมิของอาหารสูงขึ้นจนใกล้จุดเดือดของน้ำมัน ส่งผลให้อาหารที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบเกิดการเจลาติไนซ์ และสุก เกิดเปลือกแข็งเพิ่มมากขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป การระเหยของน้ำที่ผิวหนังจะลดลงขณะที่การเกิดเปลือกแข็งมีความหนาเพิ่มมากขึ้นอาหารทอดจะมีผิวหนังกรอบ สีเหลืองทอง (Blumenthal, 1991) การทอดผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบน้ำจะมีผลต่อการแตกตัวของเม็ดแป้ง ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มากเม็ดแป้งจะแตกตัวมากให้เจลเหนียว หากผลิตภัณฑ์มีน้ำน้อยแป้งจะพองตัวน้อยไม่สุกไม่เกิดเจลมากและไม่พองตัวเมื่อทอด (พรรณี, 2530) การพองตัวของแป้งเวลาทอดขึ้นอยู่กับความดันที่เกิดจากการให้พลังงานเข้าไปในอาหารและความต้านทาน เนื่องจากน้ำที่แทรกอยู่ในอาหารเกิดการขยายตัวดันให้เนื้ออาหารเป็นโพรงหรือรูพรุนทำให้ความชื้นหลุดออกจากเนื้ออาหาร ในขณะที่เดียวกันจะเกิดแรงดันหรือแรงยึดไม่ให้น้ำขยายตัวหรือหลุดไป

หากใช้พลังงานพอเหมาะจะทำให้เกิดความดันเท่ากับ ความต้านทานจะทำให้การพองตัวสม่ำเสมอทั่วชิ้นอาหาร ทำให้ความชื้นที่เหลืออยู่พอเหมาะจะทำให้มีความกรอบดี มีโครงสร้างเนื้อสัมผัสที่ดี หากความดันน้อยกว่าความต้านทานลักษณะเนื้อสัมผัสและความกรอบจะไม่ดี (ธงชัย, 2535) ผลการทดสอบผู้ทดสอบ พบว่า ให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะปรากฏด้านสี เนื้อสัมผัสด้านความกรอบ และความชอบรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบปอเปี๊ยะห่อจากแผ่นแป้งเกี๊ยวมากกว่าแผ่นแป้งโรตีสถิติคุณลักษณะด้านรสชาติโดยรวมผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนั้นจึงเลือกแผ่นแป้งเกี๊ยวมาใช้ในการห่อปอเปี๊ยะเนื่องจากมีค่าคุณภาพความแข็งแรง ความแตกเปราะ โปรตีนมากกว่า และมีคะแนนความชอบในระดับชอบมากในคุณลักษณะด้านสี ความกรอบ และความชอบรวม

ตารางที่ 1 ความแข็งแรง พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว และความแตกเปราะของแผ่นแป้งทอด

ระยะเวลาในการพัก	ค่าคุณภาพทางกายภาพ	แผ่นแป้งเกี๊ยว	แผ่นแป้งโรตีส	t-test	Sig.
5 นาที	ความแข็งแรง (นิวตัน)	4.41±0.14	2.65±0.01	166.5	.000*
	พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (นิวตัน.มิลลิเมตร)	0.29±0.02	1.34±0.11	-84.45	.000*
	ความแตกเปราะ (นิวตัน)	0.59±0.08	0.23±0.13	24.60	.000*
15 นาที	ความแข็งแรง (นิวตัน)	4.23±0.27	2.46±0.12	105.12	.000*
	พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว (นิวตัน.มิลลิเมตร)	0.42±0.13	1.58±0.21	-65.34	.000*
	ความแตกเปราะ (นิวตัน)	0.48±0.12	0.17±0.34	29.73	.000*

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ระยะเวลาในการพัก	ค่าคุณภาพทางกายภาพ	แผ่นแป้งเขียว	แผ่นแป้งโรตี	t-test	Sig.
30 นาที	ความแข็ง (นิวตัน)	4.05±0.36	2.19±0.24	96.38	.000*
	พลังงานที่ใช้ในการเลี้ยว (นิวตัน.มิลลิเมตร)	0.71±0.25	1.76±0.17	-62.37	.000*
	ความแตกเปราะ (นิวตัน)	0.25±0.28	0.05±0.42	16.04	.000*

หมายเหตุ: * หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของแผ่นแป้ง

องค์ประกอบทางเคมี	แผ่นแป้งเขียว	แผ่นแป้งโรตี	t-test	Sig.
ความชื้น (ร้อยละ)	27.58±0.25	24.47±0.35	29.09	.000*
โปรตีน (ร้อยละ)	12.01±0.23	7.40±0.27	42.38	.000*
ไขมัน (ร้อยละ)	1.24±0.30	4.87±0.36	-53.00	.000*
เถ้า (ร้อยละ)	1.96±0.27	1.61±0.22	8.49	.001*
เยื่อใย (ร้อยละ)	1.42±0.34	0.83±0.28	6.12	.004*
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	55.79±0.28	60.85±0.30	-75.5	.000*

หมายเหตุ: * หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 คะแนนความชอบของผู้ทดสอบต่อผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะห่อด้วยแผ่นแป้ง 2 ชนิด

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ		t-test	Sig.
	แผ่นแป้งเขียว	แผ่นแป้งโรตี		
1. ลักษณะปรากฏ				
- สี	7.48 ±1.22	6.87±1.51	3.91	.000*
2. รสชาติ				
- รสชาติโดยรวม	7.33±1.62	7.25±1.48	0.50	.618
3. เนื้อสัมผัส				
- ความกรอบ	7.81±1.90	6.79±1.32	9.50	.000*
4. ความชอบรวม	7.53±1.50	6.43±1.44	8.93	.000*

หมายเหตุ: * หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. การศึกษาชนิดของไส้ในการผลิตปอเปี๊ยะ

จากการศึกษาชนิดของไส้ในการผลิตปอเปี๊ยะ พบว่า ผู้ทดสอบให้ค่าคะแนนความชอบในคุณลักษณะปรากฏ สี กลิ่น โดยรวม รสเค็ม ความเค็ม

และความกรอบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่าคะแนนความชอบในคุณลักษณะด้านรสชาติโดยรวมและความชอบรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตาราง

ที่ 4 จึงเลือกไส้แกงเขียวหวานหมูผสมปลาทูนนำไป ปลาทูนมีรสหวานและความเผ็ดน้อยกว่าจึงทำให้ผู้
ศึกษาในขั้นต่อไปเนื่องจากไส้แกงเขียวหวานหมูผสม ทดสอบให้คะแนนความชอบมากกว่าไส้อีก 3 ชนิด

ตารางที่ 4 คะแนนความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อไส้ของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะ

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ			
	หมูสับผสมวุ้นเส้น	กัวลิ่งหมูสับ ผสมปลาทูน	แกงเขียวหวาน หมูสับผสมปลา ทูน	ลาบหมูสับ ผสมปลาทูน
1. ลักษณะปรากฏ				
- สี ^{ns}	7.10±1.20	7.32±1.36	7.58±1.28	7.41±1.28
2. กลิ่น				
- กลิ่นโดยรวม ^{ns}	6.85±1.51	7.18±1.65	7.57±1.49	7.07±1.85
3. รสชาติ				
- รสเค็ม ^{ns}	6.25±1.42	6.51±1.51	6.83±1.29	6.47±1.66
- ความเผ็ด ^{ns}	6.32±1.56	6.65±2.13	7.10±1.80	6.48±1.61
- รสชาติโดยรวม	5.32±1.58 ^b	7.17±1.74 ^a	7.43±1.55 ^a	6.17±1.64 ^b
4. เนื้อสัมผัส				
- ความกรอบ ^{ns}	6.42±1.99	6.89±2.13	7.25±2.07	6.55±2.07
5. ความชอบรวม	6.35±1.36 ^b	7.19±1.56 ^{ab}	7.78±1.47 ^a	6.74±1.59 ^b

หมายเหตุ: ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

3. การศึกษาขนาดแผ่นแป้งและปริมาณไส้แกงเขียวหวานหมูสับผสมปลาทูนในการผลิตปอเปี๊ยะ

จากการทดลองพบว่าผู้ทดสอบให้ค่าคะแนนความชอบในคุณลักษณะปรากฏ สี ขนาด ปริมาณไส้ กลิ่นเครื่องแกงรสเค็ม ความเผ็ด รสชาติรวม ความกรอบ และความชอบรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ส่วนความเลี่ยนมันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบขนาดแผ่นแป้ง 4.5 × 7 ตารางเซนติเมตร ห่อไส้ 3 กรัม มากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5 จากการทดสอบ F-test เพื่อดูความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย พบว่า ขนาดแผ่นแป้งและปริมาณไส้

มีอิทธิพลต่อค่าคะแนนความชอบของผู้ทดสอบในคุณลักษณะสี รสชาติโดยรวม และความกรอบ สำหรับคุณลักษณะขนาด ปริมาณไส้ กลิ่นเครื่องแกงรสเค็ม ความเผ็ด ความเลี่ยนมัน และความชอบรวม ไม่มีอิทธิพลต่อค่าคะแนนความชอบของผู้ทดสอบ การเพิ่มขนาดแผ่นแป้งและปริมาณไส้ในการห่อปอเปี๊ยะจะทำให้ขนาดชิ้นปอเปี๊ยะใหญ่ไม่พอดีคำ จึงทำให้ค่าคะแนนความชอบของผู้ทดสอบลดลง ดังนั้นจึงเลือกขนาดแผ่นแป้ง 4.5 × 7 ตารางเซนติเมตร ห่อไส้ 3 กรัม มาผลิตปอเปี๊ยะไส้แกงเขียวหวานหมูสับผสมปลาทูน

ตารางที่ 5 คะแนนความชอบของผู้ทดสอบต่อผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะห่อด้วยขนาดแผ่นแป้งและปริมาณไส้ต่างกัน

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ ¹				F-test ²		
	ขนาดแผ่นแป้ง		ขนาดแผ่นแป้ง				
	4.5 × 7 ตร.ซม.		5.5 × 7 ตร.ซม.				
	ไส้ 3 กรัม	ไส้ 4 กรัม	ไส้ 3 กรัม	ไส้ 4 กรัม	ขนาดแผ่น	ไส้	ปัจจัยที่มีผลร่วมกัน
1. ลักษณะปรากฏ							
- สี	7.59±1.49 ^a	7.23±1.62 ^b	6.93±1.45 ^b	7.14±1.48 ^b	0.002 [*]	0.562 ^{ns}	0.014 [*]
- ขนาด	7.68±1.63 ^a	7.28±1.36 ^b	6.90±1.39 ^c	6.62±1.55 ^c	0.000 [*]	0.004 [*]	0.664 ^{ns}
- ปริมาณไส้	7.55±1.70 ^a	7.13±1.27 ^b	6.83±1.29 ^c	6.53±1.38 ^c	0.000 [*]	0.014 [*]	0.686 ^{ns}
2. กลิ่น							
- เครื่องแกง	7.14±1.99 ^a	6.87±1.59 ^a	6.71±1.70 ^b	6.27±1.40 ^c	0.000 [*]	0.010 [*]	0.507 ^{ns}
3. รสชาติ							
- รสเค็ม	7.19±1.67 ^a	7.07±1.64 ^a	6.88±1.49 ^b	6.72±1.62 ^b	0.001 [*]	0.154 ^{ns}	0.801 ^{ns}
- ความเผ็ด	7.28±1.76 ^a	6.85±1.86 ^b	7.05±1.63 ^a	6.68±1.67 ^b	0.070 ^{ns}	0.000 [*]	0.813 ^{ns}
- รสชาติโดยรวม	7.37±1.73 ^a	6.72±1.51 ^b	6.47±1.60 ^b	6.50±1.65 ^b	0.000 [*]	0.035 [*]	0.026 [*]
4. เนื้อสัมผัส							
- ความกรอบ	7.67±1.78 ^a	6.73±1.90 ^b	6.77±1.89 ^b	6.58±2.07 ^b	0.000 [*]	0.000 [*]	0.001 [*]
5. ความรู้สึกตกค้ำ							
- ความเลี่ยนมัน ^{ns}	6.53±1.51	6.30±1.80	6.27±1.53	6.23±1.45	0.290 ^{ns}	0.397 ^{ns}	0.525 ^{ns}
6. ความชอบรวม	7.85±1.44 ^a	7.54±1.52 ^a	6.82±1.40 ^b	6.81±1.38 ^b	0.000 [*]	0.207 ^{ns}	0.255 ^{ns}

หมายเหตุ ¹: ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)²: ^{ns} หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ($p>0.05$)^{*} หมายถึง มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

4. คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะไส้แกงเขียวหวานหมูสับผสมปลาทุ

ผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะไส้แกงเขียวหวานหมูสับผสมปลาทุ ดังภาพที่ 1 มีค่าสี L^* ความสว่าง 55.86 ค่าสี a^* ความเป็นสีแดง 6.52 และค่าสี b^* ความเป็นสีเหลือง 40.70 ค่าความแข็ง 1.34 นิวตัน พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยว 1.12 นิวตัน.มิลลิเมตร ความแตกเปราะ 0.27 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมี

ของผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะไส้แกงเขียวหวานหมูสับผสมปลาทุที่พัฒนากับปอเปี๊ยะไส้กุ้งเส้นหมูสับที่มีจำหน่ายตามตลาดทั่วไป พบว่า ปอเปี๊ยะไส้แกงเขียวหวานหมูสับผสมปลาทุมีความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต และพลังงาน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้น โปรตีน และเยื่อใย ของไส้แกงเขียวหวานหมูสับผสมปลาทุมีความมากกว่าไส้กุ้ง

เส้นหมสับ ขณะที่ปริมาณไขมัน คาร์โบไฮเดรต และพลังงานมีปริมาณน้อยกว่าไส้วุ้นเส้นหมสับ เนื่องจากไส้แกงเขียวหวานหมสับผสมปลาหมึกมีส่วนผสมของปลาหมึกซึ่งมีโปรตีนสูง และไขมันน้อยดังแสดงในตารางที่ 6 ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะไส้แกงเขียวหวานหมสับผสมปลาหมึกในคุณลักษณะ สี ขนาด รูปร่าง ปริมาณไส้รสชาติโดยรวม ความกรอบ และความชอบรวมในระดับชอบมาก คุณลักษณะกลิ่นเครื่องแกง รสเค็ม และความเผ็ด ในระดับชอบปานกลาง ดังแสดงในตารางที่ 7 จากการวิจัย พบว่า ผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะไส้แกง

เขียวหวานหมสับผสมปลาหมึกเป็นทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพ ใส่ใจและพิถีพิถันในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสามารถซื้อแผ่นเกี่ยวมาห่อปอเปี๊ยะและปรับเปลี่ยนชนิดของไส้ปอเปี๊ยะเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ความหลากหลายในรสชาติ อีกทั้งเป็นข้อมูลสำหรับผู้ผลิตปอเปี๊ยะจำหน่ายในตลาดทั่วไปเพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนแผ่นแป้งและไส้ให้หลากหลายรสชาติเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคมากขึ้น



(ก) ปอเปี๊ยะไส้แกงเขียวหวานหมสับผสมปลาหมึก (ข) ผลิตภัณฑ์บรรจุแบบสุญญากาศ

ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะไส้แกงเขียวหวานหมสับผสมปลาหมึก

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของปอเปี๊ยะทอด

องค์ประกอบทางเคมี	ปอเปี๊ยะไส้แกงเขียว หวานหมสับผสม ปลาหมึก	ปอเปี๊ยะไส้วุ้นเส้น หมสับ	t-test	Sig.
ความชื้น (ร้อยละ)	33.83±0.34	35.15 ±0.38	-15.92	.000*
โปรตีน (ร้อยละ)	15.85±0.29	8.23±0.20	113.5	.000*
ไขมัน (ร้อยละ)	8.71±0.26	12.36±0.37	-77.78	.000*
เถ้า (ร้อยละ)	2.04±0.25	1.86±0.32	2.12	.101
เยื่อใย (ร้อยละ)	2.28±0.31	1.51±0.28	15.56	.000*
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	37.29±0.29	40.89±0.31	-14.14	.000*
พลังงานต่อ 100 กรัม (กิโลแคลอรี)	291	308	-20.82	.000*

หมายเหตุ: * หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 คะแนนความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะไส้แกงเขียวหวานหมูสับผสมปลาทุ

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ	ระดับความชอบ
1. ลักษณะปรากฏ		
- สี	7.55±1.51	ชอบมาก
- ขนาด	7.71±1.49	ชอบมาก
- รูปร่าง	7.65±1.22	ชอบมาก
- ปริมาณไส้	7.57±1.31	ชอบมาก
2. กลิ่น		
- เครื่องแกง	7.44±1.42	ชอบปานกลาง
3. รสชาติ		
- รสเค็ม	7.26±1.33	ชอบปานกลาง
- ความเผ็ด	7.34±1.25	ชอบปานกลาง
- รสชาติโดยรวม	7.58±1.18	ชอบมาก
4. เนื้อสัมผัส		
- ความกรอบ	7.72±1.88	ชอบมาก
5. ความชอบรวม	7.65±1.28	ชอบมาก

สรุป

การผลิตปอเปี๊ยะสำหรับการศึกษาครั้งนี้จะใช้แผ่นแป้งเกี๊ยวตัดขนาด 4.5×7 ตารางเซนติเมตรห่อด้วยไส้แกงเขียวหวานหมูสับผสมปลาทุผัดแห้งจำนวน 3 กรัม ทอดในน้ำมันปาล์มโอเลอินสกัดจากเนื้อปาล์มมีปริมาณกรดโอเลอิกสูงไม่มีผลในการเพิ่มการสร้างโคเลสเตอรอลในเลือดจนสูงเหลือทั้งสองด้าน ผลิตภัณฑ์มีโปรตีนสูงและไขมันน้อย เพราะไม่มีการใส่กะทิในการผัดส่วนผสมกับน้ำพริกแกงเขียวหวานจึงเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญในการดูแลสุขภาพใส่ใจและพิถีพิถันในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 และสาขาวิชาอาหารและโภชนาการคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือเพื่อใช้ในการทำโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ก้านณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- จันทร์เพ็ญ มะลิพันธุ์ และ ปิยธิดา สุดเสนาะ. 2553. ผลของแคลป้าการาจีแนร่วมกับกรดแอสคอร์บิกต่อคุณภาพโรตี่แช่เยือกแข็ง. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 41(3/1)(พิเศษ): 441-444.
- ธรรดา ทองแก้ว. 2546. น้ำมันพืช : ใช้อย่างไรให้ถูกต้องและปลอดภัย. **นิตยสารหมอชาวบ้าน** 25(291): 17-24.
- ธงชัย สุวรรณสิขณน์. 2535. การพัฒนาอาหารขบเคี้ยวจากแป้งถั่วลิสงไขมันต่ำผสมแป้งมันสำปะหลังชนิดฟรีเจลาตินไนซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เบญจมาภรณ์ ภัทรนาวิก, ดวงฤทัย ชำรงโชติ และ รุ่งทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ์. 2550. รายงานการวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปอเปี๊ยะแช่เยือกแข็งแบบซ่า. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพฯ.
- พรรณี วงศ์ไกรศรีทอง. 2530. การผลิตข้าวเกรียบปลาโดยใช้เครื่องรีดแผ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- รสิตา โอสถานนท์. 2547. **เทคโนโลยีของัญญาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- สถาบันอาหาร. 2552. แนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุง-พร้อมทานในตลาดโลกกับอนาคตที่สดใส. **อุตสาหกรรมสาร** 52: 5-7.
- อุบล คีสวัสดิ์. 2547. **อาหารจีนยอดนิยม**. บริษัทสำนักพิมพ์แม่บ้าน, กรุงเทพฯ.
- Blumenthal, M.M. 1991. A new look at the chemistry and physical of deep fat frying. **Food Technology** 45(2): 68-71.
- Tester, R.F. and Morrison, W.R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. II. Waxy rice starches. **Cereal Chemistry** 67: 558-563.

เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร

Spray Drying Technique for Drying of Agricultural Product

โพธิ์ทอง ปรานีตพลกรัง *

Pothong Praneetpolkrang *

Received: 23 February 2018 , Revised: 27 May 2019 , Accepted: 15 January 2020

บทคัดย่อ

ในแต่ละปีประเทศไทยมีการผลิตสินค้าทางการเกษตรออกเป็นจำนวนมากทั้งในรูปผลิตภัณฑ์สดและผลิตภัณฑ์แห้ง การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรถือเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอีกวิธีหนึ่ง เพราะเป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรให้สูงขึ้น การแปรรูปพืชผักผลไม้เป็นผลิตภัณฑ์แบบผงสำหรับชงดื่มนับเป็นการแปรรูปผลผลิตที่น่าสนใจแบบหนึ่ง บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย อันดับแรกนำเสนอหลักการอบแห้งแบบพ่นฝอย การถ่ายเทความร้อนและมวลของการอบแห้งแบบพ่นฝอย สำหรับวิเคราะห์กระบวนการการถ่ายโอนความร้อนและควบคุมกระบวนการอบแห้งต่อมาศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารผง สุดท้ายการประยุกต์ใช้เทคนิคอบแห้งพ่นฝอยผสมผสานกับเทคนิคการอบแห้งแบบอื่นๆ

คำสำคัญ: การอบแห้ง, เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย, การถ่ายเทความร้อน

ABSTRACT

Each year Thailand produces a large number of fresh and dry agricultural products. Post-harvest processing is an important process because it increases the value of agricultural products. Fruit and vegetables are often processed into powder products for beverages and this is an interesting form of product processing. The objective of this article is to study the drying of agricultural products using spray drying techniques. First, the study introduces the spray drying principle, and the heat and mass transfer of spray drying to analyze the heat transfer process, and how the drying process is controlled. The study then continues to investigate the factors that

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี 22000

Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Muang, Chanthaburi 22000, Thailand.

* ผู้เขียนที่ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author E-mail): pothong.p@rbru.ac.th Tel: 08 8080 8859

affect the quality of powder food products. Finally, the paper concludes with an application of the spray drying technique combined with other drying techniques.

Key words: drying, spray dryer, heat transfer

บทนำ

ประเทศไทยนั้นเป็นประเทศที่มีการส่งออกสินค้าทางการเกษตร เช่น ข้าว พืชผลไม้และเนื้อสัตว์ต่างๆ ในแต่ละปีเป็นจำนวนมากทั้งในรูปผลิตภัณฑ์สดและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่มีความสำคัญอีกวิธีหนึ่ง และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรของประเทศให้สูงขึ้นและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของเกษตรกรและผู้ประกอบการได้เป็นอย่างดี (อาทิตยา และ อมรชัย, 2557) เทคโนโลยีการอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นในวัสดุ เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ผลผลิตทางการเกษตรที่อบแห้งด้วยวิธีการและสภาวะที่เหมาะสมจะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานสามารถรักษาคูณสมบัติต่างๆ ที่ต้องการไว้ได้ดี (สมชาติ, 2540) นอกจากนี้ยังทำให้สะดวกในการขนส่ง หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ และยังเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้นอีกด้วย วัตถุดิบทางการเกษตรที่นำมาทำแห้งอาจมีสถานะเป็นของเหลวของแข็งหรือของแข็ง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะมีสถานะเป็นของแข็ง ซึ่งอาจเป็นแผ่น หรือเป็นผง ที่มีลักษณะและคุณภาพแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกระบวนการอบแห้งที่เลือกใช้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แห้งที่พบทั่วไป ได้แก่ ผักผลไม้ กาแฟน้ำตาล สัตว์น้ำ อาหารทะเล สมุนไพร เครื่องเทศ เป็นต้น (อาทิตยา และ อมรชัย, 2557) ซึ่งกระบวนการอบแห้งจะมีการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นพร้อมกัน กระบวนการที่ซับซ้อนกันนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ต่างกัน

เช่น อุณหภูมิและความเร็วลมร้อน อัตราการไหลของอากาศ ลักษณะทางกายภาพและความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ พื้นที่และความดัน (สมชาติ, 2540) นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงคุณภาพของอาหารที่ได้หลังจากการทำแห้ง เช่น คุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่นรส สรสชาติ เนื้อสัมผัส เป็นต้น ที่สำคัญต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงานอีกด้วย (อาทิตยา และ อมรชัย, 2557)

การอบแห้งผลผลิตเกษตรแบบผงเป็นการอบแห้งอีกวิธีที่นิยมกันในปัจจุบัน ซึ่งการทำแห้งแบบผงมีหลายวิธี เช่น การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Roller drying) เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) และการทำแห้งแบบโฟม-เมท (Foam mat drying) เป็นต้น (อาทิตยา และ อมรชัย, 2557) ซึ่งการอบแห้งแต่ละวิธีมีจุดเด่นและจุดด้อยแตกต่างกัน เช่น วิธีการทำแห้งโฟม-เมทนั้นมีต้นทุนในการผลิตต่ำแต่กำลังการผลิตต่ำและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ ส่วนวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้คุณภาพที่ดีมากแต่ต้นทุนการผลิตสูง (ดวงพร, 2554) และอีกวิธีหนึ่งคือการอบแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งเป็นการอบแห้งที่เวลาที่หยดอนุภาคผงอยู่ในห้องอบแห้งสั้น ข้อดีคือมีต้นทุนการผลิตน้อยมีอัตราการผลิตสูงสามารถผลิตแบบต่อเนื่องได้ใช้งานง่ายสามารถควบคุมและปรับสภาวะการผลิตตามผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตต้องการเช่นขนาดอนุภาค ปริมาณความชื้นคุณภาพของอนุภาคผงที่ได้สม่ำเสมอตลอดกระบวนการผลิตแต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับสารให้กลิ่นรสที่ไม่ทนต่อความร้อนที่สูงมากได้มีการประยุกต์เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยกับผลผลิตทางการเกษตรเช่นน้ำผึ้งผง (อนุสร, 2552; อุษา, 2549) ลำไยผง

(ธัญนิชา, 2552) น้ำผลไม้รวมผง (ดวงพร และ สุเทพ, 2543) กระเจี๊ยบผง (วสันต์, 2546) เป็นต้น โดยเทคนิคนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมทางยา เพื่อให้ส่วนผสมที่เป็นของแข็งหรือของเหลวมีประสิทธิภาพในการป้องกันสารสำคัญจากสิ่งแวดล้อมเช่นความร้อนแสงอากาศและอื่นๆ (Ahmed *et al.*, 2010) ประโยชน์ของเทคนิคนี้สามารถช่วยรักษากลิ่นรสลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันการระเหยและอัตราการถ่ายเทมวลของสารภายในสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกและสามารถเพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้ (โยมิตา, 2552) บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งพ่นฝอยผลผลิตทางการเกษตร เพื่อเป็นแนวทางสำหรับนำไปประยุกต์ใช้และต่อยอดผลงานวิจัย หรือนำไปพัฒนาผสมผสานกับเทคนิคการอบแห้งแบบอื่นๆ ต่อไป

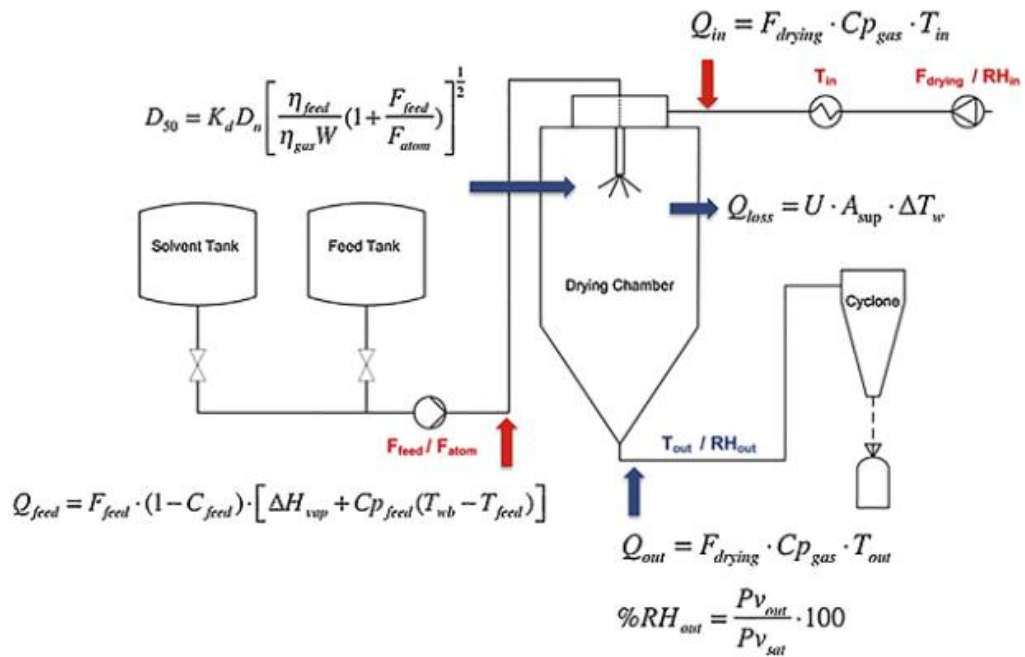
1. หลักการอบแห้งแบบพ่นฝอย

การอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นเป็นการอบแห้งที่ใช้การพ่นสารละลายของเหลวเป็นละอองเข้าไปสัมผัสกับสารตัวกลางคืออากาศที่มีความร้อนสูงในห้องอบแห้ง ทำให้น้ำถูกดึงออกจากสารละลายอย่างรวดเร็วจนเริ่มเปลี่ยนเป็นสารละลายเข้มข้นแล้วเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ผง (Kuriakose and Anandharamakrishnan, 2010) โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารละลายของเหลวให้กลายเป็นอนุภาคผงขนาดเล็กประมาณ 10-50 ไมโครเมตรหรืออาจมีขนาดใหญ่ประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการทำแห้งจะอยู่ในรูปของอนุภาคผงหรือเป็นก้อนขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุการออกแบบเครื่องอบแห้งและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Shishir and Chen, 2017; คณิตนันท์, 2557) วัตถุดิบที่นำมา

อบแห้งได้ต้องเป็นของเหลว หรืออาจอยู่ในสภาพของสารละลายน้ำทั้งหมด สามารถมีเนื้ออาหารที่เป็นของแข็งอยู่สูงกว่า 20 % แต่ไม่เกิน 50 % และของเหลวนั้นต้องไหลได้ (สมบัติ, 2529) การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการอบแห้งที่ใช้กับวัสดุสารละลายของเหลว ลักษณะเฉพาะของการอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ เวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในห้องอบแห้งสั้นและผลิตภัณฑ์สุดท้ายพร้อมที่จะบรรจุทันทีที่ออกจากเครื่องอบแห้ง (Shishir and Chen, 2017) อนุภาคของเหลวของอาหารจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิกะเปาะเปียกของอากาศร้อนที่ใช้ในเครื่องอบแห้งจนกว่าน้ำจะระเหยออกไปเกือบหมด เนื่องจากมีการระเหยอย่างรวดเร็ว ดังนั้นสารสำคัญต่าง ๆ จึงถูกทำลายด้วยความร้อนน้อยมากผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีคุณภาพดี มีลักษณะเป็นผงไม่เกาะติดกัน ข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งชนิดนี้คือใช้ได้กับอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวได้เท่านั้น โดยไม่สามารถนำมาใช้กับของแข็งได้ (Ozmen and Langrish, 2002)

2. การถ่ายเทความร้อนและมวลของการอบแห้งแบบพ่นฝอย

กระบวนการอบแห้งโดยทั่วไปจะเกิดจากการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อมมายังน้ำในวัตถุดิบแล้วจึงเกิดการระเหยบริเวณพื้นผิว ในขณะที่เดียวกันก็จะเกิดการถ่ายเทความชื้นจากภายในวัตถุไปยังพื้นผิวของวัตถุดิบนั้น โดย Lisboa *et al.* (2018) ได้สร้างสมการเพื่อหาการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์กระบวนการการถ่ายโอนในระหว่างอบแห้ง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การถ่ายเทความร้อนในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Lisboa et al., 2018)

โดยพัฒนาจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน สามารถหาค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยได้จากสมการ

$$Q_{in} = Q_{feed} + Q_{out} + Q_{loss} \quad (1)$$

ค่าพลังงานความร้อนทางเข้า (Q_{in}) ได้จากสมการ

$$Q_{in} = F_{drying} \cdot C_{p_{gas}} \cdot T_{in} \quad (2)$$

ค่าพลังงานความร้อน (Q_{feed}) ได้จากสมการ

$$Q_{feed} = F_{feed} (1 - C_{feed}) \cdot \Delta H_{vap} + F_{feed} (1 - C_{feed}) \cdot C_{p_{feed}} (T_{wb} - T_{feed}) \quad (3)$$

ค่าพลังงานความร้อนทางเข้า (Q_{out}) ได้จากสมการ

$$Q_{out} = F_{drying} \cdot C_{p_{gas}} \cdot T_{out} \quad (4)$$

ค่าพลังงานความร้อนสูญเสีย (Q_{loss}) ได้จากสมการ

$$Q_{loss} = U \cdot A_{sup} \cdot \Delta T_w \quad (5)$$

การถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นคำนวณได้จากสมการ

$$F_{drying} \cdot H_{in} + F_{feed} (1 - C_{feed}) = F_{drying} \cdot H_{out} \quad (6)$$

เมื่อ Q_{in} คือ พลังงานความร้อนทางเข้า,

Q_{loss} คือ พลังงานความร้อนสูญเสีย,

F_{drying} คือ อัตราการไหลลมร้อน,

$C_{p_{gas}}$ คือ ความจุความร้อนอากาศ,

T_{in} คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า,

Q_{feed} คือ พลังงานความร้อนที่จ่ายให้กับสารละลาย

Q_{out} คือ พลังงานความร้อนทางออกห้องอบแห้ง

F_{feed} คือ อัตราการไหลสารละลาย

ΔH_{vap} คือ ค่าเอนทัลปีจำเพาะการระเหย

T_{out} คือ อุณหภูมิลมร้อนขาออก

T_{feed} คือ อุณหภูมิเริ่มต้นสารละลาย, T_{wb} คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก
 H_{in} คือ อัตราส่วนความชื้นขาเข้า, H_{out} คือ อัตราส่วนความชื้นขาออก
 A_{sup} คือ พื้นที่ผิวสัมผัสอุปกรณ์ห้องอบแห้ง

การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหยดอนุภาคในกรณีเป็นหัวฉีดแบบจานหมุน (Rotating nozzles) หาได้จากสมการที่ (7) (Masters, 1991)

$$D_{50} = 0.008 \times F_{\text{feed}}^{0.15} \times D^{-0.18} \times N^{-0.05} \times \omega^{-0.75} \times \mu_{\text{feed}}^{0.07} \quad (7)$$

กรณีที่เป็นหัวฉีดแบบแรงดัน (Pressure nozzles) (Lefebvre, 1988)

$$D_{50} = 4.0 \times F_{\text{feed}}^{0.25} \times (\sigma_{\text{feed}} \times \mu_{\text{feed}})^{-0.25} \times \rho_{\text{feed}}^{0.07} \times \Delta P_{\text{feed}}^{-0.5} \quad (8)$$

กรณีหัวฉีดแบบนิวแมติกส์ (Pneumatic nozzle) (Lubanska, 1970)

$$D_{50} = K_d D_n \left[\frac{\eta_{\text{feed}}}{\eta_{\text{gass}} \times W_e} \left(1 + \frac{F_{\text{feed}}}{F_{\text{atom}}} \right) \right]^{0.5} \quad (9)$$

เมื่อ D_{50} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดพ่นฝอย, N คือ จำนวนใบมีดหัวฉีดแบบจานหมุน
 η_{feed} คือ ความหนืดของวัสดุดิบ, η_{gass} คือ ความหนืดของอากาศ
 μ_{feed} คือ ความหนืดของวัสดุดิบ, σ_{feed} คือ ความตึงผิววัสดุดิบ
 ρ_{feed} คือ ความหนาแน่นวัสดุดิบ, ρ_{gass} คือ ค่าความหนาแน่นของก๊าซ
 ω คือ ความเร็วใบมีดหัวฉีดแบบจานหมุน

การถ่ายโอนความร้อนระหว่างหยดอนุภาคเหลวกับก๊าซคำนวณได้จากสมการที่ (10) (Kuriakose and Anandharamakrishnan, 2010)

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = h A_p (T_g - T_p) + \frac{dm_p}{dt} h_{fg} \quad (10)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) นั้นสามารถคำนวณได้จากสมการของ Ranz-Marshall (Kuriakose and Anandharamakrishnan, 2010)

$$Nu = \frac{h d_p}{k_{td}} = 2 + 0.6(Re)^{1/2} (Pr)^{1/3} \quad (11)$$

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k_{td}} \quad (12)$$

อัตราการถ่ายเทมวล (สำหรับการระเหย) ระหว่างอนุภาคและลมร้อนหาได้จากสมการที่ (13)

$$\frac{dm_p}{dt} = -k_c A_p (Y_s - Y_g) \quad (13)$$

โดย k_c จะอยู่ในรูปสมการหาค่าตัวเลขของเชอร์วูด (Sherwood number) สมการที่ (14)

$$Sh = \frac{k_c d_p}{D_{i,m}} = 2 + 0.6(Re_d)^{1/2} (Sc)^{1/3} \quad (14)$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho_g D_{i,m}} \quad (15)$$

เมื่อหยดอนุภาคของเหลวอุณหภูมิถึงจุดเดือด หยดของเหลวจะระเหยค่อยๆ เหลือเฉพาะอนุภาคแข็งประมาณค่าที่ได้ดังสมการที่ (16)

$$\frac{d(d_p)}{dt} = \frac{4k_{ia}}{\rho_p C_g d_p} \left(1 + 0.23\sqrt{Re}\right) \times \ln \left[1 + \frac{C_g (T_g - T_p)}{h_{ig}}\right] \quad (16)$$

เมื่อ C_p คือ ค่าความจุความร้อนอนุภาค,	h_{ig} คือ ความร้อนแฝงการกลายเป็นไอ
k_{ia} คือ ค่าการนำความร้อนของไหล,	k_{ia} คือ ค่าการนำความร้อนของก๊าซ
A_p คือ พื้นที่ผิวอนุภาค,	W_c คือ ตัวเลขเวเบอร์
K_d คือ ค่าคงที่,	m_p คือ มวลอนุภาค
T_p คือ อุณหภูมิอนุภาค,	T_g คือ อุณหภูมิก๊าซ
Pr คือ ค่าตัวเลขพริ้นด์เทิล,	Y_s คือ ค่าความชื้นอิ่มตัว
Re_d คือ ค่าตัวเลขเรย์โนลด์,	Sh คือ ค่าตัวเลขของเชอร์วูด
k_c คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล,	γ คือ แรงตึงผิวของวัตถุผิว
μ คือ ค่าความหนืดของไหล,	U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
$D_{i,m}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของไอน้ำสถานะก๊าซ	

3. อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature)

ผลผลิตทางการเกษตรหรืออาหารส่วนใหญ่ที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่สูงเนื่องจากน้ำตาลเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งมีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำเมื่อทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากสถานะคล้ายแก้วไปเป็นสถานะของเหลวหนืดคล้ายยาง อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วถือเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อลักษณะของอาหารผง การเกิดผลึกของน้ำตาลไว้รูปร่างก่อให้เกิดการสูญเสียคุณภาพ

ทางด้านกายภาพและเคมีของอาหารผง (อุษา, 2549; คณิตนันท์, 2557) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากสถานะคล้ายแก้วไปเป็นของเหลวหนืดคล้ายยางและเริ่มแสดงพฤติกรรมการเกาะติดเมื่ออุณหภูมิที่ผิวสูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของประมาณ 10 °C และเมื่อมีผลต่างของอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 20 °C สารละลายจะเหนียวเกาะติดกับผนังเครื่องอบแห้ง (พิไลรัก และ ชนกิจ, 2557; คณิตนันท์, 2557) อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วคำนวณได้จากสมการที่ (17) (Miao and Roos, 2004)

$$T_g = \frac{\Delta C_{p1} X_1 T_{g1} + \Delta C_{p2} X_2 T_{g2}}{\Delta C_{p1} X_1 + \Delta C_{p2} X_2} \quad (17)$$

เมื่อ X_1 คือ สัดส่วนตัวทำละลาย, X_2 คือ สัดส่วนของน้ำในสารละลาย
 T_{g1} คือ อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของสารละลาย
 T_{g2} คือ อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของน้ำ
 ΔC_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว

วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยหาความสัมพันธ์ของปัจจัยตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานที่เหมาะสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์และมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยดังนี้อุณหภูมิของอากาศร้อน การไหลของอากาศร้อนเข้าหอบแห้ง การทำให้เกิดหยดของเหลวคุณสมบัติของสารละลายเริ่มต้นอัตราการป้อนสารละลายเริ่มต้นชนิดหัวฉีดและสารช่วยอบแห้ง รวมไปถึงการประยุกต์ใช้เทคนิคอื่นๆ ร่วมการอบแห้งแบบพ่นฝอยเดิม เพื่อพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์หรือประสิทธิภาพการทำงานการอบแห้งแบบพ่นฝอยให้ดียิ่งขึ้น

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยหาความสัมพันธ์ของปัจจัยตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานที่เหมาะสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์และมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย รวมไปถึงการพัฒนาการอบแห้งแบบพ่นฝอยเดิมร่วมเทคนิคอื่นๆ เพื่อพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์หรือประสิทธิภาพการทำงานการอบแห้งแบบพ่นฝอยให้ดียิ่งขึ้น แสดงดังต่อไปนี้

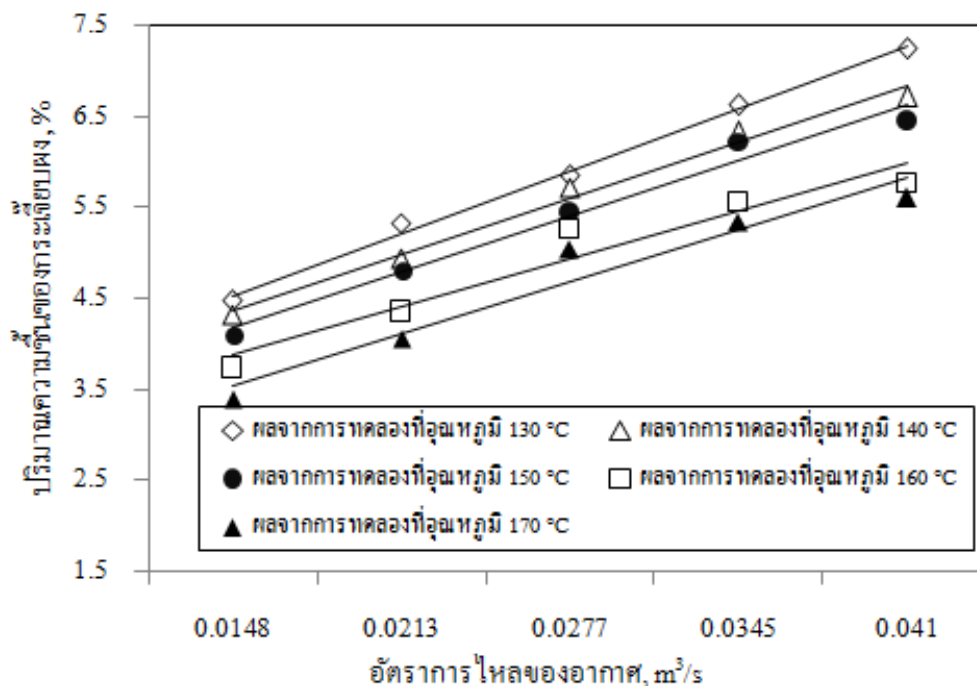
1. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารผง

1.1 อุณหภูมิอบแห้ง

ในการอบแห้งที่สภาวะอัตราการไหลของอากาศร้อนคงที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนเข้าจะเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนน้ำในผลิตภัณฑ์อาหารผงให้ระเหยออกไป ทำให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้งหรืออีกนัยหนึ่งความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารผงมีค่าลดลง (กนิตนันท์, 2557) ดังภาพที่ 2 จะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนเข้าจะทำให้ปริมาณความชื้นของกระเจี๊ยบผงมีค่าลดลงเนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศจะทำให้ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำมีค่ามากขึ้น (วสันต์, 2546) สอดคล้องกับรายงานของ ดวงพร (2554) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมวลร้อนเข้าจาก 165 °C เป็น 185 °C ประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 66.06±0.89 เป็นร้อยละ 68.75±0.73 ของการผลิตเครื่องคั่วกาแฟด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสโรบล และ ชัยรัตน์ (2554) ได้รายงานผลการศึกษาผลของอุณหภูมิมวลร้อนและปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน (DE10) ซึ่งใช้เป็นสารช่วยอบแห้งสับปะรดผงด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิมวลร้อนทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงทำให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลดลง ช่วยให้

การละลายดีขึ้นแต่กลับทำให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตลดลงและอุณหภูมิที่สูงเกินไป (170°C) ทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นหากพิจารณาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตและปริมาณ

ของสารฟีนอลิกเป็นเกณฑ์ สภาพะอบแห้งที่เหมาะสมคืออุณหภูมิความร้อนควรอยู่ในช่วง $130-150^{\circ}\text{C}$ และปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 37-40 มาตรฐานแห้ง



ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนเข้าและอัตราการไหลของอากาศกับปริมาณความชื้นที่ความเข้มข้นของสารละลาย 10 % (วสันต์, 2546)

1.2 อัตราการไหลของอากาศร้อน

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศร้อนมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยตรง ถ้าลดอัตราการไหลของอากาศร้อนลงจะทำให้เวลาที่ผลิตภัณฑ์อาหารผงอยู่ในห้องอบแห้งเพิ่มขึ้น และทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงลดลง นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศร้อนต่ำ ยังช่วยทำให้การแยกผลิตภัณฑ์อาหารผงหลังการอบแห้งได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น (คณิตนันท์, 2557) ดังรายงานผลการศึกษาของ วสันต์ (2546) ที่พบว่าเมื่อลดอัตราการไหลของอากาศจะทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีค่ามากขึ้นให้ปริมาณความชื้นของกระเจียบผงลดลง แสดงดังภาพที่ 2

1.3 การทำให้เกิดหยดของเหลว

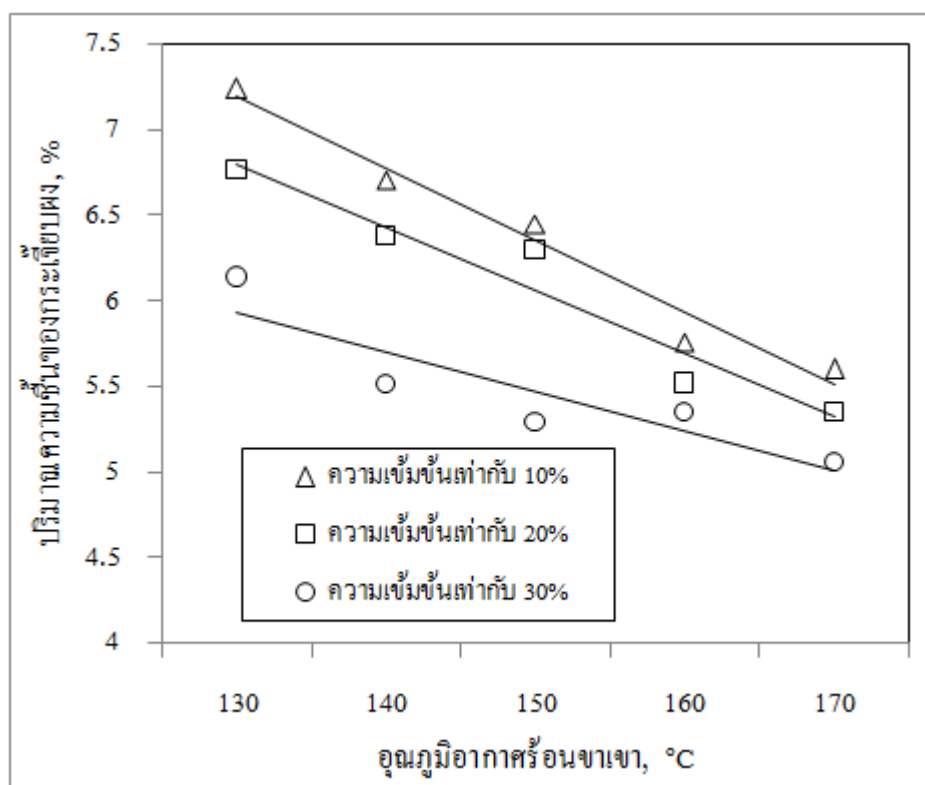
การทำให้สารละลายเริ่มต้นมีขนาดเล็กลงเมื่ออัตราการป้อนคงที่สามารถทำได้โดยเพิ่มความเร็วยรอบของหัวฉีด หรือเพิ่มความดันของอากาศ หรือเพิ่มอัตราส่วนการไหลระหว่างอากาศกับของเหลวในหัวฉีด ซึ่งถ้าผลิตภัณฑ์อาหารผงมีขนาดเล็กละเอียดมากๆ ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นปรากฏสูง เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กทำให้เกิดช่องว่างน้อยกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ (คณิตนันท์, 2557)

1.4 คุณสมบัติของสารละลายเริ่มต้น

มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารผงในกรณีที่สารละลายเริ่มต้นมีปริมาณของแข็งน้อย

ผลที่ได้ก็คือทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นลดลง ของแข็งที่ป้อนต้องมีปริมาณที่เหมาะสม ถ้ามากเกินไปก็อาจจะไม่สามารถพ่นฝอยได้ อาจจะทำให้เกิดการเกาะติดที่ผนังห้องอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารผงเกิดการเสื่อมสภาพได้ สถานะการทำงานของหัวฉีดคงที่แต่ปริมาณของแข็งในสารละลายที่ป้อนเพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าความชื้นของอาหารผงที่ลดลง เมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตราการระเหยของน้ำคงที่ ทำให้อัตราส่วนของความชื้นต่อมวลของแข็งที่เหลืออยู่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับสารละลายที่มีปริมาณของแข็งน้อย ผลที่ได้คืออาหารผงมีความชื้นลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายที่ป้อนต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสม ถ้าสารละลายมี

ความหนืดสูง เมื่อนำไปอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สถานะเดียวกันส่งผลให้ขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้น ถ้ามากเกินไปจะไม่สามารถพ่นฝอยได้หรือไม่สามารถดูดผ่านเครื่องป้อนสารละลายได้ ทำให้เกิดการเกาะติดที่ผนังห้องอบแห้งหรือส่งผลให้ของเหลวที่ฉีดออกมามีลักษณะเหมือนเส้นด้ายทำให้ตัวอย่างไม่แห้งเป็นผง ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายป้อนช่วยลดปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งอาหารผงลงได้ (คณิตนันท์, 2557) ดังรายงานของวสันต์ (2546) ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นให้กับสารละลายกระเจียบและอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าจะส่งผลให้ปริมาณความชื้นของกระเจียบผงมีค่าลดลง แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้ากับปริมาณความชื้นที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ ที่อัตราการไหลของอากาศ $0.0410 \text{ m}^3/\text{s}$ (วสันต์, 2546)

1.5 อัตราการป้อนสารละลายเริ่มต้น

การเพิ่มอัตราการป้อนสารละลายเริ่มต้นในขณะที่สภาวะของหัวฉีดคงที่ มีผลทำให้อนุภาคที่พ่นฝอยมีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาหารผงที่ได้มีขนาดอนุภาคใหญ่และมีความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ต่ำ ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มอัตราการป้อนสารละลายเริ่มต้นในขณะที่อัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าและปริมาณความร้อนที่ให้ระบบคงที่ มีผลทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารผงเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกจากตัวอย่างเพิ่มขึ้นในขณะที่ระบบสามารถระเหยน้ำออกไปได้ในอัตราคงเดิม (คณิตนันท์, 2557)

1.6 ชนิดหัวฉีด

ซึ่งหัวฉีดแต่ละแบบจะทำให้ได้ลักษณะอนุภาคของผลิตภัณฑ์อาหารผงที่แตกต่างกัน การเลือกหัวฉีดขึ้นอยู่กับการออกแบบและลักษณะเฉพาะของการใช้งาน เช่น หัวฉีดชนิดจานสามารถผลิตอนุภาคผงที่มีขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ และยังสามารถผลิตได้สูงมากกว่า 5,000 kg_{dry solid}/h ใช้กับของเหลวได้ทุกชนิด ทั้งของเหลวที่มีความหนืดสูงหรือสารแขวนลอย ซึ่งตะกอนของอนุภาคของแข็งเหล่านี้ทำให้หัวฉีดแบบอื่นอุดตันส่วนหัวฉีดชนิดใช้ความดันสามารถผลิตอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ได้ หัวฉีดแบบนิวเมติกส์สามารถใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูงได้ นอกจากนี้ในหัวฉีดแต่ละชนิดจะมีอุปกรณ์หลายส่วนที่สามารถออกแบบให้ใช้งานได้แตกต่างกันไป (คณิตนันท์, 2557)

1.7 สารช่วยอบแห้ง

การอบแห้งแบบพ่นฝอยในพืชผักผลไม้หรืออาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำตาลสูงในระหว่างการผลิตมักเกิดการเกาะติดของสารที่ผนังเครื่องอบแห้งเนื่องจากน้ำตาลเป็นสารที่มีความสามารถในการ

ดูดความชื้นทำให้แห้งยาก (สุธรรมา, 2547) นอกจากนั้นยังมีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วต่ำเมื่อนำมาแปรรูปด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วผลิตภัณฑ์เหล่านี้จึงเกิดการเหนียวและจับตัวกัน ทำให้ไม่สามารถทำแห้งเป็นลักษณะผงหรือได้ปริมาณของผลิตภัณฑ์สุดท้ายน้อยลง ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารช่วยอบแห้งในการผลิตเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเพิ่มปริมาณผลผลิตให้สูงขึ้น (โยษิตา, 2552)

2. การเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารผงด้วยการประยุกต์การอบแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับเทคนิคอื่นๆ

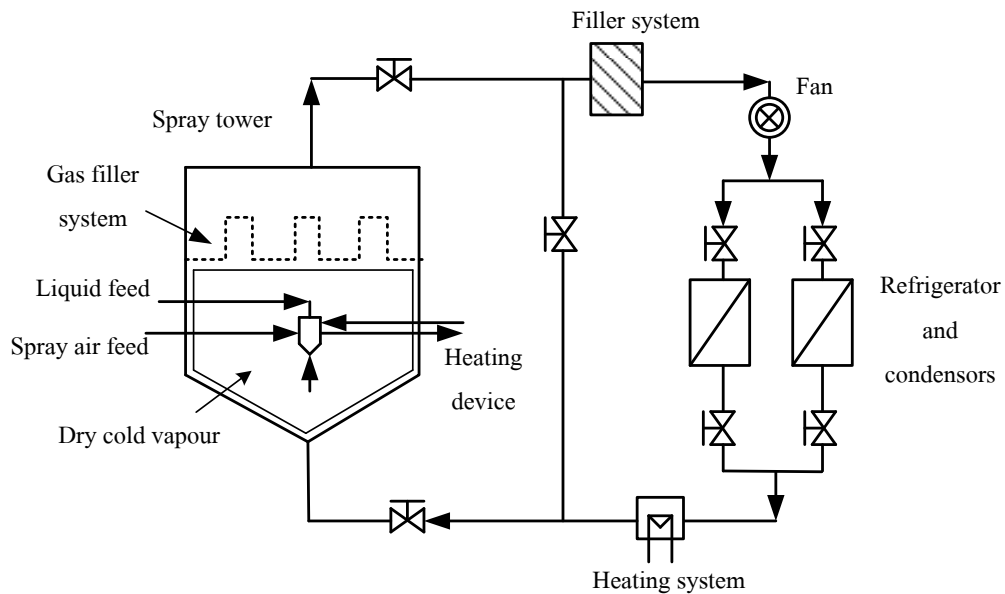
ลักษณะเด่นเฉพาะของการอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ เวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในห้องอบแห้งสั้น มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง สามารถผลิตได้ต่อเนื่อง แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับสารให้กลิ่นรสที่ไม่ทนต่อความร้อนที่ระดับสูง รวมทั้งยังให้ขนาดอนุภาคผงที่ได้ที่ไม่สม่ำเสมอ ไม่สามารถสร้างชั้นของสารที่ถูกละเลียงได้หลายชั้น สารให้กลิ่นรสที่มีมวลโมเลกุลต่ำสามารถระเหยได้ง่ายหรืออาจเสียดสีสภาพหรือเกิดการย่อยสลายบางส่วนเมื่อมีการให้ความร้อนสูง (ดวงพร, 2554; อมรรัตน์, 2550) ได้มีการพัฒนาการอบแห้งแบบพ่นฝอยร่วมกับเทคนิคอื่นๆ เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว ได้แก่

2.1 การประยุกต์เครื่องอบแห้งพ่นฝอยร่วมกับแช่เยือกแข็ง

เครื่องอบแห้งพ่นฝอยร่วมกับแช่เยือกแข็งการนำเทคนิคอบแห้งพ่นฝอยร่วมกับแช่เยือกแข็ง (Spray Freezing Dryer) หลักการทำงานคือทำให้อาหารเย็นจนแข็งก่อน แล้วจึงทำให้น้ำที่อยู่ในสถานะของแข็งระเหิดหรือกลายเป็นไอโดยไม่ได้ผ่านการกลายสภาพเป็นน้ำก่อนระหว่างกระบวนการอบแห้ง มีการลดความดันในห้องอบแห้งลง และใช้ความร้อนเข้าช่วยทำให้เกิดการระเหิด ผลิตภัณฑ์หรืออาหารที่ผ่านการทำ

ให้แห้งด้วยวิธีนี้จะคงลักษณะโครงสร้างและคุณภาพ และการเก็บรักษาของสารระเหยและออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้เหมือนเดิม แต่เนื่องจากราคาและค่าใช้จ่ายสำหรับเทคนิคการอบแห้งแบบนี้ยังค่อนข้างสูง จึง

เหมาะในการใช้งานในผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง เช่น การผลิตอาหารเสริมสุขภาพชนิดผงหรือผลิตภัณฑ์ทางยา (Anandharamakrishnan, 2008; Padma *et al.*, 2015)



ภาพที่ 4 เครื่องอบแห้งพ่นฝอยร่วมกับแช่เยือกแข็ง (Leuenberger, 2002)

2.2 การประยุกต์เครื่องอบแห้งพ่นฝอยร่วมกับสุญญากาศ

เป็นการประยุกต์การอบแห้งพ่นฝอยร่วมกับสุญญากาศ (Vacuum spray drying) ซึ่งข้อดีของการอบแห้งแบบสุญญากาศคือ ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (40-60 °C) อาศัยหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ ใช้หลักการลดจุดระเหยของน้ำให้ต่ำลงเมื่อความดันบรรยากาศต่ำลง อากาศภายในห้องอบแห้งจะถูกดูดออกไปจนภายในห้องอบแห้งต่ำจนเกิดเป็นสุญญากาศ เมื่อการลดความดันอากาศภายในห้องอบแห้งให้ต่ำลงการระเหยของน้ำภายในวัสดุเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยรักษาคคุณค่าทางอาหารและสารระเหยบางชนิดในอาหารให้คงไว้ ช่วยลดการสูญเสียสารอาหารที่ไวต่อความร้อน (Padma *et al.*, 2015) จากรายงานวิจัยพบว่า การ

ประยุกต์ใช้เทคนิคอบแห้งพ่นฝอยร่วมกับสุญญากาศในผลิตภัณฑ์สัมผัสผงทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารประกอบอื่นๆ รวมทั้งวิตามินซีคงเหลืออยู่มากกว่าแบบอบแห้งพ่นฝอยอย่างเดียว (Padma *et al.*, 2015; Islam *et al.*, 2017) ข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบนี้คือมีราคาและต้นทุนประกอบการค่อนข้างสูง

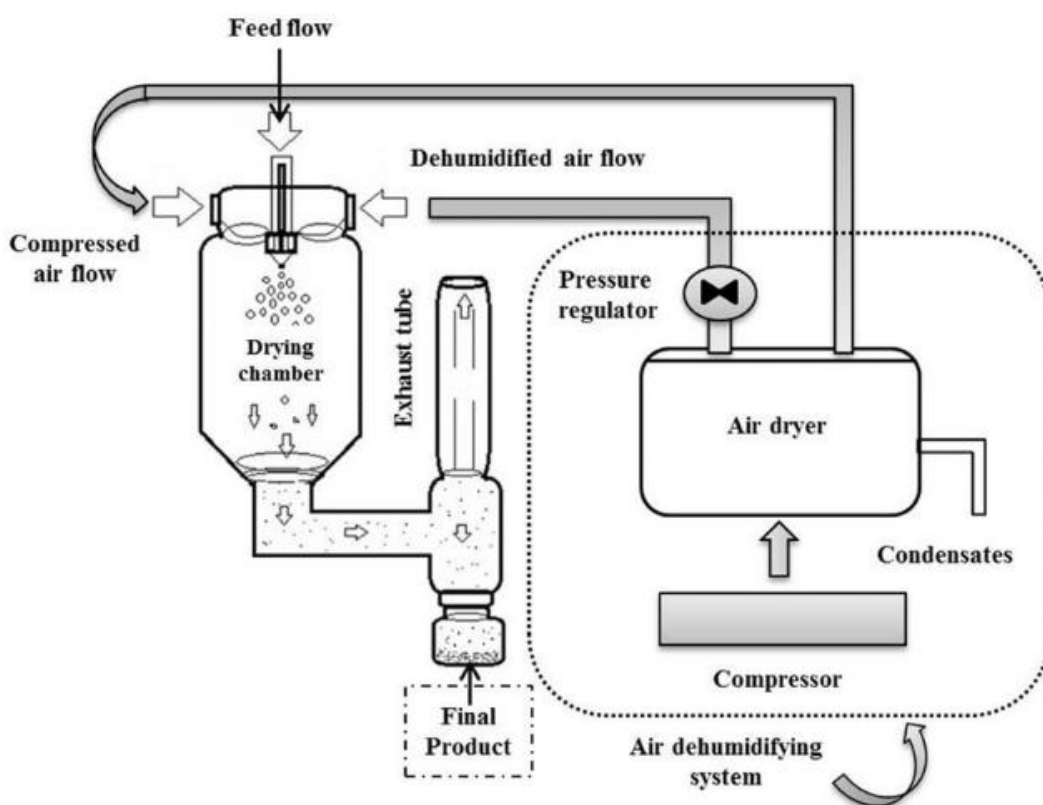
2.3 การประยุกต์ใช้หัวฉีดอัลตราโซนิกร่วมกับเครื่องอบแห้ง

การประยุกต์ใช้หัวฉีดอัลตราโซนิกร่วมกับเครื่องอบแห้งพ่นฝอย (Ultrasonic atomization in spray dryer) ได้ถูกพัฒนาขึ้น เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในตัวกลางที่ได้รับคลื่นอัลตราโซนิก หยดของเหลวนี้จะสัมผัสกับแรงสั่นที่เกิดจากคลื่นอัลตราโซนิกผ่านผิวหน้าหัวพ่นหัวพ่นหัวพ่น ทำให้หยดสารละลายเกิดการสั่นสะเทือนเกิดละอองอนุภาคของเหลวที่ขนาดเล็ก

อย่างสม่ำเสมอผิวหน้าหัวฉีด Turan *et al.* (2016) ได้ประยุกต์หัวฉีดอัลตราโซนิกในเครื่องอบแห้งพ่นฝอยในการผลิตทุบเบอร์ฟอง ผลที่ได้พบว่าคลื่นอัลตราโซนิกทำให้เกิดคลื่นสม่ำเสมอ ทำให้อนุภาคฝองมีรูปร่างและขนาดที่แน่นอนกว่า และยังรักษาสารประกอบฟีนอลิกและสารสำคัญอื่นๆ ได้ดีกว่าเครื่องอบแห้งพ่นฝอยแบบเดิม โดยคลื่นความถี่ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20-180 kHz เป็นความถี่ที่เหมาะสมในการสร้างอนุภาคฝองขนาดเล็ก (Shishir and Chen, 2017) นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้หัวฉีดอัลตราโซนิกกับเครื่องอบแห้งพ่นฝอยร่วมสุญญากาศเป็นการประยุกต์นำข้อเด่นของเทคนิคทั้งสามอย่างมารวมกันเป็นผลให้เวลาการอบแห้งสั้นลง และลดอุณหภูมิในการอบแห้งลง (Freitas *et al.*, 2004)

2.4 การประยุกต์เครื่องอบแห้งพ่นฝอยร่วมกับลดความชื้น

การประยุกต์ใช้ระบบลดความชื้นร่วมกับเทคนิคอบแห้งพ่นฝอย (Dehumidified air spray dryer) แบบเดิม แสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งข้อดีของระบบลดความชื้นคือให้ประสิทธิภาพดีกว่าโดยจะลดปัญหาการเหนียวเกาะติดกัน ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำกว่าและค่าความหนาแน่นรวม (Bulk density) สูงกว่าการอบแห้งพ่นฝอยแบบเดิม (Goula and Adamopoulos, 2005; Goula *et al.*, 2004) ยังช่วยลดอุณหภูมิขาออกและความชื้นของลมร้อนลดลง ทำให้พื้นผิวของอนุภาคราบเรียบขึ้น (Goula and Adamopoulos, 2005)



ภาพที่ 5 เครื่องอบแห้งพ่นฝอยร่วมกับลดความชื้น (Leuenberger, 2002)

การประยุกต์นำเทคนิคต่างๆ มาใช้ร่วมกับเทคนิคการอบแห้งแบบเดิม ทำให้ประสิทธิภาพของระบบและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทดลองดีกว่าใช้เทคนิคอบแห้งพ่นฝอยอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้เทคนิคอบแห้งแบบพ่นฝอยเดิมร่วมกับเทคนิคอื่นๆ ยังมีจำกัด และส่วนใหญ่ยังมีเฉพาะในห้องทดลองเท่านั้น จึงมีความจำเป็นต้องมีการวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคใหม่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นผลที่เกิดจากการอบแห้งพ่นฝอยกับผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ ปริมาณการใช้พลังงาน และข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็น เพื่อพัฒนานำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

สรุป

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกสินค้าทางการเกษตรในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ทั้งในรูปผลิตภัณฑ์สดและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ กระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่มีความสำคัญอีกวิธีหนึ่ง เป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรของประเทศให้สูงขึ้นและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของเกษตรกรและผู้ประกอบการได้เป็นอย่างดี การแปรรูปพืชผักผลไม้เป็นผลิตภัณฑ์แบบผงเพื่อเป็นเครื่องดื่มด้วยการอบแห้งพ่นฝอยนับเป็นการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่น่าสนใจแบบหนึ่ง ซึ่งข้อดีของการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นคือมากมีต้นทุนการผลิตน้อย มีอัตราค่าการผลิตสูง สามารถผลิตแบบต่อเนื่องได้ใช้งานง่ายสามารถควบคุมและปรับสภาวะการผลิตตามผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตต้องการคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้สม่ำเสมอตลอดกระบวนการมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงทำให้น้ำระเหยออกจากหยดสารละลายของเหลวได้เร็วเวลาที่ใช้ในการทำแห้งสั้นแต่ข้อเสียของการอบแห้งพ่นฝอยคือ ไม่เหมาะสมกับสารให้กลิ่นรสที่ไม่ทนต่อความร้อนที่สูงมาก พืชผักผลไม้

หรืออาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำตาลสูงที่อบแห้งมักมีคุณสมบัติการกระจายตัวและการละลายไม่ดี และในระหว่างการผลิตมักเกิดการเกาะติดของสารที่ผนังเครื่องอบแห้งซึ่งจำเป็นต้องมีการเติมสารช่วยอบแห้งในการผลิตเพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเพิ่มปริมาณผลผลิตให้สูงขึ้น บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยนำเสนอหลักการอบแห้งแบบพ่นฝอย การถ่ายเทความร้อนและมวลของการอบแห้งแบบพ่นฝอย ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารผง การประยุกต์ใช้งานการประยุกต์ใช้เทคนิคอื่นร่วมกับเทคนิคอบแห้งพ่นฝอย เพื่อช่วยให้ผู้สนใจนำไปประยุกต์ใช้หรือนำไปผสมผสานกับเทคนิคการอบแห้งแบบอื่นๆ เพื่อพัฒนาไปสู่การค้าเชิงพาณิชย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เขียนบทความวิชาการและบทความวิจัย ที่ได้ใช้อ้างอิงในบทความนี้

เอกสารอ้างอิง

- คณิตนันท์ เอชัน. 2557. การศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีต่อคุณภาพและลักษณะทางกายภาพของน้ำตาลมะพร้าวผง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ดวงพร คุณาพรสุจริต. 2554. การผลิตเครื่องดื่มลำไยผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ดวงพร ตั้งบำรุงพงษ์ และ สุเทพ อภินันท์จารุพงศ์. 2543. กระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและ

- ไมโครเวฟสุญญากาศ. ปริญญาพนธ์วิทยา ศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ธัญนิชา ไร่นากิจ. 2552. ซอร์ปชันไอโซเทอม คุณภาพทางเคมี กายภาพและอุณหภูมิ กลาส ทรานซิชั่น ของ น้ำลำไยผง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พิไลรัก อินธิปัญญา และ ธนกิจ ถาหมี. 2557. ผลของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของน้ำหม่อนผสมน้ำผึ้งชนิดผง. **วารสารวิชาการเกษตร** 32(2): 140-153.
- โยมิตา โตเสาวลักษณ์. 2552. การห่อหุ้มร่วมของสารสีธรรมชาติกับผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งด้วยวิธีการอบแห้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วสันต์ ค้วงคำจันทร์. 2546. ปัจจัยในการทำงานที่สำคัญสำหรับการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย: กรณีศึกษากระเจี๊ยบผง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดธัญพืช. พิมพ์ครั้งที่ 7. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2529. **กรรมวิธีการอบแห้ง**. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สโรบล สโรชวิกสิต และ ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี. 2554. ผลของอุณหภูมิการอบแห้งและสารช่วยอบแห้งต่อคุณภาพของน้ำสับปะรดผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร** 34: 203-215.
- สุธรรมา พิสุทธิโสภณ. 2547. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำตาลสดผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- อนุสรณ์ เมืองมา. 2552. การลดการเกาะติดของน้ำผึ้งระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อุษา สิทธิธารณ. 2549. การพัฒนาการแปรรูปน้ำผึ้งผงและการประเมินอายุการเก็บรักษา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อมรรัตน์ ตั้งสกุล. 2550. การผลิตสารปรุงแต่งกลิ่นรสจากโอลีโอเรซินหอมหัวใหญ่ชนิดผงโดยการเอนแคปซูเลชัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อาทิตยา พัฒนินุลย์ และ อมรชัย อภรณ์วิชานพ. 2557. เทคโนโลยีการอบแห้ง. **Technology Promotion** 41(234): 64-67.
- Ahmed, M., Sorifa, A.M., Lee, J.C. and Eun, B.J. 2010. Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. **Food Science and Technology** 43: 1307-1312.
- Anandharamakrishnan, C. 2008. Experimental and computational fluid dynamics studies on spray-freeze-drying and spray-drying of proteins. Doctoral dissertation, Department of Chemical Engineering, Loughborough University.
- Freitas, S., Merkle, H.P. and Gander, B. 2004. Ultrasonic atomization into reduced pressure atmosphere-envisaging aseptic spray-drying for microencapsulation.

- Journal of Controlled Release** 95: 185-195.
- Goula, M.A., Adamopoulos, K.G. and Kazakis, N.A. 2004. Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. **Drying Technology** 22: 1129-1151.
- Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on the powder properties. **Journal of Food Engineering** 66: 35-42.
- Islam, M.Z., Kitamura, Y., Kokawa, M., Onalisa, K., Tsai, F.H. and Miyamura, S. 2017. Effects of micro wet milling and vacuum spray drying on the physicochemical and antioxidant properties of orange (*Citrus unshiu*) juice with pulp powder. **Food and Bioproducts Processing** 101: 132-144.
- Kuriakose, R. and Anandharamakrishnan, C. 2010. Computational fluid dynamics (CFD) applications in spray drying of food products. **Trends in Food Science & Technology** 21: 383-398.
- Leuenberger, H. 2002. Spray-Freeze-drying - the process of choice for low water soluble drugs. **Journal of Nanoparticle Research** 4: 111-119.
- Lefebvre, A. 1988. **Atomization and Sprays: vol. 1040**. CRC press, New York.
- Lisboa, H.M., Duarte, M.E., Cavalcanti-Mata, M.E. and Mario, E. 2018. Modeling of food drying processes in industrial spray dryers. **Food and Bioproducts Processing** 107: 49-60.
- Lubanska, H. 1970. Correlation of spray ring data for gas atomization of liquid metals. **JOM** 22(2): 45-49.
- Masters, K. 1991. **Spray Drying Handbook (5th ed.)**. Longman Scientific and Technical, New York.
- Miao, S. and Roos, Y.H. 2004. Nonenzymatic browning kinetics of carbohydrate-based low moisture food system at temperatures applicable to spray drying. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 52: 5250-5257.
- Ozmen, L. and Langrish, T.A.G. 2002. Comparison of glass transition temperature and sticky point temperature for skim milk powder. **Drying Technology** 20: 1177-1192.
- Padma, I.S., Anandharamakrishnan, C. and Andrew, G.F. Stapley. 2015. Spray freeze drying: A novel process for the drying of foods and bioproducts. **Trends in Food Science & Technology** 41: 161-181.
- Shishir, M.R.I. and Chen, W. 2017. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology** 65: 49-67.
- Turan, F.T., Cengiz, A., Sandıkçı, D., Dervisoglu, M., and Kahyaoglu, T. 2016. Influence of an ultrasonic nozzle in spray drying and storage on the properties of blueberry powder and microcapsules. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 96: 4062-4076.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด

The Development of “Khao Hawm Mae Paya Tong Dam Black Rice”

(*Oryza sativa* L.) Bar Mixed with Fried Pisang Mas (*Musa Sapientum*)

วิฑิต เลิศนิตมมงคล* และ นฤมล มงคลธนะวัฒน์

Witit Lertnimitmongkol* and Narumol Mongkontanawat

Received: 12 June 2019, Revised: 15 July 2019, Accepted: 15 October 2019

บทคัดย่อ

ข้าวหอมแม่พญาทองคำเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดจันทบุรีซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนร้อยละของข้าวหอมแม่พญาทองคำผสมกล้วยไข่ทอด ได้แก่ 0, 28:28, 31:25, 34:22, 37:19 และ 40:16 จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าสูตรที่ได้คะแนนความชอบมากที่สุดคือ ข้าวหอมแม่พญาทองคำผสมกล้วยไข่ทอดในอัตราส่วน ร้อยละ 37:19 ($p < 0.05$) ซึ่งมีคุณภาพทางกายภาพ ดังนี้ ค่าความสว่าง (L^*) 24.17 ค่าสีแดง (a^*) 0.84 ค่าสีเหลือง (b^*) 5.08 และค่าความแข็ง 28.43 นิวตัน คุณภาพทางเคมีพบว่า ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) 0.25 ค่าปริมาณความชื้น ร้อยละ 7.57 ค่าปริมาณไขมัน ร้อยละ 11.48 ปริมาณโปรตีน ร้อยละ 2.14 ค่าปริมาณเส้นใย ร้อยละ 19.42 ค่าปริมาณเถ้า ร้อยละ 1.17 ค่า ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 58.22 คุณภาพทางจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 1×10^3 โคโลนีต่อกรัม และยีสต์ รา 10 โคโลนีต่อกรัม จากการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคจำนวน 400 คน พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.11 คะแนน

คำสำคัญ: ข้าวหอมแม่พญาทองคำ, กล้วยไข่, ขนมอัดแท่ง

สาขาเทคโนโลยีการจัดการและพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
วิทยาเขตจันทบุรี ตำบลพลวง อำเภอเขาฉกรรจ์ 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): witit.le@hotmail.com

ABSTRACT

Khao Hawm Mae Paya Tong Dam Black Rice is a healthy traditional rice variety in the district of Kao Kitchakut in Chanthaburi province. Therefore, the objective of the research was to study the percentage ratio of “Khao Hawm Mae Paya Tong Dam Black Rice” (*Oryza sativa* L.) Bar mixed with Fired Pisang Mas (*Musa Sapientum*) which were 56: 0, 28:28, 31:25, 34:22, 37:19 and 40:16, respectively. The result was founded that the most satisfaction ratio of Khao Hawm Mae Paya Tong Dam Black Rice and Fried Pisang Mas was 37:19 at the statistical significance of $p < 0.05$. For the physical properties, brightness (L^*), red color (a^*), blue color (b^*) and hardness value were, 24.17, 0.84, 5.08 and 28.43 N, respectively. For the chemical properties, water activity (a_w), moisture content, fat, protein, fiber, ash and carbohydrate were 0.25, 7.57 %, 11.48 %, 2.14 %, 19.42 %, 1.17 % and 58.22 % w/w, respectively. In addition, total plate count was less than 1×10^3 and yeasts and molds count was 10 CFU/g. Due to the consumer acceptance testing of 400 consumers, it was found that the consumers were moderately satisfied with the product showing the average score of 7.11.

Key words: *Oryza sativa* L, pisang mas, bar

บทนำ

ข้าวหอมแม่พญาทองคำจังหวัดจันทบุรี เป็นข้าวประจำท้องถิ่นชุมชนชาวทองซึ่งเป็นกลุ่มคนพื้นเมืองของจังหวัดจันทบุรี ทำการเพาะปลูกเพื่อใช้รับประทานในครอบครัวและชุมชน ในเขตพื้นที่อำเภอเขาคิชฌกูฏ มานาน โดยเรียกกันว่าข้าวดำ พ.ศ. 2551 ได้ขึ้นทะเบียนตามพระราชบัญญัติพันธุ์พืช พ.ศ. 2518 รับรองโดยกรมวิชาการเกษตร (สมเจตน์, 2554) คุณประโยชน์ของข้าวดำ คือมีสารแอนโทไซยานิน สามารถช่วยลดการอักเสบของเนื้อเยื่อ ช่วยลดไขมันอุดตันในเส้นเลือด ป้องกันโรคอ้วน โรคความดันโลหิตสูง โรคเกาต์ โรคเบาหวาน ช่วยบำรุงสายตาต้านอนุมูลอิสระ และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็ง ซึ่งจากการศึกษาวิจัยของ วาริน และคณะ (2551) พบว่าข้าวเหนียวดำมีปริมาณสารแอนโทไซยานินที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวแดง และข้าวนิล

กล้วยไข่ ในภาคตะวันออกนั้นได้มีการขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้น เช่น ที่จังหวัดจันทบุรี ระยองและตราด ปลูกแซมในสวนผลไม้ มีการเพื่อส่งออกและขยายภายในประเทศซึ่งหากไม่ได้คุณภาพตามเกณฑ์ส่งออกก็จะได้ราคาต่ำกว่ามาก ดังนั้นหากมีการพัฒนาหรือเพิ่มช่องทางในการนำผลผลิตโดยเฉพาะกล้วยไข่ที่ไม่ตรงตามเกณฑ์ส่งออกดังกล่าวนี้มาแปรรูปร่วมกับข้าวหอมแม่พญาทองคำ ซึ่งในปัจจุบันอาหารขบเคี้ยวรูปแท่งเพื่อสุขภาพยังสามารถพัฒนาได้อีกหลายรูปแบบ ด้วยวัตถุดิบทางการเกษตรของไทยที่มีอยู่อย่างหลากหลาย และมีคุณค่าทางโภชนาทางอาหารสูง อันจะเป็นอีกช่องทางหนึ่งในการเพิ่มทางเลือกผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพแก่คนยุคใหม่ได้เป็นอย่างดี (ปนิดา, 2553) สามารถช่วยเพิ่มทางเลือกให้กลุ่มเกษตรกร เพื่อนำผลผลิตในส่วนเกินของมาแปรรูปและออกจำหน่ายได้อีกทางหนึ่ง สรรพคุณของกล้วยไข่ กล้วยไข่มีเบต้าแคโรทีนมากถึง 492 ไมโครกรัม นอกจากนี้กล้วยไข่ยังมีสารอาหารที่

น่าสนใจอื่นๆ เช่นเกลือแร่ วิตามินเอ วิตามินบี 2 วิตามินบี 6 วิตามินซีแคลเซียม ธาตุเหล็ก แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อกระดูกและเนื้อเยื่อทั้งยังช่วยแก้ปัญหาท้องผูกได้อย่างดีเพราะเนื้อกล้วยไม้มีไฟเบอร์ชนิดไม่ละลายน้ำสูง (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, มปป)

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าควรจะนำข้าวหอมแม่พญาทองคำมาแปรรูปร่วมกับกล้วยไข่ ให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ออกสู่ตลาดผู้บริโภค เป็นการยกระดับและเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบพื้นบ้านที่มีคุณค่าทางโภชนาการให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่พร้อมบริโภคซึ่งเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารให้มีมูลค่าสูงขึ้นและช่วยเพิ่มทางเลือกให้กับกลุ่มเกษตรกร โดยนำเอาแนวคิดจากการอบรมผลิตภัณฑ์จากกล้วยไข่ทอดกับกลุ่มแม่บ้านและผู้ประกอบการขนาดเล็กในจังหวัดจันทบุรี ซึ่งกล้วยไข่ทอดนั้นมีรสชาติที่ดีจึงได้นำมาทดลองผสมกับกลูโคสไซรัป แล้วทดสอบทางประสาทสัมผัสเบื้องต้น พบว่ามีลักษณะสีเหลืองทอง กรอบ หอมมัน น่ารับประทานและสามารถนำมาศึกษาและพัฒนาต่อไปในรูปแบบของกระบวนการวิจัยให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 การเตรียมข้าวหอมแม่พญาทองคำ

การเตรียมข้าวหอมแม่พญาทองคำ เริ่มจากนำข้าวดำไปหุงให้สุกด้วยหม้อหุงข้าวโดยใช้อัตราส่วนข้าวดำ 1 ส่วนต่อน้ำ 2 ส่วน เมื่อสุกแล้ว

นำมาเกลี่ยออกเป็นเม็ดยาวๆ ฝึ่งให้เย็นแล้วนำไปอบ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมง แล้วนำมาทอดให้พองที่อุณหภูมิ 180-190 องศาเซลเซียส ทอดด้วยกระทะทองเหลือง ขนาด 16 นิ้ว เป็นเวลา 4 วินาที

1.2 การเตรียมกล้วยไข่ทอด

การเตรียมกล้วยไข่ทอดเริ่มจากนำกล้วยไข่แก่ ขนาดใกล้เคียงกันมาล้างน้ำแล้วปอกเปลือก นำมาหั่นเป็นแท่งหนาประมาณ 1 เซนติเมตร นำไปทอดให้เหลืองกรอบ แล้วนำไปอบไล่ไอน้ำ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมาใส่ถุงพลาสติกเพื่อหักให้มีขนาดต่อท่อนยาวประมาณ 1 เซนติเมตร คัดแปลงจากวิธีการของวรรณ และ คณะ (2552)

1.3 วิธีการแปรรูป

เมื่อเตรียมข้าวหอมแม่พญาทองคำและกล้วยไข่ทอดเสร็จแล้ว นำมาชั่งน้ำหนักตามสูตรแต่ละสูตร จากนั้นนำส่วนผสม ได้แก่ น้ำตาลปีบ 65 กรัม คัดเป็นร้อยละ 13 กลูโคสไซรัป 70 กรัม คัดเป็นร้อยละ 14 น้ำกะทิ 60 กรัม คัดเป็นร้อยละ 12 และน้ำเชื่อมฟรุกโตสคัดเป็นร้อยละ 5 ที่เตรียมไว้ ใส่ลงในกระทะ แล้วกวนให้เข้ากันด้วยไฟอ่อนๆ เวลาประมาณ 10 นาที จนขึ้นเหนียวสังเกตโดยการ ยกไม้พายขึ้นแล้วดูการไหลของของเหลว ถ้าไหลเป็นหยดให้ เทส่วนผสมที่เหลือทั้งหมดที่เตรียมไว้ลงกวนในกระทะทันที แล้วกวนให้เข้ากัน นำมาใส่ถาดแล้วเกลี่ยให้เป็นแผ่นหนาประมาณ 1-2 เซนติเมตร เสมอกันทั้งแผ่นทิ้งไว้ให้เย็นตัดแบ่งตามความต้องการ แล้วใส่ในภาชนะบรรจุ คัดแปลงสูตรจาก วังรี และ สุนันทา (2551) จนได้ผลิตภัณฑ์ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด

2. การศึกษาอัตราส่วนข้าวหอมแม่พญาทองคำต่อกล้วยไข่ทอดที่เหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำผสมกล้วยไข่ทอดอัดแท่ง

ศึกษาอัตราส่วนร้อยละของข้าวหอมแม่พญาทองคำผสมกล้วยไข่ทอด ทั้งหมด 6 สูตร ได้แก่ 56:0, 28:28, 31:25, 34:22, 37:19 และ 40:16 ตามลำดับ แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

- คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมโดยใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัส จำนวน 50 คน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ใช้แบบประเมิน 9-point Hedonic scale (1 ไม่ชอบมากที่สุด - 9 ชอบมากที่สุด) วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์

- คุณภาพทางกายภาพ โดยทำการวัดค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Color meter รุ่น ZE-2000/NIPPON) วัดค่าความสว่าง (L) ค่าความเป็นสีแดง (a) และค่าความเป็นสีเหลือง (b) ใช้ Spare lamp (55919) เป็นแสงมาตรฐานในการวัด และการวัดเนื้อสัมผัสหาค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texturometer) รุ่น LLOYD INSTRUMENTS TA 500) โดยใช้โปรแกรม Nexygen ใช้ Load cell 10 N

ใช้หัววัด Blade set with knife ขนาดของตัวอย่าง 20×40×10 มิลลิเมตร ระยะการกด 20 มิลลิเมตร (Pre-test speed: 2 mm/s; test speed 2 mm/s; post-test speed 10 mm/s) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ คัดแปลงจาก ชิดารัตน์ และ ปิยพร (2559) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำผสมกล้วยไข่ทอดอัดแท่ง

นำสูตรที่ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีคะแนนเฉลี่ยมากที่สุดมาทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ปริมาณความชื้น (Moisture) ปริมาณไขมัน (Fat) ปริมาณเส้นใย (Fiber) ปริมาณเถ้า (Ash) ปริมาณโปรตีน (Protein) และคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีที่กำหนดโดย AOAC (2000) วิเคราะห์ปริมาณยีสต์ รา จุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธี Standard plate count ตามคู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางอาหารของ สุมาลี (2543) และวิเคราะห์ปริมาณโคลิฟอร์มโดยวิธีมาตรฐานของ Bacteriological Analytical Manual (BAM) ซึ่งได้แก่วิธี most probable number (MPN) ตามวิธีที่กำหนดโดย AOAC (1998)

4. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำผสมกล้วยไข่ทอดอัดแท่ง

ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำผสมกล้วยไข่ทอดอัดแท่ง โดยนำสูตรที่ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสมากที่สุดมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อทดสอบภาคสนามใช้แบบสอบถามจำนวนทั้งสิ้น 400 ชุด เพื่อสอบถามผู้บริโภคที่เป็นกลุ่มเป้าหมายที่มีอายุตั้งแต่ 12 ปีขึ้นไป โดยใช้วิธีการให้คะแนนแบบ 9-point Hedonic scale (ปราณี, 2551) จากนั้นรวบรวมแบบสอบถามทั้งหมด ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS (กัลยา และ จิตา, 2557)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การศึกษาอัตราส่วนข้าวหอมแม่พญาทองคำต่อกล้วยไข่ทอดที่เหมาะสมต่อการทำผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด

1.1 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวม โดยใช้ผู้บริโภคจำนวน 50 คน ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด

อัตราส่วนระหว่าง ข้าวหอมแม่พญาทองคำ : กล้วยไข่ (ร้อยละ)	คะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมมีต่อคุณลักษณะ				
	สี	กลิ่น	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความชอบรวม ^{ns}
สูตร Control 56 : 0	6.94 ^a ±1.19	6.68 ^{ab} ±1.33	6.88±1.33	6.88±1.51	6.82±1.35
สูตรที่ 1 28 : 28	6.48 ^{bc} ±1.07	6.42 ^b ±1.11	7.10±1.07	6.82±1.02	6.94±1.00
สูตรที่ 2 31 : 25	6.88 ^a ±1.02	6.54 ^{ab} ±1.33	6.74±1.51	6.58±1.49	6.70±1.33
สูตรที่ 3 34 : 22	6.34 ^c ±1.19	6.56 ^{ab} ±0.91	6.94±1.15	6.84±1.20	6.98±1.10
สูตรที่ 4 37 : 19	7.04 ^a ±1.05	6.94 ^a ±1.19	7.14±0.99	7.00±1.37	7.12±1.04
สูตรที่ 5 40 : 16	6.82 ^{ab} ±1.12	6.70 ^{ab} ±1.33	7.12±1.27	6.96±1.40	7.02±1.30

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวดิ่ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลจากตารางที่ 1 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่น พบว่า ทั้ง 6 สูตรมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสูตรที่ 4 ได้คะแนนความชอบมากที่สุด คือ 7.04 และ 6.94 ตามลำดับ การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม พบว่า ทั้ง 6 สูตรไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดย

สูตรที่ 4 ได้คะแนนความชอบมากที่สุดคือ 7.14 7.00 และ 7.12 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความชอบของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอดนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของธัญพืชแห่งจากข้าวกล้องอินทรีย์หักของทุติยาภรณ์ และคณะ (2560) ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความกรอบ

เนื้อสัมผัส และรสชาติ ซึ่งมีความชอบในระดับชอบ
เล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

1.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของ
ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วย
ไข่ทอด

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพด้วยการ
วัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่า
ความเป็นสีเหลือง (b^*) และวัดค่าความแข็ง
(Hardness) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ผล
การทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด

อัตราส่วนระหว่าง ข้าวหอมแม่พญาทองคำ: กล้วยไข่ (ร้อยละ)	ค่าสี			ค่าความแข็ง (Hardness) N
	L^*	a^*	b^*	
สูตร Control 56 : 0	23.46 ^f ±0.02	1.25 ^a ±0.04	3.51 ^c ±0.02	28.27 ^c ±0.03
สูตรที่ 1 28 : 28	28.86 ^a ±0.03	0.24 ^d ±0.02	9.23 ^a ±0.05	28.93 ^a ±0.04
สูตรที่ 2 31 : 25	27.06 ^b ±0.00	0.45 ^c ±0.03	7.63 ^b ±0.03	28.82 ^b ±0.02
สูตรที่ 3 34 : 22	25.45 ^c ±0.06	0.49 ^c ±0.01	6.58 ^c ±0.01	28.64 ^c ±0.03
สูตรที่ 4 37 : 19	24.17 ^d ±0.02	0.84 ^b ±0.00	5.08 ^d ±0.01	28.43 ^d ±0.04
สูตรที่ 5 40 : 16	23.88 ^e ±0.03	0.88 ^b ±0.05	4.56 ^c ±0.01	28.32 ^e ±0.02

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

L = ความสว่าง (100 = light, 0 = dark), a = + แสดงค่าสีแดง, - แสดงค่าสีเขียว, b = + แสดงค่าสีเหลือง, - แสดงค่าสีน้ำเงิน

ผลจากตารางที่ 2 จากการวิเคราะห์คุณภาพ
ด้านกายภาพ พบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*)
และค่าสีเหลือง (b^*) ทั้ง 6 สูตร มีความแตกต่างกัน
ทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสูตรที่ 5 มีค่าความสว่าง (L^*)
มากที่สุด เนื่องจากปริมาณกล้วยไข่ทอดที่เพิ่มมากขึ้น
จะทำให้ค่าความสว่างมากขึ้นตามลำดับ สูตร Control
มีค่าสีแดง (a^*) มากที่สุดเนื่องจากมีปริมาณข้าวหอม
แม่พญาทองคำมากที่สุดมีสีดำนีแดงเข้มในปริมาณ
มากที่สุด และสูตรที่ 5 มีค่าสีเหลือง (b^*) มากที่สุด
เนื่องจากปริมาณกล้วยไข่ทอดที่เพิ่ม จากการ
วิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส พบว่า ความแข็ง
(hardness) ทั้ง 6 สูตร มีความแตกต่างกันทางสถิติ

($p < 0.05$) เนื่องจากปริมาณกล้วยไข่ทอดที่เพิ่มขึ้นใน
แต่ละสูตรส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งเพิ่มขึ้น

2. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของ ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำผสมกล้วยไข่ทอด อัดแท่ง

จากการศึกษาอัตราส่วนข้าวหอมแม่พญา
ทองคำต่อกล้วยไข่ทอดที่เหมาะสมต่อการทำ
ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วย
ไข่ทอด สูตรที่ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาท
สัมผัสมากที่สุด คือ สูตรที่ 4 ซึ่งมีอัตราส่วนข้าวหอม
แม่พญาทองคำ ร้อยละ 37 ต่อกล้วยไข่ทอดร้อยละ 19
นำมากรวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และจุลินทรีย์ ได้
แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด

ข้อมูลคุณภาพของผลิตภัณฑ์	ค่าเฉลี่ย	S.D.
คุณภาพทางเคมี		
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.25	± 0.01
ความชื้น (ร้อยละ)	7.57	± 0.01
ไขมัน (ร้อยละ)	11.48	± 0.01
โปรตีน (ร้อยละ)	2.14	± 0.01
เส้นใย (ร้อยละ)	19.42	± 0.01
เถ้า (ร้อยละ)	1.17	± 0.02
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	58.22	± 0.01
คุณภาพทางจุลินทรีย์		
จุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)	$<1 \times 10^3$	
ยีสต์ และรา (โคโลนี/กรัม)	10	

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด พบว่า มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) 0.25 ปริมาณความชื้นร้อยละ 7.57 ปริมาณไขมันร้อยละ 11.48 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 2.14 ปริมาณเส้นใยร้อยละ 19.42 ปริมาณเถ้าร้อยละ 1.17 และปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 58.22 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด พบจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 1×10^3 โคโลนีต่อกรัม และพบยีสต์ รา 10 โคโลนีต่อกรัม สอดคล้องกับงานวิจัยของสุริดา (2553) ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์รา ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผัก ผลไม้ และธัญพืชอัดแท่ง (มพช. 902/2562) คือ จุลินทรีย์ทั้งหมดต้องน้อยกว่า 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัมและยีสต์และรา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2562) ทั้งนี้เป็นเพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ยาก

ภายใต้ปริมาณน้ำอิสระที่มีค่า 0.7 หรือต่ำกว่า (นิธิยา, 2557)

3. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด

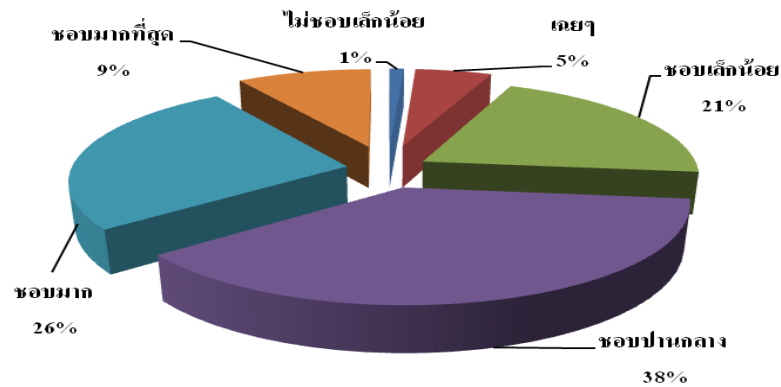
ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของผู้บริโภคจำนวน 400 คน พบว่า มีผู้บริโภคส่วนใหญ่ เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 57 และเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 43 อายุระหว่าง 27 ปีขึ้นไป มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 44 รองลงมา คือ อายุระหว่าง 21-23 ปี คิดเป็นร้อยละ 15 ผู้บริโภคที่มีรายได้ 11,000-15,000 บาทต่อเดือน มีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 42 รองลงมา คือ 5,001-10,000 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 21 ระดับการศึกษา พบว่า การศึกษาปริญญาตรีมีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 26 รองลงมาคือมัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช. คิดเป็นร้อยละ 21 อาชีพ พนักงานเอกชน/รับจ้างมีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 36 รองลงมา คือ เกษตรกร คิดเป็น ร้อยละ 21 ได้แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ในการบริโภคผลิตภัณฑ์ข้าวหอม
แม่พญาทองคำอัดแห้งผสมกล้วยไข่ทอดจำนวน 400 คน

ข้อมูลทางประชากรศาสตร์		ร้อยละ
เพศ	ชาย	43
	หญิง	57
อายุ	ต่ำกว่า 15 ปี	5
	15-17 ปี	9
	18-20 ปี	14
	21-23 ปี	15
	24-26 ปี	13
	27 ปีขึ้นไป	44
รายได้ต่อเดือน	น้อยกว่า 5,001 บาท	16
	5,001-10,000 บาท	21
	11,000 -15,000 บาท	42
	15,001-20,000 บาท	7
	มากกว่า 21,000 บาท	14
ระดับการศึกษา	ต่ำกว่ามัธยมศึกษา	20
	มัธยมศึกษาตอนต้น	18
	มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช.	21
	อนุปริญญา/ปวส.	8
	ปริญญาตรี	26
	สูงกว่าปริญญาตรี	7
อาชีพ	นักเรียน	16
	นิสิต/นักศึกษา	19
	ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ	5
	พนักงานเอกชน/รับจ้าง	36
	ธุรกิจส่วนตัว/ค้าขาย	3
	เกษตรกร	21
รวม		100

ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแห้งผสมกล้วยไข่ทอดจากการทดสอบของผู้บริโภคจำนวน 400 คน พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมอยู่ในระดับความชอบ

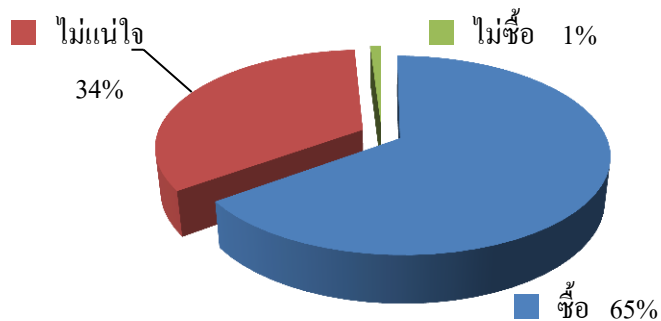
ปานกลางมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 38 ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 7.11 คะแนนรองลงมาคือ ชอบมาก คิดเป็นร้อยละ 26 (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงคะแนนความชอบของผู้บริโภค

ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความคิดเห็นว่าหากมีผลิตภัณฑ์ออกวางจำหน่าย มีความเห็นว่าจะซื้อ

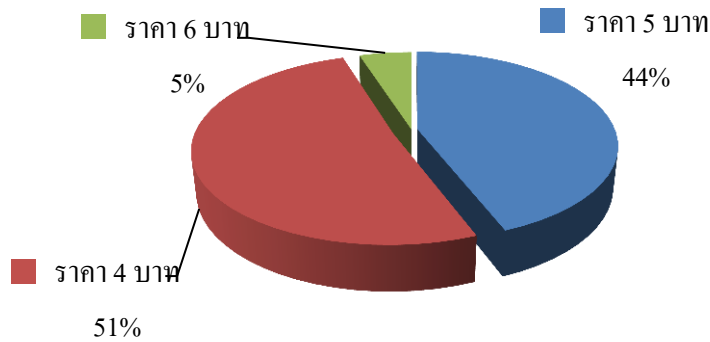
บริโภค คิดเป็นร้อยละ 65 ไม่แน่ใจ คิดเป็นร้อยละ 34 และไม่ซื้อ คิดเป็นร้อยละ 1 (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แผนภูมิแสดงความต้องการซื้อผลิตภัณฑ์

ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความคิดเห็นว่า ราคาที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแห้งผสมกล้วยไข่ทอดที่ซองพลาสติกใส ขนาด 15 กรัม คือ 4 บาทมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 51 รองลงมา

คือ ราคา 5 บาท คิดเป็นร้อยละ 44 ซึ่งจากการคำนวณต้นทุนในการทำผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น ขนาด 15 กรัม มีต้นทุนอยู่ที่ 2 บาท 20 สตางค์ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดงราคาที่ผู้บริโภคคิดว่าเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์

สรุป

จากการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการทำข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอดทั้ง 6 สูตร พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบสูตรที่ 4 มากที่สุด คือ อัตราส่วนข้าวหอมแม่พญาทองคำร้อยละ 37 ต่อ กล้วยไข่ทอดร้อยละ 19 มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอดสูตรที่ 4 พบว่า มีค่าความสว่าง (L^*) 24.17 ค่าสีแดง (a^*) 0.84 ค่าสีเหลือง (b^*) 5.08 และค่าความความแข็ง (Hardness) 28.43 นิวตัน จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่า มีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) 0.25 ปริมาณความชื้นร้อยละ 7.57 ปริมาณไขมันร้อยละ 11.48 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 2.14 ปริมาณเส้นใยร้อยละ 19.42 ปริมาณเถ้าร้อยละ 1.17 และปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 58.22 จากการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด พบจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1×10^3 โคโลนีต่อกรัม และพบยีสต์ รา 10 โคโลนีต่อกรัม

จากจำนวนผู้ทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ขนมอัดแท่งข้าวหอมแม่พญาทองคำผสมกล้วยไข่ทอดและข้าวหอมแม่พญาทองคำ ทั้งหมด 400 คน ผู้บริโภคส่วนใหญ่

เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 57 อายุระหว่าง 27 ปีขึ้นไป มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 44 ส่วนใหญ่มีรายได้ 11,000-15,000 บาทต่อเดือน มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 42 ระดับการศึกษา การศึกษาปริญญาตรีมีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 26 อาชีพ พนักงานเอกชน/รับจ้างมีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 36 ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความคิดเห็นว่าสนใจที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ คิดเป็นร้อยละ 65 ผู้บริโภค มีความต้องการให้ผลิตภัณฑ์ขนมอัดแท่งบรรจุอยู่ของพลาสติกขนาด 15 กรัม ราคา 4 บาท มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 51 และให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ข้าวหอมแม่พญาทองคำอัดแท่งผสมกล้วยไข่ทอด อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก โดยมีคะแนนความชอบ 7.11

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการและพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การเกษตร ที่เอื้อสถานที่ที่ใช้ในการทำวิจัย และขอขอบคุณ ผู้ร่วมวิจัย และอาจารย์ประจำสาขาวิชาทุกท่านที่ให้คำปรึกษา และเจ้าหน้าที่สายสนับสนุนที่เกี่ยวข้องทุกคน จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา และ จิตา วานิชย์บัญชา. 2557. **การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล**. พิมพ์ครั้งที่ 14. สามลดา, กรุงเทพฯ.
- ทศยาภรณ์ จิตตะปาโล, วราภรณ์ วิทยากรณ์ และ วีระพงศ์ วิรุฬห์ธนภณ. 2560. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพื้ชแห้งจากข้าวกล้องอินทรีย์หัก. **วารสารวิจัย มสค สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 10(3): 47-68.
- ธิดารัตน์ ลบภู และ ปิยพร บัวคา. 2559. การพัฒนาผลิตภัณฑ์บาร์พลังงานต่ำจากส่วนผสมของข้าวกล้อง สับปะรด และสารสกัดจากหญ้าหวาน. **ปริญญานิพนธ์สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร**, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นิธิยา รัตนานนท์. 2557. **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 5. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- ปณิดา บรรจงสินศิริ. 2553. **อาหารขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ (วิทยาศาสตร์สำหรับเยาวชน)**. ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, หนังสือพิมพ์แนวหน้า. แหล่งที่มา: <http://www.ryt9.com/s/nnd/973110>, 10 พฤษภาคม 2561.
- ปราณี อ่านเปรื่อง. 2551. **หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. มปป. **Pisang mas /กล้วยไข่**. ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4254/pisang-mas-กล้วยไข่>, 12 พฤษภาคม 2561.
- วรพรรณ บัญชาจารุรัตน์, วรางคณา สมพงษ์ และ สมโภช พจนพิมล. 2552. การศึกษากระบวนการผลิตกล้วยน้ำว้าทอดกรอบ, น. 297-304. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วัชร สุขวิวัฒน์ และ สุนันทา วงศ์ปิยชน. 2551. **ผลิตภัณฑ์ข้าวพองอัดแท่ง**. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. แหล่งที่มา: http://brrd.in.th/main/index.php?option=com_content&view=article&id=107:riceproduct1&catid=25:2551&Itemid=37, 12 พฤษภาคม 2561.
- วาริน แสงกิติโกมล, เทวิน แทนคำเนา และ อติดา โรจนสโรช. 2551. การเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวแดง ข้าวสีนิล และข้าวเหนียวดำ. **วารสารโภชนาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์** 43(2): 16-21.
- สมเจตน์ แก้วแก้มกาญจน์. 2554. **ข้าวหอมแม่พญาทองคำ**. สำนักคุ้มครองพันธุ์พืช, กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/pvp/images/stories/indexpp2518/AnnoDOA_nameplant/t387.pdf, 9 มิถุนายน 2558.
- สุธิดา กิจจาวรเสถียร. 2553. **ผลิตภัณฑ์ข้าวพื้ชผสมใบชะพลูอัดแท่ง**. วิทยานิพนธ์ดุษฎีนิพนธ์ สาขาวิชาเกษตรกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- สุมาลี เหลืองสกุล. 2543. **คู่มือปฏิบัติการจุลชีววิทยาทางอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ชัยเจริญ, กรุงเทพฯ.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2562. **ผัก ผลไม้ และธัญชาติอัดแท่ง (FRUIT VEGETABLE AND CEREAL BAR)**. เลขที่ มผช. 902/2562. แหล่งที่มา:

- <http://tcps.tisi.go.th/public/StandardList.aspx>, 15 ธันวาคม 2562.
- AOAC. 1998. **Bacteriological Analytical Manual (BAM), 8th edition Revision A**. Published and distribute by AOAC International, USA.
- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis**. Association of Official Analytical Chemists International. Gaithersburg, USA.