



วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2562

ISSN 1906-6627 (Print)

ISSN 2673-0197 (Online)



วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

คณะกรรมการที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.สำเริง จักรใจ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.เผด็จศักดิ์ จารยะพันธุ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัย (Peer review)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงไกร พัทธการ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑาทิพย์ โพธิ์อุบล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วชิรญา อิ่มสบาย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ พรหมสาย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.สรัญญา วัชรโรทัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.อภิธา บุญศิริ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อุษณีย์ ถิรวัดน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพัชญ์ อนันต์ธีระกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวพร แซ่วัน	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรพงศ์ เบญจศิริ	มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ มั่งคั่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณทิตา เสวตบวร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ แหงมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ เฉลิม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาหามะสุไฮมี มะแซ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักษมี วิทยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาณิต ชุกกลิ่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์พรรณ อำพันธ์ทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนาวลัย ดาดี	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาณี เล็งศรี	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงลักษณ์ พาหะชา	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุภัทร เมฆพ่าย	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิตี เลิศประไพ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.เกศินี ประทุมสุวรรณ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณวิภา แพงศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
ดร.พัชรี เพิ่มพูน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริโรตม์ เกตุแก้ว	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกช ชื่นจิรกุล	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.โชคพิศิษฐ์ เทพสิทธิ (ชาญนันทพิพัฒน์)	มหาวิทยาลัยศิลปากร

ศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เอกสมทราเมษฐ์
รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ บุญปกครอง

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทความทุกเรื่องก่อนลงตีพิมพ์ในวารสารฯ ได้ผ่านการพิจารณาลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ 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 ธาราญกูร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ดร.สุคคินี ณ ระนอง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นางสาวศุภิกา ธนะเสวตร วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติรี หอมเขียว คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณพร ชีวภูมิพงศ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ดร.จิรวิษณุ พรรณรัตน์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

กองบรรณาธิการ

Associate Professor Dr.David Crookall

University of Nice Sophia Antipolis, France

Professor Mitsuhiko 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 สรณสถาพร

คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ญัฐวรัตน์ ปภากสิทธิ์

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 เกษา คูหา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยโท (หญิง) ดร.เกิดศิริ เจริญวิศาล

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิธิดา จรุงเกียรติกุล

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรินาถ 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

สารบัญ

ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากส่วนต่างๆ ของหม่อน.....	197-207
ที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อราที่คัดแยกได้จากใบทุเรียน	
จิรนนท์ กล่อมมนรา แก้วรักษา	
การเปรียบเทียบสารเร่งปฏิกิริยาระหว่างเถ้าไม้ยางพารากับแคลเซียมคาร์บอเนต.....	208-218
ในกระบวนการแปรรูปทุเรียนโดยใช้ผงถ่านไม้ยางพารา	
พิรวัส คงสง นันทนา จันทรโสม และ ศิริพร เฝ้าหนองคู่	
การคัดแยกแบคทีเรียแลคติกที่มีศักยภาพเป็นโพรไบโอติกจากไก่เบตง.....	219-231
สายใจ แก้วอ่อน และ ลักขณา รักขพันธ์	
การคัดแยกแบคทีเรียแลคติกจากลำไส้กึ่งตัดเพื่อพัฒนาเป็นโพรไบโอติก.....	232-244
มณฑกานต์ ทองสม และ ลัญจกร จันทรอุดม	
การเปรียบเทียบค่าของจำนวน $\pi^{\left[e^{\pi} \right]_n}$ กับ $e^{\left[\pi^e \right]_n}$ และ $e^{\pi^{\left[e^{\pi} \right]_n}}$	245-251
กับ $\pi^e^{\left[\pi^e \right]_n}$	
ชนิตา เรืองกิจไพบูลย์ และ รณสรณ์ ชินรัมย์	
ผลของอุณหภูมิแก๊ส และค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุต่อประสิทธิภาพการตกตะกอน.....	252-268
ของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบท่อทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม	
วิสูตร อาสนวิจิตร และ พานิช อินต๊ะ	
การควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อน.....	269-278
เอกรัฐ ชะอุ่มเอียด และ เคือนแรม แพ่งเกี้ยว	
ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากพืชท้องถิ่นบางชนิดในอำเภอปากพะนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช:	279-289
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และ ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย	
มณฑล เลิศคนาวนิชกุล กิจดิศักดิ์ ชววิสิฐ และ พูลสิทธิ์ หิรัญสาย	

การสื่อสารเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองเชียงใหม่อย่างมีส่วนร่วม: 290-301

โครงการ Spark U เชียงใหม่ ปฏิบัติการเปลี่ยนเมือง

เกศสุดา สิทธิสันติกุล ปณณพร ไพบูลย์วัฒนกิจ และ กริ่งกาญจน์ เจริญกุล

รูปแบบการออกดอกของปาล์มน้ำมันสายพันธุ์การค้าที่ปลูกในอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร..... 302-311

ศุคนัย เครือหิ์ อภินันท์ อินทร์ศรี และ วุฒิสักดิ์ รัตนสุภา

ต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำตื้นแบบสองทิศทาง..... 312-323

วีระศักดิ์ ไชยชาญ สุรินทร์ กาญจนะ และ วรณวิภา ไชยชาญ

การพัฒนาชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว..... 324-337

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

ทิจฐฐาน เนียมชูชื่น คุณอนันท์ นิรมล และ กฤชยากาญจน์ โดพิทักษ์

ผลที่เกิดจากการใช้โปรแกรม The Geometer's Sketchpad (GSP) ประกอบการจัดกิจกรรม..... 338-348

การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอนเรื่องการประยุกต์การอินทิกรัลจำกัดเขตสำหรับ

นักศึกษาปริญญาตรี

สุภัทรา เกิดมงคล และ กัญญาภักดิ์ ภัยแคล้ว

การเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ราคาสุกรมี่ชีวิต..... 349-365

วรารคณา เรือนสุทธี

ไขเคลือบผลไม้ย่อยสลายได้ที่ผลิตจากไขมันที่แยกได้จากน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม..... 366-385

จุฑามณี แสงสว่าง อรอนงค์ ผิวนิล เกษม จันทรแก้ว ไพบูลย์ ประพติธรรม

ศรันยา คุณะดิลก และ วัลลภ อาริรบ

ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากส่วนต่างๆ ของหม่อน ที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อราที่คัดแยกได้จากใบทุเรียน

The Study of the Use of Some *Morus alba* Linn. Extract Against Fungi Isolated From Durian Leaves.

จิรนนท์ กล่อมมนรา แก้วรักษา *

Cheeranan Klomnara Kaewruksa *

Received: 22 May 2018, Revised: 15 November 2018, Accepted: 26 November 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบที่สกัดจากส่วนต่างๆ ของหม่อนที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อราที่คัดแยกได้จากใบทุเรียน โดยสามารถคัดแยกเชื้อราจากใบทุเรียน จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อรา *Phyllosticta* sp. และ *Colletotrichum* sp. การสกัดสารสกัดหยาบจากใบ ผล รากและลำต้นของหม่อน ด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 และเฮกเซน พบว่าร้อยละของสารสกัดต่อน้ำหนักแห้งที่สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 เท่ากับ 17.45, 21.53, 5.52 และ 5.51 กรัม ตามลำดับ และร้อยละของสารสกัดต่อน้ำหนักแห้งที่สกัดด้วยเฮกเซน เท่ากับ 18.35, 29.29, 4.67 และ 4.67 กรัม ตามลำดับ จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดด้วยวิธี Paper Disc Diffusion ที่ระดับความเข้มข้น 300, 600 และ 900 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าสารสกัดจากผล ราก และลำต้น ของหม่อนที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 สามารถยับยั้งเชื้อรา *Phyllosticta* sp. ที่ระดับความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส เท่ากับ 1.29 ± 1.13 , 1.86 ± 0.49 และ 2.87 ± 0.29 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีร้อยละการยับยั้งดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 35.07 - 82.09 ส่วนสารสกัดจากรากและลำต้นของหม่อนที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 สามารถยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ที่ระดับความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส เท่ากับ 2.37 ± 0.73 และ 1.86 ± 1.03 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีร้อยละการยับยั้งดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 10.10 - 24.24 ส่วนสารสกัดที่สกัดจากใบหม่อนไม่มีการยับยั้งเชื้อรา ผลของสารสกัดที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนของหม่อนไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราทั้ง 2 ชนิด

คำสำคัญ: หม่อน, สารสกัดหยาบ, *Phyllosticta* sp., *Colletotrichum* sp

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ถนนสุราษฎร์-นาสาร อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

Biology Department, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University, Surat-Nasan Road, Muang, Suratthani 84100, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): mk_kaewruksa@hotmail.com

ABSTRACT

This research was conducted to investigate the efficiency of crude extracts from different parts of mulberry that can inhibit the growth of the fungi extracted from durian leaves. Two species of fungi extracted from durian leaves were selected, namely, *Phyllosticta* sp. and *Colletotrichum* sp. Leaves, fruits, roots and stems of mulberry were extracted by 95% ethanol and hexane. The average dry weight of the extract with 95% ethanol were 17.45, 21.53, 5.52 and 5.51 g, respectively, while the average dried weight from hexane-extracted solutions were of 18.35, 29.29, 4.67 and 4.67 g, respectively. The effectiveness of the extracts were determined by using Paper Disc Diffusion at 300, 600 and 900 milligrams per milliliter. It was found that the extracts from Mulberry fruit, root, and stem by 95% ethanol could inhibit *Phyllosticta* sp. at the concentration of 600 mg/ml. The diameter of clear bands were 1.29 ± 1.13 , 1.86 ± 0.49 and 2.87 ± 0.29 mm, respectively with the best inhibition percentage of 35.07 - 82.09. Mulberry root and stem extracted with 95 percent ethanol were tested on *Colletotrichum* sp. at a concentration of 600 mg per milliliter, the diameter of the clear band was 2.37 ± 0.73 and 1.86 ± 1.03 mm, respectively. The highest percentage of inhibition was 10.10 - 24.24. The extracts from mulberry leaves did not inhibit the fungus. The solutions extracted with hexane solvent did not inhibit both fungi.

Key words: Mulberry, crude extract, *Phyllosticta* sp., *Colletotrichum* sp.

บทนำ

หม่อนที่มีปลูกในประเทศไทยมีมากมายหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์นครราชสีมา 60 พันธุ์บุรีรัมย์ 60 และพันธุ์เชียงใหม่ 60 ซึ่งปลูกได้ทั่วไปในประเทศไทย ส่วนของหม่อนที่สำคัญส่วนหนึ่ง คือ ใบ โดยทั่วไปใช้เป็นอาหารของหนอนไหม แต่ในปัจจุบันมีการนำใบหม่อนมาแปรรูป เช่น ชาใบหม่อน ซึ่งนิยมบริโภคเนื่องจากมีรายงานว่าใบหม่อนมีสารจำพวก Flavonoid, Phytoestrogen, Triterpene, Ceramide และ Mulberroside ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (Sohn *et al.*, 2004) นอกจากนั้นใบหม่อนมีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์และยังพบว่าสารสกัดจากเปลือก ราก ผลของหม่อนมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อรา *Trichophyton* (Takahashi and Shirata, 1982)

ทุเรียนเป็นผลไม้ไทยชนิดหนึ่งที่มีความนิยมบริโภคสูงทั้งในประเทศและต่างประเทศ ในปี พ.ศ. 2525 ประเทศไทยจัดเป็นประเทศที่ส่งออก

ทุเรียนและผลิตภัณฑ์แปรรูปจากทุเรียนเป็นอันดับหนึ่งของโลก (รศยาภรณ์ และคณะ, 2554) ปัจจุบันพันธุ์ทุเรียนที่นิยมปลูกทางการค้ามี 4 พันธุ์คือ พันธุ์หมอนทอง ชะนี ก้านยาว และกระดุมทอง (กรมวิชาการเกษตร, มปป) โดยทุเรียนให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 1,000 ถึง 1,200 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี เกษตรกรจะมีรายได้ประมาณ 10,000 ถึง 20,000 บาทต่อไร่ (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, มปป) ประเทศไทยมีการผลิตทุเรียนต่อปีรวมประมาณ 800,000 ตันและได้มีการส่งออกทุเรียนสดและทุเรียนแช่แข็ง รวมจำนวน 55,590 ตัน คิดเป็นมูลค่า 979 ล้านบาท ซึ่งมีตลาดส่งออกที่สำคัญ คือ ประเทศฮ่องกง ไต้หวัน จีน สิงคโปร์ และญี่ปุ่น (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, มปป) อย่างไรก็ตาม เกษตรกรยังประสบปัญหาเรื่องโรคตั้งแต่ระยะแรกของการเจริญจนกระทั่งให้ผลผลิต เช่น โรครากเน่าโคนเน่า โรคผลเน่า โรคใบจุด โรคใบดกและใบไหม้

โรคจุดสนิม โรคราสีชมพู และโรคราแป้ง เกษตรกรจึงต้องใช้สารเคมีในการป้องกันโรคดังกล่าว ทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการใช้สารสกัดจากส่วนต่างๆ ของหม่อนในการป้องกันโรคดังกล่าวเพื่อลดผลกระทบที่ตามมาข้างต้น และเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาข้างต้นจึงควรมีการศึกษาเพื่อลดปริมาณเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคดังกล่าวในทุเรียน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการนำสารสกัดจากใบ ผล ลำต้น ราก จากหม่อนมาใช้ในการยับยั้งเชื้อก่อโรคที่แยกจากใบทุเรียน เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในการกำจัดโรคในทุเรียนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียม ใบ ผล ราก และลำต้นของหม่อน

นำใบ ผล ราก และลำต้นสดมาล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วอบให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น จากนั้นจึงนำมาเก็บรักษาไว้ในถุงซิปล็อค จนกว่าจะมีการใช้งาน (ปรมาภรณ์ และ พิสุทธิ, 2556)

2. การสกัดสารจากใบ ผล ราก และลำต้นของหม่อน

2.1 นำผงแห้งที่ได้จากข้อ (1) มาสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด คือ เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ และเฮกเซน ในอัตราส่วนที่ใช้ 1:5 (w/v) โดยใช้เครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน (เบญจมาศ และคณะ, 2559)

2.2 กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อแยกเศษของแข็งออก ทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการระเหย

เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ และเฮกเซน ด้วยเครื่องดูดควัน (Hood) เวลา 3 วัน ได้สารสกัดที่มีลักษณะข้น

2.3 ชั่งน้ำหนักและ เก็บสารสกัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ทดลองการทดลอง (ปรมาภรณ์ และ พิสุทธิ, 2556)

3. การคัดแยกเชื้อราที่ก่อโรคในใบทุเรียน

3.1 เก็บตัวอย่างใบทุเรียนที่เป็นโรคมาล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้ง

3.2 นำใบทุเรียนที่ก่อโรคมามาแช่ด้วยสารละลายคลอโรกซ์ เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ 3 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำกลั่น

3.3 ตีปั่น (Stomacher) โดยทำการเจือจางให้ได้ระดับความเข้มข้น 10^{-3} ทำการ Pour plate ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Dichloran Glycerol Agar (DG18) นำไปบ่มเชื้อเป็นเวลา 5-7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง คัดเลือกโคโลนีของราก่อโรค

3.4 นำไปเลี้ยงบนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) จนได้ราก่อโรคที่บริสุทธิ์

3.5 ตรวจสอบลักษณะของราก่อโรคภายใต้กล้องจุลทรรศน์ การจำแนกชนิดเชื้อราใช้ลักษณะวิทยา (morphology) เป็นหลักในการจำแนกชนิด โดยพิจารณาจากสปอร์ตามหลักการของ Hughes (Hughes, 1953) โดยนำตัวอย่างโคโลนีของเชื้อราตรวจสอบการสร้าง โครงสร้างสืบพันธุ์ของเชื้อรา (fruiting structure) บนอาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นใช้เข็มย้ายเชื้อ สปอร์ และโครงสร้างสืบพันธุ์ดังกล่าวของเชื้อราไปกระจายในน้ำกลั่นที่ผ่านการนิ่งมาเชื้อแล้วไปทำสไลด์และตรวจดูโดยใช้กล้อง จุลทรรศน์ (compound microscope) วัดขนาด บันทึกลักษณะบันทึกภาพ และจำแนกชนิด

4. การเตรียมสารสกัดจากพืชในระดับความเข้มข้นต่างๆ

ในการทดลองใช้ความเข้มข้นของสารที่ระดับความเข้มข้นคือ 300, 600 และ 900 มิลลิกรัมต่อ

มิลลิลิตร โดยทำ Stock solution ตามความเข้มข้นที่ต้องการทดสอบคือ 300, 600 และ 900 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปรับความเข้มข้นร่วมกับเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ และเฮกเซน เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ (พรพนา, 2550)

5. การเตรียม *Phyllosticta* sp. และ *Colletotrichum* sp. เชื้อราที่คัดแยกได้จากใบทุเรียน

5.1 ใช้ปิเปตดูดน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

5.2 ใช้เข็มเขี่ยเชื้อแบบห่วงเขี่ยเชื้อรา (ข้อ 3.4) ใส่ลงในหลอดทดลอง (ข้อ 5.1)

5.3 นำไปเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปทดสอบ

6. การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดพืชต่อการยับยั้งการเจริญของ *Phyllosticta* sp. และ *Colletotrichum* sp.

นำสารสกัดที่มีความเข้มข้น 300, 600 และ 900 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อด้วยวิธี Paper disc diffusion โดยนำกระดาษกรองที่ตัดเป็นแผ่นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วโดยหยดสารสกัดปริมาตร 20 ไมโครลิตร ส่วนชุดควบคุม (Control) ใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ และเฮกเซน หยดแทนสารสกัด จากนั้นใช้ปากกิปีบแผ่นกระดาษแล้ววางลงบนผิวหน้าอาหาร Potato dextrose agar (PDA) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละตัวทำละลายบ่มเชื้อไว้เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้องบันทึกผลโดยวัดระยะทางการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ทำการทดสอบในตัวทำละลายแต่ละชนิดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ (สุธานันท์, 2550)

7. การตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ

การตรวจผลการทดลองโดยวัดการเจริญของเส้นใย เชื้อราที่กำลังเจริญอยู่บนผิวหน้าอาหาร

ผสมสารสกัดจากพืชที่ระดับความเข้มข้น 0, 300, 600 และ 900 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีที่เจริญในอาหาร โคโลนีของเชื้อราเปรียบเทียบการเจริญของเชื้อราในชุดควบคุม จนกระทั่งครบ 7 วัน จึงหยุดการบันทึกผล จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโต จากสูตรดังต่อไปนี้

เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ = $[(A-B) / A] \times 100$

A = ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราบนจานเลี้ยงเชื้อเปรียบเทียบ

B = ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราที่ยับยั้งด้วยสารสกัด

8. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ One way Anova ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การสกัดสารจากใบ ผล ราก และลำต้นของหม่อน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำส่วนต่างๆ ของหม่อนหรือมัลเบอร์รี่ ประกอบด้วย ใบ ผล ราก และลำต้น นำมาสกัดสารด้วยตัวทำละลาย คือ เอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 และเฮกเซน ได้สารสกัดหยาบที่มีลักษณะทางกายภาพ คือสารสกัดที่สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 มีลักษณะเป็นผงและขุ่นหนืด สีน้ำตาล เขียวและม่วงแดง ส่วนสารสกัดที่สกัดด้วยเฮกเซน มีลักษณะเป็นผง และขุ่นหนืด สีน้ำตาล และเขียว (ตารางที่ 1) โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์ของสารสกัดหยาบอยู่ในช่วงระหว่าง 4.67 - 29.29 โดยผลหม่อนที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนให้เปอร์เซ็นต์ของสารสกัดมากที่สุด ในขณะที่รากและลำต้นที่สกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนให้เปอร์เซ็นต์ของสารสกัด

น้อยที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ สุวรรณิ และคณะ (2557) ใช้ว่านน้ำที่บดละเอียดเติมตัวทำละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1:5 พบว่าเหง้าว่านน้ำแห้งที่บดละเอียด 200 กรัม ได้น้ำหนักของสารสกัด 9.95 กรัม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ (% yield) 4.89 สารสกัดที่ได้ มีลักษณะขุ่นหนืด สีน้ำตาลแก่

2. การคัดแยกเชื้อราจากใบทุเรียน

2.1 การนำใบทุเรียนที่เป็นโรคใบจุดโดยใบทุเรียน มีลักษณะคล้ายโคนน้ำร้อนลวก (ภาพที่ 1) มาแยกราก่อโรค เมื่อนำมาเลี้ยงบนอาหาร Dichloran 18% Glycerol Agar (DG18) พบเส้นใยเจริญฟูหนาแน่นบนผิวหน้าอาหาร เส้นใยเป็นสีส้มอมชมพู มีการสร้างสปอร์เห็นเป็นหยดเมือก (ภาพที่ 2) เมื่อตรวจสอบลักษณะสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าสปอร์มีลักษณะรูปร่างเป็นโค้งงอ เป็นท่อนสั้นๆ หัวท้ายมน ใส ไม่มีสี จำแนกเป็นเชื้อรา *Colletotrichum* sp. (ภาพที่ 3) สอดคล้องกับศึกษาของ ธารทิพย์ (2559) พบว่าการคัดแยกเชื้อราก่อโรคในพริกบนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) มีเส้นใยที่เจริญบนผิวหน้าอาหาร เมื่อตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ สปอร์มีลักษณะรูปร่างเป็นท่อนสั้น หัวท้ายมน ไม่มีผนังกันภายใน ใส ไม่มีสี จำแนกเป็นเชื้อรา

Colletotrichum gloeosporioides และสอดคล้องกับการศึกษาของพรพิมล (2554) พบว่า *Colletotrichum* sp. ซึ่งเป็นเชื้อราที่จัดอยู่ใน Subdivision Deuteromycotina, Class Coelomycetes, Order Melanconiales, Family Melanconiaceae ลักษณะทั่วไปของเชื้อราชนิดนี้คือ สร้างเส้นใยฝังอยู่ในผิวพืช เส้นใยไม่มีสีหรือมีสีตั้งแต่น้ำตาลอ่อนจนถึงน้ำตาลแก่ เส้นใยจะแตกกิ่งก้าน มีผนังกัน (Septate) ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อราเรียกว่า โคนิเดีย (Conidia) มีลักษณะเซลล์เดียว ไม่มีสี ไม่มีผนังกัน ลักษณะตรงหรือโค้งงอ มีรูปร่างหลายแบบ เกิดบนก้านชูโคนิเดีย (Conidiophore) ซึ่งมีกำเนิดจาก Stromatic cell ของโครงสร้างสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศที่เรียกว่า Acervulus ได้ชั้น Epidermis ของพืชเมื่อแก่จะดันผิวพืชให้แตกออกเป็นเชื้อสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคใบจุดในทุเรียน ซึ่งลักษณะทั่วไปของโรคใบจุดที่พบ จะเกิดแผลน้ำน้ำตาล สีน้ำตาลเข้ม และมีการสร้างกลุ่มของ Conidia เป็นหยดสีส้มที่ในบริเวณแผลสอดคล้องกับการศึกษาของ วราภรณ์ และคณะ (2557) พบว่าคัดแยกเชื้อรา *Colletotrichum* sp. สาเหตุโรคแอนแทรคของมะม่วง การศึกษาลักษณะการเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato dextrose agar (PDA) พบว่าเชื้อมีการเจริญและกลุ่มที่เจริญฟูคล้ายสาขี้ โดยมียลักษณะโคนิเดียเป็นเซลล์เดียว

ตารางที่ 1 แสดงลักษณะของสารสกัดหยาบจากส่วนต่างๆ ของหม่อนและร้อยละของสารสกัดต่อน้ำหนักแห้ง

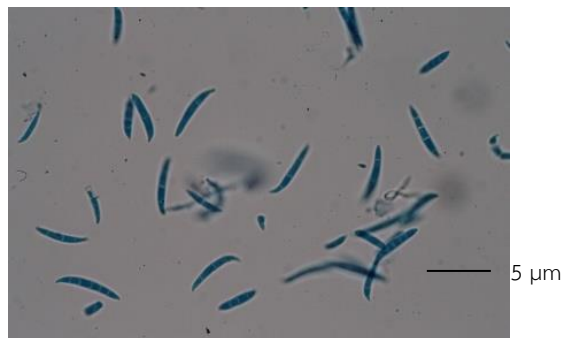
ตัวทำละลายที่ใช้สกัด	ส่วนประกอบของหม่อน	ลักษณะของสารสกัด	ร้อยละของสารสกัด
95 % เอทานอล	ใบ	สีเขียวเข้มหนืด	17.45
	ผล	สีม่วงแดงขุ่นหนืด	21.53
	ราก	สีน้ำตาลแดง ผง	5.52
	ลำต้น	สีน้ำตาล ผง	5.51
เฮกเซน	ใบ	สีเขียวเหลือง ผง	18.35
	ผล	สีเขียวอ่อนหนืด	29.29
	ราก	สีน้ำตาล ผง	4.67
	ลำต้น	สีเขียวเข้มหนืด	4.67



ภาพที่ 1 โรคโน้จ (Colletotrichum sp.)



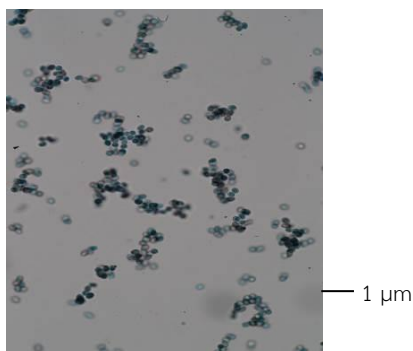
ภาพที่ 2 เชื้อรา Colletotrichum sp.



ภาพที่ 3 สปอร์เชื้อรา Colletotrichum sp. ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า

2.2 คัดแยกเชื้อราก่อโรคจากใบทุเรียนที่เป็นโรคโน้จ ใบทุเรียนจะมีเนื้อเยื่อตายบริเวณปลายใบ (ภาพที่ 4) มาแยกราก่อโรค เมื่อนำมาเลี้ยงบนอาหาร Dichloran 18% Glycerol Agar (DG18) พบว่าลักษณะเชื้อราเป็นละอองสีดำเจริญเต็มผิวหน้าอาหาร (ภาพที่ 5) เมื่อตรวจดูลักษณะสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าสปอร์เป็นจุดกลมๆ เรียงติดกันเป็นกลุ่มก้อน จำแนกเป็นเชื้อรา *Phyllosticta* sp. (ภาพที่ 6) สอดคล้องกับการศึกษาของ Chukeatirote *et al.* (2014) พบว่าเชื้อรา *Phyllosticta* sp. จากการเลี้ยงในซูปมันสำปะหลัง และเพาะเลี้ยงในอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดย *Phyllosticta* sp. เป็นเชื้อที่ทำให้เกิดโรคโน้จในทุเรียนและเชือนี้จะเข้าทำลายตั้งแต่ต้นและใบเริ่มจากจุดช้ำน้ำ สีเหลือง ต่อมาจะค่อยๆ ขยายใหญ่ขึ้นโดยมีลักษณะเป็นแผลจุดวงกลมรีเล็กๆ ขนาดเท่า

หัวเข็มหมุด ไปจนครึ่งเซนติเมตร (0.1-0.5 เซนติเมตร) สอดคล้องกับการศึกษาของ Chukeatirote *et al.* (2014) พบว่าเชื้อรา *Phyllosticta* sp. มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวาง เชื้อรานี้มีประโยชน์ในส่วนอื่นๆ เนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยระบุตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน เนื้อเยื่อตรงกลางจะแห้งบางเป็นสีขาวนวลหรือน้ำตาลอ่อน ขณะเดียวกันก็จะพบว่ากลางแผลมีเม็ดสีดำเล็กๆ ซึ่งเป็นสปอร์ของราเกิดขึ้นกระจัดกระจายทั่วแผลด้วย จุดแผลเหล่านี้เมื่อเป็นนานๆ จะค่อยๆ บางลง จนในที่สุดจะขาดหลุดออกจากเนื้อใบ ทำให้เกิดอาการเป็นรูพรุนขึ้นทั่วไป ในฤดูฝนหรือช่วงที่มีความชื้นสูงรอบจุดแผลจะมีลักษณะน้ำสีเหลืองซึดเป็นวงล้อมอยู่โดยรอบ สำหรับที่ต้นและก้านใบแผลจะมีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่จะไม่มีวงล้อมรอบ

ภาพที่ 4 โรคใบจุด (*Phyllosticta* sp.)ภาพที่ 5 เชื้อรา *Phyllosticta* sp.ภาพที่ 6 สปอร์เชื้อรา *Phyllosticta* sp. ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 1000 เท่า

3. การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราของสารสกัด ใบ ผล ราก และลำต้นหม่อน

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากส่วนต่างๆ ของหม่อนที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อราที่คัดแยกได้จากใบทุกระยะทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ *Phyllosticta* sp. และ *Colletotrichum* sp. ด้วยเทคนิค Paper Disc Diffusion Assay พบว่าสารที่สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 เท่านั้น ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา โดยสารสกัดหยาบจากลำต้นหม่อนและรากหม่อน มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราได้ทั้ง 2 ชนิด สารสกัดหยาบจากหม่อนมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา *Phyllosticta* sp. คือ ส่วนของลำต้น ราก และผล เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเท่ากับ 2.87 ± 0.29 , 1.86 ± 0.49 และ 1.29 ± 1.13 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เชื้อรา *Colletotrichum* sp.

ยับยั้งโดยสารสกัดจาก ลำต้น และราก เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเท่ากับ 1.86 ± 1.03 และ 2.37 ± 0.73 ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 2) หม่อนเป็นพืชที่มีสารพฤกษเคมีมากมายหลายชนิด อาทิ เช่น แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) แอนโทไซยานิน (Anthocyanins) ฟีนอล (Phenol) เคอร์ซีทิน (Quercetin) เป็นต้น ซึ่งสารพฤกษเคมีแต่ละชนิดอาจจะมียาสมบัติที่เหมือนกันและต่างกัน เช่น ที่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อราจะประกอบด้วยคูมาริน (Coumarins) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และฟีนอล (Phenol) เป็นต้น สอดคล้องกับการศึกษาของ นลินี และคณะ (2559) พบว่าคัดแยกเชื้อราก่อโรครากเน่าของทุเรียนนับเป็นปัญหาสำคัญมาก โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *B. subtilis* strain WD 20 นำไปทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าและ

โคคนเน่าในทุเรียนพบว่าเชื้อสามารถสร้างสารยับยั้งเชื้อรา *P. palmivora* ได้
B. subtilis strain WD 20 ที่เลี้ยงในอาหาร PDB

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของสารสกัดหยาบจากส่วนต่างๆ ของหม่อนที่สกัดด้วยเอทานอล ในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคจากใบทุเรียนทั้ง 2 ชนิด

สารสกัดจากส่วนต่างๆ ของหม่อน	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางวงใส $\pm$ SD (mm)	
	<i>Phyllosticta</i> sp.	<i>Colletotrichum</i> sp.
ใบ	-	-
ผล	1.29 ^a $\pm$ 1.13	-
ราก	1.86 ^b $\pm$ 0.49	2.37 ^c $\pm$ 0.73
ลำต้น	2.87 ^c $\pm$ 0.29	1.86 ^b $\pm$ 1.03

หมายเหตุ: เอทานอล (control) ไม่มีการยับยั้งเชื้อรา

- คือ ไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา

a, b, c แสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4. ศึกษาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราจากสารสกัดหม่อน

จากการศึกษาพบว่า สารสกัดหม่อนจาก ผล ราก และลำต้น ด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ยับยั้งเชื้อรา *Phyllosticta* sp. ระดับความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีการยับยั้งร้อยละ 20.90 - 73.88 ระดับความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีการยับยั้ง 35.07 - 82.09 เปอร์เซ็นต์ และระดับความเข้มข้น 900 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีการยับยั้งร้อยละ 28.37 - 59.70 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ดังนั้นสารสกัดหม่อนจากผล ราก และลำต้น ที่ระดับความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งดีที่สุด มีช่วงการยับยั้งระหว่างร้อยละ 35.07 - 82.09 และสารสกัดที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ที่สามารถยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum* sp. มีเพียงลำต้นและรากหม่อนที่ระดับความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีการยับยั้งร้อยละ 2.02 - 14.14 ระดับความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีการยับยั้งร้อยละ 10.10 -

24.24 และ ระดับความเข้มข้น 900 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีการยับยั้งร้อยละ 22.22 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เพราะฉะนั้นสารสกัดของลำต้น และรากหม่อน ที่ระดับความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีร้อยละการยับยั้งดีที่สุด มีช่วงการยับยั้งอยู่ระหว่างร้อยละ 10.10 - 24.24 สอดคล้องกับการศึกษาของ การศึกษาของ สุวรรณิ และคณะ (2557) ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดว่านน้ำ (*Acorus calamus* L.) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราก่อโรคผลเน่าจำนวน 21 สายพันธุ์ เป็นสายพันธุ์อ้างอิงจำนวน 6 สายพันธุ์ และสายพันธุ์ที่แยกได้จากผลลิ้นจี่ จำนวน 15 สายพันธุ์ (ไอโซเลท) พบว่า สารสกัดว่านน้ำที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 10,000 ppm ขึ้นไป แสดงร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราเฉลี่ยสูงที่สุด (มากกว่า ร้อยละ 80) ในขณะที่สารยับยั้งเชื้อราคาร์เบนดาซิม ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm แสดงร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราเฉลี่ย 70.26 นอกจากนี้พบว่าผลการทดลองสอดคล้องกับการรายงานของ พรณนิภา (2521) ที่กล่าวว่า การที่สาร

สัปดาห์พืชจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราและความเข้มข้นของสารสกัดจากพืชของเชื้อมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ชนิด

ตารางที่ 3 แสดงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อรา *Phyllosticta* sp. ที่สกัดด้วยเอทานอลจากส่วนต่างๆของหม่อน

หม่อน	เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง		
	300 mg/ml	600 mg/ml	900 mg/ml
ผล	73.88 ^c	82.09 ^c	59.70 ^c
ราก	26.12 ^b	35.07 ^b	0.00 ^a
ลำต้น	20.90 ^b	36.57 ^b	28.37 ^b

หมายเหตุ: a, b, c แสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ที่สกัดด้วยเอทานอลจากส่วนต่างๆ ของหม่อน

หม่อน	เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง		
	300 mg/ml	600 mg/ml	900 mg/ml
ราก	2.02 ^a	10.10 ^b	0.00 ^a
ลำต้น	14.14 ^b	24.24 ^c	22.22 ^c

หมายเหตุ: a, b, c แสดงความแตกต่างในแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

สรุป

จากการคัดแยกเชื้อราจากใบทุเรียน คัดแยกเชื้อราได้ 2 ชนิด คือ เชื้อรา *Phyllosticta* sp. มีลักษณะสปอร์เป็นจุดกลมๆ เรียงติดกันเป็นกลุ่มก้อน มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวางเป็นเชื้อที่ทำให้เกิดโรคใบจุดในทุเรียนและเชื้อนี้จะเข้าทำลายตั้งแต่ต้นและใบ เริ่มจากจุดช้ำน้ำ สีเหลือง ต่อมาจะค่อยๆ ขยายใหญ่ขึ้น โดยมีลักษณะเป็นแผลจุดวงกลมรี เล็กๆ ขนาดเท่าหัวเข็มหมุด และเชื้อรา *Colletotrichum* sp. มีลักษณะสปอร์มีลักษณะรูปร่างเป็นโค้งงอ สีไม่มีสี สร้างเส้นใยสีอยู่ในผิวพืช เส้นใยไม่มีสีหรือมีสีตั้งแต่น้ำตาลอ่อนจนถึงน้ำตาลแก่ เป็นเชื้อสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคใบจุดในทุเรียน ซึ่งลักษณะทั่วไปของโรคใบจุดที่พบจะเกิดแผลน้ำ สีน้ำตาลเข้มจากการศึกษาสารสกัดหยาบจากส่วนต่างๆของหม่อน พบว่าสารสกัดลำต้นหม่อนและ

รากหม่อนที่สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 สามารถยับยั้งเชื้อราก่อโรคจากใบทุเรียนได้ทั้ง 2 ชนิดคือ เชื้อรา *Phyllosticta* sp. และ เชื้อรา *Colletotrichum* sp. ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสเท่ากับ 2.87 ± 0.29 , 1.86 ± 1.03 , 1.86 ± 0.49 และ 2.37 ± 0.73 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนผลหม่อนที่สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ไม่มีการยับยั้งเชื้อราเช่นเดียวกับสารสกัดใบ ผล ราก และลำต้นของหม่อนที่สกัดที่สกัดด้วยเฮกเซนไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคในใบทุเรียนได้

จากนั้นทำการศึกษาร้อยละการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราจากสารสกัดหม่อนที่สกัดด้วยเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 ในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Phyllosticta* sp. ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 300 - 900 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใยได้ร้อยละ

59.70 - 82.09 ในขณะที่สารสกัดหยาบจากรากและลำต้นของหม่อนที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 300 - 900 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีร้อยละการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Phyllosticta* sp. และเชื้อรา *Colletotrichum* sp. ได้ร้อยละ 26.12 - 35.07, 14.14 - 24.24 และ 20.90 - 36.57 และ 2.02 - 10.10 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ จิตติพร บุญยมภัทราวดี ฉิมภาณี และ อรวรรณ ใจแก้ว นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีที่ช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีที่สนับสนุนเครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. มปป. เอกสารวิชาการทุเรียน ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี ในโครงการหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ เฉลิม พระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. แหล่งที่มา: <http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/เอกสารวิชาการทุเรียน>, 10 มิถุนายน 2561.

ธารทิพย์ รัตนะ. 2559. ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากสับปะรดและมะละกอในการต่อต้านราก่อโรคแอนแทรกคโนสในพริก. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี* 3(24): 456-468.

นลินี ศิวากรณ์, พงนา ตระกูลสุขรัตน์ และ ศิริพร วรกุลดำรงชัย. 2559. รายงานผลการวิจัยการควบคุมโรครากเน่าและโคนเน่าของทุเรียนโดยใช้ชีวภัณฑ์ที่ผลิตได้จากเชื้อ *Bacillus subtilis*. กลุ่มวิจัยโรคพืชสำนักงานวิจัยโรคพืช, กรมการเกษตร.

เบญจมาศ หนูแป้น, จาตุรนต์ ทิพย์วงศ์, กนกรัตน์ ไสสอาด และ ไชณิยะ สะมาลา. 2559. สารพิษเคมีและฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของสารสกัดจากใบราน้ำ. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์* 3ฉบับพิเศษ (III)(2): 26-33.

ปรมาภรณ์ เกิดทรัพย์ และ พิสุทธิ หนักแน่น. 2556. รายงานการวิจัยการพัฒนาสารเคลือบผิวด้านจุลินทรีย์ที่เติมสารสกัดใบหม่อน และใบกระเพราเพื่อการประยุกต์ใช้เป็นสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วง. มหาวิทยาลัยศรีนครินทร วิโรฒประสานมิตร.

พรพนา นาคสิงห์. 2550. ผลการยับยั้งเชื้อราของส่วนสกัดเอทานอลจากเปลือกผลทับทิมต่อเชื้อ *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรกคโนสของพริก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรพิมล อธิปัญญาคม. 2554. โรคใบจุดในโรคผักและการป้องกันกำจัด. กลุ่มวิจัยโรคพืชสำนักวิจัยพัฒนาการเกษตร, กรมวิชาการเกษตร.

พรรณนิภา ชุมศรี. 2521. รายงานวิจัยการตรวจสอบสมุนไพรที่มีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์. สภาวิจัยแห่งชาติ.

รศ.ดร. ชูญ, สัจจา บรรจงศิริ และ อัจฉรา โพธิ์ดี. 2554. การจัดการในกระบวนการผลิตต้นพันธุ์ทุเรียนหมอนทองแบบเสียบยอดของเกษตรกรในจังหวัดชุมพร. *วารสารเทคโนโลยีภาคใต้* 4(1): 23-44.

วราภรณ์ สุทธิสา, ภาณุวัฒน์ เทพคาราม, วัชรภาณู จรรย์ และ พนิดา อริมัตติ. 2557. ประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรไทยในการควบคุมเชื้อรา *Colletotrichum*

- gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของมะม่วง. **แก่นเกษตร** 42(ฉบับพิเศษ 1): 665-670.
- สุรนนันท์ นาคประนอม. 2550. ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากสมุนไพรบางชนิดในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Colletotrichum gloeosporioides* และ *Sclerotium rolfsii* เชื้อราสาเหตุโรคพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุวรรณณี แทนธานี, จารวี สุขประเสริฐ, สายจิต ดาวสุโข และ โสรญา รอดประเสริฐ. 2557. การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดว่านน้ำในการยับยั้งเชื้อราก่อโรคผลเน่าที่แยกได้จากผลลิ้นจี่. **วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์** 3(3): 88-101.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. มปป. **ทูลเรียนความสำคัญทางเศรษฐกิจ**. แหล่งที่มา: <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/durian/history/01-03.php>, 10 มิถุนายน 2561
- Chukeatirote, E., Wikee, S. and Hyde, K.D. 2014. Diversity and antibacterial activity of *Phyllosticta* species. **Micologia Aplicada International** 27(1): 1-9.
- Hughes, S.J. 1953. Conidiophores, conidia and classification. **Journal of Botany** 31: 577-659.
- Sohn, H.Y., Son, K.H., Kwon, C.S., Kwon, G.S. and Kang, S.S. 2004. Antimicrobial cytotoxic activity of 18 prenylated flavonoids isolated from medical plant : *Morus alba* L., *Morus mongolica* Schneider, *Broussonetia papyrifera* (L.) Vent *Sophora flavescens* Ait and *Echinophora koreensis* Nikai. **Phytomedicine** 11: 666-672.
- Takahashi, K and Shirata, A. 1982. Production of Antifungal Substances in Mulberry. **Japan Agricultural Research Quarterly** 16(2): 119-124

การเปรียบเทียบสารเร่งปฏิกิริยาระหว่างเถ้าไม้ยางพารากับแคลเซียมคาร์บอเนตในกระบวนการแปรรูปแร่เหล็กโดยใช้ผงถ่านไม้ยางพารา

The Comparison of Energizer between the Rubber Wood Ash and CaCO_3 in the Pack Carburizing Process with Rubber Wood Charcoal Powder

พีรวัส กงสง *, นันทนา จันทรโสม และ ศิริพร เฝ้าหนองดู

Peerawas Kongsong *, Nanthana Jansom and Siriporn Faonongdu

Received: 26 September 2018, Revised: 14 November 2018, Accepted: 3 May 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้กรรมวิธีแปรรูปแร่เหล็กในการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยถ่านไม้ยางพาราเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1020 ความลึกของชั้นผิวแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านการชุบแข็งถูกเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ไม่ผ่านการชุบแข็ง โดยทำการแปรรูปแร่เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ด้วยเวลาการชุบ 30, 60 และ 90 นาที และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ จากนั้นนำมอดที่อุณหภูมิออสเทนไนต์ที่ $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที และจุ่มชุบในน้ำ แล้วนำตัวอย่างไปทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 นาที สารเพิ่มคาร์บอนประกอบไปด้วยถ่านไม้ยางพาราผสมสารเร่งปฏิกิริยา 10% ได้แก่ เถ้าไม้ยางพาราและ CaCO_3 แล้วตรวจสอบความลึกของชั้นผิวแข็งของตัวอย่างด้วยไมโครวิกเกอร์และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค จากผลการทดลองพบว่า ถ่านไม้ยางผสมกับสารเร่ง CaCO_3 ที่ $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 90 นาที ให้ความแข็งที่ผิวสูงที่สุด 681 HVM และถ่านไม้ยางพาราให้ค่าความแข็งที่ผิว 665 HVM นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างจุลภาคที่ผิวของชิ้นงานที่ใช้ CaCO_3 และถ่านไม้ยางพารา ประกอบด้วยมาเทนไซด์และซิเมนไทต์ เช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ถ่านไม้ยางพาราจึงสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการแปรรูปแร่เหล็กได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: แปรรูปแร่เหล็ก, ถ่านไม้ยางพารา, แคลเซียมคาร์บอเนต, ถ่านไม้ยางพารา

สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Muang Nakhon Ratchasima, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): physics_psu@windowslive.com

ABSTRACT

The purpose of this research is to apply a pack carburizing process for low carbon steel hardening with rubber wood charcoal to improve the mechanical properties of low carbon steel grade AISI 1020. The depth hardness of low carbon steels hardening was compared with those of non-hardened low carbon steel. The experiment was made by pack carburized low carbon steel at 950 °C with the carburizing time of 30, 60 and 90 min and cooled in air. It was heated by austenitizing treatment at the temperature of 850 °C for 30 min and quenched in water. The specimens were tempered at a temperature of 150 °C for 30 minutes. The carburizing substance is rubber charcoal mixed with 10% of energizer such as rubber wood ash and CaCO_3 . The specimens were checked for case depth by Micro-Vicker testing and microstructure inspection. The results showed that the rubber wood charcoal mixed with CaCO_3 energizer at 950 °C with the carburizing time of 90 min produced the highest hardness value of 681 HMV and the surface hardness of rubber wood ash was 665 HMV. It was also found that the microstructure on the surface with both CaCO_3 and rubber wood ash were martensite and cementite. For this reason, rubber wood charcoal ash can be used as an energizer to pack carburizing as well.

Key words: pack carburizing, rubber wood ash, CaCO_3 , rubber wood charcoal

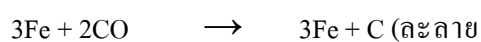
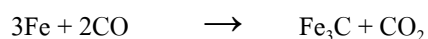
บทนำ

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นเหล็กกล้าที่นิยมนำมาใช้ในงานต่างๆ ไป เนื่องจากมีคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็กอยู่ไม่เกิน 0.2% เมื่อมีธาตุคาร์บอนผสมอยู่น้อยทำให้เหล็กกล้าชนิดนี้มีความแข็งน้อยและมีความแข็งแรงไม่มากเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าชนิดอื่นๆ แต่ก็ยังมีการผลิตออกมาใช้งานมากที่สุดเพราะเป็นเหล็กที่มีราคาไม่แพง เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำไม่สามารถนำมาชุบผิวแข็งได้ แต่ถ้าต้องการนำมาชุบผิวแข็งจะต้องใช้วิธีเพิ่มคาร์บอนที่ผิวก่อน ดังนั้นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำจึงเหมาะแก่การนำไปทำกระบวนการชุบผิวแข็งเพื่อเพิ่มความแข็งที่ผิวของชิ้นงานให้มากขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็มีความเหนียวภายในชิ้นงาน (ณรงค์ศักดิ์, 2549)

กระบวนการคาร์บูไรซิง (Pack Carburizing Process) เป็นกระบวนการเพิ่มคาร์บอนไปที่ผิวของชิ้นงานและนำไปทำการชุบแข็งและอบคืนตัวเพื่อให้

ที่ผิวมีความแข็งแรงสูงแต่ยังคงความเหนียวภายในชิ้นงาน จึงสามารถรับแรงกระแทกได้ดี ทั้งนี้กระบวนการคาร์บูไรซิงมีอยู่หลายแบบทั้งที่เป็นแบบของแข็งของเหลวและแก๊ส แต่วิธีที่ไม่ยุ่งยาก สะดวก และใช้ต้นทุนต่ำคือ แบบของแข็ง เรียกว่า “กระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิง” เป็นกระบวนการที่อาศัยกลไกการแพร่ของคาร์บอนเข้าสู่ผิวของชิ้นงาน แหล่งกำเนิดคาร์บอนอาจมาจากถ่านโค้กหรือถ่านไม้ โดยนำมาบดและผสมกับสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการแพร่ของคาร์บอนจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิอสเทนไนไทซิงและต้องอาศัยเวลาที่มากพอเพื่อให้เกิดการแพร่อย่างสมบูรณ์ (วรรณ และคณะ, 2558; ชีระพล และคณะ, 2551) จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวที่ผ่านมา สารแพ็คคาร์บูไรซิงจะประกอบไปด้วยถ่านไม้และถ่านโค้กกับสารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรม แต่สำหรับชุมชนหรือครัวเรือนอาจหาถ่านโค้กได้ยาก ถ่านไม้ที่นำมาใช้ในกระบวนการ

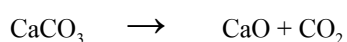
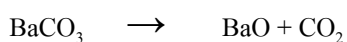
แพ็คคาร์บูไรซิงเป็นส่วนที่ทำให้คาร์บอนเพื่อแพร่เข้าสู่ผิวชิ้นงาน โดยถ่านไม้ที่นิยมนำมาใช้เป็นสารให้คาร์บอน ได้แก่ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส ถ่านไม้มะขาม ถ่านเหม้งมันสำปะหลัง ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านไม้ไผ่ เป็นต้น (วรรณ และคณะ, 2558) นอกจากนี้ถ่านไม้ดังกล่าวแล้ว ถ่านไม้ยางพาราก็เป็นถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนสูง (Shunsuke, 2004) และสามารถนำมาเป็นแหล่งคาร์บอนได้เช่นกัน สำหรับชนิดของสารเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ในการแพ็คคาร์บูไรซิงก็เป็นปัจจัยที่สำคัญ เพราะเป็นแหล่งกำเนิดของคาร์บอนเนต (CO_3) โดยสารเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ทั่วไปมีหลายชนิด เช่น CaCO_3 , Na_2CO_3 และ BaCO_3 เป็นต้น (วรรณ และคณะ, 2558) สารประกอบคาร์บอนเนตเหล่านี้เมื่อถูกความร้อนจะเกิดการแตกตัวได้แก๊ส CO_2 จากนั้น CO_2 จะรวมตัวกับคาร์บอนจากถ่านทำให้ได้แก๊ส CO เมื่อแก๊ส CO ที่เกิดขึ้นสัมผัสกับผิวเหล็กแล้วจะแตกตัวให้อะตอมของคาร์บอนและแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น โดยปฏิกิริยาจะเกิดอย่างต่อเนื่อง ดังนี้



ในออสเทนไนต์) + CO_2

สำหรับสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่ BaCO_3 , Na_2CO_3

หรือ CaCO_3 เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงจะแตกตัวให้แก๊ส CO_2 ดังปฏิกิริยา



คาร์บอนจะแพร่เข้าไปในเนื้อเหล็กได้มากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เวลา ชนิดและปริมาณของถ่านและสารเร่งปฏิกิริยา (มนัส, 2539) แต่การใช้

วัสดุที่มีอยู่ธรรมชาติมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่สามารถลดต้นทุนลงได้ โดยมีการศึกษาการใช้เปลือกไข่มาเป็นเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิง เนื่องจากเปลือกไข่มีปริมาณ CaCO_3 ที่สูง (วรรณ และคณะ, 2558) นอกจากนี้เปลือกไข่แล้ว เถ้าไม้ยางก็เป็นเศษวัสดุที่เหลือจากการเผาไหม้ไม้ยางพาราและโครงสร้างผลึกส่วนใหญ่เป็นผลึก CaCO_3 (Masae *et al.*, 2016) ดังนั้นเถ้าไม้ยางพาราก็สามารถนำมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิงได้เช่นกัน

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยกระบวนการแพ็คคาร์บูไรซิง โดยใช้ถ่านไม้ยางพาราเป็นแหล่งให้คาร์บอนและเถ้าไม้ยางพาราเป็นสารเร่งปฏิกิริยา และเปรียบเทียบผลที่ได้กับ CaCO_3 โดยจะศึกษาผลของเวลาในการแพ็คคาร์บูไรซิงที่มีผลต่อค่าความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมชิ้นงานและสารแพ็คคาร์บูไรซิง

1.1 เตรียมชิ้นงานจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1020 โดยการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทำแพ็คคาร์บูไรซิงให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 10 เซนติเมตร

1.2 เตรียมสารสำหรับการชุบผิวแข็ง โดยนำถ่านไม้ยางพารามบดย่อยและร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผงถ่าน (ϕ) < 5 มิลลิเมตร

1.3 นำถ่านไม้ยางพาราและเถ้าไม้ยางพาราไปวิเคราะห์ลักษณะและปริมาณธาตุต่างๆ ด้วยเทคนิค SEM และ EDS (Scanning electron-microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry) และนำเถ้าไม้

ยางพาราไปตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRD (X-ray diffractometry)

2. ขั้นตอนการชุบแข็งโดยวิธีการเพิ่มคาร์บอน

2.1 เตรียมสารที่เตรียมเพื่อคาร์บูไรซิงไว้บนกล่องรองพื้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 15 เซนติเมตร ที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด AISI 1020 โดยใช้ส่วนผสม 3 ส่วนผสม คือ ถ่านไม้ยางพารา 100% ถ่านไม้ยางพารา 90% คอ ถ่านไม้ยางพารา 10% และถ่านไม้ยางพารา 90% คอ CaCO_3 10%

2.2 วางชิ้นงานทดลองบนสารเพื่อคาร์บูไรซิงและกลบทับด้วยสารเพื่อคาร์บูไรซิงจนเต็มกล่อง

2.3 ปิดฝากล่องให้สนิทแล้วใช้ดินเหนียวทนไฟอุดขอบฝาให้แน่น เพื่อไม่ให้อากาศเข้าและออกจากกล่อง

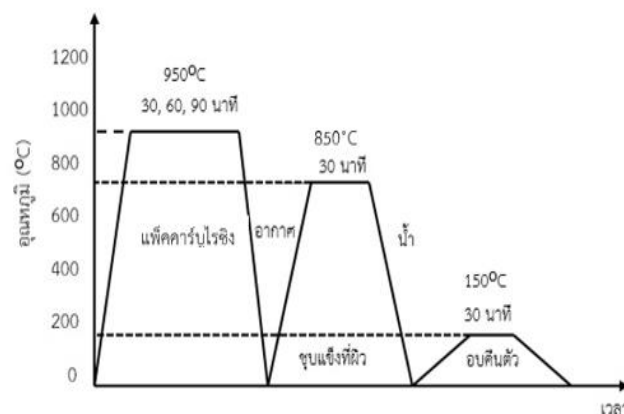
2.4 นำกล่องที่ปิดฝาแล้วเข้าเตาอบ (MODUTEMP รุ่น WW51A) ที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

2.5 เมื่ออบชุบตามเวลาที่กำหนดแล้วนำกล่องออกจากเตาเพื่อให้เย็นตัวในอากาศ

2.6 นำชิ้นงานที่ผ่านการทำเพิ่มคาร์บอนมาทำการชุบแข็งโดยใช้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการจุ่มชุบในน้ำเพื่อให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วเป็นเวลา 10 นาที

2.7 นำชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งมาทำเทมเปอร์ โดยให้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 30 นาที นำชิ้นงานออกจากเตาแล้วปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ (วรรณ และคณะ, 2558)

โดยขั้นตอนการเพิ่มคาร์บูไรซิงและการชุบแข็งแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอน การเพิ่มคาร์บอน ชุบแข็งและการทำเทมเปอร์

3. การทดสอบและการตรวจสอบ

ทดสอบความแข็งของตัวอย่างด้วยเครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ส (บริษัท Matsuzawa Co., Ltd รุ่น MMT-X series) โดยใช้แรงกด 200 กรัม เวลาทดสอบ 10 วินาที ซึ่งชิ้นงานทดสอบจะถูกขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อให้ผิวของชิ้นงานทดสอบเรียบก่อนการวัดค่าความแข็ง การวัดค่าความแข็งของชิ้นงานทดสอบจะวัดบริเวณขอบหน้าตัดของชิ้นงานทดสอบ ส่วนการวัดความแข็งซิมิลิกจะวัดบริเวณหน้าตัดชิ้นงานโดยวัดจากผิวเข้าไปยังแกนกลางของชิ้นงาน โดยตำแหน่งแรกห่างจากผิวนอกสุดของชิ้นงานเข้ามา 0.1 มิลลิเมตร และที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร แต่ละชั้นความลึกทำการวัด 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย และทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope, ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX60M)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการตรวจคุณลักษณะของถ่านไม้ยางพาราและถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิค SEM, EDS และ XRD

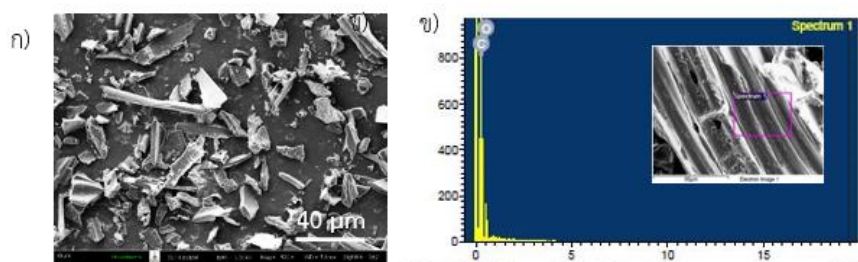
ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของผงถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิค SEM แสดงดังภาพที่ 2 ก

จากภาพจะเห็นได้ว่าผงถ่านมีลักษณะเป็นผงที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ (ภาพที่ 2 ข) พบว่า ถ่านไม้ยางประกอบด้วยธาตุคาร์บอน 90.32% และพบธาตุออกซิเจน 9.68% ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ่านไม้ยางพารามีปริมาณคาร์บอนที่สูงจึงเหมาะที่จะนำมาเป็นสารที่ให้คาร์บอนสำหรับกระบวนการแปรรูปไรซิง

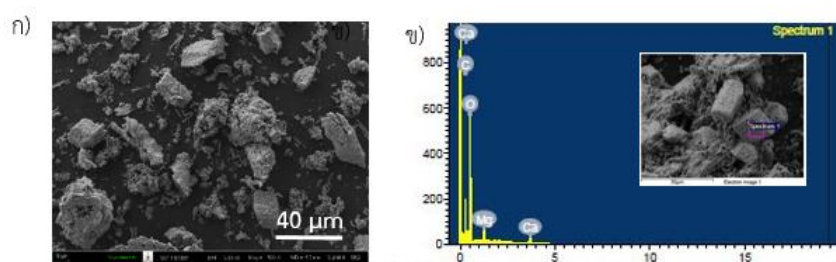
ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิค SEM แสดงดังภาพที่ 3 ก จากภาพจะเห็นได้ว่าถ่านไม้ยางมีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่และมีผงขนาดเล็กกระจายอยู่ เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ

(ภาพที่ 3 ข) พบว่า ถ่านไม้ยางพารามีธาตุแคลเซียมมากที่สุดที่ 46.54% และธาตุออกซิเจน 42.82% นอกจากนี้ยังพบธาตุแมกนีเซียมและคาร์บอน แต่พบในปริมาณที่น้อยมาก

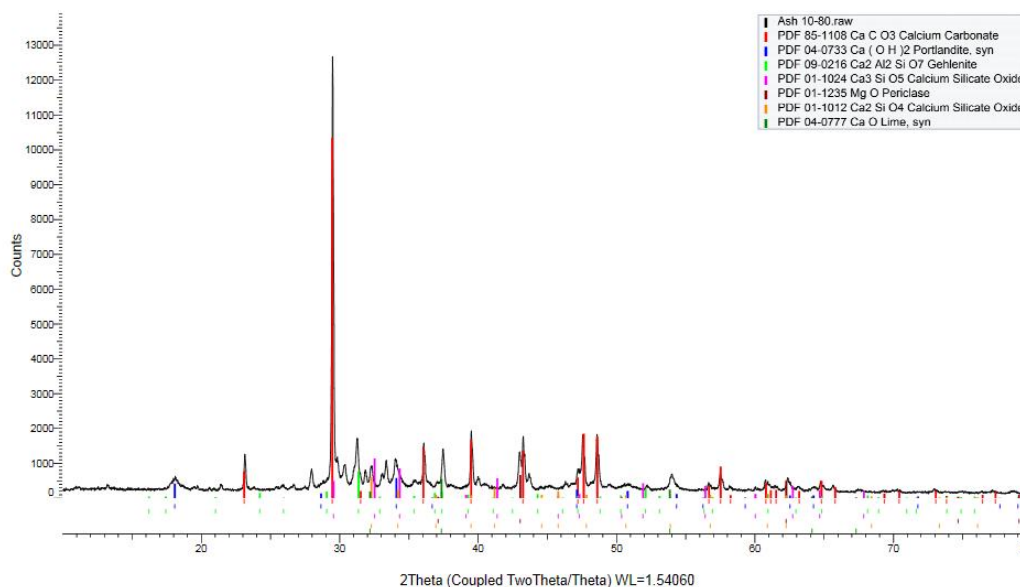
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านไม้ยางพาราด้วยเทคนิค XRD ผลแสดงในภาพที่ 4 จากกราฟ XRD จะเห็นได้ว่าถ่านไม้ยางพารามีปริมาณ CaCO_3 ที่สูงมาก และยังประกอบด้วยธาตุอื่นๆ ปะปนอยู่เล็กน้อย จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าถ่านไม้ยางก็สามารถนำมาเป็นสารเร่งปฏิกิริยาได้เนื่องจากมีปริมาณ CaCO_3 ที่สูง ซึ่ง CaCO_3 สามารถในการแตกตัวให้คาร์บอนที่ดีเหมาะที่จะนำไปใช้ในกรรมวิธีการเพิ่มคาร์บอนให้กับเหล็ก



ภาพที่ 2 ก) ภาพถ่าย SEM ของผงถ่านไม้ยางพารา (กำลังขยาย 500X) ข) กราฟแสดงปริมาณธาตุต่างๆ ในถ่านไม้ยางพารา



ภาพที่ 3 ก) ภาพถ่าย SEM ของถ่านไม้ยางพารา (กำลังขยาย 500X) และ ข) กราฟแสดงปริมาณธาตุต่างๆ ในถ่านไม้ยางพารา



ภาพที่ 4 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าไม้ยางพาราด้วยเทคนิค XRD

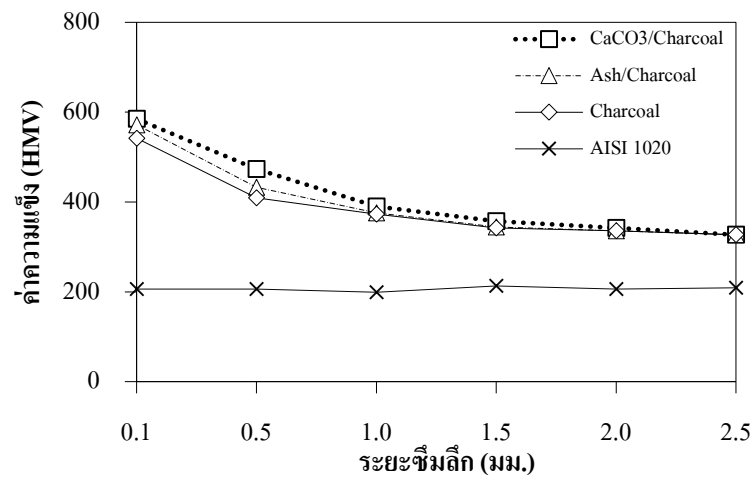
2. ผลเวลาและชนิดสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเพิ่มคาร์บอนที่มีผลต่อกระบวนการแปรรูปไรซิง

ชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีแปรรูปไรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที โดยใช้ส่วนผสม 3 ส่วนผสม คือ ถ่านไม้ยางพารา 100% (Charcoal) ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ เถ้าไม้ยางพารา 10% (Ash/Charcoal) และถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ CaCO₃ 10% (CaCO₃/Charcoal) จากนั้นทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 30 นาที และอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 30 นาที และนำมาทดสอบระยะซึมลึกของชั้นผิวแข็งแสดงดังภาพที่ 5-7

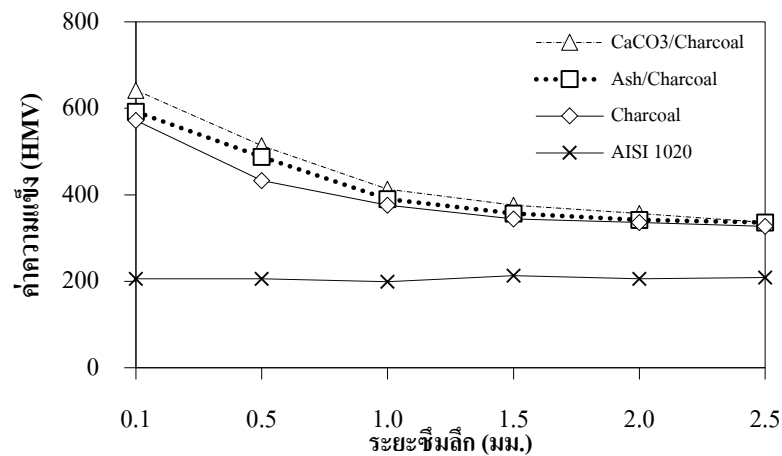
การทดสอบระยะซึมลึกของชั้นผิวแข็งโดยการกำหนดระยะในการวัดที่ 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิเมตร โดยใช้การทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์พบว่า สารเร่งปฏิกิริยาจาก CaCO₃ ที่เวลาต่างๆ จะมีค่าความแข็งสูงสุด รองลงมาคือ เถ้าไม้ยางพาราและถ่านไม้ยาง 100% ตามลำดับ และค่าความแข็งจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะลึกเพิ่มมากขึ้น ส่วนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ไม่ผ่านกระบวนการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวพบว่า ค่าความแข็งไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนที่ไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนโครงสร้าง

ของเหล็ก จากการทดลองดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเถ้าไม้ยางพาราจะให้ความแข็งที่น้อยกว่า CaCO₃ เพียงเล็กน้อย ที่ทุกระยะความลึก เนื่องจากในเถ้าไม้ยางมีปริมาณ CaCO₃ ที่สูง

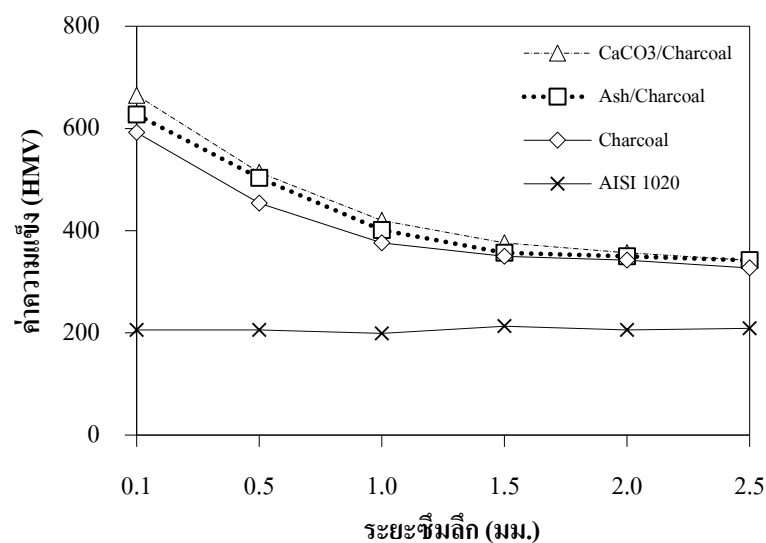
เมื่อเปรียบเทียบความแข็งกับเวลาในการทำแปรรูปไรซิง ผลแสดงดังภาพที่ 8 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าความแข็งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น เวลาที่สั้นทำให้การแพร่มีช่วงเวลาในการแทรกตัวของอะตอมคาร์บอนที่ต่ำ และการใช้สารเร่งปฏิกิริยาทุกชนิด จะมีค่าความแข็งเพิ่มมากขึ้นที่เวลาเพิ่มขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ที่เวลา 90 นาที จะมีค่าความแข็งที่สูงที่สุดของสารเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิด ซึ่งสารเร่งปฏิกิริยา CaCO₃ มีการเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 90 นาที มีค่าความแข็งที่ 665 HVM ซึ่งเป็นค่าความแข็งที่สูงที่สุด และมากกว่าที่เวลา 60 และ 30 นาที ตามลำดับ เนื่องจากเวลาในการแพร่ที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตรงกับระยะซึมลึก และระยะเวลาในการแพร่ที่เพิ่มจะสอดคล้องกับทฤษฎีอัตราการแพร่ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลามากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการเพิ่มคาร์บอนสูงขึ้น (Thammachot *et al.*, 2016; มนัส, 2539)



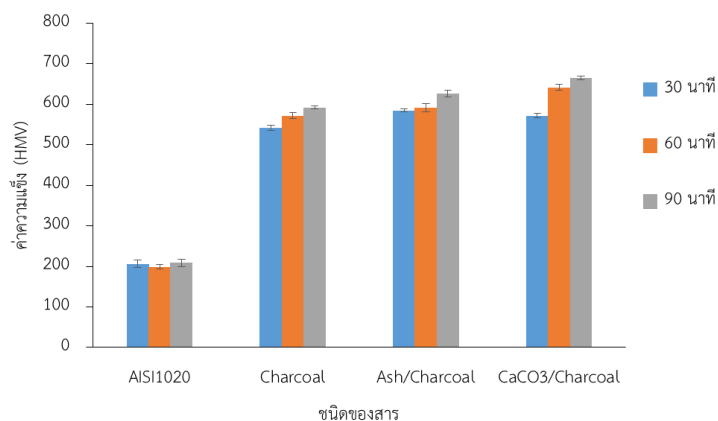
ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบระยะชั้นผิวแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการ
เผื่อคาร์บูไรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 30 นาที



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบระยะชั้นผิวแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการ
เผื่อคาร์บูไรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 60 นาที



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบระยะชั้นผิวแข็งของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการ
เผื่อคาร์บูไรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 90 นาที

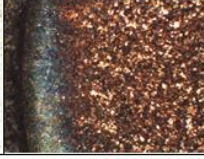


ภาพที่ 8 ค่าความแข็งแรงที่ระยะซึมลึกที่ 0.1 มิลลิเมตร ของตัวอย่างที่ให้อุณหภูมิเพิ่มคาร์บอนที่เวลาต่างๆ

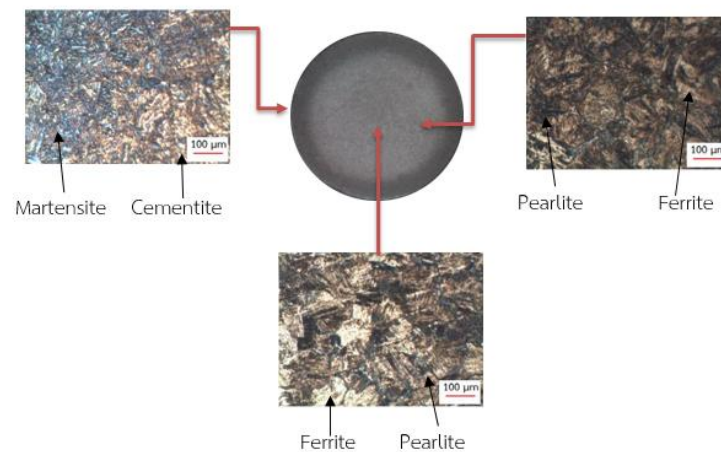
3. การเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปโรซิงและการชุบแข็ง

ชิ้นงานที่ผ่านกรรมวิธีแปรรูปโรซิงที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850 °C เป็นเวลา 30 นาที และจุ่มชุบน้ำ แล้วทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 30 นาที นำชิ้นงานไปขัดเพื่อดูโครงสร้างจุลภาค ซึ่งผลการทดลองแสดงในภาพที่ 9 จากภาพจะเห็นโครงสร้างที่ผิวของชิ้นงานจะมีอัตราการแพร่ของคาร์บอนก่อนที่สูงขึ้นเมื่อเวลามากขึ้น โดยโครงสร้างมีการเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ แต่ก็ยังมีโครงสร้างเฟอร์ไรต์และเฟอไรต์ไลต์อยู่ เมื่อพิจารณาที่ 90 นาที จะเห็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่ชัดเจนบริเวณผิวรอบนอกชิ้นงานในตัวอย่างที่มีสารเร่งปฏิกิริยาจากเถ้าไม้ยางพาราและ CaCO_3 (Thammachot *et al.*, 2016) เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงาน

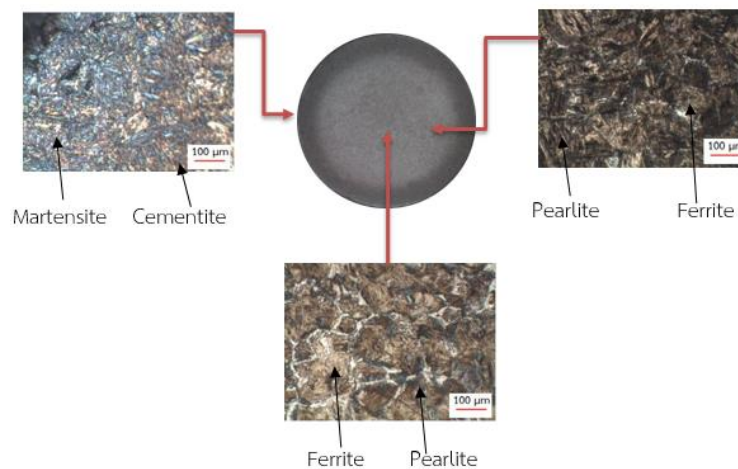
ที่มีการอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950 °C ที่เวลา 90 นาที ทั้ง 3 ส่วนผสมคือ ถ่านไม้ยางพารา 100% ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ เถ้าไม้ยางพารา 10% และถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ CaCO_3 10% จะเห็นได้ว่าโครงสร้างที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งบริเวณขอบชิ้นงานจะพบโครงสร้างมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ ส่วนบริเวณกึ่งกลางระหว่างขอบชิ้นงานกับกลางชิ้นงานพบโครงสร้างเฟอไรต์ไลต์กับเฟอร์ไรต์ และบริเวณกลางชิ้นงานพบโครงสร้างเฟอไรต์ไลต์กับเฟอร์ไรต์ (ภาพที่ 10-12) จะเห็นได้ว่าโครงสร้างที่ได้จะสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงในภาพที่ 7 ซึ่งค่าความแข็งแรงที่สูงที่สุดจะเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์และคาร์ไบด์ (ณรงค์ศักดิ์ และคณะ, 2557) เพราะที่ผิวเกิดแพร่ของคาร์บอนสูงเมื่อผ่านการชุบแข็งจึงเปลี่ยนเป็นโครงสร้างมาร์เทนไซต์ โดยแนวโน้มของมาร์เทนไซต์และซีเมนไทต์จะลดลง และเกิดโครงสร้างเฟอไรต์ไลต์และเฟอร์ไรต์เพิ่มมากขึ้น (วรรณ และคณะ, 2558)

ส่วนผสม	เวลาอบเพิ่มคาร์บอน		
	30 นาที	60 นาที	90 นาที
ถ่านไม้ยางพารา 100%			
ถ่านไม้ยางพารา 90% ถ่านไม้ยางพารา 10%			
ถ่านไม้ยางพารา 90% แคลเซียมคาร์บอเนต 10%			

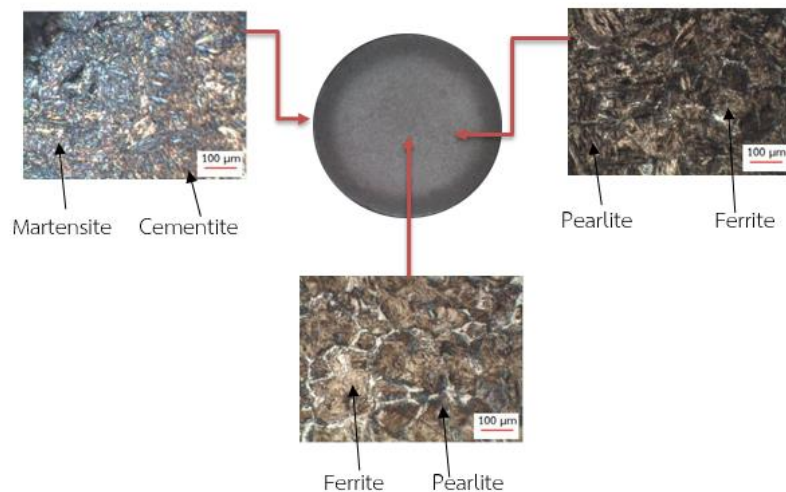
ภาพที่ 9 ถ่านไม้ยางพารา 100% (กำลังขยาย 50X)



ภาพที่ 10 ถ่านไม้ยางพารา 100% อุณหภูมิเผ้คาร์บอนไรซิง 950 °C เป็นเวลา 90 นาที (กำลังขยาย 50X)



ภาพที่ 11 ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ ถ่านไม้ยางพารา 10% อุณหภูมิเผ้คาร์บอนไรซิง 950 °C เป็นเวลา 90 นาที (กำลังขยาย 50X)



ภาพที่ 12 ถ่านไม้ยางพารา 90% ต่อ CaCO_3 10% อุณหภูมิเพ็คคาร์บูไรซิง 950°C เป็นเวลา 90 นาที (กำลังขยาย 50X)

สรุป

จากผลการวิเคราะห์สมบัติของชิ้นผิวแข็งและโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1020 ที่ผ่านกรรมวิธีการเพิ่มคาร์บอน โดยอบเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950°C ที่เวลา 30, 60 และ 90 นาที ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 850°C เป็นเวลา 30 นาที และจุ่มชุบในน้ำ แล้วทำเทมเปอร์ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการเพิ่มคาร์บอนที่อุณหภูมิ 950°C ที่เวลา 90 นาที ชุบแข็ง และทำเทมเปอร์ โดยใช้ CaCO_3 เป็นสารเร่งปฏิกิริยา จะทำให้ได้ความแข็งสูงที่สุด แต่สารเร่งปฏิกิริยาจากถ่านไม้ยางพาราก็มีความแข็งใกล้เคียงกับการใช้ CaCO_3
2. ผลของเวลาในการทำคาร์บูไรซิงที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระยะซึมลึกของชิ้นผิวแข็งมีค่ามากขึ้น เพราะอะตอมของคาร์บอนมีเวลามากพอที่จะแพร่เข้าไปในชิ้นงาน
3. โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอบเพิ่มคาร์บอนและชุบแข็งที่ผิวและทำ

เทมเปอร์ โครงสร้างที่ผิวประกอบไปด้วยโครงสร้างมาร์เทนไซต์และซีเมนไต์และโครงสร้างที่ลึกเข้าไปภายในชิ้นงานจะเป็นโครงสร้างเพิร์ลไลต์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน สำหรับการสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ. 2549. วัสดุวิศวกรรม. ซีเอ็ดบูเคชั่น, กรุงเทพฯ.
- ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ, วรรณ หอมจะบก และ นฤดม ทาคี. 2557. ประสิทธิภาพการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวในเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำของถ่านไม้ชนิดต่างๆ ในกระบวนการเพ็คคาร์บูไรซิง. วิศวกรรมสาร มข. 41(3): 383-391.
- ธีระพล บันลิตธิ์, กาญจนา บันลิตธิ์, พัฒนศักดิ์ ไส่ร่วมก่อ, อัฐพงศ์ จันทปีตา และ สุรมณตรี จ่านันท. 2551. อิทธิพลของการเคลือบน้ำมัน

- พืชต่อคุณภาพไข่ไก่. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 1(1): 79-83.
- มนัส สติรจินดา. 2539. วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.
- วรรณ หอมจะบก, ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และ นฤดม ทาดี. 2558. ผลของอุณหภูมิอบสเทนไนท์ในกระบวนการแปรรูปคาร์เบอร์ไรซิงเพื่อใช้ผลิตมีดโต้. วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 8(3): 126-136.
- Masae, M., Sririkun W., Kongsong, P. and Jeenarong, A. 2016. Preparation calcium phosphate bio-ceramic powders from rubber wood ash. **International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology** 3(7): 226-231.
- Shunsuke, K. 2004. Adsorption of harmful substances by activated carbon from rubber wood. Bachelor Thesis Department of International Development Engineering Tokyo, Institute of Technology.
- Thammachot, N., Nachaisit, P., Homjabok, W., Peeratatsuwan, C., Mayai, A. and Nithikarnjanatharn, J. 2016. The effects of energizer and carburizing temperature and time on mechanical properties of hardened big knives in the pack carburizing process. **KKU Engineering Journal** 43(4): 172-177.

การคัดแยกแบคทีเรียแลคติกที่มีศักยภาพเป็นโปรไบโอติกจากไก่เบตง

Screening of Potential Probiotic Lactic Acid Bacteria from Be-tong Chicken

สายใจ แก้วอ่อน^{1*} และ ลักขณา รักษาพันธ์²

Saichai Kaew-on^{1*} and Lakkhana Rakkhaphan²

Received: 11 May 2018, Revised: 5 July 2018, Accepted: 23 November 2018

บทคัดย่อ

ความปลอดภัยของอาหารเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพื่อหลีกเลี่ยงผลเสียที่เกิดจากการใช้สารปฏิชีวนะและสารเร่งการเจริญเติบโต โปรไบโอติกจึงถูกนำมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจรวมถึงไก่ด้วย งานวิจัยนี้จึงศึกษาคุณสมบัติการเป็นโปรไบโอติกของแบคทีเรียแลคติกจำนวน 145 ไอโซเลท ที่คัดแยกได้จากกระเพาะพัก ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ของไก่เบตง การคัดเลือกเบื้องต้นโดยใช้คุณสมบัติการทนกรด พบ 22 ไอโซเลท ทนต่อกรดพีเอช 2 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่าร้อยละ 50 เมื่อนำแบคทีเรียเหล่านี้ไปบ่มในระบบกระเพาะอาหารและลำไส้จำลอง พบ 13 ไอโซเลท ได้แก่ F/Cr 01007, F/Cr 01008, A/Cr 04002, A/Si 04001, A/Si 04002, A/Si 04014, A/Si 04015, S/Si 04024, A/Li 04008, A/Li 05011, F/Si 06001, A/Cr 07010 และ A/Li 07003 มีอัตราการรอดชีวิตร้อยละ 51.66-88.59 จากนั้นศึกษาความไม่ชอบน้ำเพื่อบ่งชี้การเกาะติดลำไส้ของเซลล์เชอร์เฟส พบ 11 ไอโซเลท มีผลบ่งชี้การเกาะติดลำไส้มากกว่าร้อยละ 90.28 และ 82.89 ในไฮลินและทูลูอิน ตามลำดับ เมื่อทดสอบความต้านทานต่อสารปฏิชีวนะพบว่าไอโซเลทที่แสดงคุณสมบัติเด่นในด้านความสามารถรอดชีวิตในระบบทางเดินอาหารจำลองและเซลล์เชอร์เฟสมีความไม่ชอบน้ำสูง ด้านทานสารปฏิชีวนะจำนวน 5-9 ชนิด คือ F/Cr 01007, A/Si 04002, S/Si 04024, A/Li 04008, A/Li 05011, F/Si 06001 และ A/Cr 07010 เมื่อวิเคราะห์ชนิดของแบคทีเรียแลคติกทั้ง 7 ไอโซเลทนี้ โดยเปรียบเทียบความเหมือนของลำดับเบสใน 16S rDNA พบว่าแบคทีเรียเหล่านี้มีความคล้ายคลึง *Lactobacillus reuteri* ร้อยละ 99 ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าแบคทีเรียแลคติก *Lactobacillus reuteri* ที่คัดแยกได้จากทางเดินอาหารของไก่เบตงสามารถนำไปพัฒนาใช้เป็นโปรไบโอติกได้

คำสำคัญ: โปรไบโอติก, แบคทีเรียแลคติก, ไก่เบตง

¹ สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

¹ Department of Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Tungyai, Nakorn Sri Thammarat 80240, Thailand.

² สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000

² Department of Biology, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Muang, Yala 95000, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): saijai.k@rmuts.ac.th Tel: 08 9893 5522

ABSTRACT

Food safety is very important. In order to avoid undesirable results of antibiotics and growth promoting agents, probiotic has been used in economic animals including poultry husbandry. This research studied the probiotic properties of 145 strains of lactic acid bacteria (LAB) isolated from crop, small and large intestinal tract of Be-tong chicken. According to the primary screen method for acid tolerance, twenty-two isolates exhibited the acid tolerance with survival higher than 50% at pH 2 for 2 hours. These 22 strains were then incubated in simulated gastrointestinal tract. Thirteen strains including F/Cr 01007, F/Cr 01008, A/Cr 04002, A/Si 04001, A/Si 04002, A/Si 04014, A/Si 04015, S/Si 04024, A/Li 04008, A/Li 05011, F/Si 06001, A/Cr 07010 and A/Li 07003 showed the tolerance with survival ranging from 51.66 to 88.59%. Eleven strains had more over 90.28 and 82.89% hydrophobicity in xylene and toluene, respectively. The antibiotic resistance of these LAB showed that F/Cr 01007, A/Si 04002, S/Si 04024, A/Li 04008, A/Li 05011, F/Si 06001 and A/Cr 07010 had high survival under the simulated gastrointestinal tract and high cell surface hydrophobicity could tolerate to 5-9 antibiotics. These 7 strains were identified as *Lactobacillus reuteri* with the 99% similarity by 16S rDNA sequence analysis. This research study indicates that it is possible to use *Lactobacillus reuteri* from gastrointestinal tract of Be-tong chicken as effective probiotic.

Key words: probiotic, lactic acid bacteria, Be-tong chicken

บทนำ

ไก่เบตงเป็นไก่พันธุ์พื้นเมืองที่นิยมเลี้ยงกันในสามจังหวัดชายแดนใต้ ได้แก่ ยะลา ปัตตานี และ นราธิวาส (ปิ่น และคณะ, 2543) เป็นไก่ที่มีรสชาติอร่อย เนื้อนุ่ม มีไขมันน้อย กลิ่นหอมรับประทานและปราศจากสารเร่งการเจริญเติบโต จึงเป็นที่นิยมบริโภคและเป็นที่ต้องการทั้งจากภายในประเทศและต่างประเทศ (มาเลเซีย และสิงคโปร์) ส่งผลให้ไก่เบตงมีราคาค่อนข้างสูง ปัจจุบันราคาไก่จากฟาร์มกิโลกรัมละ 350 บาท หรือไก่นึ่งแล้วสำหรับรับประทานกับข้าวมันไก่ราคาตัวละ 1,200-1,800 บาท ดังนั้นไก่เบตงจึงเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของท้องถิ่นในภาคใต้ตอนล่าง อย่างไรก็ตามในการเลี้ยงไก่อาจมีปัญหากการเกิดโรค เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ โรคนิวคาสเซิล อหิวาห์สัตว์ปีกและโรคฝีดาษ (สุมิตรรา, 2550)

วิธีแก้ปัญหานี้คือ การใช้สารเคมีหรือยาปฏิชีวนะและวัคซีน อย่างไรก็ตามการใช้ยาปฏิชีวนะอาจส่งผลให้เกิดการดื้อยาของจุลินทรีย์และการตกค้างของสารเคมีในเนื้อไก่ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค ดังนั้นปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์แบบอินทรีย์เพื่อเพิ่มคุณภาพของการผลิต โดยไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม สุขภาพสัตว์และผู้บริโภคจึงมีความต้องการมากขึ้น การใช้แบคทีเรียโปรไบโอติกเพื่อส่งเสริมการเจริญและสร้างภูมิคุ้มกันในไก่จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ

จุลินทรีย์โปรไบโอติก (probiotic) คือจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและเมื่อได้รับในปริมาณที่เหมาะสมจะส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้ที่ได้รับหรือเจ้าบ้าน (host) (Shah, 2000) เนื่องจากโปรไบโอติกมีบทบาทในการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ ผลิตเอนไซม์สำหรับย่อย

อาหารบางชนิด ส่งผลเพิ่มสารอาหารและการเจริญเติบโตของเจ้าบ้าน สร้างสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรคและกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Sieladie *et al.*, 2011) หลักในการคัดเลือกสายพันธุ์โปรไบโอติกนั้นเบื้องต้นพิจารณาจากการทนต่อกรด รวมถึงการมีชีวิตรอดอยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้ การยึดเกาะลำไส้ได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้แสดงถึงความสามารถในการรอดชีวิตและมีแนวโน้มยึดเกาะเซลล์เจ้าบ้านได้ดี สามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมได้ดี และเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการตอบสนองของภูมิคุ้มกันในร่างกายเจ้าบ้าน (Balcázar *et al.*, 2008) โปรไบโอติกที่นิยมส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรียแลคติก เช่น *Lactobacillus* sp. และ *Bifidobacterium* sp. เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่ปลอดภัย (Generally recognized as safe: GRAS) (Klayraung *et al.*, 2008) และ เป็นโปรไบโอติกที่มีประสิทธิภาพสูง ทั้งนี้แหล่งของจุลินทรีย์ก็มีความสำคัญ จุลินทรีย์ที่คัดแยกมาจากเจ้าบ้านที่จะนำกลับมาใช้เป็นโปรไบโอติกนั้นมีประโยชน์ในแง่ความจำเพาะในด้านระบบนิเวศของจุลินทรีย์กับเจ้าบ้าน (Sahu *et al.*, 2008) โดยแบคทีเรียแลคติกที่คัดแยกจากทางเดินอาหารได้พบว่าเป็นชนิด *L. reuteri*, *L. salivarius* และ *L. crispatus* (Nitisinprasert *et al.*, 2000; Taheri *et al.*, 2009a; Heravi *et al.*, 2011)

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือคัดแยกแบคทีเรียแลคติกที่มีศักยภาพเป็นโปรไบโอติกจากทางเดินอาหารของไก่เบตง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับอนาคตในการนำแบคทีเรียชนิดที่มีความเป็นโปรไบโอติกไปใช้เสริมอาหารเพื่อเลี้ยงไก่เบตง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การคัดแยกแบคทีเรียแลคติกจากทางเดินอาหารของไก่เบตง

คัดแยกแบคทีเรียแลคติกจากกระเพาะพัก ลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ของไก่เบตงพันธุ์แท้ อายุประมาณ 6 เดือน จากอำเภอเบตง จังหวัดยะลา โดยนำตัวอย่างมาแช่ในแอลกอฮอล์ร้อยละ 70 เป็นเวลา 30 วินาที 2 ครั้ง จากนั้นแช่ในน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว 2 ครั้ง แล้วนำตัวอย่างปริมาณ 10 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.85 ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ตีปั่นด้วยเครื่องตีปั่น เป็นเวลา 1 นาที และเจือจางในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.85 แบบ ten-fold serial dilution ให้มีจำนวนแบคทีเรียที่เหมาะสม จากนั้นเกลี่ยบนอาหารแข็ง MRS (Difco, Detroit, MI, USA) ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนต (Scharlau Chemie, S.A.) ร้อยละ 0.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) แล้วนำไปบ่มใน anaerobic jar ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง นับจำนวนแบคทีเรียสร้างกรดซึ่งมีโซนใสรอบโคโลนี แล้วสุ่มเลือกโคโลนีของแบคทีเรียที่มีลักษณะแตกต่างกันนำมา streak ลงบนอาหารแข็งชนิดเดิมอีก 2-3 ครั้ง เพื่อให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ จากนั้นนำโคโลนีที่ได้มาทดสอบการเป็นแบคทีเรียแลคติกโดยการย้อมสีแกรม และทดสอบการสร้างเอนไซม์อะไมเลส

2. การเตรียมแบคทีเรียแลคติกและทดสอบคุณสมบัติโปรไบโอติก

ถ่ายเชื้อแบคทีเรียแลคติกร้อยละ 5 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ลงในอาหารเหลว MRS บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแบคทีเรียแลคติกไปปั่นเหวี่ยงความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ล้างเซลล์ 2 ครั้ง ด้วยฟอสเฟสบัฟเฟอร์ พีเอช 6

2.1 การทนต่อกรด

การทดสอบการทนต่อกรดดัดแปลงวิธีการมาจาก Taheri *et al.* (2009b) นำตะกอนเซลล์ที่ปั่นเหวี่ยงแล้วไปแขวนลอยในฟอสเฟสบัฟเฟอร์พีเอช 2 โดยใช้

กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปรับพีเอช
 นับจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตรอดหลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 37
 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยวิธีการ drop
 plate บนอาหารแข็ง MRS บ่มเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง
 ใน anaerobic jar และคำนวณอัตราการรอดชีวิต โดย
 อัตราการรอดชีวิต (%) = $(\log \text{จำนวนเซลล์ที่รอดชีวิต}$
 $\text{หลังการทดสอบ (CFU/mL)} \times 100) / \log \text{จำนวนเซลล์}$
 เริ่มต้น (CFU/mL) การรายงานผลอ้างอิงตามวิธีของ
 Lertworapreecha *et al.* (2011)

2.2 การมีชีวิตรอดภายใต้สภาวะระบบกระเพาะ
 อาหารและลำไส้จำลอง

นำแบคทีเรียแลคติกที่ปั่นเหวี่ยงแล้วไป
 แฉวนลอยในน้ำย่อยกระเพาะอาหารสังเคราะห์
 ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วยสารละลาย
 โซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.85 ที่มีเปปซิน (Sigma,
 Basingstoke, Hampshire, UK) 3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
 ปรับพีเอชเป็น 2 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก นับจำนวน
 แบคทีเรียเริ่มต้นโดยวิธี drop plate จากนั้นนำแบคทีเรีย
 ที่อยู่ในน้ำย่อยสังเคราะห์ไปบ่มในเครื่องเขย่าที่
 ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 37 องศา
 เซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นับจำนวนแบคทีเรียที่มี
 ชีวิตรอดในกระเพาะอาหารจำลอง นำแบคทีเรียที่อยู่ใน
 น้ำย่อยสังเคราะห์นี้ไปปั่นเหวี่ยง 8,000 รอบต่อนาที
 อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้ว
 เทน้ำย่อยสังเคราะห์ทิ้ง และแทนที่ด้วยของเหลวใน
 ลำไส้จำลอง ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบด้วย
 แพนครีเอติน (Sigma, Basingstoke, Hampshire, UK)
 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเกลือน้ำดี (Oxoid,
 Basingstoke, Hampshire, UK) ร้อยละ 1.0 (น้ำหนักต่อ
 ปริมาตร) ปรับพีเอชเป็น 8 โดยใช้โซเดียมไฮดรอก
 ไซด์ นับจำนวนแบคทีเรียก่อนและหลังนำไปบ่มใน
 เครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 37
 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วคำนวณอัตรา
 การรอดชีวิตตามวิธีในข้อ 2.1

2.3 ความไม่ชอบน้ำของเซลล์เชอร์เฟส

ความไม่ชอบน้ำของเซลล์เชอร์เฟส
 (cell surface hydrophobicity) ทดสอบโดยดัดแปลงวิธี
 ของ Taheri *et al.* (2009a) นำแบคทีเรียแลคติกไปปั่น
 เหวี่ยง 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ล้างตะกอน
 เซลล์ 2 ครั้ง และปรับความเข้มข้นของเซลล์ด้วย
 สารละลายโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.85 ให้มีความขุ่น
 0.5 โดยวัดความขุ่นด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
 (Biochrom, Libra S12) ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร
 (OD₆₀₀) และนำไปใส่ในหลอดทดลองๆ ละ 3 มิลลิลิตร
 จากนั้นเติมทูลูอิน (toluene, Panreac Quimica SAU,
 Barcelona, Espana) และไซลีน (xylene, Panreac
 Quimica SAU, Barcelona, Espana) ปริมาตร 1
 มิลลิลิตร ลงในเซลล์แขวนลอย ผสมให้เข้ากันโดย
 vortex เป็นเวลา 90 วินาที จากนั้นวางไว้ 15 นาที
 เพื่อให้เกิดการแยกชั้น วัดความขุ่น OD₆₀₀ คำนวณ
 ความไม่ชอบน้ำของเซลล์เชอร์เฟส ตามสมการ cell
 surface hydrophobicity (%) = $\{(OD_0 - OD_1) / OD_0\} \times$
 100 เมื่อ OD₀ และ OD₁ คือความขุ่นของเซลล์
 แฉวนลอยก่อนผสมทูลูอินหรือไซลีนและความขุ่นของ
 ชั้นน้ำหลังผสมทูลูอินหรือไซลีน

2.4 การต้านทานสารปฏิชีวนะ

ทดสอบการต้านทานต่อสารปฏิชีวนะโดยวิธี
 disc diffusion (Bauer *et al.*, 1966) โดยนำสำลี (cotton
 swab) จุ่มในแบคทีเรียความเข้มข้น 10⁸ CFU/mL และ
 เกี่ยบบนผิวหน้าอาหารแข็ง Brain Heart Infusion
 (Difco, Detroit, MI, USA) เมื่อผิวหน้าอาหารแห้งนำ
 แผ่นยาปฏิชีวนะจำนวน 13 ชนิด ได้แก่ ampicillin (10
 µg), chloramphenicol (30 µg), cephalothin (30 µg),
 erythromycin (15 µg), gentamycin (10 µg),
 kanamycin (30 µg), nalidixic acid (30 µg),
 nitrofurantoin (300 µg), norfloxacin (10 µg),
 novobiocin (5 µg), tetracycline (30 µg),
 sulfamethoxazole/trimethoprim (23.75 µg/1.25 µg)

และ oxytetracycline (30 µg) วางบนผิวหน้าอาหารแข็ง บ่ม 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตรวจผล โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใส รายงาน ผลเป็น susceptible (S), intermediate (I) และ resistant (R) ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้สำหรับสารปฏิชีวนะแต่ละชนิด

3. การเทียบเคียงสายพันธุ์แบคทีเรียแลกติก

นำแบคทีเรียแลกติกที่มีคุณสมบัติเป็น โปรไบโอติกไปเทียบเคียงสายพันธุ์ โดยทำ polymerase chain reaction (PCR) มี universal primers เป็น 27F (5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') และ 1492R (5'-TACGGYTACCTTGTTACGACTT-3') และวิเคราะห์ลำดับเบส 16S rDNA โดย blast ผลกับ นิวคลีโอไทด์ใน NCBI ดำเนินการโดยบริษัท Macrogen ประเทศเกาหลีใต้

4. การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำผลการทดลองมา คำนวณ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิเคราะห์ความแปรปรวน แบบจำแนกทางเดียวด้วยวิธีทางสถิติ ด้วย ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การคัดแยกแบคทีเรียแลกติกจากทางเดินอาหารของ ไก่เบตง

การคัดแยกแบคทีเรียแลกติกจากกระเพาะพัก ลำไส้เล็ก ลำไส้ใหญ่ของไก่เบตง พบแบคทีเรียสร้าง กรดซึ่งติดสีแกรมบวกและไม่สร้างเอนไซม์อะเลส จำนวน 145 ไอโซเลท (ตารางที่ 1) ปริมาณ 1.00×10^4 - 1.47×10^8 CFU/g ใกล้เคียงกับปริมาณแบคทีเรียแลกติก (10^5 - 10^8 CFU/g) ที่พบในกระเพาะพัก ลำไส้เล็ก ลำไส้ ใหญ่ และไส้ติ่งของไก่กระทงอายุ 40-50 วัน และไก่

พื้นเมืองอายุ 3-4 เดือน ที่ขายในท้องตลาดทั่วไป (หทัยรัตน์, 2551)

ตารางที่ 1 จำนวนไอโซเลทและความเข้มข้นของ แบคทีเรียแลกติกที่คัดแยกได้จากทางเดิน อาหารไก่เบตง

ทางเดินอาหาร	จำนวน ไอโซเลท	แบคทีเรียแลกติก (CFU/g)
กระเพาะพัก	64	4.50×10^4 - 1.47×10^8
ลำไส้เล็ก	39	1.00×10^4 - 4.90×10^7
ลำไส้ใหญ่	42	1.00×10^4 - 1.21×10^8

2. การทนต่อกรด

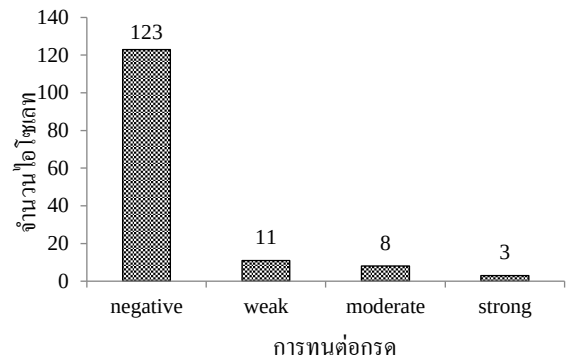
การทนต่อกรดเป็นคุณสมบัติสำคัญอันดับแรก ของโปรไบโอติก เนื่องจากโปรไบโอติกจะถูกบริโภค ผ่านทางหลอดอาหารไปยังกระเพาะอาหาร ซึ่ง กระเพาะอาหารประกอบด้วย กระเพาะพัก กระเพาะ จีริงและกระเพาะบด กระเพาะแต่ละส่วนมีพีเอชเท่ากับ 4.0-6.3, 3.2-4.8 และ 2.5-4.7 ตามลำดับ (หทัยรัตน์, 2551) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้คุณสมบัตินี้คัดกรอง แบคทีเรียแลกติกเป็นอันดับแรก จากการทดสอบการ ทนต่อกรดพีเอช 2 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบแบคทีเรีย แลกติกมีอัตราการรอดชีวิตสูงกว่าร้อยละ 50 จำนวน 22 ไอโซเลท (ร้อยละ 15.17) และมีอัตราการรอดชีวิต สูงกว่าร้อยละ 90 จำนวน 3 ไอโซเลท (ภาพที่ 1) คือ F/Si 06001, F/Cr 01010 และ A/Si 01002 ในขณะที่ แบคทีเรียแลกติกโปรไบโอติก LT116 และ LT130 ที่คัดแยกจากทางเดินอาหารไก่กระทง มีอัตราการรอด ชีวิตต่ำกว่าร้อยละ 60 และ 30 ตามลำดับ ในสภาวะ พีเอช 2 นาน 90 นาที (Taheri *et al.*, 2009a) และ สอดคล้องกับการคัดแยกแบคทีเรียแลกติกจากอาหาร หมักดองซึ่งพบว่าแบคทีเรียจำนวน 5 ไอโซเลท จากทั้งหมด 23 ไอโซเลท ทนต่อพีเอช 2 ได้ดี มีปริมาณ เซลล์มากกว่า 10^8 CFU/mL (สายใจ และคณะ, 2558)

โดยใน ที่นี้แบคทีเรียที่ทนกรดได้ส่วนใหญ่คือแบคทีเรียจากกระเพาะพัก (11 ไอโซเลท) เป็นไปได้ว่าเป็นเพราะแบคทีเรียเหล่านี้เป็นแบคทีเรียประจำถิ่นที่พบได้ในกระเพาะพัก เนื่องจากค่าความเป็นกรดต่างภายนอกเซลล์ส่งผลต่อความเป็นกรดต่างของไซโตพลาซึมของเซลล์ ดังนั้นโดยทั่วไปแบคทีเรียแลคติกจะชะลอการเจริญเมื่อเลี้ยงในสภาวะที่มีค่าเป็นกรดหรือค่าสูง (จูติรัตน์ และ นงนุช, 2555) แต่การที่แบคทีเรียแสดงความแตกต่างกันในการทนต่อกรดอาจเกิดจากความแตกต่างขององค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์และกิจกรรมของเอนไซม์ H^+ -ATPase ของแบคทีเรียนั้น (Musikasang *et al.*, 2009) แบคทีเรียที่ทนต่อกรดได้ดีเกิดจาก H^+ -ATPase ขับโปรตอนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ดี ส่งผลต่อการรักษาค่าพีเอชของไซโตพลาซึมให้คงที่ (Matsumoto *et al.*, 2004; Ventura *et al.*, 2004) ดังที่เคยมีรายงานการทนกรดของ *L. acidophilus* และ *Enterococcus hirae* เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์นี้ (Kobayashi *et al.*, 1986; Lorca and Valdez, 2001) แม้ว่าทางเดินอาหารของไก่จะสั้นกว่าสัตว์อื่นและอาหารจะอยู่ในทางเดินอาหารประมาณ 2.5 ชั่วโมงเท่านั้น อย่างไรก็ตามพบว่าพีเอชของน้ำย่อยในอาหารสามารถลดต่ำลงได้ถึง 0.5-2.0 ดังนั้นจึงมีอิทธิพลต่อการอยู่รอดของจุลินทรีย์

3. การมีชีวิตรอดภายในสภาวะระบบกระเพาะและลำไส้จำลอง

โปรไบโอติกจะถูกบริโภคและผ่านสภาวะในกระเพาะอาหารที่มีพีเอชระหว่าง 2.5-4.8 และมีเปปซินแล้วจึงผ่านลำไส้เล็กซึ่งมีพีเอชระหว่าง 5.7-8.4 (รุจา, 2544) และมีเอนไซม์แพนกรีเอตินและเกลือน้ำดีอยู่ด้วย ดังนั้นแบคทีเรียที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะกรดสูงจะได้รับการเปลี่ยนแปลงสภาวะอย่างกระทันหันและเป็นสภาวะที่มีผลกระทบต่อการรอดชีวิต ดังนั้นการทดสอบเลียนแบบสภาวะทางเดินอาหารจริงจึงเป็น

การทดสอบที่บอกถึงการรอดชีวิตของแบคทีเรียได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด การทดลองพบว่าไอโซเลท A/Li 05011 มีอัตราการรอดชีวิตผ่านระบบทางเดินอาหารจำลองสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 88.59 และ



ภาพที่ 1 การทนต่อกรดของแบคทีเรียแลคติกที่คัดแยกจากกระเพาะพัก ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ของไก่เบตงในฟอสเฟตบัพเฟอร์ พีเอช 2 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (อัตราการรอดชีวิต <50% = ไม่ทน, 50-75% = ต่ำ, 75-90% = ปานกลาง, >90% = มาก)

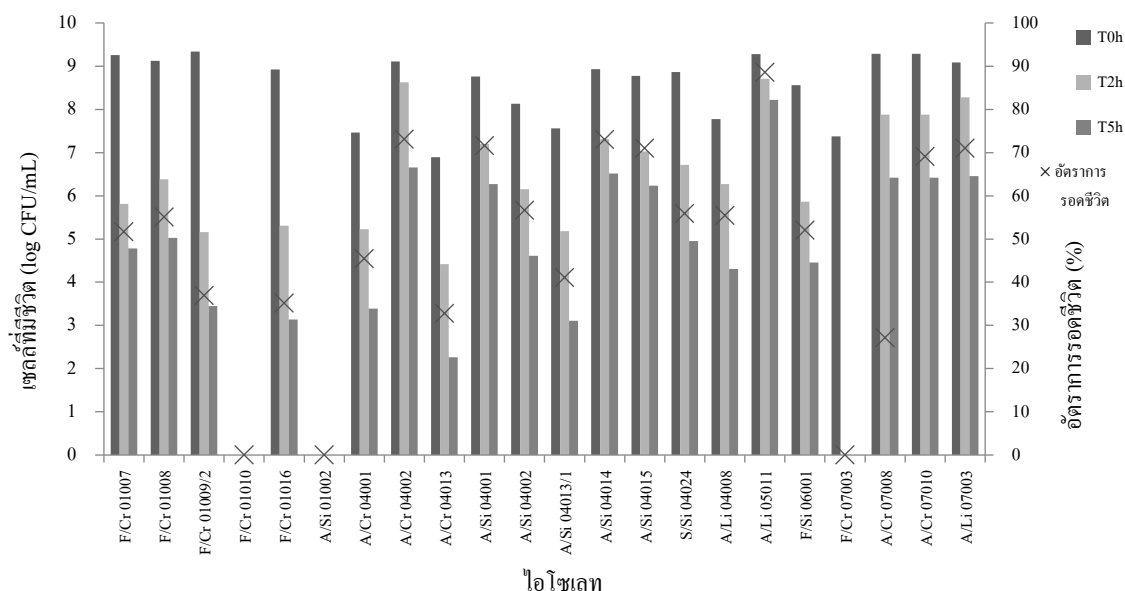
ไอโซเลทที่มีอัตราการรอดชีวิตมากกว่าร้อยละ 50 ได้แก่ F/Cr 01007, F/Cr 01008, A/Cr 04002, A/Si 04001, A/Si 04002, A/Si 04014, A/Si 04015, S/Si 04024, A/Li 04008, F/Si 06001, A/Cr 07010 และ A/Li 07003 (ภาพที่ 2) ผลการทดลองสอดคล้องกับรายงานของ Zoumpopoulou *et al.* (2008) ซึ่งพบว่าแบคทีเรียแลคติกที่คัดแยกจากทางเดินอาหารไก่มีทั้งกลุ่มที่ไม่ทนและกลุ่มที่ทนต่อสภาวะระบบกระเพาะและลำไส้จำลอง แบคทีเรียบางกลุ่มสามารถผลิตเอนไซม์ย่อยน้ำดี (bile salt hydrolase) (Knarreborg *et al.*, 2003) ทำให้น้ำดีผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปทำลายเซลล์ได้ลดลง แบคทีเรียเหล่านี้จึงทนต่อน้ำดีได้ (Erkkilä and Petäjä, 2000) มีผลให้อัตราการรอดชีวิตหลังผ่านระบบทางเดินอาหารจำลองสูง แตกต่างจากแบคทีเรียที่ไวต่อเกลือน้ำดี ซึ่งเกลือน้ำดีจะทำลายไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ โปรตีนที่เยื่อหุ้มเซลล์แยกตัวออก

ทำให้เกิดการฉีกขาดของเยื่อหุ้มเซลล์และเซลล์ตายในที่สุด (Musikasang *et al.*, 2009)

4. ความไม่ชอบน้ำของเซลล์เซอร์เฟส

การวัดความไม่ชอบน้ำของเซลล์เซอร์เฟสเป็นวิธีการทางอ้อมในการวัดความสามารถในการยึดเกาะของแบคทีเรียที่เรียกว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและยึดเหนี่ยวกับ epithelium ของทางเดินอาหารได้อย่างแข็งแรง เป็นวิธีที่ได้รับการยืนยันว่ามีประสิทธิภาพและสามารถใช้ทดแทนการยึดเกาะของแบคทีเรียที่เยื่อเมือกได้เป็นอย่างดี (Taheri *et al.*, 2009a) แบคทีเรียที่เซลล์เซอร์เฟสมีความไม่ชอบน้ำสูงหมายถึงมีความสามารถในการยึดเกาะสูง ผลการทดลองแสดง

ทิศทางของความไม่ชอบน้ำซึ่งทดสอบโดยไขมันและทูลูอินเป็นไปในทิศทางเดียวกันและสอดคล้องกับการศึกษาที่คณะผู้วิจัยได้ทำวิจัยไว้ก่อนหน้านี้ในกลุ่มของแบคทีเรียแลคติก (Kaew-on and Wanchaitanawong, 2015) แบคทีเรียที่เซลล์เซอร์เฟสมีความไม่ชอบน้ำสูงได้แก่ F/Cr 01007, A/Cr 04001, A/Cr 04013, A/Si 04001, A/Si 04002, A/Si 04013/1, A/Si 04014, A/Si 04015, S/Si 04024, A/Li 05011 และ F/Si 06001 ซึ่งแสดงความไม่ชอบน้ำ 90.07 ± 1.26 ถึง 93.59 ± 5.92 ในไขมัน และ 82.89 ± 3.37 ถึง 95.24 ± 4.89 ในทูลูอิน (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 2 อัตราการรอดชีวิตของแบคทีเรียแลคติกที่คัดแยกจากไก่เบตงในสภาวะระบบกระเพาะอาหารและลำไส้จำลองที่มีมีเปปซิน 3 มก./มล. พีเอช 2 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ต่อเนื่องด้วยเพนทรีเอดิน 1 มก./มล. และเกลื่อน้ำดีร้อยละ 1 ที่พีเอช 8 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

5. การต้านทานสารปฏิชีวนะ

ความสามารถต้านทานต่อสารปฏิชีวนะถือเป็นคุณสมบัติที่น่าสนใจอย่างหนึ่งของโปรไบโอติก เนื่องจากในการเลี้ยงสัตว์แม้ผู้ผลิตจะหลีกเลี่ยงการใช้สารปฏิชีวนะโดยหันมาใช้โปรไบโอติก หากแต่เมื่อเกิดการระบาดของโรคก็อาจมีความจำเป็นต้องใช้สาร

ปฏิชีวนะร่วมด้วย การใช้โปรไบโอติกที่ทนสารปฏิชีวนะจึงน่าจะมีผลดีต่อสัตว์ ในงานวิจัยนี้ทดสอบความสามารถในการต้านทานสารปฏิชีวนะทดสอบของแบคทีเรียแลคติกต่อสารปฏิชีวนะ 13 ชนิด พบว่าแบคทีเรียแลคติกทุกไอโซเลตต้านทานสารปฏิชีวนะ nalidixic acid และ sulfamethoxazole/trimethoprim

แบคทีเรียที่ต้านทานสารปฏิชีวนะทุกชนิดที่นำมาทดสอบคือ A/Cr 07008 ตามมาด้วย A/Si 04014, A/Cr 07003 และ A/Li 07003 ซึ่งแบคทีเรียทั้ง 3 ไอโซเลทต้านทานสารปฏิชีวนะที่นำมาทดสอบจำนวน 11 ชนิด ส่วนแบคทีเรียที่มีความไวต่อสารปฏิชีวนะมากที่สุดได้แก่ F/Cr 01010 ซึ่งไวต่อสารปฏิชีวนะจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ tetracyclin, oxytetracyclin, cephalothin, chloramphenicol, nitrofurantoin และ ampicillins (ตารางที่ 3) การต้านทานต่อสารปฏิชีวนะของแบคทีเรียมีพื้นฐานมาจาก 2 ปัจจัย คือมียีนที่ต้านทานต่อสารปฏิชีวนะและการปรับตัวในสภาวะที่มีสารปฏิชีวนะ ยีนต้านทานสารปฏิชีวนะมีผลต่อแบคทีเรียคือทำให้แบคทีเรียชนิดนั้นเจริญในสภาวะที่มีสารปฏิชีวนะนั้นๆ ได้ อย่างไรก็ตามยีนต้านทานสารปฏิชีวนะประเภทที่สามารถถ่ายทอดได้จะทำให้เกิดการถ่ายทอดยีนไปยังแบคทีเรียหรือสิ่งมีชีวิตอื่น เช่น ถ่ายทอดสู่แบคทีเรียก่อโรค ทำให้เกิดการดื้อยาของแบคทีเรีย ซึ่งจะสร้างผลเสียต่อผู้ป่วยที่ได้รับเชื้อโรคที่ต้านทานสารปฏิชีวนะ เนื่องจากก่อให้เกิดปัญหา

ในการรักษา อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการถ่ายทอดยีนที่ต้านทานปฏิชีวนะจากแบคทีเรียแลคติกไปสู่จุลินทรีย์ประจำถิ่นในทางเดินอาหารมนุษย์และแบคทีเรียก่อโรค (Mathur and Singh, 2005) การต้านทานสารปฏิชีวนะของ *Lactobacilli* ที่เกิดจากยีนที่มีอยู่เองและไม่ถ่ายทอดไปยังแบคทีเรียอื่นได้แก่ ยีนต้านทานต่อสารปฏิชีวนะ tetracycline, neomycin, kanamycin, streptomycin, gentamicin และ vancomycin (Saarela *et al.*, 2000; Danielsen and Wind, 2003; Zhao and Zhang, 2005; Klare *et al.*, 2007) พิจารณาในประเด็นของการปรับตัวในสภาวะที่มีสารปฏิชีวนะ เป็นไปได้ว่าในการเลี้ยงไก่เบตงนั้นเกษตรกรมีการใช้สารปฏิชีวนะเป็นเหตุให้พบการต้านทานสารปฏิชีวนะในแบคทีเรียแลคติกที่คัดแยกได้ซึ่งสารปฏิชีวนะนั้นอาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันจึงควรจะใช้วิธีการอื่น เช่น การใช้จุลินทรีย์โปรไบโอติกในการควบคุมโรคในไก่ เป็นต้น

ตารางที่ 2 ความไม่ชอบน้ำของเซลล์เซอร์เฟสของแบคทีเรียแลคติกที่คัดแยกได้จากทางเดินอาหารไก่เบตง

ไอโซเลท	ความไม่ชอบน้ำของเซลล์เซอร์เฟส (%)		ไอโซเลท	ความไม่ชอบน้ำของเซลล์เซอร์เฟส (%)	
	โซลิน	ทูลูอิน		โซลิน	ทูลูอิน
F/Cr 01007	90.28±0.59 ^{abc}	82.89±3.37 ^{bcd}	A/Si 04013/1	90.50±0.64 ^{abc}	87.30±2.67 ^{abc}
F/Cr 01008	58.52±2.63 ^f	47.83±5.70 ^g	A/Si 04014	90.99±5.49 ^{ab}	88.49±5.68 ^{ab}
F/Cr 01009/2	35.32±4.45 ^g	45.21±4.90 ^g	A/Si 04015	93.59±1.39 ^a	89.01±0.32 ^{ab}
F/Cr 01010	26.39±2.21 ^h	27.43±0.00 ⁱ	S/Si 04024	90.40±0.78 ^{abc}	95.24±4.89 ^a
F/Cr 01016	31.37±4.80 ^{gh}	56.17±1.14 ^f	A/Li 04008	86.39±0.94 ^{abc}	82.90±4.10 ^{bcd}
A/Si 01002	66.04±4.82 ^e	69.07±6.25 ^e	A/Li 05011	91.64±3.51 ^a	92.60±0.79 ^a
A/Cr 04001	92.36±4.05 ^a	92.38±1.96 ^a	F/Si 06001	90.89±1.52 ^{ab}	92.79±1.74 ^a
A/Cr 04002	83.97±7.20 ^{bcd}	88.66±3.80 ^{ab}	F/Cr 07003	29.88±8.68 ^{gh}	37.46±0.24 ^h
A/Cr 04013	90.07±1.26 ^{abc}	89.55±1.23 ^{ab}	A/Cr 07008	77.98±1.75 ^d	77.42±1.96 ^d
A/Si 04001	93.59±5.92 ^a	94.32±3.66 ^a	A/Cr 07010	83.20±1.87 ^{cd}	79.71±2.79 ^{cd}
A/Si 04002	91.20±1.71 ^{ab}	89.56±2.57 ^{ab}	A/Li 07003	36.09±2.75 ^g	51.11±5.35 ^{fg}

แสดงค่าเฉลี่ย ± SD ของผลการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ตัวอักษรยกกำลังที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เปรียบเทียบในคอลัมน์เดียวกัน

ตารางที่ 3 การต้านทานสารปฏิชีวนะของแบคทีเรียแลคติกที่คัดแยกได้จากทางเดินอาหารไก่เบตง

ไอโซเลต	ความต้านทานต่อสารปฏิชีวนะ												
	K 30*	TE 30	T 30	NB 5	CF 30	C 30	F/M 300	GM 10	NOR 10	AM 10	E 15	NA 30	SXT
F/Cr 01007	R	R	R	R	R	I	S	S	I	I	R	R	R
F/Cr 01008	I	I	I	R	I	S	R	S	R	S	R	R	R
F/Cr 01009/2	I	I	I	R	S	S	S	S	R	S	R	R	R
F/Cr 01010	R	S	S	I	S	S	S	R	R	S	I	R	R
F/Cr 01016	I	R	R	R	S	S	S	S	R	S	R	R	R
A/Si 01002	R	R	R	S	S	S	S	R	R	S	R	R	R
A/Cr 04001	I	R	R	R	R	I	S	S	R	I	R	R	R
A/Cr 04002	R	R	R	I	R	S	S	S	R	R	R	R	R
A/Cr 04013	S	R	R	I	R	S	S	S	R	R	R	R	R
A/Si 04001	S	R	R	I	R	S	S	S	R	R	R	R	R
A/Si 04002	S	R	R	S	R	S	S	S	R	S	R	R	R
A/Si 04013/1	S	R	R	I	I	R	S	S	R	I	R	R	R
A/Si 04014	R	R	R	R	R	R	S	S	R	R	R	R	R
A/Si 04015	R	I	R	R	R	I	S	R	I	R	R	R	R
S/Si 04024	S	R	I	I	I	I	S	S	I	R	R	R	R
A/Li 04008	R	R	R	I	R	S	S	S	R	R	R	R	R
A/Li 05011	S	R	R	S	R	S	S	S	R	R	R	R	R
F/Si 06001	S	R	R	I	I	S	S	S	R	I	R	R	R
F/Cr 07003	R	R	R	R	R	S	R	R	R	I	R	R	R
A/Cr 07008	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
A/Cr 07010	R	R	R	R	I	S	I	S	R	S	R	R	R
A/Li 07003	R	R	R	R	R	S	R	R	R	I	R	R	R

* K 30, kanamycin; TE 30, tetracycline; T 30, oxytetracycline; NB 5, novobiocin; CF 30, cephalothin; 30, chloramphenicol;

F/M 300, nitrofurantoin; GM 10, gentamycin; NOR 10, norfloxacin; AM 10, ampicillin; E 15, erythromycin; NA 30, nalidixic acid and SXT, sulfamethoxazole/trimethoprim

R, resistant; I, intermediate; S, susceptible

6. การเทียบเคียงสายพันธุ์แบคทีเรียแลคติก

แบคทีเรียแลคติกที่มีศักยภาพเพียงพอที่จะใช้เป็นโปรไบโอติกในไก่ จำนวน 7 ไอโซเลต ได้แก่ F/Cr 01007, A/Si 04002, S/Si 04024, A/Li 04008, A/Li 05011, F/Si 06001 และ A/Cr 07010 ถูกคัดเลือกนำไปทำการเทียบเคียงสายพันธุ์ โดยนำสารพันธุกรรม มาทำ PCR มี universal primers เป็น 27F (5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') และ 1492R (5'-TACGGYTACCTTGTTACGACTT-3') และวิเคราะห์ลำดับเบสของ 16S rDNA โดย blast ผลกับนิวคลีโอไทด์ใน NCBI พบว่าลำดับเบสร้อยละ 99 ของ

แบคทีเรียแลคติกเหมือนกับ *L. reuteri* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแลคติกที่พบมากในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ สัตว์ปีก สุนัข และสัตว์ชนิดอื่นๆ แม้ว่าฐานวิทย์ของโคโลนีที่พบแต่ละแห่งจะแตกต่างกัน แต่จะมีลักษณะทางสรีรวิทยาและพันธุกรรมที่คล้ายคลึงกัน จั ด อ ยู่ ใน ก ลุ่ม obligate heterofermentative enterolactobacilli มีความสามารถในการผลิตสารเมตาบอไลต์ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และปล่อยออกนอกเซลล์ได้ พบการผลิตรูเทอรินจากกระบวนการหมักกลีเซอรอล โดยรูเทอรินที่ได้มีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์หลายกลุ่ม

ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์และรา มีรายงานการคัดแยกแบคทีเรียจากลำไส้ไก่แล้วพบว่า เป็น *L. reuteri* เช่นเดียวกัน ได้แก่ งานวิจัยของ Nitisinprasert *et al.* (2000) ซึ่งคัดแยกแบคทีเรียแลคติกชนิด *L. reuteri* KUB-AC5, KUB-AC16 และ KUB-AC21 ที่มีคุณสมบัติสร้างสารยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคได้

สรุป

แบคทีเรียแลคติกที่คัดแยกได้จากทางเดินอาหารทั้งในกระเพาะพัก ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ ไก่เบตง จำนวน 145 ไอโซเลท พบว่าไอโซเลทที่มีศักยภาพเป็นโปรไบโอติกด้วยคุณสมบัติทนต่อกรด มีอัตราการรอดชีวิตสูงในทางเดินอาหารจำลอง เซลล์เชอร์เฟสมีความไม่ชอบน้ำสูง และต้านทานสารปฏิชีวนะทดสอบคือ F/Cr 01007, A/Si 04002, S/Si 04024, A/Li 04008, A/Li 05011, F/Si 06001 และ A/Cr 07010 ซึ่งผลการเทียบเคียงสายพันธุ์โดย 16S rDNA พบว่ามีความคล้ายคลึงกับ *L. reuteri* ร้อยละ 99

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- จิตติรัตน์ รัตนวิทย์ และ นงนุช เลาหะวิสุทธิ์. 2555. การคัดแยกแบคทีเรียแลคติกที่มีคุณสมบัติในการเป็นโปรไบโอติกจากระบบทางเดินอาหารปลาทะเล, น. 220-229. ใน การประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 10 (เกษตรภาคเหนือตอนล่าง) ความมั่นคงทางอาหารภายใต้ภาวะภัยพิบัติทางธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- ปิ่น จันจุฬา, วรวิทย์ วณิชชาภิชาติ, ชำรง ทองจำรูญ และ สมศักดิ์ เหล่าเจริญสุข. 2543. การเลี้ยงไก่เบตงในหมู่บ้าน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย: การศึกษาลักษณะปรากฏการเจริญเติบโต เพอร์เซ็นต์ซาก และลักษณะการผลิตไข่ของไก่เบตง. วารสารเกษตร 20(3): 278-288.
- รุจา มาลัยพวง. 2544. การผลิตโปรไบโอติกในวัตถุดิบอาหารไก่โดยเลือกใช้แบคทีเรียกรดแลคติกที่แยกจากอาหารหมักดองของไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สายใจ แก้วอ่อน, กิปรียา หะยะเจ๊ะแวง และ นูริซัน หะยิมิง. 2558. การคัดแยกแบคทีเรียแลคติกที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคและความทนต่อกรด-ด่างจากอาหารหมัก, น. 100-107. ใน งานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อพัฒนาท้องถิ่นสู่ประชาคมอาเซียน. มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, นราธิวาส.
- สุมิตรา แสงวนิชย์. 2550. ไก่เบตง: หนึ่งศักยภาพในการพัฒนาชีวิตประชาชน 3 จังหวัดชายแดนใต้. วารสารอัล-นूर บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยอิสลามยะลา 2(2): 55-63.
- หทัยรัตน์ มุสิกสังข์. 2551. การคัดเลือกแบคทีเรียแลคติกที่เป็นโปรไบโอติกในไก่และการเพิ่มการรอดชีวิตของเชื้อโดยการห่อหุ้ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Balcázar, J.L., Vendrell, D., de Blas, I., Ruiz Zarzuela, I., Muzquiz, J.L. and Girones, O. 2008. Characterization of probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from intestinal microbiota of fish. *Aquaculture* 278: 188-191.

- Bauer, A., Kirby, W., Sherris, J. and Turck, M. 1966. Antibiotic susceptibility testing by standardized single disk method. **American Journal of Clinical Pathology** 45: 493-496.
- Danielsen, M. and Wind, A. 2003. Susceptibility of *Lactobacillus* spp. to antimicrobial agents. **International Journal of Food Microbiology** 82(1): 1-11.
- Erkkilä, S. and Petäjä, E. 2000. Screening of commercial meat starter cultures at low pH and in the presence of bile salts for potential probiotic use. **Meat Science** 55: 297-300.
- Heravi, R.M., Kermanshahi, H., Sankian, M., Nassiri, M., Heravi-Moussavi, A., Rouzbeh, L. and Varasteh, R. 2011. Screening of lactobacilli bacteria isolated from gastrointestinal tract of broiler chickens for their use as probiotic. **African journal of microbiology research** 5(14): 1858-1868.
- Kaew-on, S. and Wanchaitanawong, P. 2015. Antagonistic activity against fish pathogens and *in vitro* probiotics properties of lactic acid bacteria. pp. B59-B68. **In Proceeding of International Conference On Research, Implementation and Education of Mathematics and Sciences 2015**. Yogyakarta State University, Yogyakarta.
- Klare, I., Konstabel, C., Werner, G., Huys, G., Vankerckhoven, V., Kahlmeter, G., Hildebrandt, B., Müller-Bertling, S., Witte, W. and Goossens, H. 2007. Antimicrobial susceptibilities of *Lactobacillus*, *Pediococcus* and *Lactococcus* human isolates and cultures intended for probiotic or nutritional use. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy** 59(5): 900-912.
- Klayraung, S., Okonogi, S., Sirithunyalug, J. and Viernstein, H. 2008. Comparative probiotic properties of *Lactobacillus fermentum* isolated from Thai traditional fermented foods: Miang and Nham. **Research Journal of Biological Sciences** 3(9): 1119-1124.
- Knarreborg, A., Jensen, S.K. and Engberg, M. 2003. Pancreatic lipase activity as influenced by unconjugated bile acids and pH, measured *in vitro* and *in vivo*. **Journal of Nutritional Biochemistry** 14: 259-265.
- Kobayashi, H., Suzuki, T. and Unemoto, Y. 1986. Streptococcal cytoplasmic pH is regulated by changes in amount and activity of a proton-translocating ATPase. **Journal of Biological Chemistry** 261: 627-630.
- Lertworapreecha, N., Poonsuk, K. and Chalermchakit, T. 2011. Selection of potential *Enterococcus faecium* isolated from Thai native chicken for probiotic use according to the *in vitro* properties. **Songklanakarin Journal Science and Technology** 33(1): 9-14.
- Lorca, G.L. and Valdez, G.F. 2001. A low-pH-inducible, stationary-phase acid tolerance response in *Lactobacillus acidophilus* CRL639. **Current Microbiology** 42: 21-25.
- Mathur, S. and Singh, R. 2005. Antibiotic resistance in food lactic acid bacteria-a review **International Journal of Food Microbiology** 105: 281-295.

- Matsumoto, M., Ohishi, H. and Benno, Y. 2004. H⁺-ATPase activity in *Bifidobacterium* with special reference to acid tolerance. **International Journal of Food Microbiology** 93(1): 109-113.
- Musikasang, H., Tani, A., H-kittikun, A. and Maneerat, S. 2009. Probiotic potential of lactic acid bacteria isolated from chicken gastrointestinal digestive tract. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 25(8): 1337-1345.
- Nitisinprasert, S., Nilphai, V., Bunyun, P., Sukyai, P., Doi, K. and Sonomoto, K. 2000. Screening and identification of effective thermotolerant lactic acid bacteria producing antimicrobial activity against *Escherichia coli* and *Salmonella* sp. resistant to antibiotics. **Kasetsart Journal (Natural Science)** 34: 387-400.
- Saarela, M., Mogensen, G., Fondén, R., Mättö, J., and Mattila-Sandholm, T. 2000. Probiotic bacteria: safety, functional and technological properties. **Journal of Biotechnology** 84: 197-215.
- Sahu, M., Swarnakumar, N., Sivakumar, K., Thangaradjou, T. and Kannan, L. 2008. Probiotics in aquaculture: importance and future perspectives. **Indian Journal of Microbiology** 48(3): 299-308.
- Shah, N.P. 2000. Probiotic bacteria: selective enumeration and survival in dairy foods. **Journal of Dairy Sciences** 83: 894-907.
- Sieladie, D.V., Zambou, N.F., Kaktcham, P.M., Cresci, A. and Fonteh, F. 2011. Probiotic properties of lactobacilli strains isolated from raw cow milk in the western highlands of Cameroon. **Innovative Romanian Food Biotechnology** 9: 12-28.
- Taheri, H.R., Moravej, H., Tabandeh, F., Zaghari, M., and Shivazad, M. 2009a. Screening of lactic acid bacteria toward their selection as a source of chicken probiotic. **Poultry Science** 88(8): 1586-1593.
- Taheri, H., Tabandeh, F., Moravej, H., Zaghari, M., Shivazad, M. and Shariati, P. 2009b. Potential probiotic of *Lactobacillus johnsonii* LT171 for chicken nutrition. **African Journal of Biotechnology** 8(21): 5833-5837.
- Ventura, M., Canchaya, C., van Sinderen, D., Fitzgerald, G.F. and Zink, R. 2004. *Bifidobacterium lactis* DSM 10140: identification of the atp (atpBEFHAGDC) operon and analysis of its genetic structure, characteristics, and phylogeny. **Applied and Environmental Microbiology** 70(5): 3110-3121.
- Zhao, G. and Zhang, G. 2005. Effect of protective agents, freezing temperature, rehydration media on viability of malolactic bacteria subjected to freeze-drying. **Journal of Applied Microbiology** 99(2): 333-338.
- Zoumpopoulou, G., Foligne, B., Christodoulou, K., Grangette, C., Pot, B. and Tsakalidou, E. 2008. *Lactobacillus fermentum* ACA-DC 179 displays probiotic potential *in vitro* and protects against trinitrobenzene sulfonic acid (TNBS)-induced colitis and *Salmonella* infection in murine models. **International**

Journal of Food Microbiology 121(1):
18-26.

การคัดแยกแบคทีเรียแลคติกจากลำไส้กิ้งคักเตนเพื่อพัฒนาเป็นโพรไบโอติก

Isolation of Lactic Acid Bacteria from Mantis Shrimp (*Harpiosquilla raphidea*) Intestine for Probiotic Development

มณฑกานต์ ทองสม* และ ลัญจกร จันทร์อุดม

Montakarn Thongsom* and Lanchakon Chanudom

Received: 11 May 2018, Revised: 9 August 2018, Accepted: 23 November 2018

บทคัดย่อ

จากการเก็บตัวอย่างกิ้งคักเตนที่ได้จากการทำประมงพื้นบ้านบริเวณอ่าวท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยตรวจนับแบคทีเรียทั้งหมดและคัดแยกแบคทีเรียแลคติกจากทางเดินอาหารของกิ้งคักเตน พบว่าสามารถคัดแยกแบคทีเรียแลคติกได้ 139 ไอโซเลต เมื่อนำมาทดสอบสมบัติในการเป็นโพรไบโอติก พบว่าแบคทีเรียแลคติกจำนวน 7 ไอโซเลต สามารถเจริญได้ที่ pH ต่ำ (pH 3-6) ทนต่อเกลือน้ำดี (0.15% และ 0.30%) สามารถย่อยแป้ง โปรตีน และไขมัน สามารถเจริญได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน อีกทั้งยังสามารถยับยั้งเชื้อ *Vibrio parahaemolyticus* และ *V. harveyi* ได้ เมื่อศึกษาการเจริญและการสร้างสารยับยั้งพบว่าแลคติกแอซิดแบคทีเรียมีอัตราการเจริญสูงสุดที่เวลา 33 ชั่วโมง เมื่อเลี้ยงในอาหารเหลว MRS (pH 6.0) เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียแลคติกที่คัดเลือกได้จากลำไส้กิ้งคักเตนมีสมบัติการเป็นโพรไบโอติก ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาพัฒนาเป็นโพรไบโอติกต่อไป

คำสำคัญ: กิ้งคักเตน, แบคทีเรียแลคติก, โพรไบโอติก

ABSTRACT

The collecting sample of mantis shrimp from traditional fishing area of Thasala, Nakhon Si Thammarat province were counted for total bacteria and isolated for lactic acid bacteria (LAB) from mantis shrimp intestinal. It was found that 139 isolates of LAB could be isolated. Probiotic properties showed that 7 isolates could survive at low pH (pH 3-6), tolerated to bile salt (0.15% and 0.3%), utilized starch, protein and lipid, and could grow in anaerobic condition. Moreover, it could inhibit *Vibrio parahaemolyticus* and *V. harveyi*. For the studies of growth and inhibition properties, 7 isolates LAB showed the highest growth rate at 33 hours in MRS broth (pH 6.0) incubated at 35 °C. The results revealed that isolated LAB from mantis shrimp intestine had probiotic properties. Therefore, it is possible that the isolated LAB can be developed into probiotics.

Key words: Mantis shrimp, lactic acid bacteria, probiotic

บทนำ

กิ้งกั๊กแดงจัดเป็นสัตว์ขาข้อ (Arthropod) พวกครัสเตเชียน (Subphylum Crustacea) ใน Class Malacostraca จัดอยู่ใน Order Stomatopoda มีชื่อสามัญว่า Mantis shrimp พบเฉพาะในทะเลและบริเวณน้ำกร่อยโดยเฉพาะในเขตร้อน โดยกิ้งกั๊กแดงจะอาศัยอยู่ในรูหรือตามซอกหินหรือปะการัง ซึ่งพบได้ตั้งแต่เขตน้ำขึ้นน้ำลงไปจนถึงระดับความลึก 1,500 เมตร กิ้งกั๊กแดงบางชนิดสามารถนำมาทำเป็นอาหาร ได้แก่ กิ้งกั๊กแดงในสกุล *Harpisquilla* ซึ่งเป็นกิ้งกั๊กแดงในสกุลที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ *H. rahidea* และ *H. harpax* มีราคาค่อนข้างแพง นิยมใช้ประกอบอาหารในภัตตาคาร และชนิด *Miyakea nepa* เป็นกิ้งกั๊กแดงที่พบในอ่าวไทยและทะเลอันดามัน และถูกจับได้จากการประมงวนลากในปริมาณมาก ดังนั้นควรมีการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงกิ้งกั๊กแดงเพื่อการจำหน่าย ซึ่งจะสามารถสร้างอาชีพและรายได้ให้แก่เกษตรกร มีการศึกษาพบว่าแบคทีเรียแลคติกจัดอยู่ใน Family Lactobacillaceae สามารถหมักน้ำตาลกลูโคสให้กรดแลคติก ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่ไม่ก่อให้เกิดโรค อีกทั้งยังสามารถปรับตัว

เพื่อการเจริญภายใต้สภาวะต่างๆ จึงทำให้พบเชื้อกลุ่มนี้ทั้งในคนและสัตว์โดยเฉพาะบริเวณช่องปาก ลำไส้ ช่องคลอด และยังพบได้ในแมลง พืชและผลิตภัณฑ์จากพืช รวมถึงเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ (สมบุญ, 2538) ดังนั้นจึงมีการนำแบคทีเรียแลคติกมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกหลายชนิด Fuller (1992) กล่าวว่าโพรไบโอติกคืออาหารเสริมซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและมีประโยชน์ต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตที่มันอาศัยอยู่ โดยช่วยปรับความสมดุลของเชื้อจุลินทรีย์ในลำไส้ ดังนั้นการใช้จุลินทรีย์โพรไบโอติกจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์บกและสัตว์น้ำ โดยช่วยเพิ่มน้ำหนักและกระตุ้นภูมิคุ้มกัน ซึ่งโพรไบโอติกที่นำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต้องสามารถทนต่อกรดและเกลือได้ดี สามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตในลำไส้ สามารถต่อต้านแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค อีกทั้งยังทนทานต่อยาปฏิชีวนะ ซึ่งการใช้โพรไบโอติกในสัตว์น้ำจะช่วยให้เกิดสมดุลในระบบทางเดินอาหาร ช่วยย่อยสารอาหาร ยับยั้งเชื้อก่อโรค กระตุ้นภูมิคุ้มกันให้กับสัตว์น้ำ และช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกแบคทีเรียแลคติกที่มีสมบัติการเป็นโปรไบโอติกจากลำไส้ของกิ้งกักเตงเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเพาะเลี้ยงกิ้งกักเตง และสัตว์น้ำอื่นๆ ต่อไป ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของกิ้งกักเตง พัฒนาองค์ความรู้และภูมิปัญญาท้องถิ่น และพัฒนาเศรษฐกิจของชุมชน อันจะนำไปสู่การแข่งขันและพึ่งพาตนเองต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างกิ้งกักเตงจากการทำประมงพื้นบ้านจำนวน 3 ครั้ง (30 ตัว) ในบริเวณอ่าวท่าศาลา อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราชจำนวน 4 จุด ได้แก่ หมู่ที่ 4 บ้านท่าสูง หมู่ที่ 5 บ้านในถุ้ง หมู่ที่ 6 บ้านสระบัว และหมู่ที่ 7 บ้านหน้าทับ

2. การตรวจนับจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด แบคทีเรียแลคติก และการทดสอบสมบัติการเป็นโปรไบโอติก

นำลำไส้ของกิ้งกักเตงมาเจือจางด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.85 จากนั้นเกลี่ยลงบนผิวหน้าอาหาร Plate count agar (PCA) ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 สำหรับตรวจนับจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด และคัดแยกแบคทีเรียแลคติกโดยการ pour plate ด้วยอาหารแข็ง de Man Rogosa and Sharpe (MRS) ที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 1 และโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48-72 ชั่วโมง สุ่มเก็บตัวอย่างโคโลนีของแบคทีเรียแลคติกมาทดสอบการติดสีแกรม และการสร้างเอนไซม์อะไมเลส

3. การคัดเลือกแบคทีเรียแลคติกที่มีสมบัติการเป็นโปรไบโอติก

3.1 การทนต่อ pH ต่ำ

ถ่ายเชื้อแบคทีเรียแลคติกลงในอาหาร MRS broth (pH 3-6) นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตการเจริญของเชื้อโดยดูจากความขุ่น

3.2 การทนต่อเกลือน้ำดี

ถ่ายเชื้อแบคทีเรียแลคติกลงในอาหาร MRS broth ที่เติมเกลือน้ำดีร้อยละ 0.15, 0.30 และ 0.45 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตการเจริญของเชื้อโดยดูจากความขุ่น

3.3 การย่อยโปรตีน

เจียเชื้อลงบนอาหาร Skim milk agar นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตบริเวณใสรอบโคโลนี (clear zone) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการย่อยโปรตีน

3.4 การย่อยแป้ง

เจียเชื้อลงบนอาหาร Starch agar นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นหยดสารละลายไอโอดีนให้ท่วมผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ สังเกตบริเวณใสรอบโคโลนี ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการย่อยแป้ง

3.5 การย่อยไขมัน

เจียเชื้อลงบนอาหาร Tributyrine agar นำไปบ่มเชื้ออุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตบริเวณใสรอบโคโลนี ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการสร้างเอนไซม์ไลเปส

3.6 ความสามารถในการเจริญในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน

เจียเชื้อลงบนอาหาร MRS agar นำไปบ่มใน anaerobic jar ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตการเจริญของเชื้อ

4. การยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์โดยวิธี Agar spot (Spelhaug and Harlander, 1989)

เจือจางเชื้อแบคทีเรียแลคติกให้มีปริมาณเซลล์ 10^8 CFU/ml จากนั้น ดูดเชื้อ ปริมาตร 5 ไมโครลิตร หยดลงบนผิวหน้าอาหาร MRS agar นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

แล้วเททับผิวหน้าอาหารด้วย BHI soft agar ซึ่งมีเชื้อแบคทีเรียอินดิเคเตอร์ (*Vibrio parahaemolyticus* และ *V. Harveyi*) ปริมาณเซลล์ 10^6 CFU/ml นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดขนาด clear zone ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

5. การยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์โดยวิธี well diffusion (Spelhaug and Harlander, 1989)

เจือจางเชื้อแบคทีเรียแลคติกเช่นเดียวกับวิธี agar spot จากนั้นถ่ายเชื้อร้อยละ 1 ลงในอาหาร MRS broth นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge (Cryste separation technology, Korea) ความเร็วรอบ 5,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 °C นาน 20 นาที จากนั้นดูดส่วนใสปริมาตร 100 μ l หยดลงในหลุมบนอาหาร Nutrient Agar เข้มข้นร้อยละ 1 ซึ่งผ่านการเกลี่ยด้วยแบคทีเรียอินดิเคเตอร์ที่มีปริมาณเซลล์ 10^6 CFU/ml นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดขนาด clear zone ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

6. การเจริญเติบโตของแบคทีเรียแลคติก

เตรียม inoculums ของแบคทีเรียแลคติกในอาหาร MRS broth ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ที่มีโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เจือจางจนได้ค่า optical density (O.D.) เท่ากับ 0.5 วัดความขุ่นด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Thermo scientific, Genesys10S UV-Vis Spectrophotometer, USA) ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร จากนั้นดูดเชื้อร้อยละ 1 ลงในอาหารเหลว MRS บ่มใน shaker incubator (Cryste puricell shaking, Korea) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยใช้ความเร็วรอบ 150 rpm ตรวจวัดความขุ่นที่เวลา 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 33, 38 และ 47 ชั่วโมง

7. สภาพที่เหมาะสมต่อการสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์

7.1 ผลของ pH ต่อการสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์

เตรียมเชื้อแบคทีเรียแลคติกเช่นเดียวกับวิธี Agar spot โดยถ่ายเชื้อร้อยละ 1 ลงในอาหาร MRS broth ที่มีโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 ปรับ pH ให้ได้ 5.0, 5.5 และ 6.0 จากนั้นนำไปบ่มใน shaker incubator เช่นเดียวกับข้อ 6 วัดความขุ่นที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 33 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่แบคทีเรียแลคติกมีการเจริญสูงสุด จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเซลล์ แล้วนำส่วนใสไปทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์โดยวิธี well diffusion

7.2 ผลของอุณหภูมิต่อการสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์

เตรียมเชื้อแบคทีเรียแลคติกเช่นเดียวกับวิธี Agar spot จากนั้นถ่ายเชื้อร้อยละ 1 ลงในอาหาร MRS broth ที่มีโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 โดยเลือก pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญและการสร้างสารยับยั้งที่คัดเลือกได้จากข้อ 7.1 บ่มใน shaker incubator ที่ความเร็วรอบ 150 rpm อุณหภูมิ 30 และ 35 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บตัวอย่างและทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์เช่นเดียวกับข้อ 7.1

8. การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทุกการทดลองทำการทดลอง 3 ซ้ำ และแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปของค่าเฉลี่ย $\pm$ ความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (Mean $\pm$ S.E.M.) และวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS ($p < 0.05$)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียแลคติกในทางเดินอาหารกิ้งคัตเตน

กิ้งคัตเตนมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด และแบคทีเรียแลคติกอยู่ในช่วง 1.85×10^2 - 6.95×10^6 CFU/g และ 1.14×10^2 - 7.76×10^5 CFU/g ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จากการคัดแยกแบคทีเรียแลคติกพบว่ามีทั้งหมด 139 ไอโซเลต โดยแบคทีเรียแลคติกมีโคโลนีเป็นรูปกระสวยขนาดประมาณ 0.1-0.3 มิลลิเมตร และมีวงใสรอบๆ โคโลนี ซึ่งเกิดจากการสร้างกรดของแบคทีเรียแลคติกที่สามารถย่อยแคลเซียมคาร์บอเนต ไม่สามารถสร้างเอนไซม์อะเลสซัยมดิสแกรมบวก โดยเซลล์มีรูปร่างกลม จัดเรียงตัวแบบเดี่ยวๆ และแบบคู่

ปกติในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ทุกชนิดมีจุลินทรีย์ในปริมาณหนึ่ง ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายและช่วยเพิ่มการดูดซึมของอาหาร จากการศึกษาของ Gournier-Chateau (1994) พบว่าแบคทีเรียแกรมบวกในกลุ่มของ facultative anaerobe เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในลำไส้ของคนและสัตว์ Conway (1997) พบว่าแบคทีเรียแลคติกเป็นจุลินทรีย์ประจำถิ่นสามารถเจริญได้ในบริเวณทางเดินอาหารของสัตว์บก Dempsey and Rosson (1989) ตรวจพบว่าแบคทีเรียทั้งหมดที่แยกได้จากทางเดินอาหารกิ้งกูด้าสีน้ำตาลมีจำนวน 7.5×10^6 - 2.6×10^7 CFU/g

ตารางที่ 1 จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดและแบคทีเรียแลคติกที่คัดแยกได้จากลำไส้กิ้งคัตเตน

ตัวที่	แบคทีเรียทั้งหมด (CFU/g)	แบคทีเรียแลคติก (CFU/g)	ตัวที่	แบคทีเรียทั้งหมด (CFU/g)	แบคทีเรียแลคติก (CFU/g)
1	2.88×10^5	<30	16	2.1×10^6	8.0×10^2
2	1.08×10^5	6.5×10^5	17	2.15×10^4	1.5×10^3
3	4.48×10^3	6.5×10^5	18	2.85×10^4	1.14×10^2
4	3.20×10^5	4×10^5	19	6.6×10^4	1.63×10^3
5	4.67×10^3	8.0×10^2	20	6.95×10^6	>300
6	2.99×10^5	9.12×10^4	21	7.5×10^4	1.10×10^5
7	4.25×10^4	3.26×10^5	22	>300	4.0×10^3
8	6.02×10^4	7.76×10^5	23	4.00×10^5	4.2×10^2
9	3.85×10^6	2.57×10^5	24	8.0×10^5	9.2×10^2
10	4.5×10^3	1.36×10^5	25	2.0×10^3	<30
11	>300	2.0×10^2	26	9.00×10^3	1.19×10^3
12	49×10^3	0.51×10^5	27	1.08×10^3	1.19×10^3
13	2.16×10^5	7.22×10^5	28	2.55×10^6	3.0×10^3
14	3.35×10^4	8.30×10^2	29	2.9×10^3	7.5×10^2
15	1.85×10^2	1.75×10^2	30	6.95×10^5	1.54×10^4

* นับจำนวนโคโลนีแบคทีเรียแลคติกที่อยู่ในช่วง 30-300 โคโลนี

ซึ่งใกล้เคียงกับ Yuthachit *et al.* (1990) ที่พบว่าแบคทีเรียทั้งหมดที่แยกได้จากทางเดินอาหารกึ่งกลาดำมีจำนวน 7.5×10^6 - 1.3×10^7 CFU/g ในขณะที่มณฑกานต์ (2547) พบว่าในทางเดินอาหารของกึ่งกลาดำมีแบคทีเรียแลคติกอยู่ในช่วง <20 - 1.2×10^5 CFU/g ซึ่งมากกว่าที่ตรวจพบในทางเดินอาหารปลา Atlantic Salmon ที่มีปริมาณแบคทีเรียแลคติก 2×10^3 CFU/g (Ringo and Gastesoupe, 1998)

2. สมบัติการเป็นโพรไบโอติกของแบคทีเรียแลคติก

จากการทดสอบการเป็นโพรไบโอติกพบว่าแบคทีเรียแลคติกมีสมบัติในการเป็นโพรไบโอติก โดยมี 139 ไอโซเลต ที่สามารถทนต่อ pH 6 และสามารถเจริญได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แต่ไม่สามารถย่อยแป้งได้ ในขณะที่แบคทีเรียแลคติกจำนวน 108 ไอโซเลต สามารถทนต่อ pH 4 และ pH 5 มีเพียงแบคทีเรียแลคติกจำนวน 3 ไอโซเลตเท่านั้นที่สามารถทนต่อ pH 3 แบคทีเรียแลคติกจำนวน 43 ไอโซเลต สามารถย่อยโปรตีน ในขณะที่ 66 ไอโซเลตสามารถย่อยไขมัน (ตารางที่ 2) ซึ่งความสามารถในการทนต่อน้ำย่อยเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของแบคทีเรียโพรไบโอติก (Succi *et al.*, 2005) ทั้งนี้เนื่องจากในกระเพาะอาหารของคนและสัตว์บางชนิด

เช่น ไก่ สุกร และวัว มีการหลั่งกรดไฮโดรคลอริกทำให้ pH ในระบบทางเดินอาหารลดลง ส่งผลให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถทนและเจริญเติบโตได้ (Jin *et al.*, 1996) ซึ่งเมื่อบริโภคอาหารเข้าไปจะทำให้ความเป็นกรดลดลงและมีสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกันไป จากการศึกษาของ Conway (1997) พบว่า *Lactobacillus acidophilus* สามารถทนสภาวะกรดได้ดีกว่าแบคทีเรียแลคติกสายพันธุ์อื่น

แบคทีเรียแลคติกที่แยกได้จากกึ่งดักแด้นสามารถย่อยไขมันและโปรตีน แต่ไม่สามารถย่อยแป้งซึ่งแสดงถึงแบคทีเรียแลคติกมีส่วนช่วยในการทำงานของระบบการย่อยอาหารของกึ่งดักแด้น ทำให้การดูดซึมสารอาหารเกิดได้เร็วขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Austin *et al.* (1995) ที่พบว่าแบคทีเรียแลคติกสามารถสร้างเอนไซม์ย่อยแป้งโปรตีน และไขมัน จึงช่วยส่งเสริมการเจริญของสัตว์น้ำ Duangchitchareon (2006) รายงานว่าแบคทีเรียแลคติก 44 สายพันธุ์ที่แยกได้จากผัสดองในประเทศไทย มีเพียง 32 สายพันธุ์ที่สามารถย่อยได้ทั้งโปรตีนและแป้ง ในขณะที่แบคทีเรียแลคติกสายพันธุ์ทางการค้าสามารถย่อยได้เฉพาะ โปรตีน

ตารางที่ 2 สมบัติการเป็นโพรไบโอติกของแบคทีเรียแลคติก

Isolate	การทนต่อ pH				การทนต่อเกลือ		การย่อย			การเจริญในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน
	pH 3	pH 4	pH 5	pH 6	0.15 %	0.3 %	โปรตีน	แป้ง	ไขมัน	
จำนวน	3	106	108	139	11	1	43	0	66	139

3. การยับยั้งแบคทีเรียแลคติกโดยวิธี Agar spot

จากการทดลองพบว่าแบคทีเรียแลคติกจำนวน 28 ไอโซเลต ที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์ได้ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ

ความเชื่อมั่นร้อยละ 0.05 (ตารางที่ 3) โดยแบคทีเรียแลคติกจำนวน 11 ไอโซเลต สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียอินดิเคเตอร์ทั้ง 2 สายพันธุ์ ในขณะที่แบคทีเรียแลคติกจำนวน 15 ไอโซเลต สามารถยับยั้ง

การเจริญของ *V. parahaemolyticus* แต่ไม่ยับยั้งการเจริญของ *V. harveyi* และมีเพียง 1 ไอโซเลตที่สามารถยับยั้งการเจริญของ *V. harveyi* แต่ไม่ยับยั้ง

การเจริญของ *V. parahaemolyticus* ในขณะที่มีเพียง 1 ไอโซเลต ที่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียอินดิเคเตอร์ทั้ง 2 สายพันธุ์

ตารางที่ 3 การยับยั้ง *V. parahaemolyticus* และ *V. harveyi* ของแบคทีเรียแลกติกโดยวิธีการ Agar spot

Isolate number	Inhibition zone (cm)		Isolate number	Inhibition zone (cm)	
	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. harveyi</i>		<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. harveyi</i>
H14	0.85±0.01 ^{d,e}	-	H79	1.40±0.01 ⁿ	1.06±0.03 ^c
H20	1.12±0.015 ^{i,j}	1.32±0.02 ^c	H80	1.17±0.01 ^k	1.41±0.07 ^f
H21	-	-	H87	1.34±0.01 ^m	1.23±0.07 ^{d,e}
H22	0.67±0.012 ^b	-	H121	0.86±0.01 ^{d,e,f}	-
H23	1.15±0.035 ^k	0.94±0.06 ^b	H122	0.88±0.02 ^{e,f}	-
H36	0.82±0.01 ^{c,d}	-	H124	0.95±0.01 ^{g,h}	-
H37	1.28±0.08 ^l	1.22±0.08 ^d	H126	0.96±0.02 ^h	-
H40	0.94±0.03 ^{f,g}	-	H127	-	1.12±0.03 ^c
H43	0.87±0.06 ^{e,f}	-	H130	1.06±0.02 ⁱ	-
H47	0.97±0.05 ^{g,h}	1.28±0.05 ^{d,e}	H131	1.35±0.02 ^m	-
H49	1.25±0.03 ^l	1.24±0.10 ^d	H132	1.24±0.05 ^l	-
H50	1.31±0.01 ^m	1.29±0.07 ^{d,e}	H133	0.78±0.02 ^c	-
H52	1.16±0.06 ^{j,k}	1.26±0.04 ^{d,e}	H134	0.83±0.01 ^{c,d,e}	-
H60	1.17±0.02 ^k	1.21±0.09 ^d	H138	0.95±0.05 ^{g,h}	-

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงการมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

แสดงค่า mean ± SD ของวงใสในการยับยั้ง

- หมายถึง ไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์ได้

4. ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียแลกติกโดยวิธี well diffusion

V. harveyi และ *V. Parahaemolyticus* เป็นแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคติดเชื้อในกุ้ง โดยธรรมชาติแล้ว *Vibrio* sp. เป็นจุลินทรีย์ที่พบตามตัวกุ้ง เหงือก และทางเดินอาหาร แต่จะก่อให้เกิดโรครกับกุ้งเมื่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ไม่เหมาะสม เช่น ขาดสารอาหาร กุ้งเกิดความเครียดและอ่อนแอ โดยอาจ

แสดงอาการร่วมกับไวรัสชนิดอื่น ทำให้กุ้งกินอาหารน้อยลง ลำไส้มีสีขาว ตัวหลวม ตับและตับอ่อนผิดปกติ สีเนื้อขุ่น และมีตะกอนเกาะตามผิว โดยกุ้งจะขึ้นมาเกาะตามขอบบ่อ เมื่อนำตับและตับอ่อนมาแยกเชื้อจะพบเชื้อ *Vibrio* sp. เป็นจำนวนมาก ซึ่งหากปล่อยไว้นาน จะเกิดอาการรุนแรงและรักษาได้ยาก ก่อให้เกิดความเสียหายต่อการเพาะเลี้ยงกุ้งเป็นอย่างมาก จากการทดลองพบว่าแบคทีเรียแลกติกซึ่งมี

ความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 0.05 และสามารถยับยั้งแบคทีเรีย อินดิเคเตอร์ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีจำนวน 7 ไอโซเลต ได้แก่ H20, H37, H49, H50, H52, H79 และ H80 โดยมีแบคทีเรีย แลกติกเพียง 2 ไอโซเลต ที่สามารถยับยั้ง *V. parahaemolyticus* แต่ไม่ยับยั้ง *V. harveyi* (ตารางที่ 4)

ซึ่งความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์แตกต่างกันตามแหล่งที่ตรวจพบแบคทีเรียแลกติก โดยคนูวัด และคณะ (2551) รายงานว่าสามารถคัดแยกเชื้อแบคทีเรียจากปลาเพาะได้ทั้งหมด 37 ไอโซเลต ซึ่งมีคุณสมบัติในการ

ตารางที่ 4 การยับยั้ง *V. harveyi* และ *V. parahaemolyticus* ของแบคทีเรียแลกติกโดยวิธีการ Well diffusion

Isolate number	Inhibition zone (cm)	
	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. harveyi</i>
H20	1.31±0.06 ^{c,d}	1.23±0.18 ^c
H37	1.11±0.05 ^a	1.09±0.13 ^{b,c}
H49	1.16±0.05 ^{a,b}	1.05±0.07 ^b
H50	1.16±0.09 ^{a,b}	1.16±0.01 ^{b,c}
H52	1.27±0.10 ^{a,b,c,d}	1.16±0.04 ^{b,c}
H60	1.17±0.08 ^{a,b,c}	-
H79	1.41±0.08 ^d	1.09±0.03 ^{b,c}
H80	1.22±0.02 ^{a,b,c,d}	1.16±0.08 ^{b,c}
H87	1.34±0.22 ^{b,c,d}	-

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงการมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

แสดงค่า mean ± SD ของวงใสในการยับยั้ง,

- หมายถึง ไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์ได้

ยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรค ได้แก่ *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* และ *Aeromonas hydrophila* ทนต่อสภาพความเป็นกรดสูงที่ pH 3 ทนต่อเกลือ น้ำดีเข้มข้นร้อยละ 0.3 อีกทั้งยังสามารถต้านทานต่อสารปฏิชีวนะ นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียจำนวน 36 ไอโซเลต ที่สามารถทนต่ออุณหภูมิ สูงที่ 45 องศาเซลเซียส จากการศึกษาของ คมแข และคณะ (2553) พบว่าแบคทีเรียกรดแลกติกไอโซเลต Sb2 ซึ่งแยก

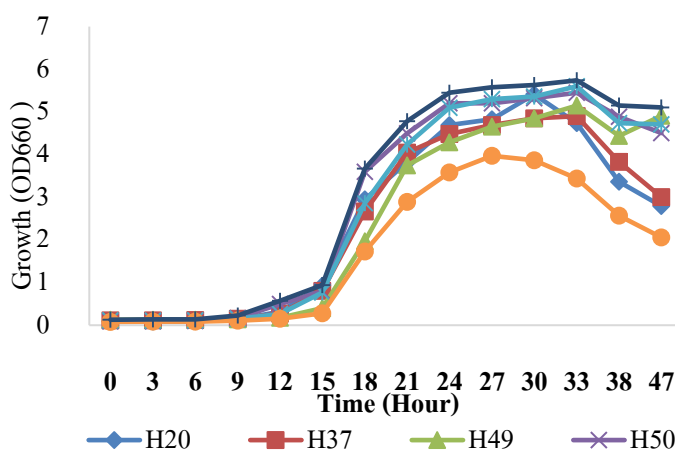
ได้จากระบบทางเดินอาหารของปลากะพง สามารถสร้างสารแบคทีเรียโอซินที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์แกรมบวกและแกรมลบ ในขณะที่วลัยพร และคณะ (2544) พบว่า *Lactobacillus plantarum* และ *Lactobacillus casei* ที่คัดแยกได้จากลำไส้สัตว์น้ำจืด ไล่ไก่ มูลสุกร มูลวัว ผลิตภัณฑ์นม และผลิตภัณฑ์หมักดอง สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคในกุ้งก้ามกราม ได้แก่ *Aeromonas sobria* และ *Vibrio alginolyticus*

การที่แบคทีเรียแลกติกสามารถยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์ได้นั้น อาจเนื่องจากแบคทีเรียแลกติกสามารถเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสที่เป็นส่วนประกอบในอาหาร MRS ไปเป็นกรดแลกติก อีกทั้งการบ่มเชื้อในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนทำให้แบคทีเรียแลกติกสามารถสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังนั้นจึงสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้เช่นเดียวกับที่มีรายงานการยับยั้งจุลินทรีย์ของแบคทีเรียแลกติก (มลิวรรณ, 2542) นอกจากนี้แบคทีเรียแลกติกยังสามารถผลิต extracellular product ได้แก่ กรดแลกติก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไดอะซีทิล และแบคทีเรียโอซิน ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และแบคทีเรียก่อโรคหลายชนิด มีรายงานว่าแบคทีเรียโอซินสามารถยับยั้งแบคทีเรีย

ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ ซึ่งส่วนใหญ่เชื้อก่อโรคในสัตว์น้ำจะเป็นแบคทีเรียแกรมลบ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำแบคทีเรียแลกติกมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Verschuere *et al.*, 2000)

5. การเจริญของแลกติกแอซิดแบคทีเรีย

จากการศึกษาการเจริญของแบคทีเรียแลกติกที่มีสมบัติในการเป็นโพรไบโอติกจำนวน 7 ไอโซเลต (H20, H37, H49, H50, H52, H79 และ H80) ที่ระยะเวลาต่างๆ คือ 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 38 และ 47 ชั่วโมง พบว่าแบคทีเรียแลกติกไอโซเลต H 20 สามารถเจริญได้สูงสุดที่เวลา 30 ชั่วโมง ในขณะที่แบคทีเรียแลกติกไอโซเลต H37, H49, H50, H52, H79 และ H80 สามารถเจริญเติบโตได้สูงสุดที่เวลา 33 ชั่วโมง (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตของแบคทีเรียแลกติก

6. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างสารยับยั้งของแบคทีเรียแลกติกที่มีสมบัติการเป็นโพรไบโอติก

6.1 ผลของ pH ต่อการเจริญและการสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์

โดยทั่วไปแบคทีเรียแลกติกสามารถเจริญได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่ค่อนข้างกว้าง (pH 4-7.5) แต่ในสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่

เหมาะสมทุกๆ ไป คือ pH 6-6.5 แต่เนื่องจากแบคทีเรียแลกติกสามารถใช้น้ำตาลและสร้างเป็นกรดแลกติกมีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่างของอาหารลดลงจึงมีผลทำให้เชื้อเจริญได้ช้าลง จากการศึกษาผลของ pH ต่อการสร้างสารยับยั้งของแบคทีเรียแลกติกจำนวน 7 ไอโซเลต พบว่าแบคทีเรียแลกติกสามารถสร้างสารยับยั้งเชื้ออินดิเคเตอร์ได้ทั้ง 2 สายพันธุ์ คือ

V. harveyi และ *V. parahaemolyticus* ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 0.05 โดยแบคทีเรียแลคติกสามารถสร้างสารยับยั้ง

แบคทีเรียอินดิเคเตอร์ได้ดีที่สุดเมื่อเพาะเลี้ยงที่ pH 6.0 (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ผลของ pH และอุณหภูมิต่อการสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์โดยวิธีการ well diffusion

Isolate number	Antibacterial activity by agar well diffusion (cm)					
	pH 5.0		pH 5.5		pH 6.0	
	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. harveyi</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. harveyi</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. harveyi</i>
H20	1.29±0.02 ^c	1.4±0.07 ^d	1.33±0.03 ^b	1.31±0.03 ^a	1.36±0.02 ^{a,b}	1.41±0.02 ^{a,b}
H37	1.13±0.03 ^a	1.05±0.03 ^a	1.25±0.03 ^{a,b}	1.3±0.03 ^a	1.39±0.04 ^{b,c,d}	1.34±0.02 ^a
H49	1.16±0.01 ^a	1.13±0.05 ^{a,b}	1.28±0.05 ^{a,b}	1.3±0.04 ^a	1.30±0.06 ^a	1.42±0.03 ^b
H50	1.19±0.02 ^{a,b}	1.15±0.05 ^a	1.29±0.03 ^a	1.32±0.03 ^a	1.41±0.02 ^{c,d}	1.36±0.04 ^a
H52	1.23±0.04 ^{b,c}	1.25±0.02 ^{b,c}	1.30±0.06 ^b	1.28±0.02 ^a	1.34±0.03 ^{a,b,c}	1.38±0.04 ^{a,b}
H79	1.33±0.04 ^d	1.32±0.09 ^c	1.34±0.04 ^{a,b}	1.35±0.04 ^a	1.36±0.03 ^{a,b,c,d}	1.39±0.01 ^a
H80	1.22±0.05 ^c	1.16±0.04 ^a	1.27±0.04 ^{a,b}	1.3±0.04 ^a	1.43±0.03 ^d	1.38±0.02 ^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงการมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

แสดงค่า mean ± SD ของวงใสในการยับยั้ง

6.2 ผลของอุณหภูมิต่อการสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์

ในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อให้ได้ปริมาณเชื้อที่มาก และสามารถผลิตสารยับยั้งจุลินทรีย์ได้ในปริมาณสูงจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์สายพันธุ์นั้นๆ จากการทดลองพบว่าแบคทีเรียแลคติกจำนวน 7 ไอโซเลตสามารถสร้างสารยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียอินดิเคเตอร์ได้ทั้ง 2 สายพันธุ์ คือ *V. harveyi* และ *V. Parahaemolyticus* มีความแตกต่างกันทางสถิติที่

ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 0.05 ซึ่งผลการยับยั้งดีที่สุดเมื่อเพาะเลี้ยงแบคทีเรียแลคติกที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 6) โดยแบคทีเรียแลคติกมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดที่ pH 6.0 ที่ระยะเวลา 33 ชั่วโมง

การนำจุลินทรีย์มาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์แต่ละชนิด ควรเลือกใช้จุลินทรีย์ประจำถิ่น (normal flora) ของสัตว์ชนิดนั้นๆ เนื่องจากมีลักษณะเป็นโพรไบโอติกที่ดี โดยสามารถอยู่รอดและทำงานได้ในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ ช่วย

ส่งเสริมการเติบโต ช่วยต้านทานการเกิดโรค และไม่
เป็นสายพันธุ์ที่ก่อให้เกิดโรค (Fuller, 1992) จากการ
ทดลองพบว่าแบคทีเรียแลคติกที่คัดเลือกได้มีสมบัติ
ในการเป็นโพรไบโอติก ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่
จะนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ช่วยส่งเสริมการ
เพาะเลี้ยงกุ้งดักแด้และสัตว์น้ำอื่นๆ ซึ่งจะช่วยแก้ไข

ปัญหาการขาดแคลนกุ้งดักแด้แทนได้ การศึกษาครั้งนี้
เป็นการศึกษาในเบื้องต้น ดังนั้นจึงควรศึกษาเพิ่มเติม
ถึงสถานะที่เหมาะสมในการเจริญ และการเก็บรักษา
โพรไบโอติกแบคทีเรียให้มีอัตราการรอดชีวิตอยู่ใน
ระดับที่ทนต่อสถานะจำลองในกระเพาะอาหารและ
ลำไส้เล็กของกุ้งดักแด้และสัตว์น้ำอื่นๆ ซึ่งต้องทำใน
ระดับ *in situ* และ *in vivo* ต่อไป

ตารางที่ 6 ผลของอุณหภูมิต่อการสร้างสารยับยั้งแบคทีเรียอินดิเคเตอร์โดยวิธีการ well diffusion

Isolate number	Antibacterial activity by agar well diffusion (cm)			
	Temperature 30 °C		Temperature 35 °C	
	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. harveyi</i>	<i>V. parahaemolyticus</i>	<i>V. harveyi</i>
H20	1.25±0.03 ^c	1.14±0.05 ^{b,c}	1.39±0.01 ^b	1.36±0.01 ^b
H37	1.23±0.02 ^{a,b,c}	1.05±0.03 ^a	1.33±0.08 ^a	1.34±0.02 ^b
H49	1.16±0.01 ^a	1.13±0.04 ^{b,c}	1.38±0.11 ^a	1.30±0.03 ^b
H50	1.19±0.02 ^{a,b}	1.15±0.05 ^{a,b}	1.34±0.08 ^a	1.32±0.02 ^b
H52	1.23±0.04 ^{b,c}	1.25±0.02 ^d	1.3±0.05 ^{a,b}	1.28±0.02 ^a
H79	1.23±0.04 ^c	1.22±0.02 ^{c,d}	1.34±0.04 ^{a,b}	1.35±0.03 ^b
H80	1.22±0.03 ^c	1.16±0.45 ^{b,c}	1.38±0.06 ^{a,b}	1.36±0.01 ^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงถึงการมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p < 0.05$)

แสดงค่า mean ± SD ของวงใสในการยับยั้ง

สรุป

แบคทีเรียแลคติกจำนวน 139 ไอโซเลต
ที่แยกได้จากทางเดินอาหารของกุ้งดักแด้มีสมบัติ
การเป็นโพรไบโอติก โดยสามารถเจริญและสร้าง
สารยับยั้ง *V. harveyi* และ *V. Parahaemolyticus* ได้ที่
เวลา 33 ชั่วโมง เมื่อเพาะเลี้ยงที่ pH 6.0 และอุณหภูมิ
35 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการ

นำแบคทีเรียแลคติกไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่ให้
ทุนอุดหนุนวิจัย

ขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่สนับสนุน
สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- คมแห พิลาสมบัติ, จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และ อติสร
เสวตวิวัฒน์. 2553. สมบัติการเป็นโปรไบโอ
ติกของแบคทีเรียกรดแลกติกที่ผลิตแบคทีโอ
ซินซึ่งคัดแยกได้จากระบบทางเดินอาหารของ
ปลากะพง. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**
28(3): 1-8.
- คณูวัต เพ็งอ้น, ภัทชนาวรรณ์ พรหมนัม และ สุชัยญา
อรุณรุ่งโรจน์. 2551. การแยกและคัดเลือก
โปรไบโอติกแบคทีเรียเพื่อใช้ในปลา. ใน
บทคัดย่อการประชุมทางวิชาการ ประจำปี
2551. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- มลิวรรณ ส่งเสริม. 2542. การยับยั้ง *E. coli* O157:
H7 และ *Listeria monocytogenes* ของ
แบคทีเรียแลกติกที่แยกได้จากนมและ
ผลิตภัณฑ์นม. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,
สงขลา.
- มณฑกานต์ ทองสม. 2547. แบคทีเรียแลกติกใน
ระบบทางเดินอาหารของกุ้งกุลาดำ.
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต,
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วลัยพร ทิมนุญธรรม, มังกร โรจน์ประภากร, สุริยา
ศาสนรักกิจ, เสรี เจริญกิจมงคล และ
เปรมสุดา สมาน. 2544. การคัดเลือก
จุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นโปรไบโอติกใน
การเลี้ยงกุ้งก้ามกราม, น. 370-377. ใน **การ**
ประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ครั้งที่ 39 (สาขาอุตสาหกรรม

เกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

สมบุรณ์ ธนาสุวัฒน์. 2538. เอกสารประกอบการ
ฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องการจำแนกและ
การใช้ประโยชน์จากแบคทีเรียผลิตกรด
อะซิติกและกรดแลกติก. ภาควิชาจุลชีววิทยา
คณะเกษตรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
กรุงเทพฯ.

Austin, B., Stuckey, L.F., Robertson, P.A., Efendi, I.
and Griffith, D. R. W. 1995. A probiotic
strain of *Vibrio alginolyticus* effective in
reducing diseases cause by *Aeromonas*
salmonicida, *Vibrio anguillarum* and
Vibrioordalii. **Journal of Fish Diseases** 18:
93-96.

Conway, P. L. 1997. Development of intestinal
microbiota, pp 3-38. In Mackie, R. I., White,
B. A. and Isaacson, R. E. , eds.
Gastrointestinal microbes and Host
Interaction. Chapman & Hall, New York.

Fuller, R. 1992. **Probiotic the scientific basis**.
Chapman & Hall, London.

Dempsey, A. C. and Rosson, R. A. 1989. Bacterial
variability among individual penaeid shrimp
digestive tracts. **Crustaceana** 56: 267-276.

Duangchitchareon, Y. 2006. Selection of Probiotic
lactic acid Bacteria from Pickles and
Fermented Plant Product. Master of Science
Degree Thesis, Chiang Mai University.

Gournier-Chateau, N., 1994. La microflore intestinale
et son role. pp. 9-38. In Gournier-Chateau, N.,
Larpen, J. P., Castellanos, I., Larpen, J. L., eds.
Les Probiotiques en Alimentation Animale

- et Humaine.** Technique et Documentation Lavoisier, Paris.
- Jin, L.Z., Ho, Y.W., Ali, M.A., Abdullah, N. and Jalaludin, S. 1996. Effect of adherent *Lactobacillus* spp. on in vitro adherence of salmonellae to the intestinal epithelial cell of chicken. **Journal of Applied Bacteriology** 81: 201-206.
- Ringo, E. and Gastesoupe, F.J. 1998. Lactic acid bacteria in fish: a review. **Aquaculture** 160: 177-203.
- Spelhaug, S.R. and Halander, S.K. 1989. Inhibition of foodborne bacteria pathogens by bacteriocin from *Lactococcus lactis* and *Pediococcus pentosaceus*. **Journal of Food Protection** 52: 856-862.
- Succi, M., Tremonte, P., Reale, A., Sorrentino, E. and Grazia, L. 2005. Bile salt and acid tolerance of *Lactobacillus rhamnosus* strains isolated from *Parmioiano Reggiano* cheese. **FEMS Microbiology Letters** 244: 129-137.
- Verschuere, L., Rombaut, G., Sorgeloos, P. and Verstraete, W. 2000. Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. **Microbiology and Molecular Biology Reviews** 64: 655-671.
- Yuthachit, P., Vaoravuthikunchai, S. and Sutinanalert, P. 1990. Studies of bacteria microbiota in the gastrointestinal tract of cultured tiger prawn (*Penaeus monodon*). **Journal of Science and Technology** 12: 151-157.

การเปรียบเทียบค่าของจำนวน

$$\pi^{\left[e^{\pi} \right]_n} \text{ กับ } e^{\left[\pi^e \right]_n} \text{ และ } e^{\pi^{\left[e^{\pi} \right]_n}} \text{ กับ } \pi^{e^{\left[\pi^e \right]_n}}$$

The Comparison of Values of the Numbers

$$\pi^{\left[e^{\pi} \right]_n} \text{ Versus } e^{\left[\pi^e \right]_n} \text{ and } e^{\pi^{\left[e^{\pi} \right]_n}} \text{ Versus } \pi^{e^{\left[\pi^e \right]_n}}$$

ชนิตา เรืองกิจไพบูลย์ และ รณสรณ์ ชินรัมย์*

Chanita Ruangkitphaiboon and Ronnason Chinram *

Received: 6 July 2017, Revised: 17 May 2018, Accepted: 3 May 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกิดจากการที่ผู้วิจัยได้ศึกษาบทพิสูจน์การเปรียบเทียบค่าของ e^{π} และ π^e โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์พิสูจน์โดยไม่ได้ใช้การคำนวณค่า ซึ่งจากการค้นคว้าพบว่าได้มีผู้ค้นพบและมีการพิสูจน์แล้ว ได้ว่า $e^{\pi} > \pi^e$

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการเปรียบเทียบค่าของ $\pi^{\left[e^{\pi} \right]_n}$ กับ $e^{\left[\pi^e \right]_n}$ และ $e^{\pi^{\left[e^{\pi} \right]_n}}$ กับ $\pi^{e^{\left[\pi^e \right]_n}}$ โดยใช้การพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ พบว่า ในกรณีที่จำนวนของเลขยกกำลังเป็นจำนวนคู่พบว่าค่าของ $e^{\pi^{\left[e^{\pi} \right]_n}} > \pi^{e^{\left[\pi^e \right]_n}}$ แต่ในกรณีที่จำนวนของเลขยกกำลังเป็นจำนวนคี่พบว่า $\pi^{\left[e^{\pi} \right]_n} > e^{\left[\pi^e \right]_n}$ ยิ่งกว่านั้น ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลการวิจัยที่เกิดขึ้นด้วย

คำสำคัญ: กำลัง, e , π

หน่วยวิจัยพีชคณิตและการประยุกต์ ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Algebra and Applications Research Unit, Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90110, Thailand.

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

ABSTRACT

This research is based on the fact that researchers have studied the proofs of the comparison of the values of e^π and π^e by using the mathematical proof, without calculating them. It was proved that $e^\pi > \pi^e$.

In this study, researchers compare the values of $\pi^{\left[e^\pi\right]^n}$ versus $e^{\left[\pi^e\right]^n}$ and $e^{\pi^{\left[e^\pi\right]^n}}$ versus $\pi^{e^{\left[\pi^e\right]^n}}$ by using the mathematical proof. We show that if the number of exponents is even, then $e^{\pi^{\left[e^\pi\right]^n}}$ is greater than $\pi^{e^{\left[\pi^e\right]^n}}$. On the other hand, if the number of exponents is odd, we obtained $\pi^{\left[e^\pi\right]^n}$ is greater than $e^{\left[\pi^e\right]^n}$. Moreover, researchers analyze the results of this research.

Key words: power, e , π

บทนำ

ค่า π เป็นค่าคงตัวที่เกิดจากความยาวเส้นรอบรูปวงกลมหารด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลม ค่า π เป็นจำนวนอตรรกยะมีค่าประมาณ 3.14 และ ค่า e เป็นค่าคงตัวซึ่งมีค่าเท่ากับ $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n$ เป็นจำนวนอตรรกยะมีค่าประมาณ 2.71

เมื่อดูจากค่าของ π และค่าของ e จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าของ e^π และ π^e จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงเกิดการตั้งปัญหาว่าค่าของ e^π และค่าของ π^e ค่าใดมีค่ามากกว่ากัน

ผู้วิจัยได้ศึกษาบทพิสูจน์ในการเปรียบเทียบค่าของ e^π และ π^e ซึ่งปัญหาดังกล่าวได้มีผู้ค้นพบและมีการพิสูจน์ไว้หลายวิธี ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้ใน (Schaumberger, 1985; Nakhli, 1987; Talwalkar, 2013; Mirzodaler, 2016) ในงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยเพียงต้องการนำเสนอวิธีการพิสูจน์ในรูปแบบหนึ่งเท่านั้น ผู้วิจัยได้ค้นพบว่าพบว่าการพิสูจน์ได้ว่า $e^\pi > \pi^e$ ซึ่งมีความน่าสนใจเนื่องจาก

ได้นำความรู้ของแคลคูลัสมาช่วยในการพิสูจน์ ดังทฤษฎีบท 1

ทฤษฎีบท 1: $e^\pi > \pi^e$

บทพิสูจน์ ให้ $f(x) = \frac{\ln x}{x}$

พบว่า $f'(x) = \frac{1 - \ln x}{x^2} < 0$ สำหรับทุกค่า $x > e$

จึงได้ว่า f เป็นฟังก์ชันลด สำหรับทุกค่า $x \geq e$

เนื่องจาก $\pi > e$ จะได้ว่า $f(\pi) < f(e)$

นั่นคือ $\frac{\ln \pi}{\pi} < \frac{\ln e}{e}$ ดังนั้น $e \ln \pi < \pi \ln e$

จากสมบัติของลอการิทึม ทำให้ได้ว่า

$$\ln \pi^e < \ln e^\pi$$

ซึ่งทำให้ได้ $e^\pi > \pi^e$ ตามต้องการ

จากการใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณค่าของจำนวนดังกล่าวเพื่อตรวจสอบ โดยพิจารณาทศนิยม 2 ตำแหน่ง พบว่า e^π มีค่าประมาณ 23.14 และ π^e มีค่าประมาณ 22.46 ซึ่งได้ว่า $e^\pi > \pi^e$

ผู้วิจัยจึงเกิดคำถามต่อมาว่า e^{π^e} และ π^{e^π} หรือถ้ามีการยกกำลังของ e และ π สลับกัน โดยมีฐานเริ่มต้นที่ e และ π ใครมีค่ามากกว่ากัน ซึ่งผู้วิจัยพยายามลองใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณค่า พบว่าไม่สามารถหาคำตอบได้เนื่องจากจำนวนดังกล่าวมีขนาดใหญ่มากเกินไป

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยหาความสัมพันธ์ของจำนวนที่เกิดจากการยกกำลังของ e และ π สลับกัน มีฐานเป็น e และ π ใครมีค่ามากกว่า พร้อมทั้งพิสูจน์และวิเคราะห์ผลการวิจัยที่เกิดขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยใช้หลักการอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์ในการพิสูจน์ทฤษฎีบทหลัก โดยหลักการของอุปนัยเชิงคณิตศาสตร์ มีหลักการ ดังต่อไปนี้

ให้ $P(n)$ แทนข้อความทางคณิตศาสตร์ โดยที่ n เป็นจำนวนเต็มบวก ถ้า

1. $P(1)$ เป็นจริง
2. ให้ k เป็นจำนวนเต็มบวกใดๆ สมมติให้ $P(k)$ เป็นจริง และแสดงได้ว่า $P(k+1)$ เป็นจริง

แล้วจะได้ว่า $P(n)$ เป็นจริง สำหรับทุกจำนวนเต็มบวก n

เพื่อความสะดวกในการเขียน ผู้วิจัยขออนุญาตสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

บทนิยาม 1 : นิยามสัญลักษณ์ $x^{\left[y^x\right]^n}$ แทนด้วย

$$x^{y^x \cdots y^x}$$

โดยมีชุดของ y^x ทั้งหมด n ชุด

ตัวอย่าง

$$(1) e^{\left[\pi^e\right]^2} \text{ หมายถึง } e^{\pi^e \pi^e}$$

$$(2) \pi^{\left[\pi^e\right]^2} \text{ หมายถึง } \pi^{\pi^e \pi^e}$$

บทนิยาม 2 : นิยามความยาวของจำนวนยกกำลัง หมายถึง จำนวนของตัวที่ยกกำลังทั้งหมดรวมกับตัวฐานด้วย

ตัวอย่าง

$$(1) e^{\left[\pi^e\right]^2} \text{ หมายถึง } e^{\pi^e \pi^e} \text{ มีความยาวคือ } 5$$

$$(2) \pi^{\left[\pi^e\right]^2} \text{ หมายถึง } \pi^{\pi^e \pi^e} \text{ มีความยาวคือ } 6$$

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผู้วิจัยได้พบผลลัพธ์ในกรณีที่มีความยาว 3 และ 4 อีกทั้งยังได้แสดงการพิสูจน์ ดังทฤษฎีบท 2

ทฤษฎีบท 2: ข้อความต่อไปนี้ เป็นจริง

$$(1) \pi^{e^\pi} > e^{\pi^e}$$

$$(2) e^{\pi^{e^\pi}} > \pi^{e^{\pi^e}}$$

บทพิสูจน์

(1) จากทฤษฎีบท 1 พบว่า $e^\pi > \pi^e$ และเนื่องจาก

$$\pi > e \text{ จึงได้ว่า } \pi^{e^\pi} > e^{\pi^e}$$

(2) จาก $e^\pi > \pi^e$ จะได้ว่า $\ln e^\pi > \ln \pi^e$ นั่นคือ

$$\pi \ln e > e \ln \pi \text{ ซึ่งทำให้ได้ว่า } \frac{\pi}{e} > \frac{\ln \pi}{\ln e}$$

เนื่องจาก $\frac{\pi}{e} > 1$ และ $e^\pi > \pi^e$ จึงทำให้ได้ว่า

$$\frac{\pi^{e^\pi}}{e^{\pi^e}} > \frac{\pi^{e^\pi}}{e^{\pi^e}} = \left(\frac{\pi}{e}\right)^{e^\pi} > \frac{\pi}{e} > \frac{\ln \pi}{\ln e}$$

เมื่อพิจารณาพบว่า $\pi^{e^\pi} \ln e > e^{\pi^e} \ln \pi$ และทำ

ให้ได้ว่า $\ln e^{\pi^{e^\pi}} > \ln \pi^{e^{\pi^e}}$

ดังนั้น $e^{\pi^{e^\pi}} > \pi^{e^{\pi^e}}$

ผู้วิจัยได้ใช้ผลลัพธ์จากทฤษฎีบท 2 ขยาย
ไปสู่กรณีทั่วไปโดยใช้ตามหลักการอุปนัยเชิง
คณิตศาสตร์ดังทฤษฎีบท 3

ทฤษฎีบท 3: สำหรับทุกจำนวนเต็มบวก n จะได้ว่า

$$(1) \pi^{[e^\pi]_n} > e^{[\pi^e]_n}$$

$$(2) e^{\pi^{[e^\pi]_n}} > \pi^{e^{[\pi^e]_n}}$$

บทพิสูจน์ ให้ $P(n)$ แทนข้อความ

$$\pi^{[e^\pi]_n} > e^{[\pi^e]_n} \text{ และ } e^{\pi^{[e^\pi]_n}} > \pi^{e^{[\pi^e]_n}}$$

พิจารณา $n=1$ ได้ว่า $P(1)$ แทนข้อความ

$$\pi^{[e^\pi]_1} > e^{[\pi^e]_1} \text{ และ } e^{\pi^{[e^\pi]_1}} > \pi^{e^{[\pi^e]_1}}$$

นั่นคือ $\pi^{e^\pi} > e^{\pi^e}$ และ $e^{\pi^{e^\pi}} > \pi^{e^{\pi^e}}$

ซึ่งเป็นจริงจากทฤษฎีบท 2

ให้ k เป็นจำนวนเต็มบวกใดๆ

สมมติให้ $P(k)$ เป็นจริง

$$\text{นั่นคือ } \pi^{[e^\pi]_k} > e^{[\pi^e]_k}$$

$$\text{และ } e^{\pi^{[e^\pi]_k}} > \pi^{e^{[\pi^e]_k}}$$

$$\text{จาก } e^{\pi^{[e^\pi]_k}} > \pi^{e^{[\pi^e]_k}} \text{ และ } \pi > e \text{ ทำให้}$$

$$\text{ได้ว่า } \pi^{e^{\pi^{[e^\pi]_k}}} > e^{\pi^{e^{[\pi^e]_k}}}$$

$$\text{ซึ่งได้ว่า } \pi^{[e^\pi]_{(k+1)}} > e^{[\pi^e]_{(k+1)}}$$

$$\text{จาก } e^\pi > \pi^e \text{ แล้ว } \ln e^\pi > \ln \pi^e$$

$$\text{จะได้ว่า } \pi \ln e > e \ln \pi$$

$$\text{ซึ่งทำให้ได้ว่า } \frac{\pi}{e} > \frac{\ln \pi}{\ln e}$$

$$\text{เนื่องจาก } \frac{\pi}{e} > 1 \text{ และ } e^{\pi^{[e^\pi]_k}} > \pi^{e^{[\pi^e]_k}}$$

ดังนั้น

$$\frac{\pi^{[e^\pi]_{(k+1)}}}{e^{[\pi^e]_{(k+1)}}} > \frac{\pi^{[e^\pi]_{(k+1)}}}{e^{[\pi^e]_{(k+1)}}} = \left(\frac{\pi}{e}\right)^{[e^\pi]_{(k+1)}}$$

$$> \frac{\pi}{e} > \frac{\ln \pi}{\ln e}$$

$$\text{ซึ่งจะได้ว่า } \pi^{[e^\pi]_{(k+1)}} \ln e > e^{[\pi^e]_{(k+1)}} \ln \pi$$

$$\text{นั่นคือ } \ln e^{\pi^{[e^\pi]_{(k+1)}}} > \ln \pi^{e^{[\pi^e]_{(k+1)}}}$$

$$\text{ดังนั้น } e^{\pi^{[e^\pi]_{(k+1)}}} > \pi^{e^{[\pi^e]_{(k+1)}}}$$

ในงานวิจัยที่ศึกษามา ผู้วิจัยพบว่ามีพิสูจน์
เฉพาะกรณี $e^\pi > \pi^e$ เท่านั้น ซึ่งมีวิธีการหาคำตอบ
ที่หลากหลาย ดังเช่นใน (Schlumberger, 1985) พิสูจน์

$$\text{โดยใช้สมการ } e^x > \left(1 + \frac{x}{y}\right)^y \text{ โดยแทนค่า}$$

$$x = \pi - y \text{ และจัดรูปอสมการ ซึ่งจะได้ว่า}$$

$$e^\pi > \pi^e \text{ และมีการพิสูจน์ในรูปแบบอื่นอีก}$$

$$\text{มากมายในเอกสารอ้างอิงใน (Mirzodaler, 2016) ได้มี}$$

$$\text{การพิสูจน์โดยพิจารณาฟังก์ชัน } y = \frac{\ln x}{x} \text{ และดู}$$

$$\text{กราฟของฟังก์ชันดังกล่าวเพื่อเปรียบเทียบค่าระหว่าง}$$

$$\frac{1}{e} \text{ และ } \frac{\ln \pi}{\pi} \text{ ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในทฤษฎีบท 1}$$

$$\text{รวมถึงยังมีการพิสูจน์โดยพิจารณา } e^x > 1 + x \text{ โดย}$$

$$\text{แทนค่า } x = \frac{\pi}{e} - 1 \text{ ซึ่งจะได้ว่า } e^\pi > \pi^e$$

$$\text{เช่นเดียวกันอีกทั้งยังสามารถหาคำตอบของปัญหา}$$

ดังกล่าวโดยใช้ความรู้ทางแคลคูลัส โดยการพิจารณาฟังก์ชัน $f(x) = x^{1/x}$ และหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของฟังก์ชันซึ่งคือ $f'(x) = x^{1/x} \frac{(1-\ln x)}{x^2}$ เนื่องจาก $\ln x > 1$ สำหรับทุก $x > e$ และ $f'(x) < 0$ สำหรับทุก $e < x < \pi$ ดังนั้น $\pi^{1/\pi} > e^{1/e}$ และได้ว่า $e^\pi > \pi^e$ ดังได้ใน (Talwalkar, 2013; Fialok, 2017)

จากการศึกษาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยทราบว่ายังไม่มียานวิจัยที่กล่าวถึงการเปรียบเทียบค่าของ π^{e^π} และ e^{π^e} รวมถึงกรณีทั่วไปของรูปแบบข้างต้นผู้วิจัยได้นำเสนอรูปแบบการพิสูจน์ที่กล่าวไปแล้วในทฤษฎีบท 2 และทฤษฎีบท 3

ผู้วิจัยวิเคราะห์ผลการวิจัยที่ได้ในทฤษฎีบท 3 โดยแยกการวิเคราะห์เป็น 2 กรณี โดยแบ่งเป็นความยาวเป็นจำนวนคู่ และความยาวเป็นจำนวนคี่ ดังนี้

(1) จาก $e^\pi > \pi^e$ ทำให้ได้ว่า

$\ln e^\pi > \ln \pi^e$ ได้ว่า $\pi \ln e > e \ln \pi$ ซึ่งทำให้ได้ว่า $\frac{\pi}{e} > \frac{\ln \pi}{\ln e}$ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของจำนวนที่

มีการยกกำลังระหว่าง e และ π สลับกันโดยมีความยาวเป็นจำนวนคี่

$$\frac{\ln \pi}{\ln e} < \frac{\pi}{e} < \frac{\pi^e}{e^e} < \dots < \frac{\pi^{[e^\pi]_n}}{e^{[\pi^e]_n}} < \dots$$

และเมื่อพิจารณา $n \rightarrow \infty$ พบว่า

$$\frac{\pi^{[e^\pi]_n}}{e^{[\pi^e]_n}} > \frac{\pi^{[e^\pi]_n}}{e^{[\pi^e]_n}} = \left(\frac{\pi}{e}\right)^{[e^\pi]_n} \rightarrow \infty$$

นั่นคือจะได้ว่า $\frac{\pi^{[e^\pi]_n}}{e^{[\pi^e]_n}} \rightarrow \infty$ เมื่อ $n \rightarrow \infty$

จากการใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณค่าสามารถเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนดังกล่าวข้างต้นได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ข้างต้นเป็นจริง

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าของอัตราส่วนระหว่างเลขยกกำลังที่มีฐานเป็น e และ π โดยมีความยาวเป็นจำนวนคี่

ข้อมูล	ค่าของข้อมูล
$\frac{\ln \pi}{\ln e}$	1.144729
$\frac{\pi}{e}$	1.155727
$\frac{\pi^e}{e^e}$	56.299447
$\frac{\pi^{\pi^e}}{e^{\pi^e}}$	$10^{10^{11.142177}}$

(2) ทำนองเดียวกัน พบว่า ความสัมพันธ์ของจำนวนที่มีการยกกำลังระหว่าง e และ π สลับกันโดยมีความยาวเป็นจำนวนคู่

$$\frac{\ln \pi}{\ln e} > \frac{\pi^e}{e^e} > \frac{\pi^{e^{\pi^e}}}{e^{e^{\pi^e}}} > \dots > \frac{\pi^{[e^{\pi^e}]_n}}{e^{[\pi^{e^e}]_n}} > \dots > 0$$

และจะได้ว่า $\frac{\pi^{[e^{\pi^e}]_n}}{e^{[\pi^{e^e}]_n}} \rightarrow 0$ เมื่อ $n \rightarrow \infty$

จากการใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณค่า
พิจารณาค่าของข้อมูลดังตารางที่ 2 จะเห็นว่า
สอดคล้องกับความสัมพันธ์ข้างต้น

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าของอัตราส่วนระหว่างเลข
ยกกำลังที่มีฐานเป็น e และ π โดย
มีความยาวเป็นจำนวนคู่

ข้อมูล	ค่าของข้อมูล
$\frac{\ln \pi}{\ln e}$	1.144729
$\frac{\pi^e}{e^\pi}$	0.970548
$\frac{\pi^e \pi^e}{e^{\pi^e \pi}}$	ค่าของข้อมูลมีค่าน้อยมาก ไม่ สามารถแสดงได้
$\frac{\pi^e \pi^e \pi^e}{e^{\pi^e \pi^e \pi}}$	ค่าของข้อมูลมีค่าน้อยมาก ไม่ สามารถแสดงได้

สรุป

ในงานวิจัยดังกล่าวได้ตอบคำถามเกี่ยวกับการยกกำลังของ e และ π สลับกันโดยมีฐานที่ e และ π จำนวนใดมีค่ามากกว่า ซึ่งพบว่า หากมีจำนวนของเลขยกกำลังเป็นจำนวนคู่พบว่าจำนวนที่มีฐานเป็น π จะมีค่ามากกว่า แต่ถ้าจำนวนของเลขยกกำลังเป็นจำนวนคู่พบว่าจำนวนที่มีฐานเป็น e จะมีค่ามากกว่า

ในการวิจัยดังกล่าว พบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนกรณีที่มีความยาวเป็นจำนวนคู่

$$\frac{\ln \pi}{\ln e} < \frac{\pi}{e} < \frac{\pi^e \pi}{e^{\pi^e}} < \dots < \frac{\pi^{[e^\pi]_n}}{e^{[\pi^e]_n}} < \dots$$

$$\text{และ } \frac{\pi^{[e^\pi]_n}}{e^{[\pi^e]_n}} \rightarrow \infty \text{ เมื่อ } n \rightarrow \infty$$

ความสัมพันธ์ของจำนวนที่มีความยาวเป็นจำนวนคู่

$$\frac{\ln \pi}{\ln e} > \frac{\pi^e}{e^\pi} > \frac{\pi^e \pi^e}{e^{\pi^e \pi}} > \dots > \frac{\pi^{[e^\pi]_n}}{e^{[\pi^e]_n}} > \dots > 0$$

$$\text{และ } \frac{\pi^{[e^\pi]_n}}{e^{[\pi^e]_n}} \rightarrow 0 \text{ เมื่อ } n \rightarrow \infty$$

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิของบทความนี้ทุกท่านที่ได้เสนอแนะอันเป็นประโยชน์สำหรับการปรับปรุงบทความนี้

ชนิตา เรืองกิจไพบูลย์ ขอขอบคุณโครงการ พสวท. ศูนย์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้สนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ทำงานวิจัยในภาคฤดูร้อน

เอกสารอ้างอิง

- Fialok, S. 2017. **Which is larger, e^π or π^e ?** B. Tech. Information Technology, Indian Institute of Information Technology, Allahabad. Available Source: <https://www.quora.com/Which-is-larger-e-%CF%80-or-%CF%80-e>, September 1, 2017.
- Mirzodaler. 2016. **Comparing π^e and e^π without calculating them.** Available Source: <https://math.stackexchange.com/questions/7892-comparing-pi-e-and-e-pi-without-calculating-them>, July 5, 2016.

Nakhli, F. 1987. Proof without words $\pi^e < e^\pi$.

Mathematics Magazine 60(3): 165-165.

Schlumberger, N. 1985. An instant proof

$e^\pi > \pi^e$. **College Mathematics Journal**

16(4): 280-280.

Talwalkar, P. 2013. **Monday puzzle: what is**

greater: $e^\pi > \pi^e$? . Available Source:

<https://mindyourdecisions.com/blog/2013/08/05/monday-puzzle-what-is-greater-epi-or-pie/>, July 15, 2016.

ผลของอุณหภูมิแก๊ส และค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุต่อประสิทธิภาพ การตกตะกอนของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต แบบท่อทรงกระบอกซ้อนกันแนบร่วม

Effects of Gas Temperature and Materials Dielectric Constant on Collection Efficiency of the Tubular - Type Electrostatic Precipitator

วิสูตร อาสนวิจิตร * และ พานิช อินต๊ะ

Visut Asanavijit * and Panich Intra

บทคัดย่อ

อุณหภูมิแก๊สและค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต เนื่องจากมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการอัดประจุของอนุภาคภายในเครื่องตกตะกอน ในบทความนี้จึงได้นำเสนอการวิเคราะห์ผลของค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุ และอุณหภูมิ ต่อการอัดประจุไฟฟ้าของอนุภาคในเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบท่อทรงกระบอกซ้อนกันแนบร่วม (ESP) โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสแรงดันไฟฟ้า ค่าเฉลี่ยจำนวนอัดประจุของอนุภาค และประสิทธิภาพการตกตะกอน โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อทำนายผลของค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 46.9 อุณหภูมิในการทำงานระหว่าง 250 ถึง 750 องศาเซลเซียส อนุภาคที่ใช้ในการวิเคราะห์มีขนาดอยู่ในช่วง 10 ไมโครเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร แรงดันโคโรนา 20 กิโลโวลต์ ความเร็วของแก๊ส 3.4 เมตรต่อวินาที และความชื้นในการทดสอบ 10 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการตกตะกอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม โดยประสิทธิภาพการตกตะกอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาคโดยรวม 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลที่ได้สามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบท่อทรงกระบอกซ้อนกันแนบร่วม เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการลดอนุภาคภายในแก๊สจากระบบการเผาไหม้ชีวมวลขนาดเล็กต่อไปได้

คำสำคัญ: อนุภาคฝุ่น, ค่าคงตัวของไดอิเล็กทริก, สนามไฟฟ้า, การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต, เตาเผา

ABSTRACT

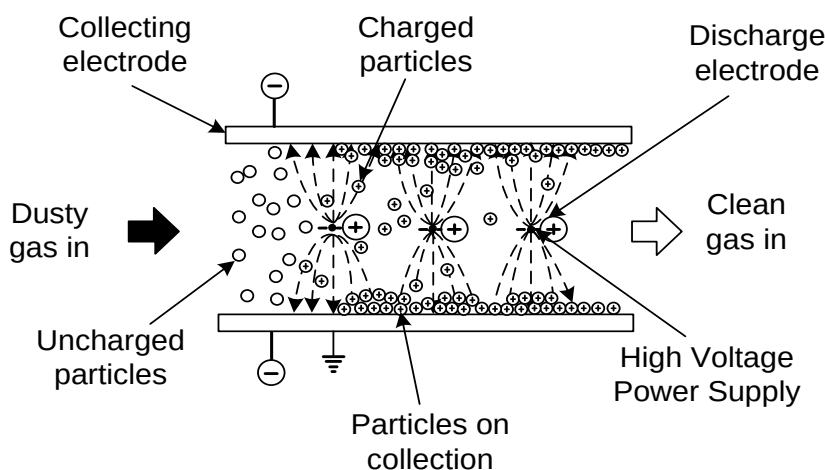
Gas temperature and dielectric constant of materials are the important parameters for collection efficiency of an electrostatic precipitator (ESP) due to its influences on particle charging efficiency inside the ESP. In this paper, effects of temperature and materials dielectric constant on the charging and collection efficiency of the tubular-type electrostatic precipitator (ESP) were analytically investigated. The current to voltage characteristic, mean charge per particle and collection efficiency were analyzed by mathematic model for the materials dielectric constant of 2.5 - 46.9, the operating temperature between 250 and 750 °C, the particle size range of 10 nm - 10 μ m, the applied corona voltage of 20 kV, the flow velocity of 3.4 m/s, and the humidity of 10%. It was found that higher dielectric constant of particle results in higher collection efficiency of the ESP. Also, an increase in the operating temperature results in increasing the ESP collection efficiency. It was shown that about 95% of overall collection efficiency can be achieved with a relative simple multiple tubular electrostatic precipitator design. The device appeared to be a promising tool for reducing particulate matter in flue gas from a small biomass combustion system.

Key words: particulate matter, dielectric constant, electric field, electrostatic precipitation, furnace

บทนำ

รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทยปี พ.ศ. 2559 พบว่ามีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นของประเทศไทย 27.06 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นอัตราการเกิดขยะมูลฝอยที่ 1.14 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน และอัตราการเกิดขยะมูลฝอยชุมชนเฉลี่ยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เทศบาลนคร เทศบาลเมือง เทศบาลตำบล และองค์การบริหารส่วนตำบล 1.89, 1.15, 1.02 และ 0.91 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ตามลำดับ (ส่วนขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย, 2560) การกำจัดขยะ (Waste Management) เป็นปัญหาหนึ่งของหน่วยงานปกครองในชุมชน โดยชุมชนขนาดใหญ่ที่มีความหนาแน่นของประชากรสูงย่อมสามารถสร้างขยะได้อย่างมหาศาลในแต่ละวัน การเผาขยะด้วยเตาเผาเป็นวิธีการกำจัดขยะอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณขยะลงได้ ข้อดีของเตาเผาขยะคือ เหมาะกับสถานที่ที่มีพื้นที่จำกัด

เนื่องจากสามารถลดน้ำหนักและปริมาตรของขยะมูลฝอยได้มาก แต่การเผาขยะในปัจจุบันทำให้เกิดปัญหาการแพร่กระจายของฝุ่นละอองลอยขนาดเล็ก (Particulate Matter) ฝุ่นบรรยากาศ โดยฝุ่นละอองลอยขนาดเล็กเหล่านี้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร หรือที่เรียกว่า PM 10 เนื่องจาก PM 10 สามารถลอยอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน จึงทำให้มีผลกระทบต่อทัศนวิสัย อากาศตามฤดูกาลและคุณภาพชีวิตของมนุษย์ (Hinds, 1999) จากรายงานทางการแพทย์พบว่า PM 10 มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ ทำให้เกิดการทำลายเยื่อที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโรคหอบหืด (อุษณีย์ และคณะ, 2550) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณการแพร่กระจายฝุ่นละอองลอยขนาดเล็ก PM 10 เหล่านี้เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) หรือ ESP เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่นิยม



ภาพที่ 1 หลักการทำงานของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrical4u, 2018)

นำมาใช้สำหรับการกำจัดฝุ่นละอองลอยขนาดเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร ออกจากการไหลของแก๊สโดยอาศัยแรงทางไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นภายใต้สนามไฟฟ้า เพราะให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ (พานิช, 2558) ภาพที่ 1 ได้แสดงหลักการทำงานของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ขั้วดิสชาร์จ (Discharge Electrode) และขั้วตกตะกอน (Collection Electrode) (Jaworek *et al.*, 2006) เมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับขั้วดิสชาร์จ โดยที่ขั้วตกตะกอนเป็นกราวด์ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จ (Corona Discharge) ขึ้นโดยรอบๆ ขั้วดิสชาร์จ ไอออน (Ions) และอิเล็กตรอน (Electrons) จะถูกสร้างขึ้นที่จุดที่เกิดโคโรนาและทำให้เกิดการไหลของกระแสไอออน (Ionic Current) ผ่านช่องว่างระหว่างขั้วดิสชาร์จกับขั้วตกตะกอน เมื่อมีฝุ่นละอองลอยไหลผ่านเข้ามาในช่องว่างนี้ จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคกับไอออน โดยไอออนเกาะติดกับฝุ่นละอองลอยเหล่านั้นเป็นผลทำให้ฝุ่นละอองลอยได้รับประจุ และฝุ่นละอองลอยที่มีประจุ (Charged Particulate) ถูกทำให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วตกตะกอนด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต หรือที่เรียกว่าแรงคูลอมบ์ (Coulomb Force) และถูกสะสมตัวอยู่บนขั้วตกตะกอน โดยฝุ่นละอองลอยที่บนขั้วตกตะกอน

จะถูกกำจัดออกจากขั้วตกตะกอนโดยการเคาะที่ขั้วตกตะกอนด้วยค้อนเพื่อให้หลุด (White, 1963)

จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอการพัฒนาเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตหลากหลายเทคนิควิธี ดังนี้ พานิช และ ฌฐวุฒิ (2550ก) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องตกตะกอนทางไฟฟ้าสถิตแบบท่อทรงกระบอกวงซ้อนกันสำหรับควบคุมอนุภาคแขวนลอยที่ปล่อยออกจากเตาเผาขนาดเล็กเพื่อนำความร้อนที่ได้ไปใช้ในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร มีการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงให้กับเส้นลวดดิสชาร์จในช่วง 1 ถึง 100 กิโลโวลต์ จากผลการศึกษาพบว่ามีประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมสูงถึง 99.34 เปอร์เซ็นต์ ที่ขนาดอนุภาคมากกว่า 1 ไมโครเมตร และประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร เหลือ 47.08 เปอร์เซ็นต์ที่แรงดัน 100 กิโลโวลต์ วัชร และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการควบคุมฝุ่นแป้งของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบชนิดขั้วเดี่ยวเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมควันและฝุ่นแป้ง โดยการทดลองแบ่งเป็น ส่วนที่ 1 การหาประสิทธิภาพของการเก็บรวบรวมควันและฝุ่นแป้งจะใช้กระดาษกรองอากาศก่อนผ่านและหลังผ่านเครื่องตกตะกอน พบว่าประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมควัน

และฝุ่นแป้งจะมีประสิทธิภาพสูงในช่วงเวลาเริ่มแรก และเมื่อเวลาผ่านไปพบว่าประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมลดลง เนื่องจากการเกาะของควันและฝุ่นแป้ง มีผลทำให้ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมอนุภาคเฉลี่ย สำหรับฝุ่นแป้งมีค่าเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ และ 35 เปอร์เซ็นต์ สำหรับควัน ส่วนที่ 2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น และแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง Tekasakul *et al.* (2006) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบเส้นลวดกับท่อทรงกระบอก (Wire-Cylinder Type) สำหรับควบคุมควันจากการเผาไหม้ชีวมวลสำหรับกระบวนการอบแห้งยางแผ่น ในการศึกษาได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมด้วยอนุภาคแบบ Polystyrene Latex ในห้องปฏิบัติการ 10 ชั่วโมง พบว่าเครื่องตกตะกอนที่ได้พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมอนุภาคสูงกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ชญาศักดิ์ และคณะ (2551) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบเส้นลวดกับแผ่นราบสำหรับควบคุมควันจากการเผาไหม้ไม้พืนที่มีขนาดมิติ $0.5 \times 1 \times 0.5$ เมตร³ จำนวนแผ่นราบ 10 แผ่น จำนวนเส้นลวด 12 เส้น ต่อ 1 แถว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด 1 มิลลิเมตร จ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงขนาด 12 กิโลโวลต์ จากการทดสอบเก็บรวบรวมด้วยอนุภาคพบว่าประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมเฉลี่ยได้ 58.43 เปอร์เซ็นต์ อาทิตย์ และคณะ (2554) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสำหรับควบคุมอนุภาคแขวนลอยจากเตาเผาขยะชุมชน เป็นแบบเส้นลวดกับแผ่นราบซ้อนกันหลายชั้น (Multi-Wire-to-Plate) ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงขนาด 20 กิโลโวลต์ มีกระแสไฟฟ้าขนาด 280 ไมโครแอมป์ จ่ายให้กับดิสชาร์จอิเล็กโทรด ได้ทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวมอนุภาค

และเวลาการทำงานในช่วง 0 ถึง 60 นาที พบว่าค่าประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมอนุภาคมีค่า 87.61, 80.42 และ 72.06 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 15, 30 และ 45 นาที ตามลำดับ ซึ่งได้ค่าประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวมอนุภาคเฉลี่ย 80.03 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการทำงานของเตาเผาขยะจะทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 200 ถึง 800 องศาเซลเซียส และจะมีลักษณะการเผาไหม้ของขยะหลากหลายชนิด โดยแต่ละชนิดจะมีค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่ใช้งานกับเตาเผาขยะได้ การปรับปรุงประสิทธิภาพการตกตะกอน (Collection Efficiency) ของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสำหรับเตาเผาขยะเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง ประสิทธิภาพการตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ขั้วอิเล็กโทรด ความเร็วของแก๊ส จำนวนประจุบนฝุ่นละอองลอย อุณหภูมิ และความดันบรรยากาศ (พานิช และ ณัฐวุฒิ, 2550ข) ได้รายงานผลการวิจัยของการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ขั้วดิสชาร์จ ความเร็วของแก๊ส และอุณหภูมิของแก๊สภายในเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนสูงขึ้นตาม เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นมีผลโดยตรงกับค่าความเข้มข้นสนามไฟฟ้าภายในเครื่องตกตะกอน ที่ความเร็วของแก๊สสูงขึ้นจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนลดลง และผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแก๊สที่เพิ่มขึ้นในช่วง 250 ถึง 750 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนลดลงเล็กน้อย แต่จากผลงานวิจัยที่ได้กล่าวมานั้นมีอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเช่นกัน และยังไม่ได้ทำการศึกษาอย่างเป็นกระบวนการ ในงานวิจัยที่ผ่านมา คือ กระบวนการอัดประจุ (Charging Process)

ให้กับฝุ่นละอองลอย ซึ่งโดยปกติแล้วการอัดประจุให้กับฝุ่นละอองจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของไอออน (Ion Number Concentration) เวลาที่ใช้ในการอัดประจุ (Charging Time) และค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุ (Dielectric Constant of Materials) โดยค่าความเข้มข้นของไอออนและเวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ขั้วอิเล็กโทรด และเวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะขึ้นอยู่กับความเร็วของแก๊ส ดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้นแล้ว แต่ส่วนค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของวัสดุจะขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองลอย (มงคล และคณะ, 2553) ได้รายงานผลการวิจัยการวิเคราะห์ผลของค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุต่อการอัดประจุไฟฟ้าอนุภาคในเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตพบว่า ผลของค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของแต่ละวัสดุต่อการอัดประจุไฟฟ้าของอนุภาคมีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ยังไม่ได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิจากกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งการทำงานจริงของเตาเผาจะมีพฤติกรรมอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการตกตะกอนอนุภาคที่จะต้องทำการศึกษา

ดังนั้นในบทความวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการอัดประจุไฟฟ้าของฝุ่นละอองลอย โดยจะนำเสนอการวิเคราะห์ผลทางทฤษฎีของค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุต่อการอัดประจุไฟฟ้าของฝุ่นละอองลอยแต่ละชนิดในเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตจำนวน 7 ชนิด ด้วยสมการของ (White, 1963) และสมมติให้อนุภาคที่ใช้ในการวิเคราะห์มีขนาดอยู่ในช่วง 10 นาโนเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร และมีการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิให้มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 250 ถึง 750 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ผลของแรงดันไฟฟ้าเริ่มเกิดโคโรนาดีสชาร์จ ค่ากระแส โคโรนาดีสชาร์จ และวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพในการตกตะกอนของ

อนุภาคแต่ละชนิด ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตชนิดท่อทรงกระบอกซ้อนแกนร่วมให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุที่ต้องการกำจัด จากกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดอนุภาคควันได้มากขึ้น

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการทำงานพื้นฐานของชุดตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตคือ เป็นวิธีการกำจัดอนุภาคฝุ่นละอองออกจากกระแสของแก๊ส โดยอาศัยแรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force) ที่เกิดขึ้นภายใต้สนามไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วชุดตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต เมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับขั้วดีสชาร์จและให้ขั้วตกตะกอนเป็นกราวด์ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จขึ้นโดยรอบๆ ขั้วดีสชาร์จ ที่ไอออนและอิเล็กตรอนอิสระจะถูกสร้างขึ้นที่จุดที่เกิดโคโรนา โดยจะมีสนามไฟฟ้าโคโรนาดีสชาร์จในก๊าซ กลไกการอัดประจุไฟฟ้าของอนุภาค ซึ่งเป็นปัจจัยที่กำหนดสมรรถนะของตัวตกตะกอน และจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการตกตะกอนของอนุภาคโดยตรง โดยจะได้กล่าวในหัวข้อดังต่อไปนี้

1. สนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้า (Electric Field) มีความสำคัญในกระบวนการตกตะกอนเพราะสนามไฟฟ้ามีผลต่อการอัดประจุให้กับอนุภาคและแรงที่กระทำต่ออนุภาคที่ได้รับประจุ สนามไฟฟ้าในเครื่องตกตะกอนเกิดจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงให้กับขั้วอิเล็กโทรด และจากผลของประจุค้าง (Space Charge Effect) ของไอออนและอนุภาคที่มีประจุที่อยู่ในช่องระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ในกรณีที่ไม่มีกระแสไหลของกระแสไฟฟ้า สนามไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าและลักษณะของรูปทรง (Geometry) ของระบบเท่านั้น ในกรณีที่เป็นรูปทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม (Concentric Cylinder) เนื่องจากสนามไฟฟ้าภายในทรงกระบอกซ้อนแกนร่วมสม่ำเสมอ (Uniform Field) กว่าแผ่นระนาบขนาน

และมีการสูญเสียของสนามไฟฟ้าที่ขอบมมมีค่าน้อยกว่าแบบแผ่นระนาบขนาน ดังนั้นค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า (Electric Field Strength) $E(r)$ ที่ระยะรัศมีใดๆ สามารถคำนวณหาค่าได้โดยอาศัยกฎของเกาส์ (Gauss's Law) คือ (Parker, 1997)

$$E(r) = \frac{V}{r \ln(r_1/r_2)} \quad (1)$$

เมื่อ $E(r)$ คือความเข้มสนามไฟฟ้า r คือระยะรัศมี r_2 คือรัศมีของขั้วดิสชาร์จ r_1 คือระยะห่างระหว่างขั้วดิสชาร์จกับขั้วตกตะกอน และ V คือแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ขั้วดิสชาร์จ

2. โครนาดิสชาร์จในก๊าซ

โครนาดิสชาร์จในก๊าซ เป็นส่วนที่สำคัญอย่างหนึ่งของกระบวนการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต เพราะเป็นกระบวนการที่สร้างไอออนที่ทำให้อนุภาคได้รับประจุ ปกติแล้วจะแสดงในรูปของคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน (Voltage-Current Characteristics) เมื่อแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าแรงดันเริ่มเกิดโครนา (Corona Onset Voltage) กระแสโครนา (Corona Current) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น โดยแรงดันที่มีค่าสูงสุดจะสร้างประกายโครนา (Spark Over Corona) ดังนั้น เราจำเป็นต้องรู้สนามไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องตกตะกอนให้มีความสามารถในการกำจัดอนุภาคออกจากกระแสก๊าซได้อย่างเหมาะสม ซึ่งสนามไฟฟ้าเริ่มเกิดโครนา (Corona Onset Field Strength) E_0 นั้น สามารถคำนวณได้จากสมการของ (Chang *et al.*, 1995)

$$E_0 = E_s (\delta + A \sqrt{\delta/r_{se}}) \quad (2)$$

$$\delta = \frac{T_r}{T} \frac{P}{P_r} \quad (3)$$

เมื่อ E_s คือสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์ (Breakdown Field) ในอากาศที่สภาวะปกติ (3.126×10^6 โวลต์ต่อเมตร

สำหรับความดันบรรยากาศ ที่ 20 องศาเซลเซียส) A คือค่าคงที่ ($0.0301 \text{ m}^{1/2}$ สำหรับโครนาขั้วลบ และ $0.0266 \text{ m}^{1/2}$ สำหรับโครนาขั้วบวก) δ คือความหนาแน่นของอากาศที่ความดันบรรยากาศ T_r คืออุณหภูมิห้องของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน T คืออุณหภูมิอากาศขณะทำงาน P_r คือความดันบรรยากาศที่สภาวะมาตรฐาน และ P คือความดันบรรยากาศขณะทำงาน ถ้าเครื่องตกตะกอนเป็นแบบทรงกระบอกซ้อนกันแนบกัน และไม่คิดผลของประจุค้าง ค่าแรงดันไฟฟ้าเริ่มเกิดโครนา V_0 สามารถคำนวณได้จาก

$$V_0 = E_0 r_1 \ln(r_2/r_1) \cdot f(H) \quad (4)$$

เมื่อ $f(H)$ คือ ฟังก์ชันแก้สำหรับความชื้นอากาศ H คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นอากาศ ซึ่งฟังก์ชันแก้สำหรับความชื้นอากาศสามารถหาได้จากสมการ (Yawootti *et al.*, 2015) ดังนี้

$$f(H) = 1 + \left(5.76 - \frac{1.63}{0.69\sqrt{\delta r} + 0.21} \right) \cdot \frac{P_w}{P} \cdot H \quad (5)$$

เมื่อ P_w คือ ความดันบางส่วนของไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (Yawootti *et al.*, 2015) ดังนี้

$$P_w = 6.11 \times 10^{7.5T/(237.3+T)} \quad (6)$$

จากนั้นนำสมการที่ (5) รวมกับสมการที่ (4) จะได้สมการแรงดันไฟฟ้าเริ่มเกิดโครนาที่รวมผลความชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการ (Yawootti *et al.*, 2015)

$$V_0 = m_v E_0 \delta \left(1 + \frac{k}{\sqrt{\delta r}} r \ln \left(\frac{S}{r} \right) \left[1 + \left(5.76 - \frac{1.63}{0.69\sqrt{\delta r} + 0.21} \right) \cdot \frac{P_w}{P} \cdot \frac{H}{100} \right] \right) \quad (7)$$

และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Current Density) j (A/m^2) ที่ พื้นที่ผิวของขั้วอิเล็กโทรดด้านนอก ที่มีหน่วยเป็นกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่หนึ่งหน่วย เป็นฟังก์ชันของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วโครนาดิสชาร์จ คำนวณได้จาก (Parker, 1997)

$$j = \frac{4\epsilon_0 Z_i V (V - V_0)}{r_2^3 \ln(r_2 / r_1)} \quad (8)$$

เมื่อ Z_i คือค่าความสามารถในการเคลื่อนตัวทางไฟฟ้าของไอออน (Ion Electrical Mobility) สำหรับโคโรนาบวกมีค่าเท่ากับ 1.14×10^{-4} ตารางเมตรต่อโวลต์วินาที และ ϵ_0 คือค่าเปอร์มิตติวิตีของสุญญากาศหรือที่ว่าง (Free-Space Permittivity) มีค่าเท่ากับ 8.854×10^{-12} ฟารัดต่อเมตร โดยความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในสมการที่ (8) ยังสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านพื้นที่ผิวของหัวอิเล็กโทรดด้านนอกได้จากสมการ (พานิช และ ณัฐวุฒิ, 2550ก)

$$I = \frac{8\pi\epsilon_0 Z_i V (V - V_0)}{r_2^2 \ln(r_2 / r_1)} \quad (9)$$

แรงดันที่ทำให้เกิดโคโรนา (Corona Onset Voltage) ของโคโรนาหัวลบที่อิเล็กโทรดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) มากกว่า 5×10^{-2} เมตร จะมีค่าเท่ากับ 15d กิโลโวลต์ เมื่อ d มีหน่วยเป็นเซนติเมตร และถ้าเป็นโคโรนาหัวบวกจะประมาณครึ่งหนึ่งของโคโรนาลบ ปกติแล้วหัวลบนิยมนำไปใช้งานมากเพราะว่าแรงดันการเกิดโคโรนาที่สูงกว่าจะให้ช่วงของแรงดันทำงานมากกว่า สำหรับการนำไปใช้งานภายในอาคารจะนิยมใช้โคโรนาหัวบวกเพราะหัวบวกจะสร้างโอโซนต่ำกว่าหัวลบ

3. การอัดประจุไฟฟ้าของอนุภาค

การอัดประจุโดยสนามไฟฟ้า (Field Charging) นอกจากกระบวนการใส่ประจุโดยการแพร่แล้วอนุภาคยังได้รับประจุโดยสนามไฟฟ้า อนุภาคที่รับประจุจะก่อให้เกิดการแปรโณมเฉพาะถิ่น (Local Deformation) ของสนามไฟฟ้าในลักษณะที่เส้นสนามไฟฟ้าจะวิ่งตัดกับอนุภาค ไอออนจะถูกเคลื่อนย้ายไปตามเส้นของสนามไฟฟ้าจะกระทบกับอนุภาค และถูกยึดจับโดยแรงของประจุจินตภาพ (Image Charge Force) เมื่อจำนวนไอออนที่กระทบกับ

อนุภาคเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จำนวนประจุบนอนุภาคจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสนามไฟฟ้าเฉพาะที่เกิดจากประจุบนอนุภาคก่อให้เกิดการบิดเบี้ยวของเส้นสนามไฟฟ้าเดิมจนเส้นเหล่านี้ไม่วิ่งตัดกับอนุภาคอีกต่อไป เมื่อสภาวะดังกล่าวเกิดขึ้น ไอออนจะไม่กระทบกับอนุภาคอีก และจะไม่เกิดการเพิ่มขึ้นของประจุบนอนุภาคอีก วิธีการอัดประจุแบบนี้มีชื่อเรียกว่า การอัดประจุโดยสนามไฟฟ้า ซึ่งการอัดประจุวิธีนี้จะมีผลสำคัญกับอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 2 ไมโครเมตร สำหรับการอัดประจุโดยสนามไฟฟ้า ถ้าไม่สนใจผลของการอัดประจุแพร่กระจาย จำนวนประจุอนุภาค $q(t)_{field}$ ที่ได้รับในสนามไฟฟ้า E คำนวณได้จาก (Intra and Tippayawong, 2009)

$$q_{field} = n(t)_{field} \times e \quad (10)$$

$$n(t)_{field} = \left(\frac{3\epsilon}{\epsilon + 2} \right) \left(\frac{Ed_p^2}{4K_E e} \right) \left(\frac{\pi K_E e Z_i N_i t}{1 + \pi K_E e Z_i N_i t} \right) \quad (11)$$

เมื่อ ϵ คือค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของอนุภาค e คือค่าประจุของอิเล็กตรอน มีค่าเท่ากับ 1.61×10^{-19} คูลอมป์ K_E คือค่าคงที่จากสมการของคูลอมป์ มีค่าเท่ากับ 9.0×10^9 นิวตันตารางเมตรต่อคูลอมป์ N_i คือค่าความเข้มข้นจำนวนของไอออนอิสระ (ions/m³) และ t คือเวลาในการอัดประจุ ในการศึกษาเครื่องตกตะกอนจะมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกซ้อนกันรวม ดังนั้นผลคูณของค่าความเข้มข้นจำนวนของไอออนกับเวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะสามารถหาได้จาก (Intra and Tippayawong, 2005)

$$N_i t(r) = \frac{I}{2\pi r e Z_i E v} \quad (12)$$

เมื่อ z_i คือค่าความสามารถในการเคลื่อนตัวทางไฟฟ้าของไอออน และ v คือความเร็วของแก๊ส สามารถหาได้จากสมการดังนี้ (พานิช และ ณัฐวุฒิ, 2550ข)

$$v = \frac{Q}{\pi(r_2^2 - r_1^2)} \quad (13)$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหลของแก๊ส

4. ประสิทธิภาพในการตกตะกอนของอนุภาค

สำหรับประสิทธิภาพในการตกตะกอนของอนุภาค ภายในตัวตกตะกอน η ที่ได้ทำการศึกษานี้สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้ (Hinds, 1999)

$$\eta = 1 - \exp\left(\frac{-2\pi r_2 L Z_p}{Q}\right) \quad (14)$$

เมื่อ z_p คือค่าความสามารถในการเคลื่อนตัวทางไฟฟ้าสามารถหาได้จาก

$$Z_p = \frac{qC_c}{3\pi\mu d_p} \quad (15)$$

เมื่อ C_c คือตัวชดเชยของคันทิงแฮม และ μ คือความหนืดของแก๊สภายในเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตทดสอบ

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทความวิจัยนี้จะทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อทำนายผลของค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของวัสดุต่อจำนวนประจุไฟฟ้าของฝุ่นละอองลอยสำหรับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบทรงกระบอกซ้อนกันแนวนอน โดยใช้สมการ (White, 1963) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

1. การกำหนดเงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์

ได้กำหนดขนาดของโครงสร้างเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ดังแสดงในภาพที่ 2 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขั้วดิสชาร์จ 2 มิลลิเมตร ระยะห่างขั้วดิสชาร์จกับขั้วตกตะกอน 23.4 มิลลิเมตร

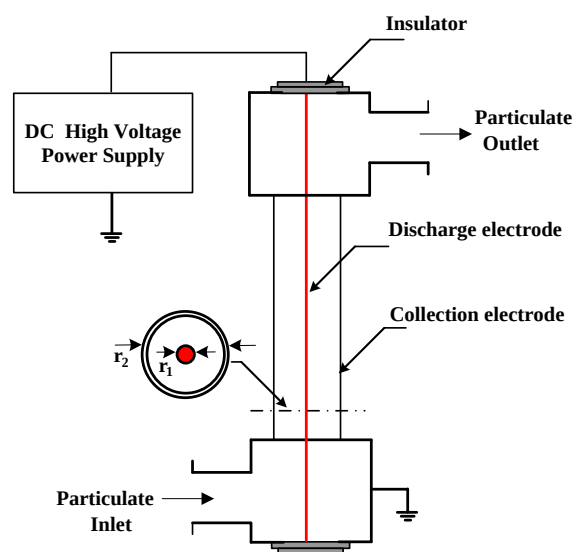
ความยาวของขั้วตกตะกอน 400 มิลลิเมตร มีลูกถ้วยไฟฟ้า (Insulator) ทำหน้าที่เป็นฉนวนในการแยกระหว่างขั้วดิสชาร์จกับขั้วตกตะกอนทั้งด้านบนและล่างของตัวตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ใช้อุปกรณ์จ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงขนาด 20 กิโลโวลต์ ใช้ศักย์ไฟฟ้าเป็นประจุบวก จ่ายให้ขั้วอิเล็กโทรดทดสอบกับฝุ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นาโนเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร ที่อุณหภูมิแก๊ส 250, 500 และ 750 องศาเซลเซียส มีความเร็วของแก๊ส 3.4 เมตรต่อวินาที ความดันภายในท่อ 1 บาร์ และความชื้นทดสอบ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 1

2. การกำหนดค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของวัสดุ

โดยสมมติและกำหนดชนิดของฝุ่นละอองลอย จะใช้ในการศึกษานี้จำนวน 7 ชนิด คือ Heavy Oils, Carbon Black, Sodium Chloride, Dimethyl Phthalate, Glass, Germanium และ Thallium Chloride ซึ่งมีค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 46.9 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 และสมมติให้รูปร่างของความเร็วของของไหลสม่ำเสมอ (Uniform Velocity Profile) ตลอดพื้นที่หน้าตัดของทางเข้าและให้อนุภาคมีประจุเป็นประจุบวก ดังแสดงในตารางที่ 2

3. การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมคำนวณ

ในการวิเคราะห์ผลนี้จะใช้โปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ ซึ่งไดอะแกรมลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3 โดยอันดับแรกจะต้องกำหนดเงื่อนไขด้านขาเข้าของเครื่องตกตะกอนคือ ความเร็วในการไหลของแก๊ส ความดันและอุณหภูมิขณะทำงาน จากนั้นจะกำหนดเงื่อนไขภายในเครื่องตกตะกอนคือ ขนาดเรขาคณิตของเครื่องตกตะกอน แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรด



ภาพที่ 2 โครงสร้างเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

ตารางที่ 1 เงื่อนไขที่ใช้ในการวิเคราะห์

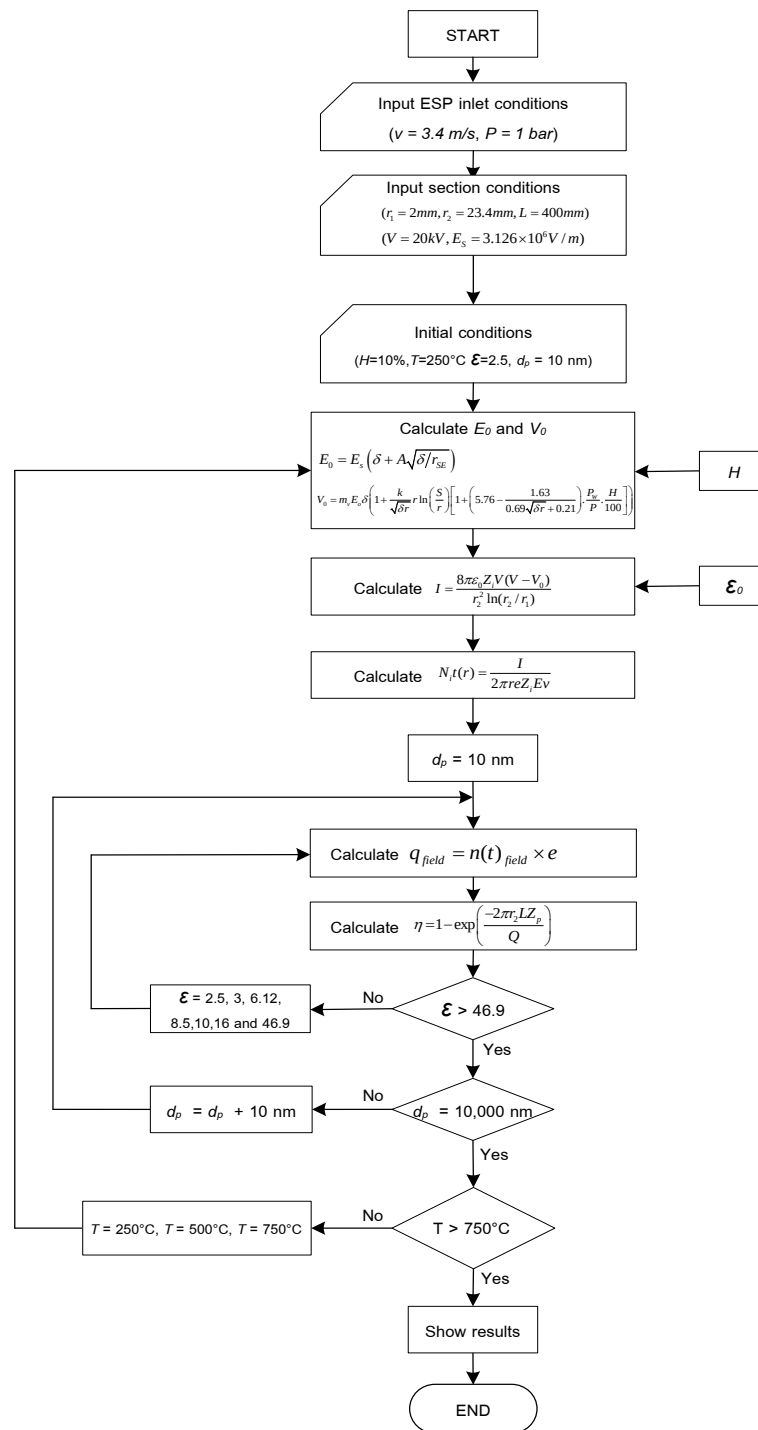
ตัวแปร	ช่วงการวิเคราะห์
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขั้วดิสชาร์จ	2 มิลลิเมตร
ระยะห่างขั้วดิสชาร์จกับขั้วตกตะกอน	23.4 มิลลิเมตร
ความยาวของขั้วตกตะกอน	400 มิลลิเมตร
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝุ่น	10 nm ถึง 10 μ m
แรงดันไฟฟ้า	20 กิโลโวลต์
ศักย์ไฟฟ้า	บวก
อุณหภูมิแก๊ส	250, 500, 750 องศาเซลเซียส
ความดันภายในท่อ	1 บาร์
ความเร็วของแก๊ส	3.4 เมตรต่อวินาที
ความชื้นในการทดสอบ	10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2 ค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุที่ใช้วิเคราะห์ (HyperPhysics, 2016; มงคล และคณะ, 2553)

ชนิดของวัสดุ	คงตัวของไดอิเล็กทริก
Heavy Oils	2.5
Carbon Black	3.0
Sodium Chloride	6.12
Dimethyl Phthalate	8.5
Glass	10
Germanium	16
Thallium Chloride	46.9

และสนามไฟฟ้าเบรกดาวน์ ต่อจากนั้นจะทำการคำนวณหาค่าแรงดันและสนามไฟฟ้าเริ่มเกิดโคโรนาด้วยสมการที่ (2) ถึง (7) และทำการคำนวณค่ากระแสโคโรนาจากสมการที่ (9) พร้อมกับกำหนดค่าความชื้นในการทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ค่าเปอร์มิตติวิตีของสุญญากาศของอากาศภายในเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตเท่ากับ 8.854×10^{-12} ฟารัดต่อเมตร และผลคูณของเวลาที่ใช้ในการอัดประจุกับความเข้มข้นจำนวนของไอออน ต่อจากนั้นกำหนดการเปลี่ยนค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุที่ใช้วิเคราะห์ทั้ง 7 ชนิด โดยเริ่มจากไดอิเล็กทริกของวัสดุค่าน้อยไปหาค่าที่มากกว่าค่า 2.5 ถึง 46.9 และจากนั้นกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ของอนุภาคเริ่มต้นที่ 10 นาโนเมตร และคำนวณหาค่าการอัดประจุของอนุภาคที่เกิดขึ้นภายในเครื่องตกตะกอนจากสมการที่ (10) ถึง (15) จากนั้นทำการคำนวณซ้ำโดยการเปลี่ยนค่าคงตัวของการเป็นฉนวนของอนุภาคจนครบทุกค่า หลังจากนั้นจะเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคขึ้นครั้งละ 10 นาโนเมตร ไปจนถึงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10,000 นาโนเมตร หรือ 10 ไมโครเมตร และคำนวณซ้ำจนครบ โดยการทำงานของโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์จะทำการตรวจเช็คเงื่อนไขค่าตัวแปรทั้ง 3 ค่าที่เป็นปัจจัยในการศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้



ภาพที่ 3 โค้ดโปรแกรมลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของวัสดุทั้ง 7 ค่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเปลี่ยนค่าจนครบ 10,000 นาโนเมตร และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทั้ง 3 ค่า ถูกต้องตามเงื่อนไข เมื่อทำงานจนครบแล้ว จะนำค่าที่

ได้ออกมาแสดงผลในการทำนายของค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของวัสดุต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตในรูปของค่าตัวเลขและกราฟ

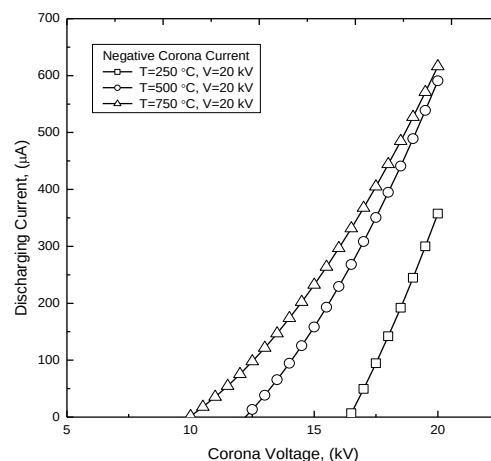
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส - แรงดันไฟฟ้า

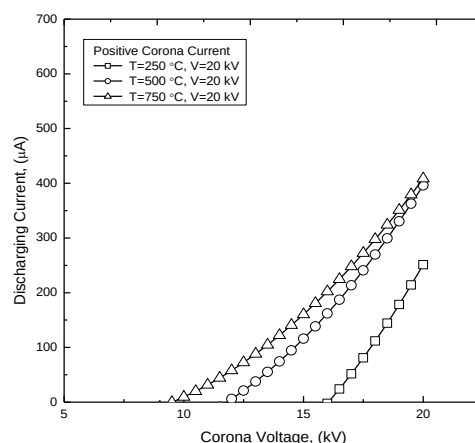
ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส - แรงดันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต โดยใช้แรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงขนาด 20 กิโลโวลต์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิเท่ากับ 250, 500 และ 750 องศาเซลเซียส จากผลการวิเคราะห์แสดงไว้ดังภาพที่ 4 พบว่าค่ากระแสดิสชาร์จจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดันโคโรนาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่ากระแสดิสชาร์จโคโรนาลบจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 38 ถึง 620 ไมโครแอมป์ และค่ากระแสดิสชาร์จโคโรนาบวกจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 24 ถึง 408 ไมโครแอมป์ โดยแรงดันไฟฟ้าเริ่มเกิดโคโรนาดิสชาร์จสำหรับโคโรนาลบตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 250, 500 และ 750 องศาเซลเซียส จะเริ่มต้นที่ประมาณ 16.5, 12.5 และ 10 กิโลโวลต์ และแรงดันไฟฟ้าเริ่มเกิดโคโรนาดิสชาร์จสำหรับโคโรนาบวก จะเริ่มต้นที่ประมาณ 16.5, 12.8 และ 10.2 กิโลโวลต์ ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าเริ่มเกิดโคโรนาดิสชาร์จได้เร็วขึ้นและให้ค่ากระแสดิสชาร์จโคโรนาสูงขึ้นตาม สอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมาของ (Fadhil, 2017) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสดิสชาร์จโคโรนาลบและบวก จะพบว่าโคโรนาลบจะให้ค่าสูงกว่าถึง 212 ไมโครแอมป์ (620-408 ไมโครแอมป์)

2 จำนวนประจุรวมของอนุภาค

ผลการวิเคราะห์จำนวนประจุรวมของอนุภาคแต่ละขนาดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุตามตารางที่ 1 และเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิแสดงดังภาพที่ 5 พบว่าจำนวนประจุของอนุภาคมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคต่ำกว่า 100 นาโนเมตร และมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร โดยค่าจำนวนประจุของอนุภาคจะมีค่าลดลงเมื่อ



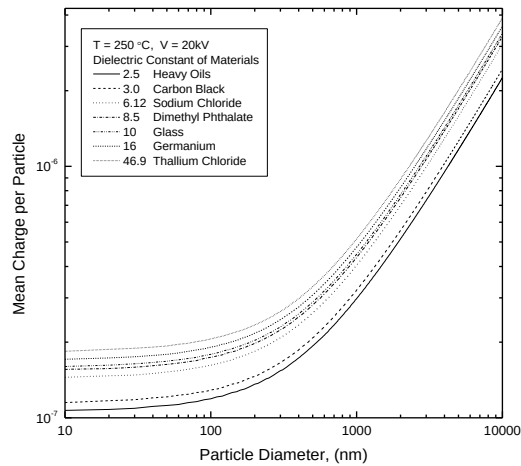
(ก) โคโรนาลบ



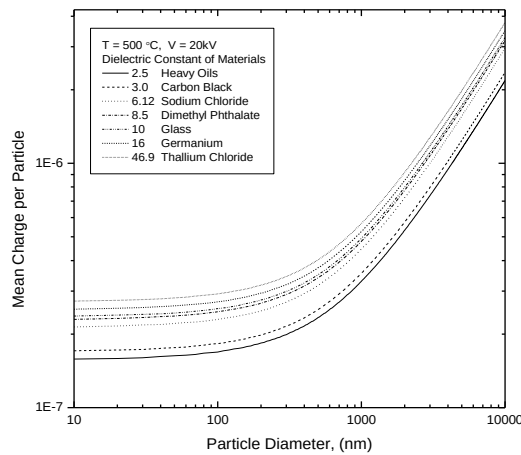
(ข) โคโรนาบวก

ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส - แรงดันเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

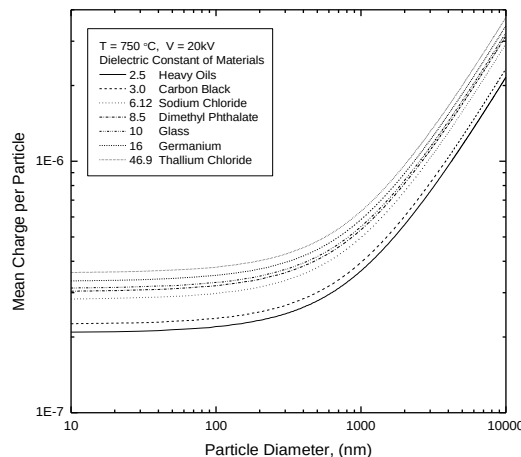
ค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุลดลง ซึ่งหมายความว่า ถ้าค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุมีค่าน้อย จะมีผลต่อการอัดประจุไฟฟ้า จากผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ดังภาพที่ 5(ก) อุณหภูมิทดสอบ 250 องศาเซลเซียส พิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค 1000 นาโนเมตร ของค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุต่ำสุด Heavy Oils เท่ากับ 2.5 และค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุสูงสุด Thallium Chloride เท่ากับ 46.9



(ก) อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส



(ข) อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



(ค) อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส

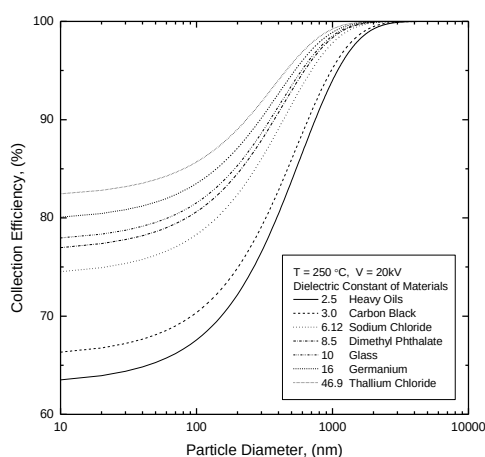
ภาพที่ 5 จำนวนประจุรวมของอนุภาคแต่ละชนิดที่

เปลี่ยนแปลงค่าคงตัวของไดอิเล็กทริก และอุณหภูมิ จะมีจำนวนประจุของอนุภาคเท่ากับ 2.98×10^{-7} และ 5.14×10^{-7} ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงนัยสำคัญว่า ถ้าค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุมีค่าน้อยจะมีผลต่อจำนวนการอัดประจุไฟฟ้าของอนุภาคน้อยตาม และจะทำการอัดประจุได้ดีเมื่ออนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร เมื่อพิจารณาเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้จำนวนประจุของอนุภาคมีค่าสูงขึ้นตาม สอดคล้องกับผลของค่ากระแสดีสชาร์จโคโรนาในภาพที่ 4 จากผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ดังภาพที่ 5 (ก) (ข) และ (ค) พิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค 1000 นาโนเมตร ของค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุต่ำสุด Heavy Oils เท่ากับ 2.5 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทดสอบ 250, 500 และ 750 องศาเซลเซียส พบว่าจะมีจำนวนประจุของอนุภาคเท่ากับ 2.98×10^{-7} , 3.29×10^{-7} และ 3.66×10^{-7} ตามลำดับ และพิจารณา ค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุสูงสุด Thallium Chloride เท่ากับ 46.9 จะมีจำนวนประจุของอนุภาคเท่ากับ 5.14×10^{-7} , 5.67×10^{-7} และ 6.33×10^{-7} ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์จำนวนประจุรวมของอนุภาคแต่ละชนิดที่เปลี่ยนแปลงค่าคงตัวของไดอิเล็กทริก และอุณหภูมิ จะส่งผลกระทบต่อจำนวนประจุของอนุภาคโดยตรง มีความสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมาของ (พานิช, 2558) และ (Fadhil, 2017)

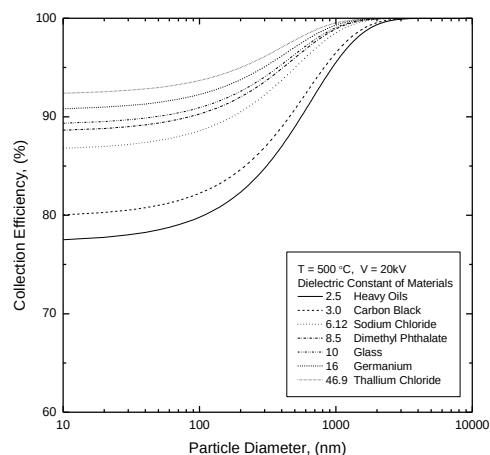
3 ประสิทธิภาพการตกตะกอน

ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค (d_p) กับประสิทธิภาพตกตะกอน (η) ของเครื่องตกตะกอน แสดงดังภาพที่ 6 มีการกำหนดเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคของการอัดประจุแบบสนามไฟฟ้าขนาด 10 นาโนเมตร ไปจนถึงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10,000 นาโนเมตร และมีการเปลี่ยนแปลงค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของ

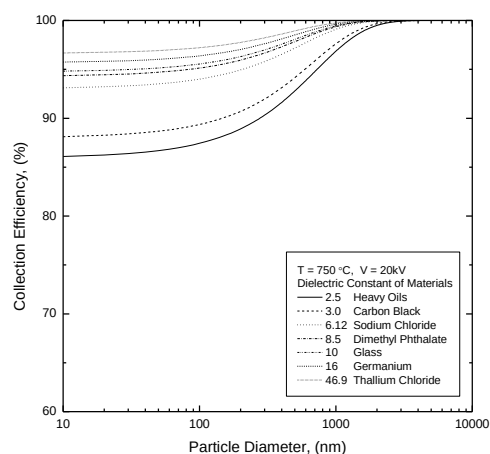
วัสดุ จำนวน 7 ชนิด ประกอบด้วย Heavy Oils, Carbon Black, Sodium Chloride, Dimethyl Phthalate, Glass, Germanium และ Thallium Chloride มีค่าเท่ากับ 2.5, 3, 6.12, 8.5, 10, 16 และ 46.9 ตามลำดับ โดยพิจารณาอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 10 นาโนเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร พบว่าประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาคแต่ละขนาดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุและอุณหภูมิ จากรูปจะพบว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 64 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับผลงานวิจัย (มงคลและคณะ, 2553) โดยค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เช่นเมื่อพิจารณาที่ค่าไดอิเล็กทริกของวัสดุชนิด Heavy Oils (ค่าเท่ากับ 2.5) ที่อุณหภูมิ 250, 500 และ 750 องศาเซลเซียส จะให้ค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนเท่ากับ 64.0, 77.5 และ 86.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนจะมีค่าลดลง เมื่อค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุมีค่าลดลง ซึ่งหมายความว่าถ้าค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุมีค่าน้อยจะมีผลต่อจำนวนประจุไฟฟ้าของอนุภาคและมีผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาคได้น้อย สำหรับประสิทธิภาพ



(ก) อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส



(ข) อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส



(ค) อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค (d_p) กับประสิทธิภาพตกตะกอน (η) ของเครื่องตกตะกอนฯ

การตกตะกอนอนุภาค η ของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต สามารถคำนวณค่าได้ตรงจากสมการที่ (14) ของ Deutsch (Hinds, 1999) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่ากระแสดีสชาร์จ ค่าจำนวนประจุรวมของอนุภาคที่เกิดขึ้น

สรุป

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแส - แรงดันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต พบว่าค่ากระแสดีสชาร์จจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดันโคโรนาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่ากระแสดีสชาร์จโคโรนาลบจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 38 ถึง 620 ไมโครแอมป์ และค่ากระแสดีสชาร์จโคโรนาบวกจะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 24 ถึง 408 ไมโครแอมป์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าเริ่มเกิดโคโรนาดีสชาร์จได้เร็วขึ้นและให้ค่ากระแสดีสชาร์จโคโรนาสูงขึ้นตาม

ได้สัมมนาและกำหนดชนิดของฝุ่นละอองลอย จะใช้ในการศึกษานี้จำนวน 7 ชนิด คือ Heavy Oils, Carbon Black, Sodium Chloride, Dimethyl Phthalate, Glass, Germanium และ Thallium Chloride ซึ่งมีค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 46.9 จากการวิเคราะห์พบว่าจำนวนประจุของอนุภาคมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคต่ำกว่า 100 นาโนเมตร และมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร โดยค่าจำนวนประจุของอนุภาคจะมีค่าลดลงเมื่อค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุลดลง และพบว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 64 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะเป็นประโยชน์กับการออกแบบเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุที่เกิดจากการเผาไหม้ ตามความต้องการที่จะกำจัด

ข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต

ในการวิจัยต่อไปคณะผู้วิจัยจะออกแบบและสร้างเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบท่อทรงกระบอกซ้อนกัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการ

ตกตะกอนของอนุภาคในช่วงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 นาโนเมตร ไปจนถึงขนาด 10 ไมโครเมตร ตามมาตรฐาน USEPA เทียบกับผลการจำลองทางคณิตศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผลการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมภายใต้โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงใหม่ ขอขอบคุณหน่วยวิจัยสนาม ไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม (RUEE : Research Unit of Applied Electric Field in Engineering) ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการทำงานวิจัยและพัฒนาผลงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- ชญาศักดิ์ รัตนโชติ, พีระพงศ์ ทิมสกุล และ ยุทธนา ฐิระวิชย์กุล. 2551. เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสำหรับการดักจับเขม่าจากการเผาไหม้ไม้ฟืน, น. 59-63. ใน รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.
- พานิช อินต๊ะ. 2558. เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต, น. 139-148. ใน ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และ นคร ทิพย์วงศ์, บรรณาธิการ. เทคโนโลยีการวัดและการควบคุมฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิต. เจริญ ก๊อปปี้ เซ็นเตอร์, เชียงใหม่.
- พานิช อินต๊ะ และ ณัฐวุฒิ คุชฎี. 2550ก. ศักยภาพการดักจับอนุภาคแขวนลอยจากเตาเผาชีวมวลด้วยเทคนิคการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต, น. 52-58. ใน รายงานการประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายทอดผลงานความรู้อันเนื่องมาจาก

ในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 6.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

พานิช อินต๊ะ และ ณัฐวุฒิ คุณฎี. 2550ข. การทำนายประสิทธิภาพการตกตะกอนรวมของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบสาย-แผ่นสำหรับการกำจัดอนุภาคฝุ่นจากเตาเผาชีวมวล, น. 152-158. ใน รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21. โรงเรียนนายเรืออากาศ, ชลบุรี.

มงคล ไชยวงศ์, วิสูตร อาสนวิจิตร, อาทิตย์ ยาวุฑฒิ และ พานิช อินต๊ะ. 2553. การวิเคราะห์ผลของค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัสดุต่อการอัดประจุไฟฟ้าอนุภาคในเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต, น. 1-6. ใน รายงานการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

วชร กาลาสี, นฤบดี ศรีสังข์, ภัทธร สุพัตถกุล และ พิระพงศ์ ทิมสกุล. 2549. ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนทางไฟฟ้าสถิต ส่วนที่ 1: อนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้ง, น. 75-79. ใน รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

ส่วนขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย. 2560. รายงานสถานการณ์ ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทยปี 2559. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

อุษณีย์ วินิจเขตคำนวน, ชีระ ชีโวณรินทร์ และ ณรงค์พันธ์ จุณรัมย์. 2550. รายงานการวิจัยการทำลายดีเอ็นเอของเซลล์อุ้งลมโปดจาก

การออกซิไดส์ด้วยสารสกัดจากฝุ่นขนาดเล็ก

PM 2.5 และ PM 10 ในอากาศเชียงใหม่และ

ลำพูน . คณะแพทยศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อาทิตย์ ยาวุฑฒิ, พานิช อินต๊ะ, วิสูตร อาสนวิจิตร, สุทธิชัย เปรมฤดีปรีชาชาญ และ นครทิพย์วาท. 2554. การออกแบบเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสำหรับการกำจัดฝุ่นควันจากเตาเผาขยะชุมชน, น. 627-632. ใน รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, กรุงเทพฯ.

Chang, J., Kelly, A.J. and Crowley, J.M. 1995. **Handbook of Electrostatic Processes.** Marcel Dekker Inc., New York.

Electrical4u, 2018. **Principle of Electrostatic precipitator.** Popular Science. Available Source: <https://www.electrical4u.com/electrostatic-precipitator/>, November 9, 2018.

Fadhil, K.F., 2017. Pressure and temperature effects on corona onset voltage in electrostatic precipitators. **International Journal of Physical Sciences** 12(5): 52-59.

Hinds, W.C. 1999. **Aerosol technology.** John Wiley and Sons, New York.

HyperPhysics. 2016. **Dielectric Constants at 20 °C.** Available Source: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Tables/diel.html>, November 18, 2018.

Intra, P. and Tippayawong, N., 2009. Progress in unipolar corona discharger designs for airborne particle charging: A literature review. **Journal of Electrostatics** 67(4): 605-615.

- Intra, P. and Tippayawong, N., 2005. Approach to characterization of a diode type corona charger for aerosol size measurement. **KIEE International Transactions on Electrophysics & Applications** 5-C(5): 196-203.
- Jaworek, A., Krupa, A. and Czech, T., 2006. Modern electrostatic devices and methods for exhaust gas cleaning A brief review. **Journal of Electrostatics** 65: 133-155.
- Parker, K.R. 1997. **Applied Electrostatic Precipitation**. Blackie Academic and Professional, New York.
- Tekasakul, S., Tantichaowan, M., Otani, Y., Kuruhongsa, P. and Tekasakul, P. 2006. Removal of Soot Particles in Rubber Smoking Chamber by Electrostatic Precipitator to Improve Rubber Sheet Color. **Aerosol and Air Quality Research** 6(1): 1-14.
- White, H.J. 1963. **Industrial Electrostatic Precipitation**. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, USA.
- Yawootti, A. Intra, P. Tippayawong, N. and Rattanadecho, P. 2015. An experimental study of relative humidity and air flow effects on positive and negative corona discharges in a corona-needle charger. **Journal of Electrostatics** 77: 116-122.

การควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อน

Soil Moisture Control System for Melon Cultivation in Greenhouse

เอกรัฐ ชะอู่มเอียด* และ เดือนแรม พ่างเกี้ยว

Accarat Chaoumead* and Duanraem Phangkeio

Received: 15 May 2018, Revised: 4 July 2018, Accepted: 23 November 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการปลูกเมล่อนระบบโรงเรือนซึ่งใช้วิธีการควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับปลูกพืช ได้แก่ ควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และการให้น้ำดินปลูกเมล่อนภายในโรงเรือน โดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์มาพัฒนาให้เหมาะสมกับรูปแบบการปลูกพืช การปลูกเมล่อนด้วยดินในโรงเรือนมีปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม 3 ส่วน คือ อุณหภูมิภายในโรงเรือน ความชื้นของอากาศภายในโรงเรือน และความชื้นของดินปลูก ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วิธีการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนโดยการระบายความร้อนออก การควบคุมความชื้นในอากาศโดยการสเปรย์ละอองน้ำ และควบคุมความชื้นในดินปลูกด้วยระบบน้ำหยด ผลการทดลองระบบควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับปลูกพืชโรงเรือนเมล่อน พบว่า การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 28-30 °C ความชื้นในอากาศอยู่ที่ 70-80% และการให้น้ำในดินโดยการรักษาระดับความชื้นอยู่ที่ 80-99% (ปริมาณน้ำตามช่วงอายุของพืช) เหมาะสมต่อการปลูกเมล่อน จากการวิเคราะห์ผลการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และการให้น้ำดินปลูก ระบบสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง รวมถึงควบคุมสภาวะบรรยากาศภายในโรงเรือนปลูกเมล่อนให้อยู่ในค่าที่กำหนดไว้ได้อย่างแม่นยำและเที่ยงตรง

คำสำคัญ: เมล่อน, ไมโครคอนโทรลเลอร์, โรงเรือน, การควบคุมความชื้นในดิน

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ตำบลบ้านกร่าง อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok, Ban Krang, Mueang Phitsanulok, Phitsanulok 65000, Thailand.

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

ABSTRACT

This research presents melon cultivation in greenhouse using environmental control methods such as temperature, air humidity and soil water. The microcontrollers and equipment were applied to support the growing pattern. Growing melon with soil in the greenhouse consisted of three environmental factors: temperature, humidity in the greenhouse and soil moisture. This research employed a method of temperature control inside the greenhouse by cooling off, controlling moisture in the air by spraying water, and controlling the moisture in the soil grown with drip irrigation system. The experimental results of the environment control system for growing melon in the greenhouse found that the proper temperature was in the range of 28-30 °C, the proper humidity in the air was 70-80%, and the soil water retention by maintaining the moisture level was 80-99% (water content relies on the age of the plant). According to the analysis of temperature control, air humidity, and soil watering, the systems is continuously able to work. Moreover, the developed system can control the atmospheric conditions in the greenhouse to be precisely and accurately defined.

Key words: melon, microcontroller, greenhouse, soil moisture control

บทนำ

การปลูกพืชในโรงเรือนเป็นการควบคุมปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อพืชในสภาวะต่างๆ เช่น การรดน้ำ ใส่ปุ๋ย การควบคุมธาตุอาหาร อุณหภูมิ ความชื้น และแสง ให้เป็นไปตามที่ต้องการของลักษณะการปลูกพืชแต่ละชนิด และยังสามารถติดตั้งระบบเพื่อสนับสนุนทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติหรืออัตโนมัติ โดยขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ปลูกหรือเกษตรกร (ชนากร และ อติกร, 2557) อีกทั้งช่วยควบคุมและรักษาสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถนำผลการวัดต่างๆ ภายในโรงเรือนมาวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นการป้องกันและลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้ รวมถึงวางแผนบริหารจัดการโรงเรือนให้สามารถสร้างผลผลิตที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ปัญหาจากสภาพแวดล้อมของอากาศที่สำคัญสำหรับการปลูกเมล่อน คือ อุณหภูมิ และฝน ดันเมล่อนไม่ชอบอากาศหนาวจัดและร้อนจัด (อาทิตย์ และคณะ, 2559)

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเมล่อนอยู่ที่ 25-30 องศาเซลเซียสในเวลากลางวัน และ 18-20 องศาเซลเซียสในเวลากลางคืน หากเมล่อนกระทบกับอากาศหนาวเย็นจะทำให้ชะงักการเจริญเติบโตได้ตั้งแต่ระยะต้นกล้า การออกดอกติดผลจะล่าช้า และถ้าอากาศยิ่งหนาวจัด ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ดันเมล่อนจะหยุดการเจริญเติบโต ในกรณีอากาศที่ร้อนเกินไปหรืออุณหภูมิเกินกว่า 30 องศาเซลเซียส

เมล่อนมักจะสร้างแต่ดอกตัวผู้ ไม่มีดอกตัวเมีย หรือถ้ามีดอกตัวเมียก็จะร่วงง่ายไม่ติดผล สำหรับการให้น้ำถ้าเมล่อนถูกน้ำฝนบ่อยมักจะเกิดโรคน้ำค้าง เมล่อนเป็นพืชที่มีใบใหญ่คายน้ำมากจึงต้องการน้ำในปริมาณมากในแต่ละวันนับจากหลังย้ายปลูกแล้ว ในช่วงเริ่มต้นหลังย้ายกล้าอาจอยู่ในช่วง 0.5-1 ลิตร/ต้น/วัน ความต้องการน้ำของดันเมล่อนจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเมล่อนเริ่มออกดอกและติดผลจะเป็นช่วงที่เมล่อนมีปริมาณความต้องการน้ำสูงที่สุด การให้น้ำแก่เมล่อนจึงต้องเพิ่มปริมาณการ

ให้น้ำแก่ต้นเพิ่มมากขึ้นทุกสัปดาห์ จนถึงระยะออกดอกและติดผลจึงให้น้ำในปริมาณที่คงที่ได้ ความต้องการน้ำของต้นเมล่อน และในช่วงที่กำลังออกดอกและติดผลอาจสูงถึงวันละ 2-3 ลิตร/ต้น/วัน

งานวิจัยนี้จึงพัฒนาระบบการควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อน การปลูกนั้นจะประกอบไปด้วยการให้น้ำระบบน้ำหยด การลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน และความชื้นในอากาศให้เหมาะสมต่อการปลูกเมล่อนแบบอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล AVR โดยระบบอาduino (Arduino) รับค่าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในโรงเรือน เซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดินและในอากาศ (เทพพิทย และ วิริยะ, 2555) ผ่านการประมวลผลข้อมูล และสั่งการควบคุมการให้น้ำ และระบายความร้อน นอกเหนือจากการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนเมล่อนได้แล้ว ยังสามารถบันทึกข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์สภาพแวดล้อมในการผลิตที่เหมาะสม นำมาซึ่ง

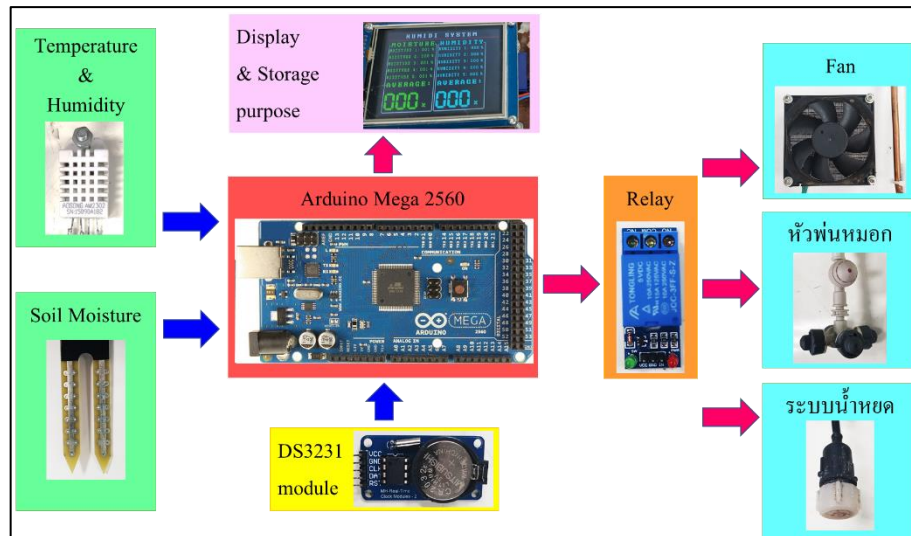
ผลผลิตที่มีคุณภาพ และการจัดการดูแลการปลูกพืชในโรงเรือนด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบชุดควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) แบบ Open Source อาduino (Arduino) สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ โดยผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาทางขา I/O ของบอร์ด สามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) (คำคุณ และ รัฐศิลป์, 2560) และทำการเขียนโปรแกรมควบคุมสถานะที่เหมาะสมกับพืชที่ต้องการปลูก โดยคำนึงถึงพื้นที่แสงอาทิตย์ส่องถึงและลักษณะของโรงเรือนแบบกึ่งปิด เพื่อกำหนดจุดตรวจวัด ขนาดของโรงเรือนที่ใช้ในการทดลองขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 3 เมตร สูง 3 เมตร แสดงในภาพที่ 1



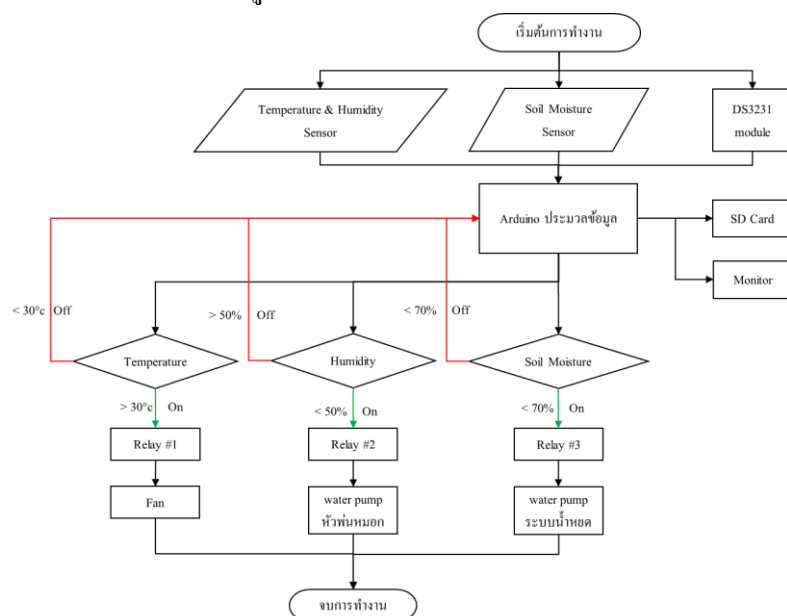
ภาพที่ 1 ลักษณะโรงเรือนกึ่งปิดที่ใช้ในการทดลองระบบ



ภาพที่ 2 ภาพรวมของระบบชุดควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อน

จากภาพที่ 2 การสร้างชุดควบคุม ต้องทำการออกแบบระบบที่ต้องมีส่วนประกอบด้วยกัน 3 ส่วน คือ 1) ส่วนรับข้อมูล หรือเซนเซอร์ ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าความชื้น และอุณหภูมิ 2) ส่วนของการประมวลผล ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega 2560) (ธนพนธ์ และ อธิพล, 2559) ตัดสินใจหรือทำตามเงื่อนไขที่ป้อนข้อมูลค่าตั้ง 3) ส่วนแสดงผลหรือส่งสัญญาณ เป็นการแสดงข้อมูลที่วัดได้และส่งสัญญาณให้รีเลย์ทำงานตัดหรือต่อการทำงานของมอเตอร์แบบหน้าสัมผัส ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลลงใน

หน่วยความจำ เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ จากการศึกษาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเมล่อน ความต้องการน้ำของเมล่อนสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามใบฤดูกาลและความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ฉะนั้นการให้น้ำต้นเมล่อนจึงนิยมใช้ระบบน้ำหยดเป็นการประหยัดน้ำอีกด้วย อย่างไรก็ตามใช้เป็นส่วนของการกำหนดและเงื่อนไขการทำงานของระบบ โดยใช้ชุดคำสั่งสามารถเขียนแผนผังการทำงานได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนผังการทำงานของระบบชุดควบคุมภายในโรงเรือนเมล่อน

โดยผลของการรับข้อมูล เพื่อนำมาประมวลผลนั้น การหาค่าความชื้นในดินต้องนำแท่งอิเล็กโทรดปักลงดินบริเวณต้นเมล่อน ซึ่งต้องทำการทดลอง (Soil moisture sensor module) กับดินที่ใช้ปลูกจริง และทำการแปลงค่าจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter, ADC) (อนุรักษ์, 2553) โดยใช้สมการที่ 1

$$ADC = \frac{V_{in} \times 1024}{V_{REF}} \quad (1)$$

เมื่อ V_{REF} คือ แรงดันจากแหล่งจ่ายมีค่าเท่ากับ 5 โวลต์

V_{in} คือ แรงดันเข้า โวลต์

ADC คือ ค่าการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

เมื่อได้ผลการแปลงข้อมูลก็จะทำการกำหนดระยะของจุดปักหัววัดกับดินเมล่อนและหัวน้ำหยด จากการศึกษาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกเมล่อนเกี่ยวกับความต้องการน้ำในแต่ละช่วงอายุของต้นเมล่อน ทำการเปรียบเทียบเป็นอัตราส่วนร้อยละหรือค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงอายุต้นเมล่อนกับปริมาณน้ำที่ต้องการในแต่ละวัน เปรียบเทียบเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ช่วงอายุต้นเมล่อน	จำนวนวัน	ปริมาณน้ำ/ต้น/วัน	สัปดาห์ที่	Soil Moisture (%)
เริ่มปลูก เพาะเมล็ด	1-7	ชุ่มน้ำ	1	-
ระยะตั้งตัวก่อนออกดอก	8-15	0.5	2	30
	16-22	1	3	40
	23-29	1	4	40
	30-36	2	5	60
	37-43	2	6	60
ระยะดอกบานและติดผล	44-50	3	7	80
	51-57	3	8	80
	58-64	3	9	80
	65-71	3	10	80
	72-78	3	11	80
ก่อนเก็บเกี่ยว	79-85	หยุดให้น้ำ	12	-

การควบคุมการให้น้ำและระบายความร้อนภายในโรงเรือน การวัดค่าความชื้น และอุณหภูมิเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการประมวลผล จากพื้นที่ของโรงเรือนใช้การหาค่าเฉลี่ยแบบ 5 จุด (นิพนธ์ และ เอกชัย, 2551) ควบคุมการให้น้ำระบบน้ำหยด การควบคุมระดับความชื้นและอุณหภูมิในโรงเรือนได้อย่างสม่ำเสมอทั้งโรงเรือน จากสมการที่ 2

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \quad (2)$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

X_n คือ ข้อมูล

N คือ จำนวนข้อมูล

ชุดควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนเมล่อน สามารถปรับตั้งค่าที่กำหนดได้จากหน้าจอสัมผัสเพื่อการปรับการทำงานให้สอดคล้องกับช่วงฤดูการหรือตามความต้องการของผู้ใช้ จากภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ชุดควบคุมภายในโรงเรือนเมล่อน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการทดลองการทำงานชุดควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อน สามารถทำงานเป็นไปตามผังการทำงานที่ออกแบบไว้ และ

แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของอุปกรณ์ที่สะดวกต่อการใช้งานที่ออกแบบให้ง่ายต่อการควบคุมและแสดงค่าที่ต้องการอย่างชัดเจน

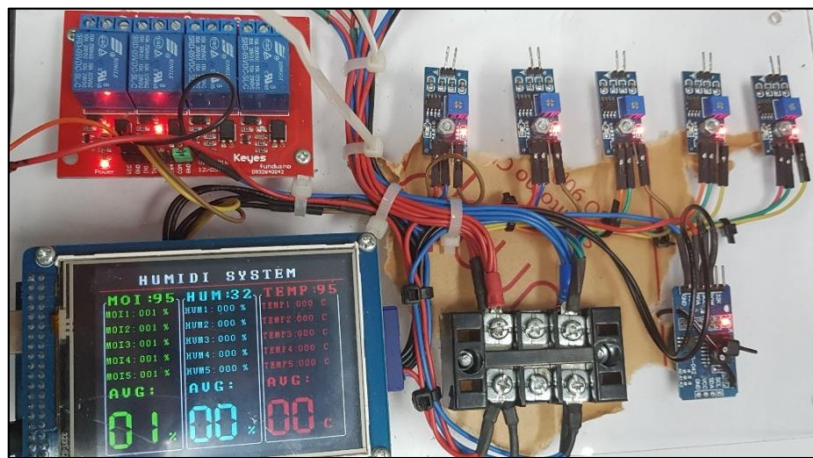
การบันทึกค่าความชื้นทำการบันทึกผลการทดลองโดยใช้ SD Card ขนาด 8 Gb ในการบันทึกค่าความชื้นทุกๆ 30 นาที โดยค่าความชื้นจะถูกบันทึกลงให้ไฟล์ Data.tex ตามที่ได้ตั้งค่าของการเขียน Code ใน Microcontroller (อรพิน, 2543) และนำค่าที่บันทึกได้ไปแสดงในรูปแบบกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel การรักษาสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จะต้องมีการควบคุมปัจจัยที่สำคัญคือ อุณหภูมิและความชื้นให้คงที่และเหมาะสมกับชนิดของพืชนั้นๆ (ธีรยศ และ ประยูร, 2554) โครงสร้างของโรงเรือนจะต้องมีระบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้น เพื่อวัดอุณหภูมิและวัดความชื้นภายในโรงเรือนระบบปิด (ศราวุฒิ, 2560)

อุปกรณ์ประกอบวงจรทำงานได้ปกติ (ศุภวุฒิ และ คณะ, 2557) จากการทดสอบประสิทธิภาพของชุดควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อนแสดงในภาพที่ 5 โดยทำการเปรียบเทียบสภาพอากาศภายนอกโรงเรือนกับการควบคุมสภาพแวดล้อมของ

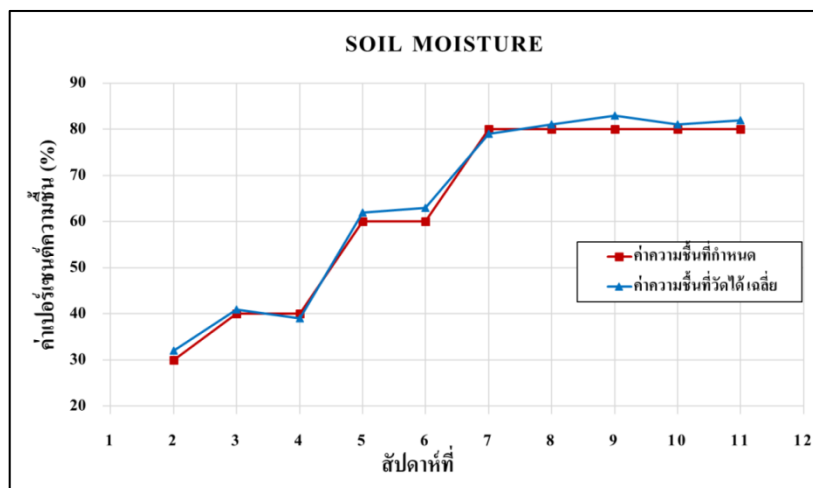
การปลูกให้เหมาะสมกับดินเมล็ดแบบอัตโนมัติ (เกษตรกรรมธรรมชาติ, 2559) ซึ่งทำการทดสอบค่าความชื้นในดิน ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิในโรงเรือน จากการทดลองสามารถแสดงให้เห็นในภาพที่ 6

การรักษาระดับความชื้นในดินปลูกต้นเมล็ดตามความต้องการน้ำในแต่ละช่วงของการปลูกซึ่งมี 4 ช่วงอายุ จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าช่วง

หลังจากสัปดาห์ที่ 2 ระยะตั้งตัวก่อนออกดอกไปจนถึงสัปดาห์ที่ 7 ระยะดอกบานและติดผล ต้นเมล็ดจะมีความต้องการน้ำในอัตราส่วนเพิ่มขึ้นตามอายุของเมล็ด และหลังสัปดาห์ที่ 7 จนถึง สัปดาห์ที่ 11 คือระยะดอกบานและติดผล เมล็ดจะมีความต้องการน้ำที่คงที่แต่ควรสม่ำเสมอตลอดช่วงอายุจนเข้าสู่สัปดาห์ที่ 12 เกษตรกรจะทำการหยุดให้น้ำเพื่อเป็นการเพิ่มความหวานแก่ผลเมล็ด



ภาพที่ 5 ทดสอบระบบของชุดควบคุมภายในโรงเรือนเมล็ด



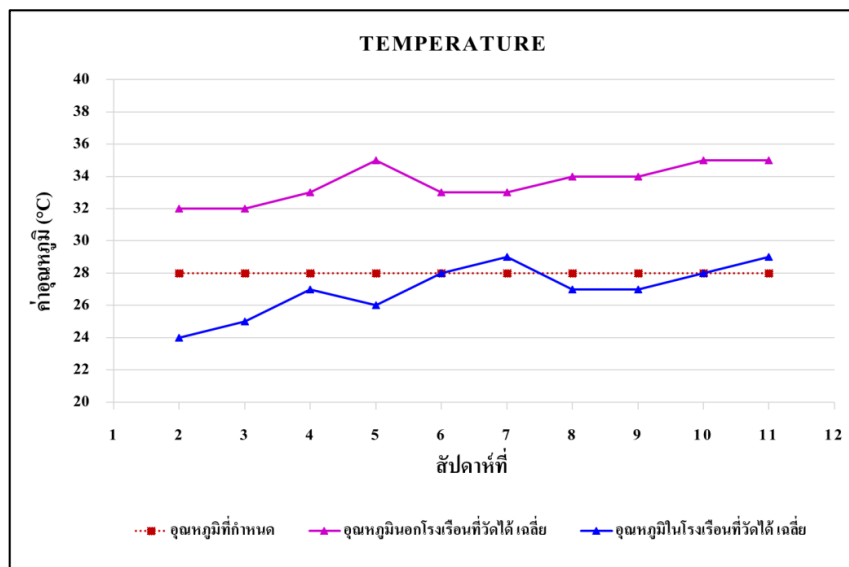
ภาพที่ 6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินของการให้น้ำต้นเมล็ดระหว่างค่าที่กำหนดกับค่าที่วัดได้

จากภาพที่ 7 แสดงอุณหภูมิภายนอก
โรงเรือนเฉลี่ยอยู่ที่ 34°C และต้องการรักษาระดับ

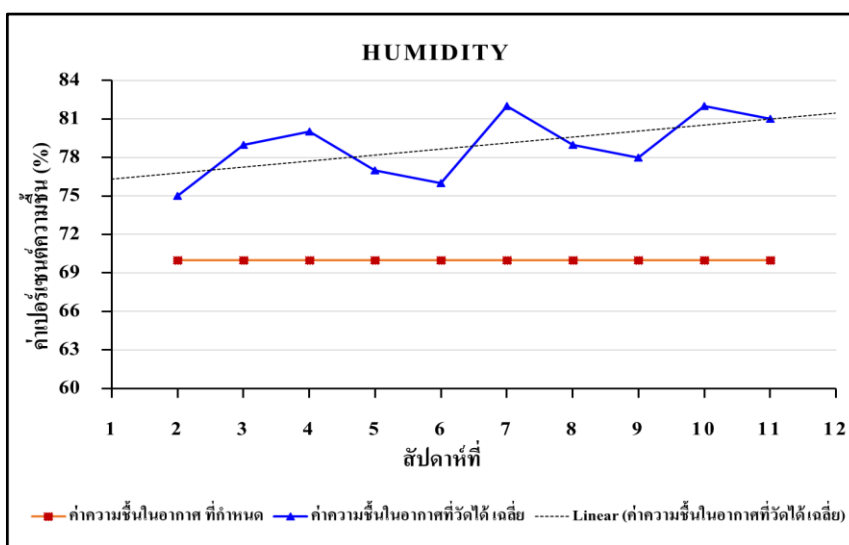
ของอุณหภูมิภายในโรงเรือน จากค่าที่
กำหนดไว้ไม่เกิน 28°C โดยที่อาศัยการลอยตัวของ
อากาศที่มีอุณหภูมิสูง ลอยตัวขึ้นแล้วทำการดึงอากาศ
ออกโดยใช้พัดลมระบายอากาศ (เฉลิมชาติ และคณะ,
2561)

ภาพที่ 8 แสดงค่าความชื้นในอากาศโดยการ

กำหนดค่าความชื้นไว้ที่ไม่ต่ำกว่า 70% ชุดควบคุม
สามารถทำการเพิ่มความชื้นไม่ให้ต่ำกว่าค่าที่กำหนดได้
โดยมีแนวโน้มของค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นจากการ
ทดลองอยู่ในช่วง เดือนธันวาคม ถึง เดือนกุมภาพันธ์
นั้นคือช่วงปลายฤดูหนาวเข้าสู่ฤดูร้อน อีกทั้งยังมีลม
แรงทำให้ค่าความชื้นที่ตรวจวัดได้ไม่อยู่ในเชิงเส้น
แต่สรุปได้ว่าระบบสามารถรักษาค่าความชื้นไม่ต่ำ
กว่าค่าที่กำหนดไว้



ภาพที่ 7 ค่าอุณหภูมิที่กำหนด เปรียบเทียบกับภายนอกโรงเรือนและอุณหภูมิที่ควบคุมภายในโรงเรือน



ภาพที่ 8 ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นภายในโรงเรือนที่กำหนดกับความชื้นที่ระบบสามารถควบคุมได้

สรุป

จากผลการทดลองสามารถแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อน รวมถึงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกเมล่อนเพื่อการควบคุมผลการผลิตให้มีคุณภาพ โดยสภาพแวดล้อมในโรงเรือนมีปัจจัยสภาวะบรรยากาศสำหรับปลูกเมล่อน 3 ส่วน คือ

1) อุณหภูมิภายในโรงเรือนที่เหมาะสมกำหนดค่าไว้ที่ไม่มากกว่า 28 °C ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนได้ โดยเฉลี่ย 27 °C คิดเป็น 96.4%

2) ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของอากาศภายในโรงเรือนกำหนดค่าที่ไม่ต่ำกว่า 70% สามารถควบคุมความชื้นได้เฉลี่ย 78.9% ความชื้นในอากาศ

3) ค่าความชื้นของดินปลูก การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงอายุต้นเมล่อนกับปริมาณน้ำที่ต้องการในแต่ละวัน เปรียบเทียบเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ผลปรากฏว่าการให้น้ำระบบน้ำหยดโดยเฉลี่ยมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ 2.06% แสดงให้เห็นประสิทธิภาพถึงร้อยละ 97.94 ของการรักษาระดับความชื้นในดินที่เหมาะสมกับการให้น้ำในแต่ละช่วงอายุการปลูกเมล่อน แต่ยังมีจุดที่ควรนำมาเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบในส่วน of ค่าความชื้นในอากาศกับฤดูกาล ที่มีผลต่อการควบคุม เรื่องของคุณภาพของดินและเมล็ดพันธุ์ที่นำมาใช้ ต้องควบคุมตัวแปรให้เกิดความผิดพลาดให้น้อยที่สุด เพื่อประสิทธิภาพและความแม่นยำของชุดควบคุม อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบควบคุมการปลูกพืชในโรงเรือนชนิดอื่นๆ ได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา โครงการวิจัยเชิงพัฒนา ปี 2559

เอกสารอ้างอิง

- เกษตรกรรมธรรมชาติ. 2559. การปลูกพืชใช้น้ำน้อยด้วยระบบน้ำหยด. สำนักพิมพ์วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ 1/2559, กรุงเทพมหานคร.
- คำคุณ พันธ์วงศ์ และ รัฐศิลป์ รานอกกานวัชร. 2560. โรงเรือนไฮโดรโปนิคส์อัตโนมัติ, น. 117-120. ใน รายงานการประชุมวิชาการงานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 9 (9th ECTI-CARD 2017). สมาคมวิชาการไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคมและสารสนเทศ, เลย.
- เฉลิมชาติ เสาวรัง, กระวี ตรีอำนาจ และ เทวรัตน์ ตรีอำนาจ. 2561. สมรรถนะการทำงานร่วมของโรงเรือนเพาะปลูกแบบพ่นหมอกกับระบบระบายอากาศที่ควบคุมด้วยสมการสมดุลความชื้นของอากาศ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 24(2): 63-69.
- เทพพิทักษ์ กำแพง และ วิริยะ กองรัตน์. 2555. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไร้สาย. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง 21(1): 89-100.
- ชนพนธ์ สุพัฒน์กิจกุล และ ธีรพล วงศ์สะอาดสกุล. 2559. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิตู้แช่ด้วยอาคูโน, น. 336 - 344. ใน รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านบริหารธุรกิจราชมงคลพระนคร และการนำเสนอผลงานวิจัยเชิงสร้างสรรค์ การจัดการธุรกิจและเทคโนโลยีดิจิทัล. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ.
- ชนากร น้ำหอมจันทร์ และ อติกร เสรีพัฒนานนท์. 2557. ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบ

- ทำความเข้าใจด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำแบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 8(1): 98-111.
- ธีรยศ เวียงทอง และ ประยูร จวงจันทร์. 2554. ระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นอัตโนมัติในโรงเรือนแบบปิด, น. 40-43. ใน รายงานการประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 4 (ECTI-CARD 2012). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- นิพนธ์ มุ่งอ้อมกลาง และ เอกชัย ชูเที่ยง. 2551. การศึกษาและออกแบบพัฒมปรับความเร็วรอบอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- ศราวุฒิ จันทะพรหม. 2560. **ปลูกเมล่อนในโรงเรือน**. สำนักพิมพ์ เอ็มไอเอส, กรุงเทพฯ.
- ศุภวุฒิ ผากา, สันติ วงศ์ใหญ่ และ อติสร ถมยา. 2557. การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเห็ดในโรงเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อเป็น ตำบลปงยางคก อำเภห้างฉัตรจังหวัดลำปาง. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 7(1): 58-69.
- อนุรักษ์ เกษวัฒนากุล. 2553. การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์และศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- อรพิน ประวัตินิรุทธิ์. 2543. **เรียนรู้และเข้าใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino**. สำนักพิมพ์ พ.ศ. พัฒนา, กรุงเทพฯ.
- นภัสพร เสงฮะสุน และ ริชกัชร ศิริโชติ. 2559. การพัฒนาระบบควบคุมความชื้นในดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเมล่อน. ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากพืชท้องถิ่นบางชนิดในอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และ ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย

Biological Activities of Extracts from Some Local Plants in Pakpanang, Nakhon Si Thammarat Province: Antioxidant and Antibacterial Activity

มณฑล เลิศคนาวนิชกุล^{1,2*} กิจศักดิ์ ชววิสิฐ³ และ พูลสิทธิ์ หิรัญสาย¹

Monthon Lertcanawanichakul^{1,2,*}, Kittisak Chawawisit³ and Poonsit Hiransai¹

Received: 21 April 2017, Revised: 2 January 2018, Accepted: 3 May 2019

บทคัดย่อ

การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดพืชครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนาโดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ของสารสกัดพืชท้องถิ่นบางชนิด (ส้มโอทับทิมสยาม แก้วมังกร แห้วจุด ข่าวไข่มดรีน) ในอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธีทดสอบดีพีพีเอช/เอบีทีเอส และทดสอบฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ด้วยวิธีซึมผ่านเข้าเนื้ออุ่น ปรากฏว่าสารสกัดด้วยน้ำหรือสกัดด้วยเอทานอลจากส้มโอทับทิมสยาม แก้วมังกร แห้วจุด ข่าวไข่มดรีน แสดงฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกัน โดยพบว่ามิเฉพาะสารสกัดด้วยเอทานอลของพืชเท่านั้นที่แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ รวมไปถึงแสดงฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย แต่ไม่มีฤทธิ์ต้านยีสต์

คำสำคัญ: ปากพนัง, สารสกัดจากพืช, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย

¹ สำนักวิชาสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ตำบลไทยบุรี อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80161

¹ School of Allied Health Sciences, Walailak University, Thaiburi, Thasala, Nakhon Si Thammarat 80161, Thailand.

² หน่วยวิจัยโรคเขตร้อน สถาบันวิจัยวิทยาการสุขภาพ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ตำบลไทยบุรี อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80161

² Tropical Medicine Research Unit, Research Institute for Health Sciences, Walailak University, Thaiburi, Thasala, Nakhon Si Thammarat 80161, Thailand.

³ หน่วยวิจัยการใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ตำบลไทยบุรี อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80161

³ The Research Unit of Natural Product Utilization, Walailak University, Thaiburi, Thasala, Nakhon Si Thammarat 80161, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): lmonthon55@gmail.com

ABSTRACT

The aim of this descriptive study are to investigate anti-oxidant and anti-bacterial activities of the extracts from some local plants (TubTim Siam pomelo, dragon fruit, Haew Jud and Khai Mod Rin rice) in Pak Panung, Nakhon Si Thammarat. Anti-oxidant activity and anti-bacterial activity were investigated by DPPH/ABTS free radical scavenging assay and agar well diffusion method, respectively. It was found that aqueous and crude ethanolic extracts from Tub-Tim Siam pomelo, Haew Jud, dragon fruit, Khai Mod Rin rice had the different biological activity. The results showed that only ethanolic crude extracts from plants did show anti-oxidant, including possessed the anti-bacterial activity but did not show anti-fungal activity.

Key words : Pakpanang, plant extract, anti-oxidant activity, anti-bacterial activity

บทนำ

ปัญหาสารมลพิษจากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมตกค้างในสิ่งแวดล้อมมีอยู่เป็นจำนวนมาก รวมทั้งสารเคมีบางชนิดในอาหารและเครื่องสำอางยังทำให้ผู้บริโภคเกิดการแพ้หรือเกิดผลข้างเคียงในระยะยาว ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตที่ไปสัมผัสโดนกับสารพิษเหล่านั้น ทำให้การใช้สารสกัดจากพืชที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพจึงกลายเป็นสิ่งที่มีการสนใจอย่างกว้างขวาง มีการนำสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในพืชไปใช้ประโยชน์ทั้งทางการแพทย์ ด้านเกษตรกรรม ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น ทำให้สารสกัดจากพืชได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นสารเคมีที่พบเฉพาะในพืชและได้จากธรรมชาติมีฤทธิ์ทางชีวภาพ และประสิทธิภาพที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย อีกทั้งเกิดผลข้างเคียงน้อย นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์และของเหลือทิ้งทางการเกษตร และเพื่อช่วยลดการนำเข้าของยาหรือสารเคมีที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ

พืชเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญแหล่งหนึ่งของสารพฤกษเคมีซึ่งถูกใช้มาตั้งแต่สมัยอดีตเพื่อรักษาโรคต่างๆ และใช้บำรุงร่างกาย (Hassanpour *et al*, 2011) ในที่นี้จะกล่าวถึงฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัด

จากพืชในสองด้านคือฤทธิ์ทางด้านการใช้ด้านอนุมูลอิสระและด้านแบคทีเรียก่อโรค ซึ่งมีผู้ศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวางในประเทศไทย โดยเฉพาะความสนใจศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ เนื่องจากมีความเชื่อมั่นว่าปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ทางเคมี สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่พบส่วนใหญ่ ได้แก่ สารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds) เช่น ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และแอนโทไซยานิน (Anthocyanins) เป็นต้น (Yen and Hsieh, 1997; Sanchez-Moreno *et al.*, 2000; Pokorny *et al.*, 2001) นอกจากนี้ยังมีสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoids) และ คลอโรฟิลล์ (Chlorophylls) ที่นอกจากเป็นรงควัตถุที่จำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงแล้ว ยังมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี (Pokorny *et al.*, 2001; Hsu *et al.*, 2013) สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติส่วนใหญ่ได้จากการรับประทานอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระเป็นองค์ประกอบ ซึ่งพบมากในพืช จึงมีการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในพืชหลายชนิด อาทิ บัวบก ขี้เหล็ก ตำลึง แมงลัก กระเพรา (Saenthaweesuk *et al.*, 2012) ข้าวไทย (นวลอนงค์

และคณะ, 2561) และกระเจียบ (Christian and Jackson, 2009) เป็นต้น รวมไปถึงผลไม้รสเปรี้ยว เช่น ส้ม (บัณฑิตวรณ และคณะ, 2559) อีกทั้งยังมีรายงานเกี่ยวกับสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคได้ด้วยเช่นกัน (พงศธร และคณะ, 2551; Esekhiagbe *et al.*, 2009; Senful *et al.*, 2009) เช่นที่พบมีรายงานในสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกร เป็นต้น (Masomrong and Suntornsuk, 2014) อย่างไรก็ตามการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์นั้นมักเน้นศึกษาในพืชสมุนไพรสวนครัว ยังมีข้อมูลส่วนน้อยที่รายงานในผลไม้และข้าว โดยเฉพาะในพืชประจำถิ่นในพื้นที่อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช รายงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลยืนยันเบื้องต้นทางวิทยาศาสตร์ของสารพฤกษเคมีจากพืชท้องถิ่นบางชนิดในอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช ประเทศไทย ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระและด้านแบคทีเรียก่อโรค เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้สนใจที่จะศึกษาค้นคว้าในด้านนี้ต่อไป หรืออาจจะเป็นการช่วยส่งเสริมและเพิ่มมูลค่าของพืชท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารสกัดพืช

1.1 การเตรียมสารสกัดพืชด้วยเอทานอล

(Obi *et al.*, 2011; Dahiru *et al.*, 2013; Maobe *et al.*, 2013)

นำส่วนของพืชท้องถิ่น จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ หัวของเหหัวจูด เนื้อของผลส้มโอ เนื้อของผลแก้วมังกร เมล็ดข้าวโพดคั่ว โดยการไปจัดหาจากไร่สวนผลไม้ใน อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช มาล้างทำความสะอาดและล้างให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำส่วนของพืชไป

อบต่อในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือจนแห้ง บดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดไฟฟ้า (ยกเว้นเนื้อผลไม้ไม่ต้องอบให้แห้งและไม่ต้องบดละเอียด) นำส่วนของพืชที่เตรียมไว้จำนวน 10 กรัม ใส่ลงในขวดคูแรน (Duran) แล้วเติมตัวทำละลายเอทานอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากันแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แยกเก็บส่วนใสแล้วนำไปกรองกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 จากนั้นนำไประเหยเอาเอทานอลออกด้วยเครื่อง Rotary Evaporator ใช้ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จนเอทานอลระเหยออกจนหมด จากนั้นละลายด้วย 100% DMSO ให้มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม (ของแข็ง) ต่อ มิลลิตร (mg solid/ml) สารสกัดที่ได้ตั้งรหัสเป็น E แล้วนำไปวิเคราะห์ฤทธิ์ทางด้านชีวภาพ หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ รวมไปถึงฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อโรค

1.2 การเตรียมสารสกัดพืชด้วยน้ำ

ทำการสกัดสารพฤกษเคมีเช่นเดียวกับ “การเตรียมสารสกัดจากพืชด้วยเอทานอล” แต่เปลี่ยนตัวทำละลายจาก เอทานอลเป็นน้ำ จากนั้นนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Lyophilization) นำตะกอนที่ได้มาละลายด้วย 100% DMSO ให้มีความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม (ของแข็ง) ต่อ มิลลิตร (mg solid/ml) สารสกัดที่ได้ติดฉลากเป็น W แล้วนำไปวิเคราะห์ฤทธิ์ทางด้านชีวภาพ หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ รวมไปถึงฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อโรค

2. วิธีวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Re *et al.*, 1999)

2.1 โดยวิธีเอ บี ที เอส (ABTS radical scavenging assay)

แยกเตรียมสารสกัดจากพืชในข้างต้นความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ใน DMSO แล้วไปเปิดมาปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงใน 96 well microtiter plate จากนั้นไปเปิดสารละลายสต็อก 2, 2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) หรือ ABTS มีสูตรโมเลกุล $C_{18}H_{18}N_4O_6S_4$ (ABTS ปริมาณ 0.0385 กรัม ซึ่งสาร Potassium persulfate ปริมาณ 0.0066 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นปราศจากไอออน ปริมาตร 10 มิลลิกรัม) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง ก่อนนำมาทดสอบ จากนั้นนำสต็อกที่เตรียมไว้ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ผสมกับตัวอย่างสารสกัดพืช บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

คำนวณ % inhibition จากสูตร [% inhibition = $(1 - OD \text{ sample} / OD \text{ blank}) \times 100$] สร้างกราฟมาตรฐาน Trolox ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยกำหนดแกน y เป็น % Inhibition และ แกน x เป็นความเข้มข้นของสารมาตรฐาน Trolox (เตรียมสารละลายมาตรฐาน Trolox ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน (5, 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 $\mu\text{g/ml}$) ใน DMSO

คำนวณความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระเอ บี ที เอส ของสารสกัดพืชจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน Trolox โดยหน่วยของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ เอ บี ที เอส แสดงเป็นหน่วย mg Trolox / 1 g extract (Trolox equivalent antioxidant capacity; TEAC)

2.2 โดยวิธีดี พี ที เอส (DPPH radical scavenging assay)

แยกเตรียมสารละลายมาตรฐานหรือสารสกัดพืชที่เตรียมไว้ ปริมาตร 75 ไมโครลิตร ใน 96 well

microtiter plate จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.2 mM (ซึ่งสาร DPPH ปริมาณ 0.0020 กรัม ผสมกับเมทานอลปริมาตร 25 มิลลิกรัม) ลงไปผสมปริมาตร 150 ไมโครลิตร แล้วนำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร

เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สามารถคำนวณตามสูตรดังนี้ % inhibition = $[1 - (OD \text{ sample} / OD \text{ blank})] \times 100$ สร้างกราฟมาตรฐาน ascorbic acid ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยกำหนดแกน y เป็น % inhibition และแกน x เป็นความเข้มข้นของสารมาตรฐาน ascorbic acid คำนวณความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสมุนไพร จากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน ascorbic acid โดยหน่วยของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH แสดงเป็นหน่วย mg vitamin C / 1 g extract (Vitamin C equivalent antioxidant capacity; VCEAC)

2.3 การรายงานฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การตรวจความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ใช้วิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร และรายงานผลเป็นค่า IC50 เปรียบเทียบค่าที่ได้กับวิตามินซี ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมเชิงบวกในการทดลอง ส่วนวิธี ABTS จะใช้การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร และรายงานผลเป็นค่า IC50 เปรียบเทียบค่าที่ได้กับวิตามินซี ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมเชิงบวกในการทดลอง

3. การตรวจวัดปริมาณฟีนอลด้วยวิธี Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1999)

ไปเปิดสารละลายมาตรฐาน gallic acid (ในตัวอย่างละลาย DMSO ที่ความเข้มข้น 50, 100, 150, 200 and 250 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม) หรือสารสกัดพืช ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม ปริมาตร 12.5 ไมโครลิตร ใน 96 well microtiter plate และเติมน้ำ

กลั่นหุลุมละ 50 ไมโครลิตร จากนั้นปิเปต Folin-Ciocalteu phenol reagent หุลุมละ 12.5 ไมโครลิตร และบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที แล้วปิเปต 7% ของ sodium carbonate และน้ำกลั่น ลงไปหุลุมละ 125 ไมโครลิตร และ 100 ไมโครลิตร ตามลำดับ ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสีฟ้าที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง micro plate reader

สร้างกราฟมาตรฐาน gallic acid ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยกำหนดแกน y เป็น OD และแกน x เป็นความเข้มข้นของสารมาตรฐาน คำนวณหาปริมาณฟีนอลิกในตัวอย่างโดยนำมาเทียบกับสารมาตรฐาน gallic acid และแสดงหน่วยของฟีนอลิกเป็น gallic acid equivalent (mg GAE) ต่อสาร 1 กรัม

4. การตรวจสอบฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของตัวอย่างสารสกัดพืช

เตรียมจานเพาะเชื้อทดสอบและการทดสอบ โดยวิธี agar well diffusion (Kwaadsteniet *et al.*, 2005) โดยเพาะเลี้ยงเชื้อทดสอบในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Mueller Hinton (MH) ด้วยการเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง จากนั้นไปปรับให้มีปริมาณเชื้อประมาณ 1.5×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร แล้วนำไปป้ายลงบนผิวหน้าจานอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง MH วางให้ผิวหน้าแห้งจึงเจาะหลุมทดสอบในจานอาหารเลี้ยงเชื้อดังกล่าว ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.6-0.8 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างสารสกัดพืชหยดลงไปหลุมทดสอบๆ ละ 100 ไมโครลิตร นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตวงใสของการยับยั้งเชื้อ (inhibition zone)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา โดยทำการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยเทียบกับกลุ่มสารควบคุมการทดสอบ ได้แก่ Gallic acid Trolox วิตามินซี ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS และ DPPH และปริมาณของสารฟีนอลรวมของสารสกัดพืชจากท้องถิ่นที่ปลูกในพื้นที่ปากพวง ได้แก่ ส้มโอ 2 สายพันธุ์ (ส้มโอพันธุ์ทองดีและส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม) แก้วมังกร ข้าวไร่ขมิ้น และเหหัว จูด จำนวนรวม 8 ตัวอย่าง แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1 พบว่า

1. ส้มโอทั้ง 2 พันธุ์ที่เก็บในระหว่างเดือน ธันวาคม 2556 (ตัวอย่างหมายเลข 1 ของแต่ละสายพันธุ์) มีองค์ประกอบส่วนที่ละลายน้ำได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และยังพบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับส้มโอสายพันธุ์ทับทิมสยามในตัวอย่างหมายเลข 2-4 ที่เก็บในระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ 2557 และนำมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องตามธรรมชาติ ภายหลังจากเก็บจากต้น เป็นเวลา 5, 8 และ 10 วันตามลำดับ พบว่ามีระดับการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เก็บในเดือนธันวาคม 2556 และนอกจากนี้ตัวอย่างหมายเลขตัวอย่างที่ 4 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS สูงที่สุด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของส้มโอทั้ง 2 สายพันธุ์จะได้สูงกว่าการตรวจด้วยวิธี ABTS

2. ตัวอย่างแก้วมังกรที่นำมาศึกษา พบว่าส่วนของสารที่ละลายในน้ำจะมีคุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าส่วนที่ละลายในตัวทำละลายเอทานอล และสารจากแก้วมังกรในส่วนที่ละลายในเอทานอลมีฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดในการทดสอบครั้งนี้ เมื่อนำผลรวมของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระทั้งในส่วนที่ละลายในน้ำและละลายในเอทานอล จะเห็นได้ว่าแก้วมังกรแสดงฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากส่วนที่ละลายในเอทานอลมีปริมาณของฟีนอลรวมสูงที่สุด

3. ข้าวไข่มดรีนสามารถหาฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระได้เพียงส่วนที่ละลายในน้ำได้เท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดของวิธีที่ใช้ในการศึกษา โดยในส่วนของสารที่ละลายในเอทานอล เมื่อนำมาศึกษาฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระทั้งด้วยวิธี ABTS และ DPPH จะเกิดตะกอนของสารเกิดขึ้น ทำให้ไม่สามารถวัดและรายงานผลได้ อีกทั้งปริมาณสารที่สามารถสกัดได้นั้นมีน้อย จึงไม่เพียงพอกับการนำมาศึกษาหาปริมาณฟีนอลรวมได้ แต่จากข้อมูลฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระเฉพาะในส่วนที่นำมาศึกษาได้ จะพบว่าสารสำคัญส่วนที่ละลายในน้ำของข้าวไข่มดรีนมีฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระมากกว่าสารสำคัญที่ละลายในน้ำที่ได้จากตัวอย่างชนิดอื่นๆ

4. สำหรับการศึกษาตัวอย่างเหหัวจูด พบว่าความร้อนที่ใช้ในการต้ม มีผลทำให้ระดับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ทั้งส่วนที่ละลายในน้ำและส่วนที่ละลายในเอทานอลแต่จะมีผลทำให้ปริมาณฟีนอลรวมลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH ของเหหัวจูดมีค่าต่ำกว่าทดสอบด้วยวิธี ABTS เช่นเดียวกันกับที่พบในข้าวไข่มดรีน

เอทานอลสามารถสกัดสารพฤกษเคมีได้มากกว่าน้ำ (ตารางที่ 1) อะซิโตน และปิโตรเลียมอีเทอร์ เนื่องมาจากเอทานอลสามารถละลาย

สารพฤกษเคมีพวกสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มพอลิฟีนอลและฟลาโวนอยด์ได้ดี (Pinelo *et al.*, 2004; Mendonca-Filho, 2012) ซึ่งปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมากส่งผลให้ปริมาณการกำจัดอนุมูลอิสระสูง (Paixao *et al.*, 2007) เนื่องจากสารในกลุ่มฟีนอลิกมีโครงสร้างเป็น Aromatic Ring ต่อกับ Hydroxyl Group ทำให้สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลที่มีขั้วและสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น แอลกอฮอล์ โดยสารประกอบฟีนอลิกมีกลไกการต้านอนุมูลอิสระคือเมื่อสารประกอบฟีนอลิกถูกสารอนุมูลอิสระดึงอิเล็กตรอนออกไป ส่งผลให้โมเลกุลเกิดการสูญเสียอิเล็กตรอน แต่เนื่องจากโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูง จึงช่วยให้อิเล็กตรอนที่มีอยู่อย่างหนาแน่นนั้นสามารถเกิดการเคลื่อนย้ายไปทั่วโครงสร้างได้และทำให้โครงสร้างเกิดการเสถียร ส่วนสารอนุมูลอิสระเมื่อดึงอิเล็กตรอนไปก็ทำให้มีโครงสร้างที่เสถียรขึ้น (Pietta, 2000) อย่างไรก็ตาม ชัลเฟอร์ไดออกไซด์ ปริมาณน้ำตาล aromatic amines กรดแอสคอร์บิก กรดอินทรีย์ และอื่นๆ อีกมากอาจส่งผลให้พบค่าฟีนอลิกที่สูงเกินจริงเมื่อวิเคราะห์ด้วย Folin-Ciocalteu reagent (Waterhouse, 2002; Huang *et al.*, 2005) ทำให้การรายงานผลนั้นสูงเกินจริง และการวัดสีด้วยวิธีนี้ไม่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกแต่อย่างใด (Huang *et al.*, 2005) นอกจากนี้ในกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกซึ่งอาจแบ่งเป็น 5 กลุ่มย่อย คือ flavonols, anthocyanins, hydroxycinnamates, flavanones, flavan-3-ols และ oligomeric procyanidins พบว่ากลุ่มของ flavanones มีความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมได้น้อยกว่ากลุ่มของ anthocyanins และ flavonols มาก ฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระของผักผลไม้บางชนิดจึงถูก

วิเคราะห์ว่ามีน้อยกว่าโดยไม่สัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลิกที่ปรากฏอยู่จริง (Proteggente *et al.*, 2002) โดยที่จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าสารส่วนที่ละลายในเอทานอลของแก้วมังกรจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งที่ทดสอบด้วยวิธี ABTS และ DPPH สูงที่สุด ซึ่งส่วนหนึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการสกัดส่วนดังกล่าวมีปริมาณสารฟีนอลรวมมากที่สุด ในส่วนของส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามพบว่าตัวอย่างที่เก็บในช่วงเดือนธันวาคม 2556 จะมีค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าตัวอย่างที่เก็บได้ในเดือนกุมภาพันธ์ 2557 และการเก็บส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามไว้นานประมาณ 10 วัน ภายหลังจากการเก็บจากต้น จะมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับภูมิปัญญาของชุมชน โดยจะมีการบ่มเก็บส้มโอไว้ประมาณ 1-2 อาทิตย์ ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวจากต้น จะให้รสชาติและคุณค่าของส้มโอดีกว่าการนำมารับประทานโดยทันที ในส่วนของเห็ดจุ๊ดแสดแสดงให้เห็นว่าเห็ดจุ๊ดแสดจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าเห็ดจุ๊ดดิบ แม้ว่ากระบวนการต้มจะส่งผลให้มีปริมาณสารฟีนอลรวมลดต่ำลงก็ตาม อย่างไรก็ตามการทดสอบในครั้งนี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นที่จะนำไปพัฒนาต่อเท่านั้น เนื่องจากอุปสรรคและข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนตัวอย่างและระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวตัวอย่างที่อาจจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของข้อมูลในการทดลอง อย่างไรก็ตามวิธี decolorimetric assay สามารถวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระได้เฉพาะกลุ่มที่มีความสามารถในการรับ-ให้อิเล็กตรอนหรือให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระในกลุ่มเปอร์ออกไซด์เท่านั้น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มที่ละลายในไขมัน เช่น วิตามินอี หรือกลุ่มที่มีฤทธิ์ในการกำจัดออกซิเจนอะตอมเดี่ยว เช่น เบต้าแคโรทีน ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีนี้ การนำเสนออันดับของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผัก-ผลไม้ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี decolorimetric assay จึงต้อง

พิจารณาถึงข้อจำกัดของวิธี มิฉะนั้นจะสร้างความเข้าใจที่ผิดพลาดและคลาดเคลื่อนให้แก่ผู้บริโภคได้

2. ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์

สารสกัดพืชจากตัวทำละลายเอทานอลเท่านั้นที่แสดงฤทธิ์ต้านการเจริญของจุลินทรีย์และฤทธิ์ดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละตัวอย่างสารสกัด แต่ส่วนใหญ่แล้วแสดงฤทธิ์ได้น้อยทั้งในแบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรีย แกรมลบ แต่ไม่สามารถต้านจุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยที่การสกัดสมุนไพรด้วยเมทานอลมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อมากที่สุด ในขณะที่สกัดด้วยน้ำไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ อย่างไรก็ตามไม่มีสารสกัดใดสามารถต้านเชื้อยีสต์ *Candida albicans* ได้รายงานวิจัยเกี่ยวกับพืชสมุนไพรในการต้านการเจริญของเชื้อจะมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละชนิดของพืชดังกล่าว และส่วนใหญ่ความสามารถในการต้านเชื้อมักจะเป็นฤทธิ์ของสารสกัดที่ได้มาจากพืชสมุนไพร (จิราภรณ์ และ เรือนแก้ว, 2555; Obi *et al.*, 2011; Dahiru *et al.*, 2013; Maobe *et al.*, 2013) หรือจากเปลือกผลไม้ (พงศธร และคณะ, 2551) แต่พบฤทธิ์ดังกล่าวได้น้อยในเนื้อผลไม้ และฤทธิ์ของสารสกัดพืชด้วยเอทานอลที่ต้านเชื้อได้ดีกว่าสารสกัดจากน้ำเนื่องมาจากว่าสารพฤษเคมีที่สำคัญส่วนใหญ่สามารถสกัดออกมาได้ด้วยเอทานอลดีกว่าน้ำดังที่ได้วิจารณ์ไว้ในส่วนของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในข้างต้น (จิราภรณ์ และ เรือนแก้ว, 2555; Pietta, 2000; Pinelo *et al.*, 2004; Paixao *et al.*, 2007; Obi *et al.*, 2011; Mendonca-Filho, 2012; Dahiru *et al.*, 2013) ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคได้ (พงศธร และคณะ, 2551; Esekhiagbe *et al.*, 2009; Senful *et al.*, 2009)

ตารางที่ 1ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลรวมในสารสกัดพืชท้องถิ่นจากพื้นที่ปากพนัง

ตัวอย่าง	หมายเลข ตัวอย่าง	วิธีการ สกัด	%yield of extract	การต้านอนุมูลอิสระ (μ mole Trolox/g)		ปริมาณ ฟีนอลรวม (mg Gal/g)
				ABTS	DPPH	
ส้มโอ (พันธุ์ทองดี)	1	AE	6.42	28.12 $\pm$ 6.71	363.93 $\pm$ 34.73	33.51 $\pm$ 7.04
ส้มโอ (พันธุ์ทับทิมสยาม)	1	AE	6.96	35.18 $\pm$ 1.43	307.30 $\pm$ 31.38	28.21 $\pm$ 2.24
	2	AE	13.23	9.73 $\pm$ 1.45	18.35 $\pm$ 1.25	26.91 $\pm$ 5.26
	3	AE	12.75	9.58 $\pm$ 1.08	18.19 $\pm$ 1.44	26.61 $\pm$ 3.71
	4	AE	12.17	12.24 $\pm$ 0.99	18.16 $\pm$ 1.83	26.21 $\pm$ 6.00
แก้วมังกร	1	AE	8.09	15.42 $\pm$ 1.13	ND	15.04 $\pm$ 4.48
		EE	2.63	83.26 $\pm$ 48.07	584.47 $\pm$ 106.36	58.56 $\pm$ 10.80
ข้าวไข่มดรีน	1	AE	0.73	54.21 $\pm$ 7.72	41.42 $\pm$ 2.14	ND
		EE	1.32	ND	ND	
แห้วจูด	1	AE	4.30	33.92 $\pm$ 2.63	7.27 $\pm$ 0.21	41.58 $\pm$ 5.82
		EE	1.27	ND	ND	25.56 $\pm$ 3.01

ND: ไม่สามารถรายงานผล; AE: ส่วนที่ละลายในน้ำ; EE: ส่วนที่ละลายในเอทานอล

ตารางที่ 2ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ของสารสกัดเอทานอลจากพืช

จุลินทรีย์	แก้วมังกร	ส้มโอ	แห้วจูด	ข้าวไข่มดรีน
แบคทีเรียแกรมบวก				
<i>B. cereus</i> ATCC 11778	-	+	-	+
<i>M. luteus</i> TISTR 884	+	-	-	+
<i>S. aureus</i> TISTR 517	+	-	-	+
แบคทีเรียแกรมลบ				
<i>E. coli</i> TISTR 887	+	-	-	+
<i>Ps. aeruginosa</i> TISTR 1467	+	-	-	+
<i>S. Typhimurium</i> TISTR 292	+	-	-	+
ยีสต์				
<i>C. albicans</i> BCC 5390	-	-	-	-

+ มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์; - ไม่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์

B. cereus, *Bacillus cereus*; *M. luteus*, *Micrococcus luteus*; *S. aureus*, *Staphylococcus aureus*; *E. coli*, *Escherichia coli*, *Ps. aeruginosa*, *Pseudomonas aeruginosa*; *S. Typhimurium*, *Salmonella Typhimurium*; *C. albicans*, *Candida albicans*

สรุป

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ไม่สามารถตรวจพบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์อย่างเด่นชัดจากสารสกัดส้มโอ แก้วมังกร ข้าวโพดคั่วแห้งสด ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรมุ่งศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในขั้นตอนต่างๆ ของการเก็บรักษาผลไม้ เพื่อให้ทราบว่าในขั้นตอนดังกล่าวมีผลลดหรือเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระหรือไม่อย่างไร เพื่อให้เป็นแนวทางในการเพิ่มคุณค่าผลไม้ให้ได้ประโยชน์ของสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด สำหรับฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์อาจต้องมีการศึกษาการสกัดสารพฤกษเคมีจากเปลือกผลไม้มาศึกษาควบคู่กับสารสกัดจากเนื้อผลไม้เพื่อเป็นการยืนยันฤทธิ์ที่ดีในการต้านเชื้อจากพืชท้องถิ่นที่นำมาศึกษาเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าพืชท้องถิ่นอย่างยั่งยืน และควรบริโภคน้ำผลไม้หลากหลายชนิดร่วมกัน โดยเฉพาะพืชที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งเป็นประโยชน์นานาประการต่อร่างกาย ช่วยควบคุมการทำงานในระบบต่างๆ ของร่างกายให้เกิดความสมดุล ช่วยชะลอความเสื่อม ช่วยป้องกันและรักษาโรคเป็นประโยชน์ต่อภูมิคุ้มกันของร่างกาย มีเส้นใยสูงจึงป้องกันโรคอ้วน อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นประโยชน์ทางด้านโภชนาการจึงควรที่จะบริโภคพืชที่มีสารประกอบที่หลากหลาย เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย นอกจากนี้ควรบริโภคพืชที่สดสะอาด เพื่อที่จะได้รับสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายได้ครบและได้รับคุณค่าทางด้านโภชนาการที่สำคัญของร่างกาย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนด้านวิชาการและทุนวิจัย (WU-

TRF_ABC5601, WU-IRG-62-021) และนักวิจัยมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ที่ให้การสนับสนุนและเข้ามามีส่วนร่วมงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จิราภรณ์ บุรากร และ เรือนแก้ว ประพศิต. 2555. ผลของสารสกัดสมุนไพรพื้นบ้านไทยจำนวน 7 ชนิดต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย. *วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก* 10(1): 12-22.
- นวลอนงค์ เสมสังข์, ณกมล แก้วลังการ์ และ วิรพงษ์ จันทะชัย. 2561. ปริมาณฟลาโวนอยด์ สารประกอบ ฟีนอลทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากข้าวไทย. *แหล่งที่มา*: http://WWW.research.cmru.ac.th/research59/ris/download.php?download_file=article&no=545, 27 มีนาคม 2561.
- บัณฑิตวรณ ธุระพระ, จันทนา บุญยะรัตน์, เขียวเรศ ชูลิจิต และ สุภาวดี ดาวดี. 2559. การวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในส้ม. *วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน* 11(ฉบับพิเศษ): 80-91.
- พงศธร ลือสุวรรณ, จิตศิริ รัชตพันธุ์ และ ศศิธร จันทนวรณ. 2551. สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการต้านจุลินทรีย์ของเปลือกผลไม้, น. 554-561. ใน *เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร)*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Christian, K.R. and Jackson, J.C. 2009. Changes in total phenolic and monomeric anthocyanin composition and antioxidant activity of

- three varieties of Sorrel (*Hibiscus sabdariffa*) during maturity. **Journal of Food Composition and Analysis** 22: 663-667.
- Dahiru, D., Malgwi, A.R. and Sambo, H.S. 2013. Inhibitory effect of *Senna siamea* leaf extracts on selected microorganisms. **American Journal of Medicine and Medical Sciences** 3(5): 103-107.
- Esekhiagbe, M., Agatemor, M.M.U. and Agatemor, C. 2009. Phenolic content and antimicrobial potentials of *Xylopia aethiopica* and *Myristica argentea*. **Macedonian Journal of Chemical Engineering** 28(2): 159-162.
- Hassanpour, S., Maheri-Sis, N., Eshratkhan, B. and Baghbani, F. 2011. Plants and secondary metabolites (Tannins): A review. **International Journal of Forest, Soil and Erosion** 1(1): 47-53.
- Hsu, C., Chao, P., Hu, S. and Yang, C. 2013. The antioxidant and free radical scavenging activities of chlorophylls and pheophytins. **Food and Nutrition Sciences** 4: 1-8.
- Huang, D., Ou, B. and Prior, R.L. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 53: 1841-1856.
- Kwaadsteniet, M.D.E, Todorov, S.D., Knoetze, H. and Dicks, L.M.T. 2005. Characterization of a 3944 Da bacteriocin, produced by *Enterococcus mundtii* ST15, with activity against Gram-positive and Gram-negative bacteria. **International Journal of Food Microbiology** 105: 433-434.
- Maobe, A.G., Gatebe, E., Gitu, L. and Rotich, H. 2013. Preliminary phytochemical screening of eight selected medicinal herbs used for the treatment of Diabetes, Malaria and Pneumonia in Kisii Region, Southwest Kenya. **European Journal of Applied Sciences** 5(1): 1-6.
- Masomrong, K. and Suntornsuk, W. 2014. Antioxidant and antibacterial activities of natural extract from Dragon fruit peel. **Agricultural Science Journal** 45(2)(Suppl.): 269-272).
- Mendonca-Filho, R.R. 2012. Bioactive phytocompounds: New approaches in the phytosciences, pp. 1-23. In Ahmad, I., Aqil, F. and Owais, M., eds. **Modern Phytomedicine. Turning Medicinal Plants into Drugs.** WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Obi, R.K., Nwanebu, F.C., Ndubuisi-Nnaji, U.U., Onuoha, L.N. and Chiegboka, N. 2011. Ethanolic extraction and phytochemical screening of two Nigerian herbs on pathogens isolate from wound infections. **Pharmacie Globale (IJCP)** 10(2): 1-5.
- Paixao, N., Perestrelo, R., Marques, J.C. and Camara, J.S. 2007. Relationship between antioxidant capacity and total phenolic content of red, rose' and white wines. **Food Chemistry** 105: 204-214.
- Pietta, P. 2000. Flavonoids as antioxidants. **Journal of Natural Product** 63: 1035-1042.

- Pinelo, M., Lara, M., Maria, J.S. and Maria, C.N. 2004. Solvent effect on quercetin antioxidant capacity. **Food Chemistry** 88(2): 201-207.
- Pokorny, J., Yanishlieva, N. and Gordon, M. 2001. **Antioxidants in Food : Practical Applications**. CRC Press, New York.
- Proteggente, A.R., Pannala, A.S., Paganga, G., Buren, L.V., Wagner, E., Wiseman, S. and van de Put, E. 2002. The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. **Free Radicals Research** 6(2): 217-233.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine** 26: 1231-1237.
- Saenthaweesuk, S., Jongtamklang, D., Somchan, T. and Thobunluepop, P. 2012. Total Phenolics content, antioxidant and antimicrobial activities of some herbs. **Khon Kaen Agriculture Journal** 40 (Supplement 2): 480-483.
- Sanchez-Moreno, C., Jimenez-Escoria, A. and Saura-Calixto, F. 2000. Study of low-density lipoprotein oxidizability indexes to measure the antioxidant activity of dietary polyphenols. **Nutrition Research** 20: 941-953.
- Senful, M., Yildiz, E., Gungor, N., Cetin, B., Eder, Z. and Ercisli, S. 2009. Total phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities of some medicinal plant. **Pakistan Journal of Pharmaceutical Science** 22(1): 102-106.
- Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology** 299: 152-178
- Waterhouse, A.L. 2002. Determination of total phenolics. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry** 6: 11.1.1-11.1.8.
- Yen, G.C. and Hsieh, C.L. 1997. Antioxidant effect of dopamine and related compounds. **Bioscience Biotechnology and Biochemistry** 61(10): 1646-1649.

**การสื่อสารเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองเชียงใหม่อย่างมีส่วนร่วม:
โครงการ Spark U เชียงใหม่ ปฏิบัติการเปลี่ยนเมือง**

**Communication for Participatory Environmental Development in
Chiang Mai City: the Project of Spark U, the Actions for Urban Change
in Chiang Mai, the North of Thailand**

เกศสุดา สิทธิสันติกุล^{1*} ปณณพร ไพบูลย์วัฒนกิจ² และ กริ่งกาญจน์ เจริญกุล²

Katesuda Sitthisuntikul^{1*}, Punnaporn Paiboonwatanakit² and Gringgam Charoenkul²

Received: 18 May 2018, Revised: 23 March 2019, Accepted: 29 March 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาแนวทางการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและรูปแบบการสื่อสารเพื่อสร้างการมีส่วนร่วมของชุมชนเมืองเชียงใหม่ในการพัฒนาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งวิเคราะห์ปัจจัยสนับสนุนและปัญหาอุปสรรคของการดำเนินงานด้านการสื่อสารเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมอย่างมีส่วนร่วมในชุมชนเมืองเชียงใหม่ โดยดำเนินงานกับเครือข่ายภาคประชาสังคมเชียงใหม่ ภายใต้การดำเนินโครงการ ปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงเมือง ภูมิภาคภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ มีการใช้ระเบียบวิธีเชิงคุณภาพในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง การสังเกตอย่างมีส่วนร่วม การจัดประชุมกลุ่มย่อย และการสัมภาษณ์ รวมทั้งใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหาในการวิเคราะห์ข้อมูล ผลการวิจัยพบว่า คณะกรรมการดำเนินงานโครงการมีแนวทางการพัฒนาเมืองให้เป็นเมืองน่าอยู่ปลอดภัย เป็นมิตรกับผู้คน และเป็นเมืองแห่งธรรมชาติและวัฒนธรรม รวมทั้งการสร้างพื้นที่สาธารณะที่สร้างสรรค์ ซึ่งเป็นเป้าหมายในระยะไกล สำหรับการดำเนินงานระยะแรกเน้นกลยุทธ์การสื่อสารเพื่อจุดประกายคิดและกระตุ้นจิตสำนึกการมีส่วนร่วมในการพัฒนาต้นทุนสิ่งแวดล้อมเมือง ทั้งนี้รูปแบบการสื่อสารที่ใช้มีความหลากหลาย ได้แก่ การสื่อสารมวลชน การสื่อสารผ่านสังคมออนไลน์ การสื่อสารแบบกลุ่ม การสื่อสารผ่านกิจกรรมสาธารณะ การสื่อสารผ่านปฏิบัติการคิดร่วมทำร่วม และสื่ออื่นๆ นอกจากนี้ปัจจัยสนับสนุนการดำเนินงานด้านการสื่อสารประกอบไปด้วยการวางแผนและการติดต่อประสานงาน เครือข่ายความสัมพันธ์ และงบประมาณ ในส่วนของปัญหา

¹ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Faculty of Economics, Maejo University, Nonghan, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand.

² คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

² Faculty of Information and Communication, Maejo University, Nonghan, Sansai, Chiang Mai 50290, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): katesuda@mju.ac.th, ktieng71@hotmail.com

อุปสรรค ได้แก่ ความไม่ราบรื่นในการติดต่อประสานงาน การขาดยุทธศาสตร์และแผนในระยะยาวการขาดการติดตามประเมินผล และข้อจำกัดของการขยายแนวร่วม

คำสำคัญ: การสื่อสาร, การพัฒนา, สิ่งแวดล้อมเมือง, การมีส่วนร่วม

ABSTRACT

This study aimed to investigate the concept of environmental management and the methods of communication for participatory environmental management in Chiang Mai city, and to analyze the factors that encouraged the operation for communication and the problems of operation for communication in Chiang Mai City. Focus was made on civil society network in Chiang Mai under the project of Spark U, “The Actions for Urban Change in Chiang Mai, the North of Thailand”. Data were derived from qualitative research methods: document analysis, participatory observation, focus group, and interview. All data were analyzed by the methods of content analysis. The result indicated that the concept of project committee focused on livable city which were safety, friendly, natural, cultural and provided public creative space. However, the primary target required communication for sparking and stimulation environmental consciousness of people leading to participation in urban environmental management. Then, several methods of communication were used: mass media, social media, group communication, public activities, participatory action, and others. The factors that encouraged operation for communication composed of planning, coordination, network relationship, and budgets. In contrast, the problems of operation for communication were: broken coordination, lack of strategies and plan in long run, lack of monitoring and evaluation, and limitation of extending cooperation.

Key words: communication, development, urban environment, participation

บทนำ

การพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองเป็นเรื่องที่นานาประเทศให้ความสำคัญ เนื่องจากการขยายตัวของเมืองกำลังส่งผลกระทบต่อการพัฒนาที่ยั่งยืนหลายด้าน เช่น การเผชิญกับมลพิษและของเสียจากกระบวนการบริโภค การผลิต และการขนส่ง ผู้คนมากมายในประเทศด้อยพัฒนาต้องประสบกับความยากจนและต้องไร้ที่อยู่อาศัย รวมไปถึงปัญหาสุขภาพอนามัยจากมลพิษและการสุขาภิบาลไม่ดี เป็นต้น (Rydin, 2010) กลยุทธ์หนึ่งที่เป็นที่กล่าวถึงในการ

พัฒนาสิ่งแวดล้อมเมือง คือ การสร้างการมีส่วนร่วมกับประชาชน ซึ่งหมายถึง การให้ประชาชนเข้ามาร่วมวางแผน ร่วมคิด ร่วมตัดสินใจในการพัฒนา หรือแก้ไขปัญหาของชุมชน และร่วมติดตามประเมินผลการดำเนินงาน กับองค์กรหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (Erwin, 1976) เช่น ในประเทศไทย มีการใช้กลยุทธ์เสริมสร้างการมีส่วนร่วมกับประชาชนในการพัฒนาเทศบาลตำบลโพรงมะเดื่อ อ.เมือง จ.นครปฐม เพื่อให้เกิดความเชื่อมโยงและเข้าใจง่ายขึ้น ได้แก่ กลยุทธ์การประชาสัมพันธ์เชิงรุก กลยุทธ์

การเสริมสร้างความรู้แก่ประชาชน กลยุทธ์การประเมินแบบเสริมพลังอำนาจ และกลยุทธ์การสร้างจิตสำนึกการให้บริการ (วรารวรรณ และ กลมพร, 2556) นอกจากนี้ยังพบการให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการวางแผน การดำเนินงานตามแผน การสังเกตการณ์ และการสะท้อนผล เพื่อการพัฒนาแหล่งเรียนรู้ศิลปวัฒนธรรมในชุมชนเขตลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร ผลของการดำเนินงานนอกจากเกิดแผนปฏิบัติการการพัฒนาศิลปะและวัฒนธรรมแล้วยังทำให้ชุมชนเรียนรู้การดำเนินงานอย่างเป็นระบบ กระตุ้นให้ชุมชนเกิดจิตสำนึกสาธารณะและเกิดเครือข่ายความร่วมมือด้านการพัฒนาชุมชนมากขึ้น (จักรพงษ์ และคณะ, 2556)

ขณะเดียวกัน มีการนำแนวคิดการสื่อสารเพื่อพัฒนามาประยุกต์ใช้ในการสร้างมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้แนวคิดการสื่อสารเพื่อพัฒนามุ่งเน้นการถ่ายทอดสารเพื่อการเปลี่ยนแปลงความรู้ ทักษะ และพฤติกรรม (Roger and Shoemaker, 1971) รวมไปถึงการสร้างความรู้ความเข้าใจและนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้นทั้งแง่เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และคุณภาพชีวิต (Khalid, 2012) โดยเน้นลักษณะการสื่อสารขนาดเล็ก มีความหลากหลายและยืดหยุ่น รวมทั้งสามารถเปลี่ยนแปลงบทบาทระหว่างผู้ส่งสารและผู้รับสารได้ (กาญจนา, 2543) กรณีตัวอย่างเช่น ผู้นำชุมชนมัสยิดกมลาอุลอิสลามที่สามารถกระตุ้นจิตสำนึกและสร้างความร่วมมือของคนในชุมชนเพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมในคลองแสนแสบ กรุงเทพมหานคร ผ่านการออกแบบเนื้อหา และช่องทางการสื่อสารที่หลากหลาย ได้แก่ สื่อบุคคลซึ่งเป็นอิหม่ามหรือผู้นำด้านศาสนาเพื่อการโน้มน้าวผู้คนและประชาสัมพันธ์การดำเนินงาน การใช้สื่อกระจายเสียงตามสายซึ่งชุมชนช่วยกันจัดทำขึ้นเพื่อสร้างการรับรู้ข่าวสาร การใช้สื่อกิจกรรมและ

ป้ายคำขวัญที่จัดทำขึ้นเฉพาะกิจเพื่อให้ความรู้ด้านการดูแลรักษาและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม การใช้สื่อบทเพลงพื้นบ้านกระตุ้นความหวงแหนทรัพยากรชุมชน การใช้สื่อออนไลน์เพื่อการสื่อสารกับคนรุ่นใหม่ และการใช้สื่อมวลชนเพื่อเผยแพร่ผลการดำเนินงานของชุมชน (ธัญวรรณ และ พัทณี, 2558)

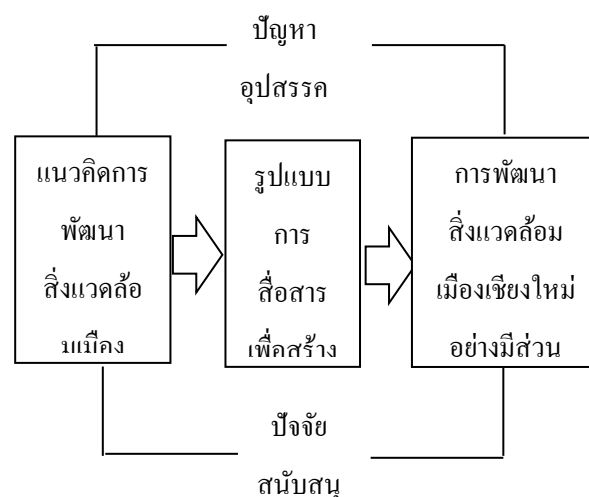
การพัฒนาสิ่งแวดล้อมถูกกำหนดเป็นยุทธศาสตร์สำคัญของแผนพัฒนาจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นศูนย์กลางเศรษฐกิจและการท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติและวัฒนธรรมแห่งหนึ่งของภาคเหนือเพื่อบรรเทาความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาและการขยายตัวของเมือง เช่น มลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำ ขยะมูลฝอย และภูมิทัศน์ เป็นต้น (ชัยวุฒิ และ ปิยพรรณ, มปป.) แผนพัฒนาจังหวัดเชียงใหม่นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ไปจนถึงปี พ.ศ. 2561 ต่างมุ่งเน้นการอนุรักษ์ฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อสร้างนครแห่งชีวิตและความมั่งคั่งหรือเป็นเมืองที่น่าอยู่และน่าท่องเที่ยวระดับโลก โดยอาศัยกระบวนการมีส่วนร่วมของภาคประชาชน ภาคเอกชน ภาคประชาสังคม ภาครัฐ และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ขณะเดียวกัน เครือข่ายภาคประชาสังคมเชียงใหม่มีการรณรงค์ด้านสิ่งแวดล้อม การเพิ่มพื้นที่สีเขียว และการอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรมเรื่อยมา เครือข่ายนี้ประกอบไปด้วยชาวบ้าน นักวิชาการ พระ นักพัฒนา และเยาวชนคนรุ่นใหม่ รวมไปถึงองค์กรและเครือข่ายที่อาสาร่วมพัฒนาเมืองเชียงใหม่ เช่น เครือข่ายเชียงใหม่เขียวสวยหอม โครงการฟื้นฟูบ้าน ย่าน เวียงเชียงใหม่ และเครือข่ายชุมชนรักเมืองเชียงใหม่ ภาควิชาเชียงใหม่ ชมรมจักรยานวันอาทิตย์ ชมรมชาวนิมนานเหมินทร์ เครือข่ายนักผังเมืองเชียงใหม่ เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการดำเนินการของเครือข่ายภาคประชาสังคมดังกล่าว ภายใต้โครงการ Spark U ปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงเมือง ภูมิภาค-ภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ที่มุ่งเน้นการสื่อสารให้เกิดการพัฒนาเมืองเชียงใหม่อย่างมีส่วนร่วม ความเป็นเมืองน่าอยู่ทั้งเชิงกายภาพ จิตใจ จิตวิญญาณ และสังคม อันเป็นความสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาเมืองเชียงใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหา แนวคิด การพัฒนา สิ่งแวดล้อม ใน ชุมชน เมืองเชียงใหม่และรูปแบบการสื่อสารเพื่อสร้างการมีส่วนร่วมของชุมชนเมืองในการพัฒนาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยสนับสนุนและปัญหา อุปสรรคของการดำเนินงานด้านการสื่อสารเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมอย่างมีส่วนร่วม ในชุมชน เมืองเชียงใหม่ ทั้งนี้ผลการวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการพัฒนาเมืองเชียงใหม่ร่วมกันระหว่างภาครัฐ ภาคประชาสังคม และภาคส่วนที่เกี่ยวข้องต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขอบเขตเนื้อหา

กรอบแนวคิดของการวิจัยนี้ประกอบด้วย การศึกษาแนวคิดการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมือง เชียงใหม่ที่เกี่ยวข้องกับการใช้รูปแบบการสื่อสารที่จะนำไปสู่การมีส่วนร่วมในการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองเชียงใหม่ รวมไปถึงบริบทของการดำเนินงานด้านการสื่อสารที่เป็นปัจจัยสนับสนุนและเป็นปัญหา อุปสรรค ดังแสดงกรอบแนวคิดการวิจัยในแผนภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

2. ขอบเขตพื้นที่และกลุ่มเป้าหมาย 5 พื้นที่อำเภอเมืองเชียงใหม่

พื้นที่ดำเนินการวิจัยอยู่ในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ดำเนินโครงการปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงเมือง ภูมิภาค-ภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) ทั้งนี้อยู่ภายใต้แนวคิด Spark Urban (Spark U) ที่มุ่งเน้นการปลูกจิตสำนึกหรือจุดประกายความคิดสร้างสรรค์และการมีส่วนร่วมของผู้คน ในการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและเปลี่ยนแปลงเมืองให้น่าอยู่ พื้นที่เหล่านี้ประกอบไปด้วย 5 พื้นที่ของการดำเนินกิจกรรม ได้แก่ 1) กิจกรรมการพัฒนาคอลงแม่ข่าย ตำบลหายยาและตำบลช้างคลาน 2) กิจกรรมปิดถนนเดินใจกลางเมืองตำบลศรีภูมิ 3) กิจกรรมการพัฒนาเหมืองฝายพญาคำตำบลวัดเกต 4) กิจกรรมอาคารพิพิธภัณฑสถานและห้องสมุดหน้าค่ายกาวีละ ตำบลวัดเกต และ 5) กิจกรรมโฮงเขียนสืบสานภูมิปัญญาล้านนา ตำบลวัดเกต ดังนั้นกลุ่มเป้าหมายของการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงเป็นผู้เกี่ยวข้องกับการดำเนินกิจกรรมปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงเมือง ภูมิภาค-ภาคเหนือ จำนวน 28 คน

โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ได้แก่ คณะกรรมการดำเนินงาน ผู้แทนภาคีเครือข่าย ผู้แทนหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้เข้าร่วมกิจกรรม

3. ตัวแปรศึกษา

ผู้วิจัยกำหนดตัวแปรเชิงคุณภาพสำหรับการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงบรรยายภายใต้กรอบแนวคิดการวิจัยในแผนภาพที่ 1 ได้แก่ แนวคิดการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองเชียงใหม่ด้วยการสื่อสารของคณะดำเนินงาน รูปแบบการสื่อสารต่างๆ ที่นำไปใช้เพื่อสร้างการมีส่วนร่วมในการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองเชียงใหม่ของภาคประชาชน ภาครัฐ ภาคประชาสังคม ภาคธุรกิจ และภาคเอกชน เป็นต้น ผลของการใช้รูปแบบการสื่อสารเป็นเครื่องมือการพัฒนาเมืองเชียงใหม่อย่างมีส่วนร่วม รวมไปถึงปัจจัยสนับสนุนความสำเร็จและปัญหาอุปสรรคของการสื่อสารเพื่อสร้างการมีส่วนร่วมในการพัฒนาเมืองเชียงใหม่

4. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

- การรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น

รายงาน แผนการดำเนินงาน ภาพถ่ายกิจกรรม บทความ ภาพเคลื่อนไหว

- การสังเกตอย่างมีส่วนร่วม (Participatory

Observation) โดยการเข้าไปสังเกตการณ์ขณะที่มีการดำเนินกิจกรรมการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองในพื้นที่ เช่น การทำความสะอาดใจกลางเมืองเชียงใหม่ การจัดกิจกรรมหน้าฝายพญาคำ ตำบลวัดเกต อำเภอเมืองเชียงใหม่

- การสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview)

โดยการใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างกับผู้เกี่ยวข้องกับการดำเนินโครงการปฏิบัติการเปลี่ยนเมืองภูมิภาค-ภาคเหนือ จำนวน 28 คน ได้แก่

คณะกรรมการดำเนินงาน 10 คน เกี่ยวกับแนวคิดการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมือง รูปแบบการสื่อสาร ปัจจัยสนับสนุนการดำเนินงาน และปัญหาอุปสรรค ผู้เข้าร่วมกิจกรรม จำนวน 10 คน เกี่ยวกับความคิดเห็นจากการเข้าร่วมกิจกรรม และหน่วยงานที่เข้าร่วมเป็นภาคีการดำเนินงาน จำนวน 8 คน เกี่ยวกับความคิดเห็นต่อการดำเนินงานด้านการสื่อสารและการสนับสนุนการดำเนินงาน

- การสนทนากลุ่มประเด็น (Focus Group

Discussion) กับ คณะกรรมการดำเนินโครงการปฏิบัติการเปลี่ยนเมือง ภูมิภาค-ภาคเหนือฯ จำนวน 2 ครั้ง เกี่ยวกับแนวคิดการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมือง รูปแบบการสื่อสาร ผลการดำเนินงาน ปัจจัยสนับสนุนการดำเนินงาน และปัญหาอุปสรรค

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลทั้งหมดที่รวบรวมได้จากการสัมภาษณ์และการจัดประชุมกลุ่มย่อยถูกนำมาถอดเทป แล้วนำไปวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลจากการเอกสาร และการสังเกตแบบมีส่วนร่วม โดยวิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) เริ่มจากการกำหนดรหัสการจัดหมวดหมู่ข้อมูล การเปรียบเทียบข้อมูล การประมวลผล การวิเคราะห์ การสังเคราะห์ และเรียบเรียงเป็นเนื้อหาเชิงบรรยาย (Description)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. แนวคิดการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองกับการสื่อสาร

เมืองน่าอยู่เป็นแนวคิดหนึ่งของการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน ซึ่งให้ความสำคัญกับการพัฒนาคุณภาพชีวิต การบริหารจัดการอย่างมีส่วนร่วม และระบบนิเวศในธรรมชาติ ควบคู่ไปกับการพัฒนาเศรษฐกิจ (Zachary, 1995) ทั้งนี้คุณลักษณะเมืองน่าอยู่ที่กำหนดโดย WHO ได้แก่ สิ่งแวดล้อมเชิงกายภาพที่สะอาดและมีคุณภาพ ระบบนิเวศสมดุลยั่งยืน

ชุมชนมีความเกื้อกูล ประชาชนมีส่วนร่วมในการควบคุมตัดสินใจด้านสุขภาพและคุณภาพชีวิต ความจำเป็นพื้นฐานของทุกคนได้รับการตอบสนอง มีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อบำบัดโครงการ มีการระดมความคิดและทำงานร่วมกัน ระบบเศรษฐกิจหลากหลาย รักษาสมดุลทางวัฒนธรรม มีระบบการดูแลสุขภาพ และทุกคนมีสุขภาพดี (Goldstein and Kickbusch, 1996)

ผลการวิจัยนี้พบว่า แนวคิดของโครงการปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงเมือง ภูมิภาค-ภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ มุ่งเน้นการพัฒนาเมืองเชียงใหม่ ให้เป็นเมืองน่าอยู่ปลอดภัย เป็นเมืองที่เป็นมิตรกับผู้คน เป็นเมืองแห่งธรรมชาติและวัฒนธรรม รวมทั้งเพิ่มพื้นที่สาธารณะที่สร้างสรรค์และสร้างการเรียนรู้ให้กับประชาชน โดยมีคณะกรรมการเป็นกลไกขับเคลื่อนสำคัญที่เรียกว่า “คณะกรรมการ Spark U Chiang Mai” ซึ่งอยู่ภายใต้โครงสร้างการดำเนินงานเดิมของเครือข่ายภาคประชาสังคมจังหวัดเชียงใหม่ที่ได้ร่วมกันพัฒนาและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของเมืองเชียงใหม่อย่างยาวนาน ทั้งนี้เป้าหมายของการดำเนินงานระยะแรก คือ การจุดประกาย ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการปัญหาสิ่งแวดล้อมของเมืองและแนวทางการพัฒนา รวมทั้งกระตุ้นจิตสำนึกความเป็นเจ้าของร่วมกันและการมีส่วนร่วมของประชาชนในการพัฒนาเมืองร่วมกับเครือข่ายภาคประชาสังคม องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานภาครัฐ ส่วนเป้าหมายของการดำเนินงานในระยะถัดไป คือ การเกิดพื้นที่สาธารณะที่สร้างสรรค์และสร้างการเรียนรู้ร่วมกันของคนทุกเพศทุกวัยในเมืองเชียงใหม่ และเป้าหมายสุดท้ายที่คาดหวัง คือ การที่เมืองเปลี่ยนแปลงไปสู่เมืองน่าอยู่ มีความหลากหลายของวัฒนธรรม และสภาพแวดล้อมที่ดี รวมทั้งผู้คนมีจิตสำนึกแห่งความเป็นพลเมืองที่พร้อมจะสร้างสังคมแห่งความสุขร่วมกัน

การสื่อสารถูกกำหนดเป็นกลยุทธ์หนึ่งของการดำเนินงานไปสู่เป้าหมายเพื่อจุดประกายแนวคิดการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองเชียงใหม่ และแสวงหาแนวร่วมในการดำเนินงานกับกลุ่มเป้าหมายที่เป็นคนในเชียงใหม่ ได้แก่ ประชาชนทุกเพศทุกวัย องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานภาครัฐและเอกชนในพื้นที่ ภาคประชาสังคม และผู้ประกอบการ เป็นต้น แนวทางการดำเนินงานด้านการสื่อสารประกอบไปด้วย

- การสร้างเป้าหมายร่วมกันระหว่างคณะกรรมการดำเนินงานและเครือข่ายภาคประชาสังคมที่เป็นแนวร่วมในการดำเนินงาน
- การใช้พลังการสื่อสารมวลชนในการประชาสัมพันธ์การดำเนินงาน และกระจายข้อมูลข่าวสารด้านการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองอย่างต่อเนื่อง
- การสร้างพื้นที่ปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมในการจัดทำสื่อด้วยรูปแบบหลากหลายเพื่อกระตุ้นให้เกิดการส่งต่อข้อมูลข่าวสารและสร้างความเปลี่ยนแปลง
- การสร้างพื้นที่สาธารณะให้เป็นศูนย์กลางการจัดกิจกรรมการพัฒนาเมือง

2. รูปแบบการสื่อสารเพื่อสร้างการมีส่วนร่วมในการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมือง

ยุทธวิธีการสื่อสารที่หลากหลายมักนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสังคมและการพัฒนาขีดความสามารถในการจัดการตนเองโดยชุมชน ภายใต้แนวคิดการสื่อสารเพื่อการพัฒนา (กุลิสรา, 2552) ซึ่งผู้ส่งสารควรแสดงบทบาทต่อกลุ่มเป้าหมายด้านการเผยแพร่ข่าวสาร การให้ความรู้ การจูงใจให้เกิดการเปลี่ยนทัศนคติหรือพฤติกรรม การกระตุ้นเตือนบางเรื่อง และการประชาสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ เป็นต้น (อรสา, 2556)

คณะกรรมการดำเนินงานในงานวิจัยนี้ใช้รูปแบบการสื่อสารที่หลากหลายในการเปิดพื้นที่ให้

ประชาชนทุกเพศทุกวัยในจังหวัดเชียงใหม่ เพื่อสร้าง การรับรู้เนื้อหาและพื้นที่การแลกเปลี่ยนความคิดเห็น เกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาเมืองเชียงใหม่ ข้อมูล ข่าวสาร ตลอดจนปลูกกระแสและประชาสัมพันธ์ให้ ภาคประชาชน ภาครัฐ ภาคประชาสังคม และ ภาคเอกชน ในจังหวัดเชียงใหม่ให้เข้าไปมีส่วนร่วม ในกิจกรรมการพัฒนาเมืองและแก้ไขปัญหา สิ่งแวดล้อม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 การสื่อสารผ่านสื่อมวลชน (Mass Media) เป็นรูปแบบการสื่อสารที่เน้นการส่งสารเพื่อ ประชาสัมพันธ์ สร้างการรับรู้ ทัศนคติ และกระตุ้น ความตื่นตัวด้านการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมือง โดย มุ่งเน้นกลุ่มเป้าหมายที่เป็นคนเชียงใหม่ทุกเพศทุกวัย ทั้งนี้คณะกรรมการดำเนินงานจะเป็นผู้ผลิตบทความ โปสเตอร์ ภาพถ่าย และภาพเคลื่อนไหวให้กับ เครือข่ายสื่อมวลชน (Mass Media) เพื่อการเผยแพร่ ข้อมูลความรู้และข่าวสารด้านสิ่งแวดล้อม และ กิจกรรมการพัฒนาสิ่งแวดล้อม ภายใต้การดำเนิน โครงการ Spark U เชียงใหม่สู่สาธารณะ เช่น สถานีวิทยุ FM 100 โทรทัศน์ช่องพีบีเอส ช่อง 9 ช่อง 3 ช่อง 7 ช่อง 11 เคเบิลทีวี หนังสือพิมพ์มติชน แนวหน้า ไทยนิวส์ เชียงใหม่นิวส์ ข่าวสด เดลินิวส์ กรุงเทพธุรกิจ รวมทั้งนิตยสาร Compass คอลัมน์เฉพาะกิจ เกี่ยวกับการฟื้นฟูคลองแม่ข่าและประวัติศาสตร์ ล้านนา

2.2 การสื่อสารผ่านสังคมออนไลน์ (Online Social Media) เป็นการสื่อสารที่มุ่งกลุ่มเป้าหมายที่ เป็นคนรุ่นใหม่โดยส่งผ่านเนื้อหาที่ผลิตเป็นบทความ โปสเตอร์ ภาพถ่าย และภาพเคลื่อนไหว ในเว็บไซต์ ของ You Tube และ Facebook ชื่อ Spark U Chiang Mai เช่น โปสเตอร์ประชาสัมพันธ์การปลูกต้นไม้ และการทำความสะอาดที่ใจกลางเมืองเชียงใหม่ การรณรงค์ติดตั้งถังดักไขมันก่อนปล่อยน้ำเสียสู่ คลองแม่ข่า การพัฒนาพิพิธภัณฑ์และห้องสมุด

หน้าค่ายกาวีละ การสืบสานภูมิปัญญาล้านนา เป็นต้น รูปแบบการสื่อสารแบบนี้นอกจากจะเป็นการ ประชาสัมพันธ์และกระตุ้นความตื่นตัวด้านการ พัฒนาสิ่งแวดล้อมให้กับกลุ่มเป้าหมายแล้ว กลุ่มเป้าหมายยังสามารถตอบรับ ส่งต่อเนื้อหาให้กับ ผู้อื่น และแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับ สิ่งที่น่าสนใจได้

2.3 การสื่อสารแบบกลุ่ม (Group Communication) เป็นรูปแบบการสื่อสารที่นอกจาก จะกระตุ้นความสนใจของกลุ่มเป้าหมายด้านการ พัฒนาเมืองเชียงใหม่แล้ว ยังเป็นพื้นที่ของการแสดง ความคิดเห็นระหว่างคณะกรรมการดำเนินงานกับ กลุ่มเป้าหมาย การจัดการสื่อสารลักษณะนี้ต้องอาศัย การประสานงานกับกลุ่มเป้าหมาย การจัดเตรียม สถานที่ การเตรียมวิทยากร การเตรียมผู้ดำเนิน รายการ การเตรียมการพูดคุย ออกแบบ และวางแผน การดำเนินงานระหว่างคณะกรรมการดำเนินงาน ดังที่มีการจัดเสวนาเกี่ยวกับการพัฒนาสิ่งแวดล้อม เมืองเชียงใหม่ เพื่อกระตุ้นให้ชาวเชียงใหม่และ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเห็นความสำคัญของการจัดการ พื้นที่สีเขียว ในเวที “Tree Talk ปลูก ปรับ เปลี่ยน เพื่อเชียงใหม่เขียว” โดยมีการดำเนินงานดังนี้

- การเชิญผู้เข้าร่วมในจังหวัดเชียงใหม่ที่ หลากหลายประมาณ 60 คน ได้แก่ ตัวแทนชุมชนใน เมือง ตัวแทนหน่วยงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคเหนือ) เชียงใหม่ กรมศิลปากร เชียงใหม่ที่ 8 และกรมทางหลวง แขวงเชียงใหม่ที่ 2 รวมทั้ง คณะกรรมการดำเนินงาน Spark U เชียงใหม่ และ นักวิชาการในศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

- ผู้ร่วมเสวนาประกอบไปด้วยนักวิชาการ ด้านสถาปัตยกรรมและพื้นที่สีเขียว 2 คน ตัวแทนจาก หน่วยงานราชการ 3 คน จากกรมทางหลวง แขวง เชียงใหม่ ที่ 2 การไฟฟ้าส่วน ภูมิภาคเขต 1 (ภาคเหนือ) เชียงใหม่ และกรมศิลปากร เชียงใหม่ 8

คน และตัวแทนประชาชนชุมชน 2 คนจากเครือข่ายชุมชนเมืองรักษ์เชียงใหม่ และชุมชนพวกแถม ตำบลพระสิงห์ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

- หัวข้อการเสวนาประกอบด้วย

- สภาพเมืองสีเขียว เป็นการพูดคุยเกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาพื้นที่ใจกลางเมือง 9 ไร่ ที่มีผู้คนหนาแน่นให้เป็นพื้นที่สีเขียวโดยการให้ทุกภาคส่วนเข้ามามีส่วนร่วมดำเนินงานในรูปแบบสภาพเมืองสีเขียว

- การพัฒนาพื้นที่สีเขียวร่วมกับสายไฟ โดยการร่วมพูดคุยกับตัวแทนของ กฟผ. ฯ เกี่ยวกับแนวทางการปลูกและตัดแต่งต้นไม้ให้กลมกลืนกับเสาไฟฟ้า

- การพัฒนาพื้นที่สีเขียวริมถนน โดยการร่วมพูดคุยกับตัวแทนของกรมทางหลวงฯ เกี่ยวกับแนวทางการออกแบบถนน การตัดถนน และการจัดการกับต้นไม้ริมถนน

- การจัดการกับต้นไม้ในเขตโบราณสถาน โดยการร่วมพูดคุยกับกรมทางหลวงฯ ถึงต้นไม้ในเชิงประวัติศาสตร์กับการคงไว้ซึ่งคุณค่าของต้นไม้ในเขตโบราณสถาน

- การพัฒนาพื้นที่สีเขียวในชุมชนเมือง เป็นการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับบทบาทของชุมชนในการดูแลต้นไม้ใหญ่ในเมืองและการจัดการพื้นที่สีเขียว รวมไปถึงการพัฒนาจิตอาสาให้ทำหน้าที่ดูแลต้นไม้ใหญ่ในเมือง ที่เรียกว่า “หมอต้นไม้”

2.4 การสื่อสารผ่านกิจกรรมสาธารณะ เป็นการใช้กิจกรรมสาธารณะเป็นเครื่องมือในการสร้างความเข้าใจและกระตุ้นการมีส่วนร่วมของชุมชนในการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมือง การสื่อสารรูปแบบนี้คณะกรรมการดำเนินงานจะต้องมีการติดต่อประสานงานกับผู้เกี่ยวข้องเพื่อการร่วมจัดกิจกรรมและต้องมีการประชาสัมพันธ์กิจกรรมผ่านการ

สื่อสารมวลชนและการสื่อสารออนไลน์เพื่อให้ผู้สนใจเข้าไปมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรม เช่น

- การจัดกิจกรรม Chiang Mai Clean Up Day เพื่อสร้างการมีส่วนร่วมกับชาวเชียงใหม่ในการทำความสะอาดถนน หน้าบ้าน และปรับปรุงภูมิทัศน์ในชุมชนควรค่าสามัคคี ตำบลศรีภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีเทศบาลนครเชียงใหม่ และเทศบาลแขวงศรีวิชัย เป็นภาคีร่วมจัดกับคณะกรรมการดำเนินงาน และมีผู้เข้าร่วมที่เป็นตัวแทนของชุมชนในพื้นที่ ผู้ประกอบการในพื้นที่ นักท่องเที่ยว และคนรุ่นใหม่

- การจัดกิจกรรมปิดถนนคนเดินที่ชุมชนควรค่าสามัคคี โดยความร่วมมือของเครือข่ายเขียวสวยหอม กลุ่มมือเมืองเย็น กลุ่มบ้านย่านเวียง และกลุ่ม Trash Hero Chiang Mai โดยมีผู้ว่าราชการจังหวัดเชียงใหม่ ตัวแทนเทศบาลนครเชียงใหม่ ชาวเชียงใหม่ รวมทั้งชาวต่างชาติเข้าไปมีส่วนร่วมกิจกรรมปิดถนนคนเดิน มีความหลากหลายประกอบด้วยตลาดสินค้าอินทรีย์ การสื่อสารแนวคิดเมืองน่าอยู่ จุดซ่อมบำรุงจักรยาน เป็นต้น

- การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการเกี่ยวกับภูมิปัญญาล้านนาให้ผู้สนใจทั่วไปทั้งในและต่างประเทศ บริเวณโสมฮีนสืบสานภูมิปัญญาล้านนา ตำบลวัดเกต อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยเครือข่ายภูมิปัญญาท้องถิ่นภาคเหนือ เช่น การทำอาหารพื้นบ้าน การปักตุ่ง การปักผ้า การทอผ้า เป็นต้น

- การจัดกิจกรรม “ปลูกใจเหมืองพญาคำ” ด้วยประเพณีวัฒนธรรมและศิลปะการแสดง เช่น การไหว้สาฝ่ายพญาคำ การเลี้ยงผีฝ่าย การสาธิตการตีฝ้ายแบบโบราณ การแสดงละครเกี่ยวกับการสืบสานฝ่ายพญาคำ โดยการมีส่วนร่วมของเทศบาล 8 ตำบลในจังหวัดเชียงใหม่ ผู้ว่าราชการจังหวัด ผู้แทนมณฑลทหารบกที่ 33 กลุ่มผู้ใช้น้ำเพื่อการเกษตรในอำเภอเมืองและอำเภอสาร์ภี จังหวัดเชียงใหม่ และเยาวชน

จากโรงเรียนสารภีพิทยาคม อำเภอสารภี จังหวัด เชียงใหม่

2.5 การสื่อสารผ่านปฏิบัติการคิดร่วมทำร่วม เป็นการสร้างพื้นที่ให้กลุ่มเป้าหมายเข้ามามีส่วนร่วม ในการจัดทำสื่อเพื่อการเผยแพร่สาธารณะ รูปแบบนี้ ช่วยกระตุ้นจิตสำนึกร่วมต่อเมืองเชียงใหม่ และสร้างความเข้าใจในเนื้อหาที่ต้องการสื่อของกลุ่มเป้าหมาย ที่เข้าร่วมปฏิบัติการควบคู่ไปกับการสร้างการรับรู้ ให้กับผู้รับสาร การสื่อสารแบบนี้ผู้ส่งสารเป็นผู้จัด รั้งกระบวนการให้เกิดการสลับปรับเปลี่ยนบทบาท ระหว่างผู้ส่งสารกับผู้รับสาร ซึ่งส่งผลต่อความเข้าใจ ของผู้คนต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมและการเข้าไปมีส่วนร่วม ในกิจกรรมพัฒนาสิ่งแวดล้อม ซึ่งสะท้อนความ เปลี่ยนแปลงเชิงกลยุทธ์ของการสื่อสารเพื่อการพัฒนา จากกลยุทธ์การโน้มน้าวสู่การสร้าง ความเข้าใจร่วม จากกลยุทธ์การมุ่งเน้นปัจเจกสู่กลุ่มคน หรือชุมชน จากกลยุทธ์การสื่อสารเป็นการใช้สื่อให้ มากกว่าสื่อและการผสมสาร (กาญจนา, 2548) เช่น

- การสร้างความร่วมมือสร้างสรรค์การ แสดงละครล้านนาที่รักเพื่อปลูกจิตสำนึกรักเมือง เชียงใหม่ ระหว่างทหารบกมณฑลที่ 13 ค่ายกาวีละ นักดนตรีล้านนา ช่างฟ้อนและรำดาบ นักขับลำนำ ภูมิปัญญาล้านนา และศิลปินรุ่นใหม่ในจังหวัด เชียงใหม่ ละครล้านนาที่รักเป็นละครฟอร์มใหญ่ที่มี นักแสดงศิลปินล้านนากว่า 200 คน พยายามบอกเล่า ประวัติศาสตร์ล้านนาในยุคสมัยพระเจ้ากาวีละด้วย ศิลปวัฒนธรรมพื้นบ้านล้านนาได้อย่างกลมกลืน ในวันแสดงมีผู้เข้าร่วมชมกว่า 1,000 คน และมีผู้ รับชมผ่านช่องทาง You Tube และ Facebook กว่า 5,000 คน

- การนำนักศึกษาจากมหาวิทยาลัยพายัพ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เข้าไปเรียนรู้สภาพแวดล้อม เมืองเชียงใหม่ ประวัติศาสตร์ล้านนา ปัญหาพื้นที่

สีเขียวในเขตเมือง ปัญหาน้ำเสียในคลองแม่ข่า และ กิจกรรมพัฒนาเมืองเชียงใหม่ จากนั้นให้นักศึกษา ผลิตสื่อภาพเคลื่อนไหวและ Visual Effect ที่มีเนื้อหา เกี่ยวกับเมืองเชียงใหม่และปัญหาสิ่งแวดล้อมสู่การ เผยแพร่ในสื่อออนไลน์ จำนวน 14 เรื่อง

2.6 การใช้สื่ออื่นๆ ได้แก่

- การจัดนิทรรศการเคลื่อนที่ซึ่งนำเสนอ ภาพถ่ายและให้ข้อมูลเกี่ยวกับวิถีล้านนาและกิจกรรม พัฒนาเมืองเชียงใหม่

- การใช้สื่อรณรงค์เพื่อฟื้นฟูคลองแม่ข่า เช่น โปสเตอร์ สติกเกอร์ การพันทุรูป เป็นต้น

- การใช้สื่อบุคคลถ่ายทอดเรื่องราวและ กระตุ้นจิตสำนึกรักเชียงใหม่ เช่น นักดนตรี ผู้ว่า ราชการจังหวัด เป็นต้น

3. ปัจจัยสนับสนุนการสื่อสารและปัญหา อุปสรรค

ผลของการสื่อสารด้วยรูปแบบที่หลากหลาย ทำให้ประสบความสำเร็จด้านการสร้างการมีส่วนร่วม ในแง่ของการจุดประกายความคิด การสร้าง กระแสการพัฒนาสิ่งแวดล้อม และการเผยแพร่ ประชาสัมพันธ์ให้คนเข้ามามีส่วนร่วมในกิจกรรม พัฒนาสื่อ การพัฒนาและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ คณะดำเนินงาน Spark U Chiang Mai จัดขึ้น รวมทั้ง เกิดการขยายกิจกรรมการพัฒนาสิ่งแวดล้อมไปยัง ชุมชนใกล้เคียงในใจกลางเมืองเชียงใหม่ เช่น การ ปลูกและดูแลต้นไม้เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียว การทำความสะอาด หน้าวัดและหน้าบ้าน เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องด้วย ปัจจัยสนับสนุนการดำเนินงานด้านการสื่อสารหลาย ประการ ได้แก่

3.1 การวางแผนและติดต่อประสานงานที่ดี ทั้งด้านการรวบรวมข้อมูล การผลิตสื่อ การรณรงค์ การเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ และการดำเนินกิจกรรม พัฒนาสิ่งแวดล้อมเมือง

3.2 การมีต้นทุนเครือข่ายความสัมพันธ์ คณะกรรมการดำเนินงานสามารถประสานกับฐานเครือข่ายนักพัฒนาเมืองเชียงใหม่ ภูมิปัญญาท้องถิ่น และภาคประชาสังคมดั้งเดิมในพื้นที่เพื่อสร้างการมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรมการสื่อสารและการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองเชียงใหม่กับภาคประชาชน กลุ่มเยาวชนคนรุ่นใหม่ หน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และสถาบันการศึกษา

3.3 การได้รับการสนับสนุนงบประมาณ คณะดำเนินงานได้รับงบประมาณที่เหมาะสมสำหรับการจัดทำสื่อทุกรูปแบบ

อย่างไรก็ตาม การดำเนินงานด้านการสื่อสารต้องประสบกับปัญหาอุปสรรคที่ทำให้การพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองอย่างมีส่วนร่วมขาดความต่อเนื่องและยั่งยืน ได้แก่ การติดต่อประสานงานไม่ราบรื่นในบางพื้นที่โดยเฉพาะการประสานงานกับหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง การสนับสนุนงบประมาณที่ไม่ต่อเนื่อง การขาดการกำหนดยุทธศาสตร์และการวางแผนที่ชัดเจนในระยะยาว เพื่อให้เข้าถึงคนทุกกลุ่มในสังคมและสร้างความเปลี่ยนแปลงได้ การขาดการติดตามประเมินผลด้านการสื่อสาร รวมทั้งมีข้อจำกัดในการขยายแนวร่วมการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองให้กว้างขวางมากขึ้น และการสร้างพื้นที่การสื่อสารเชิงปฏิบัติอย่างมีส่วนร่วมกับคนทุกเพศทุกวัย

ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับแนวคิดการสื่อสารเพื่อการพัฒนาที่ให้ความสำคัญกับการสร้างการมีส่วนร่วมและเกี่ยวข้องกับการกระจายอำนาจไปสู่กลุ่มเป้าหมายของการพัฒนาอย่างเสมอภาคให้มากที่สุด หรือการมุ่งเน้นเป้าหมายไปที่คนในฐานะที่เป็นศูนย์กลางการพัฒนา โดยการกระตุ้นจิตวิญญาณหรือความภาคภูมิใจในวัฒนธรรม ภูมิปัญญา และสิ่งแวดล้อมของชุมชนสู่ความกระตือรือร้นในการร่วมพัฒนาให้ชุมชนดีขึ้นควบคู่ไปกับการดูแลรักษา

ระบบนิเวศในชุมชน (Servaes, 2003) ดังเช่นเทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง ที่สร้างการมีส่วนร่วมกับประชาชนโดยการรวบรวมประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากประชาชนควบคู่ไปกับการสนับสนุนให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในการกำหนดปัญหา การวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมที่สอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้นจริง มีการดำเนินงานมีการติดตามประเมินผล รวมไปถึงการร่วมรับประโยชน์และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น โดยอาศัยความต่อเนื่องในการสื่อสารกับชุมชน การจัดสรรงบประมาณอย่างเพียงพอ การผลักดันให้สื่อมวลชนช่วยเผยแพร่ปัญหาสิ่งแวดล้อม และการสร้างการมีส่วนร่วมกับหน่วยงานภายนอก (นวรรัตน์, 2554)

สรุป

รูปแบบการสื่อสารที่ใช้เพื่อสร้างการมีส่วนร่วมในการกระตุ้นจิตสำนึกความเป็นพลเมืองและการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเพื่อเปลี่ยนแปลงเมืองให้น่าอยู่ประกอบไปด้วยรูปแบบที่ผู้ดำเนินการแสดงบทบาทของผู้ส่งสารเท่านั้น โดยเลือกใช้วิธีการส่งสารไปยังผู้รับสารผ่านช่องทางต่างๆ เพียงทางเดียว หรือเป็นการสื่อสารแบบทางเดียว (One-way communication) และการเลือกวิธีการส่งสารผ่านช่องทางต่างๆ ที่ผู้รับสารสามารถสะท้อนกลับหรือแลกเปลี่ยนความคิดเห็นต่อสารนั้นได้ระหว่างผู้ส่งสารและผู้รับสาร หรือเป็นการสื่อสารแบบสองทาง (Two-way communication) อีกรูปแบบหนึ่ง คือ การที่ผู้ส่งสารเป็นผู้จัดกระบวนการปรับเปลี่ยนบทบาทของผู้รับและผู้ส่งสารผ่านการสร้างพื้นที่แลกเปลี่ยนเรียนรู้ภายใต้แนวคิดการสื่อสารเพื่อการพัฒนา ผลของการใช้รูปแบบสื่อแบบผสมผสานนี้ช่วยสร้างความตื่นตัวในระยะสั้นต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมในวงกว้างและกระตุ้นความร่วมมือชั่วคราวต่อการดำเนินกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อมในใจกลางเมืองเชียงใหม่ของชุมชน

ภาคประชาสังคม และภาครัฐ โดยจำเป็นต้องอาศัย การติดต่อประสานงานที่ดีระหว่างเครือข่ายและ ผู้เกี่ยวข้อง และการสนับสนุนงบประมาณอย่าง ต่อเนื่อง

ข้อเสนอแนะ

การสื่อสารเพื่อสร้างการมีส่วนร่วมต่อการ บรรลุเป้าหมายของการพัฒนาสิ่งแวดล้อมในระยะ ยาวนั้นนอกจากการประชาสัมพันธ์และกระตุ้น จิตสำนึกสิ่งแวดล้อมในวงกว้างแล้ว ยังจำเป็นต้องใช้ กลยุทธ์การปรับเปลี่ยนบทบาทของผู้รับและผู้ส่งสาร ให้ต่อเนื่องในการปลูกฝังจิตสำนึกความเป็นเจ้าของ เมืองเชียงใหม่ โดยการให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการ พัฒนาเมืองเข้ามามีส่วนร่วมในการเรียนรู้และการ พัฒนาการสื่อสารให้มากขึ้นผ่านกระบวนการร่วมคิด ร่วมทำ ตลอดจนจัดกระบวนการกำหนดยุทธศาสตร์ และแผนการพัฒนาสิ่งแวดล้อมเมืองเชียงใหม่ร่วมกัน ระหว่างผู้เกี่ยวข้อง ได้แก่ ภาคประชาชน ภาคธุรกิจ ภาคเอกชน ภาครัฐ และภาคประชาสังคม เป็นต้น รวมทั้งกำหนดแผนที่นำไปสู่การร่วมปฏิบัติและ ติดตามประเมินผลการดำเนินงานเพื่อปรับปรุง แผนการพัฒนาเมืองเชียงใหม่ได้อย่างสอดคล้องกับ บริบททางสังคมและวัฒนธรรมตนเอง ทั้งนี้ ผู้ดำเนินการจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาศักยภาพด้าน การวางแผนและติดตามประเมินผลการดำเนินงาน ด้านการสื่อสารอย่างเป็นระบบ รวมไปถึงด้านการ ติดต่อ ประสาน ความร่วมมือกับเครือข่าย ความสัมพันธ์เดิม และการขยายแนวร่วมใหม่เพื่อให้ เข้าถึงคนทุกกลุ่มได้มากขึ้น รวมไปถึงการแสวงหา แหล่งสนับสนุนงบประมาณดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เพื่อประเมินผล โครงการ Spark U เชียงใหม่

ปฏิบัติการเปลี่ยนเมือง จังหวัดเชียงใหม่ สนับสนุน โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริม สุขภาพ (สสส.) คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ รวมทั้งคณะกรรมการดำเนินงาน Spark U Chaing Mai และผู้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสิ่งแวดล้อม เมืองเชียงใหม่ทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลและสนับสนุน ให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา แก้วเทพ. 2543. **สื่อเพื่อชุมชน: การ ประมวลองค์ความรู้**. สำนักงานกองทุน สนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- กาญจนา แก้วเทพ. 2548. **ก้าวต่อไปของการสื่อสาร เพื่อการพัฒนาชุมชน**. สำนักงานกองทุน สนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
- กุลิศรา กฤตวรกาญจน์. 2552. การสื่อสารเพื่อการ พัฒนากับพัฒนาชนบทไทย. **วารสาร การสื่อสารมวลชน** 1(2): 1-27.
- จักรพงษ์ แพทย์หลักฟ้า, วิรุณ ตั้งเจริญ, พุทธิ ศุภเศรษฐศิริ และวิชัย วงษ์ใหญ่. 2556. การมีส่วนร่วมของชุมชนเมืองในการพัฒนา แหล่งเรียนรู้ศิลปวัฒนธรรม: กรณีศึกษา ชุมชนลาดพร้าว. **วารสารสถาบัน วัฒนธรรมและศิลปะ สาขามนุษยศาสตร์ และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร วิโรฒ** 14(2): 35-48.
- ชัยวุฒิ ตั้งสมชัย และ ปิยพรรณ กลั่นกลิ่น. มปป. **สถานการณ์และแนวโน้มของธุรกิจ ท่องเที่ยวในภาคเหนือตอนบน**. เอกสาร เผยแพร่, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ธัญวรรณ แก้วชะฎา และ พัทณี เชยจรรยา. 2558. การจัดการการสื่อสารเพื่อแก้ปัญหา สิ่งแวดล้อมคลองแสนแสบกับการรับรู้ของ ประชาชนชุมชนมัศยิกมาลุลอิสลาม.

- วารสารการสื่อสารและการจัดการ นิต้า
1(3): 17-36.
- นวรรตน์ วรรณะหทัย. 2554. การใช้สื่อเพื่อสร้าง
การมีส่วนร่วมกับชุมชนในการแก้ปัญหา
สิ่งแวดล้อมของเทศบาลเมืองมาบตาพุด
จังหวัดระยอง. คณะวารสารศาสตร์และ
สื่อสารมวลชน, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วรารวรรณ ฐาปนธรรมชัย และ กลมพร สอนศรี.
2556. กลยุทธ์การเสริมสร้างการมีส่วนร่วม
ของประชาชนในการพัฒนาเทศบาลตำบล
โพรงมะเดื่อ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม.
วารสารวิทยบริการ 24(3): 94-108.
- อรสา ปานขาว. 2556. การสื่อสารเพื่อการพัฒนา,
น. 206-243. ใน สำนักงานคณะกรรมการ
กิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์และ
กิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, บรรณาธิการ.
ตำราอบรมหลักสูตรผู้ประกาศในกิจการ
กระจายเสียงและกิจการโทรทัศน์
ระดับกลาง. บริษัท ส เจริญ การพิมพ์
จำกัด, กรุงเทพฯ.
- Erwin, W. 1976. **Participation management:
concept theory and implementation.**
Georgia State University, Atlanta.
- Goldstein, G. and Kickbusch, L. 1996. WHO
healthy cities programme. **Journal of**
urbanization and health newsletter
28(28): 7-13.
- Khalid, M.Z. 2012. Media and development
communication: a perspective. **International
Journal of Scientific and Research
Publications** 2(5): 1-5.
- Roger, E.M. and Shoemaker, F.F. 1971.
**Communication of innovation: a cross-
cultural approach.** The Free Press, New
York.
- Rydin, Y. 2010. **Governing for sustainable
urban development.** Earthscan, New
York.
- Servaes, J. 2003. Communication for development
approaches of some governmental and non-
governmental agencies, pp. 201-218. In
Servaes, J, ed. **Communication for
development and social change.** SAGE
Publications India Pvt Ltd., New Delhi.
- Zachary, J. 1995. **Sustainable community
indicators: guideposts for local planning.**
Santa Barbara, Community Environmental
Council, USA.

รูปแบบการออกดอกของปาล์มน้ำมันสายพันธุ์การค้า ที่ปลูกในอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร

Pattern of Flowering of Oil Palm Cultivars Planted at Tha sae District, Chumphon Province

สุคนัย เครือหาลี* อภินันท์ อินทรสมบัติ และ วุฒิสักดิ์ รัตนสุภา

Sudanai Krualee*, Apinan Intaratsame and Wuttisak Rattanasupha

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการออกดอกของปาล์มน้ำมันสายพันธุ์การค้าที่ปลูกในอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร ปาล์มน้ำมัน 8 สายพันธุ์ (สุราษฎร์ 1, สุราษฎร์ 2, สุราษฎร์ 3, สุราษฎร์ 4, สุราษฎร์ 5, สุราษฎร์ 6, เปารงค์ และลามะ) อายุ 10 ปี จำนวน 10 ต้น ปลูกใช้ในแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ แต่ละต้นถูกนับจำนวนช่อดอกตัวเมียที่เกิดจากทางใบ 25 ทางใบ (ในรอบ 1 ปี ผลผลิตได้ประมาณ 25 ทางใบ) เพื่อหาจำนวนช่อดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปีและจำนวนต้นที่ให้ช่อดอกตัวเมียในแต่ละทางใบ จำนวนช่อดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปีถูกเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ส่วนจำนวนต้นที่ให้ช่อดอกตัวเมียในแต่ละทางใบถูกเปรียบเทียบโดยวิธี Chi square ผลการทดลองพบว่า ปาล์มน้ำมันต่างสายพันธุ์มีจำนวนช่อดอกตัวเมียในรอบปีแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งปาล์มน้ำมันสายพันธุ์สุราษฎร์ 1 มีจำนวนช่อดอกตัวเมียในรอบปีสูงสุด (18.3 ช่อดอก) สำหรับจำนวนต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ช่อดอกตัวเมียในแต่ละทางใบพบว่า จำนวนต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ช่อดอกตัวเมียในทางใบที่ 9, 10, 12, 13, 14, 21, 22 และ 25 มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% จำนวนต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ช่อดอกตัวเมียในทางใบที่ 3, 11, 20, 23 และ 24 มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนทางใบอื่นๆ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของจำนวนต้นที่เกิดช่อดอกตัวเมียในทางใบ จากผลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปาล์มน้ำมันต่างกันมีรูปแบบการออกดอกที่ต่างกัน หากเกษตรกรทราบรูปแบบการออกดอกของปาล์มน้ำมันจะสามารถนำมาใช้ในการจัดการพันธุ์ปาล์มน้ำมันในแปลงเพื่อให้ได้ผลผลิตต่อเนื่อง

คำสำคัญ: รูปแบบ, การออกดอก, ปาล์มน้ำมัน

สาขาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

Department of Plant Science, Faculty of Agriculture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Thugyai, Thungyai, Nakhon si Thammarat 80240, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): sudanai_nang@yahoo.co.th

ABSTRACT

This research aimed to compare flowering pattern of commercial oil palm cultivars that planted in Tha sae district, Chumphon province. Ten of a 10-year-old plams, from 8 oil palm cultivars (Surat1 Surat2 Surat3 Surat4 Surat5 Surat6 Pao-rong and La me were used in completely randomized design. The number of female inflorescence induced from 25 fronds of each palm was counted (1 year induced 25 fronds) in order to find the number of female inflorescences in a year and the number of palms induced female inflorescence in each frond. The number of female inflorescences in a year were compared by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) and the number of palms induced female inflorescence in each frond were compare by Chi square method. The result showed that different oil palm cultivars had different number of female inflorescences in a year at 95% significant confidence level. Surat1 cultivar had the highest number of female inflorescences in a year (18.2 inflorescence). For the number of palms induced female inflorescence in each frond, the number of palms induced female inflorescence in frond number 9, 10, 12, 13, 14, 21, 22, and 25 had 99% significant confidence level. The number of palms induced female inflorescence in frond number 3, 11, 20, 23, and 24 indicated 95% significant confidence level. There was no statistically significant difference among other fronds. From above result, different oil palm cultivars had different pattern of flowering. If oil palm planters know flowering pattern of oil palm cultivars, they can manage the oil palm cultivar in order to increase the yield continually.

Key words: pattern, flowering, oil palm

บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชสำคัญทางเศรษฐกิจในภาคใต้ของไทย น้ำมันที่สกัดได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในด้านการบริโภค เช่น น้ำมันทอดขนมขบเคี้ยว ครีมเทียม เป็นต้น และด้านอุปโภค เช่น น้ำมันไบโอดีเซล สบู่ ผงซักฟอก ส่วนผสมในเครื่องสำอาง เป็นต้น (ธีระ และคณะ, 2546) จากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ความต้องการน้ำมันปาล์มเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมทั้งสองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

เมื่อพิจารณาในช่วงปี 2556 - 2560 พบว่าประเทศไทยมีแนวโน้มต้องการใช้น้ำมันปาล์มเพิ่มมากขึ้น ทั้งเพื่อการบริโภคและการผลิตไบโอดีเซล ร้อยละ 3.14 และร้อยละ 4.34 ต่อปี ตามลำดับ

เฉพาะปี 2560 มีความต้องการใช้น้ำมันปาล์มเพื่อการบริโภค 1.09 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 0.99 ล้านตัน ในปี 2559 ร้อยละ 10.32 ส่วนความต้องการใช้น้ำมันปาล์มเพื่อผลิตไบโอดีเซลในปี 2560 มีปริมาณ 0.97 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจาก 0.82 ล้านตัน ในปี 2559 ร้อยละ 18.87 เนื่องจากมีความต้องการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วเพิ่มขึ้น จากความต้องการน้ำมันปาล์มที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรให้ความสนใจและหันมาปลูกปาล์มน้ำมันกันมากขึ้น จนมีการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันอย่างกว้างขวาง สำหรับเนื้อที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันในช่วงปี 2556 - 2560 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.72 ในขณะที่ผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.79 ต่อปี เฉพาะปี 2560 มีเนื้อที่ให้ผลผลิต 4.77 ล้านไร่ ผลผลิต 13.51 ล้านตัน และผลผลิต

ต่อไร่ 2,831 กิโลกรัมต่อไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2559 ซึ่งมีเนื้อที่ให้ผลผลิต 4.38 ล้านไร่ ผลผลิต 11.42 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่ 2,605 กิโลกรัมต่อไร่ ร้อยละ 8.90 ร้อยละ 18.30 และร้อยละ 8.68 ตามลำดับ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) แม้ว่าผลผลิตรวมทั้งประเทศจะเพิ่มขึ้น แต่ผลผลิตต่อไร่ยังอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ สาเหตุหนึ่งน่าจะเกิดจากมีผลผลิตทะลายน้อยต่อเนื่องตลอดทั้งปี ปัญหานี้เกิดจากเกษตรกรปลูกปาล์มน้ำมันเพียงสายพันธุ์เดียว และไม่ทราบว่าปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ดังกล่าวมีรูปแบบการออกดอกเป็นอย่างไร เมื่อนำมาปลูกในแปลงพบว่า บางช่วงของปี ต้นปาล์มน้ำมันจะออกดอกตัวเมียพร้อมกันทั้งแปลง ส่งผลให้ผลผลิตทะลายนอกมาก และบางช่วงของปี ปาล์มน้ำมันจะออกดอกตัวผู้มาก ส่งผลให้ผลผลิตทะลายน้อย ทำให้รายได้ในรอบปีของเกษตรกรไม่มีความเสถียรภาพ

จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ถูกทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการออกดอกของปาล์มน้ำมันสายพันธุ์การค้าที่ปลูกในพื้นที่อำเภอท่าชะงู จังหวัดชุมพร เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจเลือกและจัดการพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมกับพื้นที่ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลอง ณ สถานีวิจัยและฝึกอบรมชุม (ฟาร์ม 2) อ.ท่าชะงู จ.ชุมพร ระหว่างเดือนมกราคม 2560 - เดือนธันวาคม 2560 แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ถูกใช้ โดยกำหนดให้สิ่งทดลองคือสายพันธุ์ปาล์มน้ำมัน อายุ 10 ปี จำนวน 8 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ สุราษฎร์ 1 สุราษฎร์ 2 สุราษฎร์ 3 สุราษฎร์ 4 สุราษฎร์ 5 สุราษฎร์ 6 เปารงค์ และลาเม่ หน่วยทดลองคือต้นปาล์มน้ำมันของแต่ละสายพันธุ์ๆ ละ 10 ต้น แต่ละต้นถูกนับจำนวนช่อดอกตัวเมียที่เกิดจากทางใบ 25 ทางใบซึ่ง

เกิดขึ้นในรอบ 1 ปี (Corley and Tinker, 2003) เพื่อหาจำนวนช่อดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปีและจำนวนต้นที่ให้ช่อดอกตัวเมียในแต่ละทางใบ สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนช่อดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปีใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ส่วนจำนวนต้นที่ให้ช่อดอกตัวเมียในแต่ละทางใบใช้การเปรียบเทียบโดยวิธี Chi square

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนช่อดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปี (ตารางที่ 1) พบว่าปาล์มน้ำมันทั้ง 8 สายพันธุ์มีจำนวนช่อดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % นั้นแสดงให้เห็นว่าพันธุ์ปาล์มน้ำมันมีอิทธิพลต่อจำนวนช่อดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปี เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่า ปาล์มน้ำมันสายพันธุ์สุราษฎร์ 1 มีจำนวนช่อดอกตัวเมียในรอบปีมากที่สุด รองลงมาคือ ปาล์มน้ำมันสายพันธุ์สุราษฎร์ 4 และเปารงค์ (18.3 17.4 และ 17.3 ช่อดอก ตามลำดับ) ดังตารางที่ 2

เมื่อพิจารณาจำนวนต้นที่ให้ช่อดอกตัวเมียในแต่ละทางใบ จำนวนทั้งสิ้น 25 ทางใบ ซึ่งผลิตได้ในรอบปี พบว่าจำนวนต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ช่อดอกตัวเมียในทางใบที่ 9 10 12 13 14 21 22 และ 25 มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% จำนวนต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ช่อดอกตัวเมียในทางใบที่ 3 11 20 23 และ 24 มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนทางใบที่ 1 2 4 5 6 7 8 15 16 17 18 และ 19 ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของจำนวนต้นที่เกิดช่อดอกตัวเมียในแต่ละทางใบ (ตารางที่ 3) สอดคล้องกับงานวิจัยของชลลดา (2560) รายงานว่ารูปแบบการออกดอกของปาล์มน้ำมัน 3 สายพันธุ์ซึ่งปลูกในอำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้

ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของนุจรี และคณะ (2560) รายงานว่าปาล์มน้ำมัน 10 สายพันธุ์ ซึ่งปลูกในอำเภอเมือง จังหวัดกระบี่ มีจำนวนดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปีและจำนวนต้นที่ให้ดอกตัวเมียในแต่ละทางใบ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อนั้นแสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของช่อดอกตัวเมียในแต่ละทางใบมีความแตกต่างกันเมื่อสายพันธุ์ต่างกัน ดังภาพที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปี จำนวน 8 สายพันธุ์

	df	Sum of Squares	Mean Square	F
Variety	7	133.6	19.1	2.5*
Error	72	556.4	7.7	
Total	79	690.0		

หมายเหตุ * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

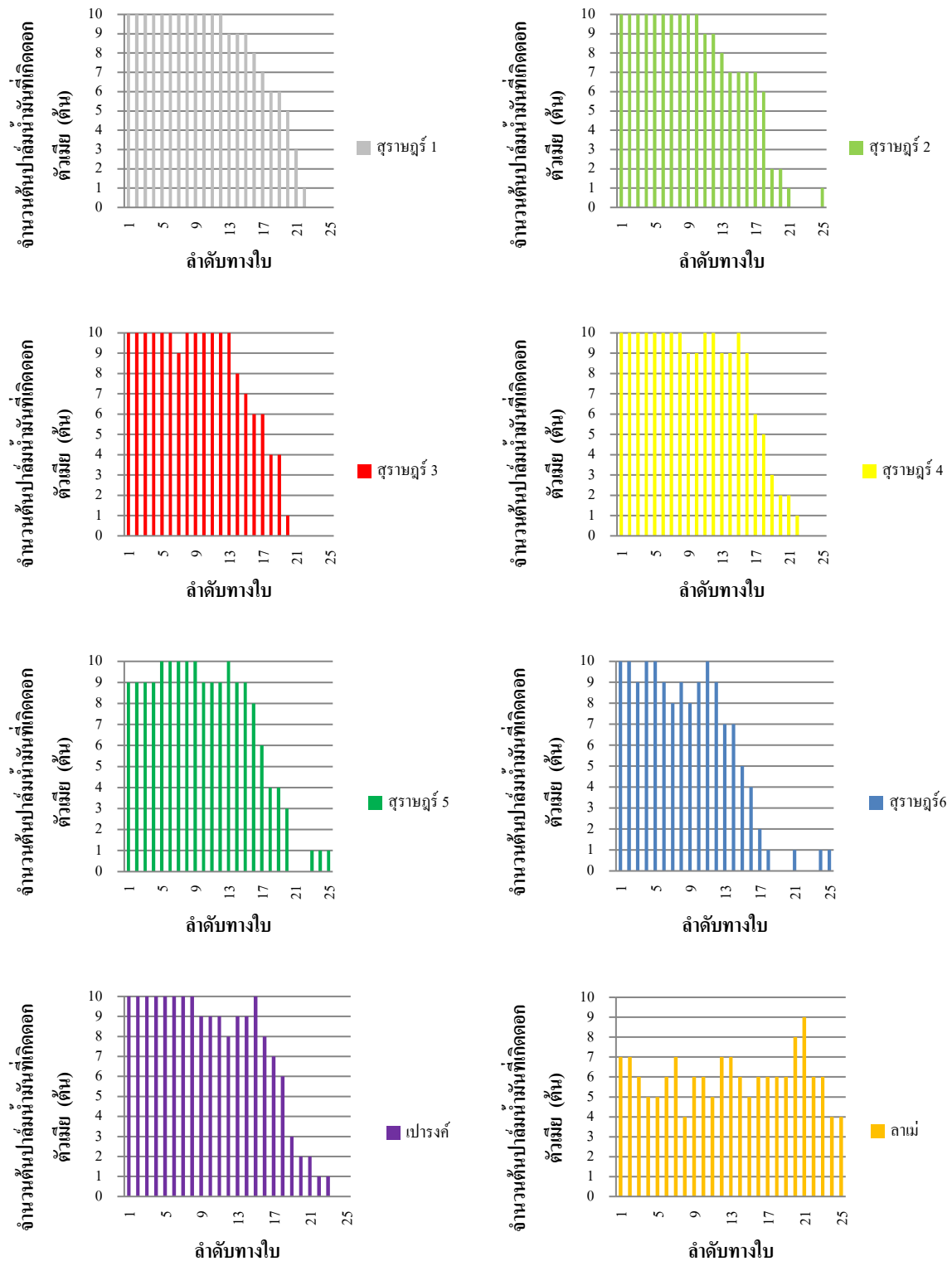
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปี จำนวน 8 สายพันธุ์

พันธุ์	จำนวนดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปี
สุราษฎร์ 1	18.3 ^a
สุราษฎร์ 2	16.6 ^{abc}
สุราษฎร์ 3	16.5 ^{abc}
สุราษฎร์ 4	17.4 ^{ab}
สุราษฎร์ 5	16.9 ^{ab}
สุราษฎร์ 6	14.0 ^c
เปราะกั	17.3 ^{ab}
ลาเม	15.0 ^{bc}
เฉลี่ย	16.5

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวสคมภ์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบจำนวนต้นที่ให้ดอกตัวเมียในแต่ละทางใบ

ทางใบที่	สุราษฎร์ 1	สุราษฎร์ 2	สุราษฎร์ 3	สุราษฎร์ 4	สุราษฎร์ 5	สุราษฎร์ 6	เปารงค์	ลาเม่	χ^2
1	10	9	10	10	10	10	10	7	ns
2	10	9	10	10	10	10	10	7	ns
3	9	9	10	10	10	10	10	6	*
4	10	9	10	10	10	10	10	5	ns
5	10	10	10	10	10	10	10	5	ns
6	9	10	10	10	10	10	10	6	ns
7	8	10	10	9	10	10	10	7	ns
8	9	10	10	10	10	10	10	4	ns
9	8	10	9	10	10	10	9	6	**
10	9	9	9	10	10	10	9	6	**
11	10	9	10	10	9	10	9	5	*
12	9	9	10	10	9	10	8	7	**
13	7	10	9	10	8	9	9	7	**
14	7	9	9	8	7	9	9	6	**
15	5	9	10	7	7	9	10	5	ns
16	4	8	9	6	7	8	8	6	ns
17	2	6	6	6	7	7	7	6	ns
18	1	4	5	4	6	6	6	6	ns
19	0	4	3	4	2	6	3	6	ns
20	0	3	2	1	2	5	2	8	*
21	1	0	2	0	1	3	2	9	**
22	0	0	1	0	0	1	1	6	**
23	0	1	0	0	0	0	1	6	*
24	1	1	0	0	0	0	0	4	*
25	1	1	0	0	1	0	0	4	**



ภาพที่ 1 การกระจายตัวของต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ดอกตัวเมียในปาล์มน้ำมันทั้ง 8 สายพันธุ์

สำหรับปาล์มน้ำมันสายพันธุ์สุราษฎร์ 1 2 3 4 5 6 และเปารงค์ เป็นสายพันธุ์ที่มีการกระจายตัวของต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ดอกตัวเมียไม่ต่อเนื่องตลอดทั้งปี กล่าวคือในบางช่วงของปี ต้นปาล์มน้ำมันของสายพันธุ์เหล่านี้จะออกดอกตัวเมียพร้อมกัน แต่บางช่วงของปีก็จะออกดอกตัวผู้พร้อมกันทั้งแปลง ปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมให้เกิดสภาพเช่นนี้คือ ปาล์มน้ำมันสายพันธุ์เหล่านี้มีความคงตัวทางพันธุกรรมในการออกดอกตัวเมียบ่อยครั้งสูง เนื่องจากปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการปลูกเป็นปาล์มน้ำมันลูกผสมชนิดเทเนอรา ซึ่งต้องผ่านการผสมข้ามระหว่างแม่พันธุ์ดुरาและพ่อพันธุ์ฟิลิเพอรา การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์เหล่านี้จะต้องอาศัยการคัดเลือกแบบวงจร (Recurrent selection) (Rajanaidu *et al.*, 2000) ที่มีการผสมตัวเองเพื่อสร้างสายพันธุ์แท้ แล้วนำมาผสมข้ามสำหรับสร้างลูกผสมที่มีความเหนือระดับของลูกผสม (กฤษฎา, 2551) แม้ลูกผสมจะให้ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตดีกว่าในรุ่นพ่อแม่ แต่ก็ทำให้พันธุกรรมมีความคงตัวมากขึ้น การแสดงลักษณะทางการเกษตรต่างๆ จึงเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันทั้งแปลง ดังเช่นปัญหาข้างต้น ส่งผลให้ผลผลิตทะลยจากแปลงออกไม่ต่อเนื่องตลอดทั้งปี และกระทบต่อเสถียรภาพของรายได้เกษตรกรอีกด้วย ส่วนพันธุ์ลาเมมีความคงตัวทางพันธุกรรมในการออกดอกตัวเมียดำกว่าสายพันธุ์ข้างต้น ประชากรของปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลาเมจึงมีความหลากหลายทางพันธุกรรมมากกว่าสายพันธุ์อื่น ส่งผลให้การกระจายตัวของต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ดอกตัวเมียบ่อยครั้งต่อเนื่องตลอดทั้งปี ลักษณะเช่นนี้ช่วยให้รายได้ของเกษตรกรมีความเสถียรมากขึ้น แต่จำนวนดอกตัวเมียที่ผลิตได้ในรอบปีค่อนข้างน้อย ผลผลิตทะลยรวมจึงไม่สูงมากนัก

จากปัญหาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการปลูกปาล์มน้ำมันที่มีความคงตัวทางพันธุกรรมสูงเพียงสาย

พันธุ์เดียวทำให้รูปแบบการออกดอกเหมือนกันทั้งแปลง หากเกษตรกรต้องการให้ผลผลิตออกต่อเนื่องตลอดทั้งปี สามารถทำได้โดยการปลูกปาล์มน้ำมันมากกว่าหนึ่งสายพันธุ์ในแปลง จากการทดลองนี้พบว่าปาล์มน้ำมันสายพันธุ์สุราษฎร์ 1 2 3 4 5 6 และเปารงค์ มีการกระจายตัวของต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ดอกตัวเมียในทางใบลำดับแรกๆ ส่วนทางใบลำดับหลังๆ มักมีดอกตัวผู้มาก ต่างจากปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลาเมที่มีการกระจายตัวของต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ดอกตัวเมียบ่อยครั้งใกล้เคียงกันตั้งแต่ทางที่ 1 - 25 ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการ “จัดการพันธุ์” โดยเลือกปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ลาเม ซึ่งมีการกระจายตัวของต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ดอกตัวเมียบ่อยครั้งต่อเนื่องตลอดปี แต่มีจำนวนดอกตัวเมียในรอบปีน้อย จับคู่กับปาล์มน้ำมันสายพันธุ์อื่นๆ ที่มีจำนวนดอกในรอบปีมาก แต่มีการกระจายตัวของต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ดอกตัวเมียในรอบปีไม่ต่อเนื่อง เพื่อให้ได้การจัดการพันธุ์ที่มีจำนวนดอกตัวเมียในรอบปีและมีการกระจายตัวของต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ดอกตัวเมียบ่อยครั้งต่อเนื่องตลอดปี จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า จำนวนดอกตัวเมียในรอบปีของการจัดการพันธุ์ทั้ง 15 แบบ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพบว่า ปาล์มน้ำมันสายพันธุ์สุราษฎร์ 1 มีจำนวนดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปีมากที่สุด รองลงมาคือ ปาล์มน้ำมันสายพันธุ์สุราษฎร์ 4 และ เปารงค์ (18.3 17.4 และ 17.3 ดอกตามลำดับ) โดยไม่แตกต่างทางสถิติกับการปลูกร่วมระหว่างสายพันธุ์ลาเมกับสุราษฎร์ 1 ดังตารางที่ 5 แต่การปลูกปาล์มน้ำมันร่วมกันระหว่างสายพันธุ์ลาเมกับสุราษฎร์ 1 มีข้อดีที่การจัดการพันธุ์แบบนี้ช่วยให้มีการกระจายตัวของต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ดอกตัวเมียบ่อยครั้งต่อเนื่องตลอดทั้งปี ดังภาพที่ 2

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปี ในการจัดการพันธุ์ 15 แบบ

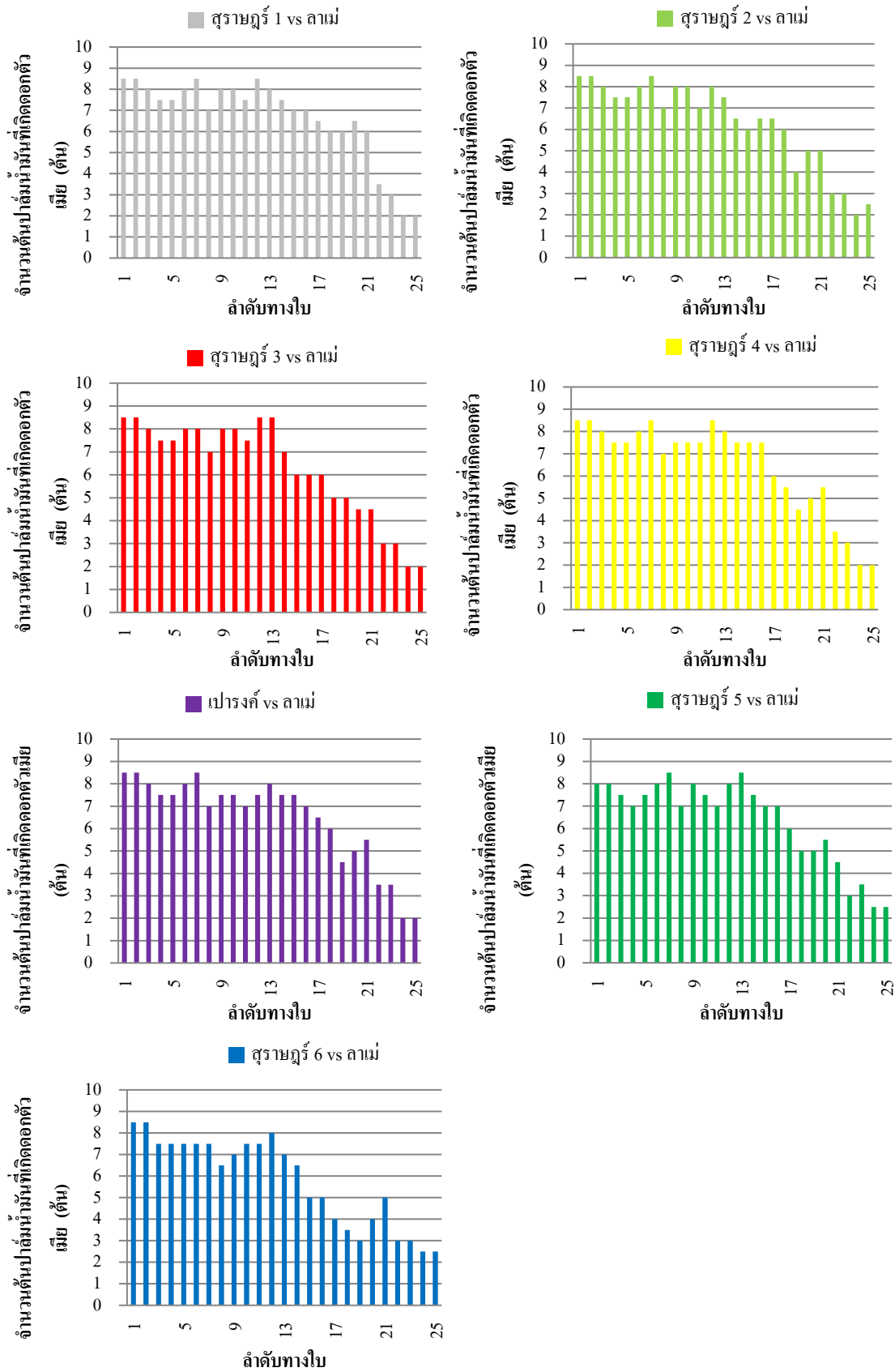
	df	Sum of Squares	Mean Square	F
Variety management	14	176.0	12.6	1.9*
Error	135	869.5	6.4	
Total	149	1045.5		

หมายเหตุ * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของจำนวนดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปี ในการจัดการพันธุ์ 15 แบบ

พันธุ์	จำนวนดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปี
สุราษฎร์ 1	18.3 ^a
สุราษฎร์ 2	16.6 ^{abcd}
สุราษฎร์ 3	16.5 ^{abcd}
สุราษฎร์ 4	17.4 ^{ab}
สุราษฎร์ 5	16.9 ^{abc}
สุราษฎร์ 6	14.0 ^d
เปารงค์	17.3 ^{ab}
ลาเม่	15.0 ^{bcd}
ลาเม่ vs สุราษฎร์ 1	16.7 ^{abcd}
ลาเม่ vs สุราษฎร์ 2	15.8 ^{abcd}
ลาเม่ vs สุราษฎร์ 3	15.8 ^{abcd}
ลาเม่ vs สุราษฎร์ 4	16.2 ^{abcd}
ลาเม่ vs สุราษฎร์ 5	16.0 ^{abcd}
ลาเม่ vs สุราษฎร์ 6	14.5 ^{cd}
ลาเม่ vs เปารงค์	16.2 ^{abcd}
เฉลี่ย	16.21

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันในแนวสคมภ์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 2 การกระจายตัวของต้นปาล์มน้ำมันที่ให้ดอกตัวเมียในปาล์มน้ำมันที่มีการจัดการพันธุ์แบบต่างๆ

สรุป

ปาล์มน้ำมันต่างสายพันธุ์ (สุราษฎร์ 1 สุราษฎร์ 2 สุราษฎร์ 3 สุราษฎร์ 4 สุราษฎร์ 5 สุราษฎร์ 6 เปารังค์ และลามะ) มีผลทำให้จำนวนดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปีมีความแตกต่าง สายพันธุ์ที่ให้จำนวนดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปีมากที่สุดคือ ปาล์มน้ำมันสายพันธุ์สุราษฎร์ 1 รองลงมาคือ ปาล์มน้ำมันสายพันธุ์สุราษฎร์ 4 และ เปารังค์ ส่วนลักษณะจำนวนต้นที่ให้ดอกตัวเมียในแต่ละทางใบมีความแตกต่างอีกด้วย นั่นแสดงว่าปาล์มน้ำมันต่างสายพันธุ์มีผลทำให้รูปแบบการออกดอกของปาล์มน้ำมันแตกต่างกัน เมื่อปลูกปาล์มน้ำมันเพียงสายพันธุ์เดียวจึงมีผลทำให้ผลผลิตทะลายนไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งปี หากเกษตรกรต้องการให้ผลผลิตออกสม่ำเสมอตลอดทั้งปี จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจัดการพันธุ์โดยการปลูกปาล์มน้ำมันหลายสายพันธุ์ในแปลง สำหรับการจัดการพันธุ์ที่มีจำนวนดอกตัวเมียที่ผลิตในรอบปีและจำนวนต้นที่ให้ดอกตัวเมียในแต่ละทางใบที่ดีที่สุดคือการปลูกปาล์มน้ำมันสายพันธุ์สุราษฎร์ 1 ร่วมกับสายพันธุ์พันธุ์ลามะ การจัดการพันธุ์แบบนี้จะช่วยทำให้เกษตรกรมีรายได้ที่เสถียรภาพมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนงบประมาณแผ่นดินปี 2560 สำหรับการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กฤษฎา สัมพันธ์รักษ์. 2551. **ปรับปรุงพันธุ์พืชพื้นฐาน วิธีการ และแนวคิด**. สำนักส่งเสริม

และฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชลลดา สิงห์อินทร์. 2560. การศึกษาการออกดอกของปาล์มน้ำมัน 3 สายพันธุ์ ในอำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนันท, ธีระพงศ์ จันทนิยม, ประกิจ ทองคำ และ วรรณาลัยวาริน. 2546. **คู่มือปาล์มน้ำมันและการจัดการสวน**. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

นุจิรี ชดาการ, วริษา รัตนกระจำง และ สุพัทธรา สารนพคุณ. 2560. รูปแบบการออกดอกของปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ต่างๆ. รายงานการฝึกสหกิจศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. **สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2561**. เอกสารเผยแพร่, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

Corley, R.H.V. and Tinker, P.B. 2003. **The Oil Palm, Fourth Edition**. Blackwell Science Ltd, England.

Rajanaidu, N., Kushairi, A., Rafi, M., Moha Din, A., Maizura, I. and Jalani, B.S. 2000. Oil Palm reeding and Genetic Resources, pp. 19-38. In Yusof, B., Jalani, B.S. and Chan K.W., eds. **Advances in Oil Palm Research**. Smart print & Staioner Sdn. Bhd, Selangor.

ต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำต้นแบบสองทิศทาง

Prototype of Shallow-Water Wave Power Generator based on Bi-directional Waves Conversion

วีระศักดิ์ ไชยชาญ^{1*}, สุรินทร์ กาญจนะ¹ และ วรณวิภา ไชยชาญ²

Weerasak Chaichan^{1*}, Surin Kanchana¹ and Wanvipa Chaichan²

Received: 10 May 2018, Revised: 6 August 2018, Accepted: 3 May 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำต้นแบบสองทิศทาง ด้วยวิธีเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำต้นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า การเคลื่อนที่ของคลื่นจะทำให้เพลลาของกังหันน้ำหมุน งานวิจัยนี้ใช้กังหันน้ำจำนวน 2 ชุด เพื่อให้สามารถขับเคลื่อนไฟฟ้าได้ทั้งกรณีคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งและออกจากฝั่ง โดยใบพัดของกังหันน้ำมีขนาดความกว้างเท่ากับ 20 เซนติเมตร เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส ถูกต่ออยู่กับเพลลาของกังหันน้ำผ่านชุดปรับอัตราเร็วรอบ ในการทดสอบใช้หลอดแอลอีดีขนาด 60 วัตต์ เป็นภาระไฟฟ้าและได้แบ่งการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การจำลองการเกิดคลื่นน้ำต้นที่มีความถี่ 0.20 เฮิรตซ์ 0.25 เฮิรตซ์ 0.33 เฮิรตซ์ และ 0.50 เฮิรตซ์ ตามลำดับ จากนั้นทำการตรวจวัดปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ส่วนที่ 2 การตรวจวัดปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อทดสอบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำต้นบริเวณหาดปากเมง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง ผลการดำเนินการวิจัย พบว่า เมื่อจำลองการเกิดคลื่นน้ำต้นที่มีความถี่ 0.50 เฮิรตซ์ เครื่องกำเนิดพลังงานสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 37.55 วัตต์ ในส่วนของการทดสอบบริเวณชายฝั่งทะเล เมื่อความถี่และอัตราเร็วของผิวคลื่นทะเลเท่ากับ 0.27 เฮิรตซ์ และ 0.51 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ผลการศึกษา พบว่า เครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำต้นแบบสองทิศทางสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 28.96 วัตต์

คำสำคัญ: คลื่นน้ำต้น, กังหันน้ำ, ชุดปรับอัตราเร็วรอบ, ชุดกลับทางหมุน

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

¹ Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus, Mai Fad, Sikao, Trang 92150, Thailand.

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

² Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus, Mai Fad, Sikao, Trang 92150, Thailand.

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

ABSTRACT

This research presents prototype of shallow-water wave power generator based on bi-directional waves conversion by changing the movement of shallow-water waves into electrical power. The motional waves are capable of rotating the shaft turbine. This research employed two shaft turbines for transmitting the generator in case of sea waves moving towards shore and off shore. Each blade is 20 cm wide. The shaft of 3-phase generator was connected to shaft turbine via gear box. The 60-watt LED was used as load in the experiment. The experiment is divided into two parts. Part 1: The simulation of shallow-water waves at frequency of 0.2 Hz, 0.25 Hz, 0.33 Hz and 0.5 Hz, respectively, was carried out. The electrical power generated was then investigated. Part 2: The electrical power generated was measured while using the power generator from shallow-water waves at Pak Meng Beach, Sikao District, Trang Province. The experimental result showed that the power generator generated the maximum electrical power of 37.55 watt when the simulation of shallow-water waves at frequency of 0.5 Hz was implemented. At the coastal area, the frequency and the velocity are 0.27 Hz and 0.51 m/s, respectively. The result found that the shallow-water wave power generator based on bi-directional waves conversion can generate the maximum electrical power of 28.96 watt.

Key words: shallow-water waves, turbine, gear box, reverse rotation

บทนำ

ปัจจุบันหลายประเทศให้ความสำคัญกับการนำพลังงานทดแทนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานจากแหล่งเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล เช่น ปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดภาวะโลกร้อนอันเนื่องมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานในปริมาณมหาศาล อีกทั้งวิกฤตการณ์การขาดแคลนพลังงานที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคต หากสามารถนำแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักได้จะเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาจากวิกฤตการณ์ดังกล่าว จากรายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย พบว่า ประเทศไทยมีการนำพลังงานทดแทนมาใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลและลดการนำเข้าจากต่างประเทศ แหล่งพลังงานทดแทนที่ประเทศ

ไทยนำมาใช้ในปัจจุบันได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม พลังน้ำขนาดเล็ก พลังน้ำขนาดใหญ่ ก๊าซชีวภาพ ชีวมวล และขยะ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559) นอกจากนี้ยังมีแหล่งพลังงานอีกรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจนั่นคือ แหล่งพลังงานจากคลื่นทะเลเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีวันหมดสะอาด และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดแรงต่อต้านจากประชาชนเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานจากแหล่งเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล อีกทั้งภูมิประเทศของประเทศไทยมีพื้นที่ติดทะเล ดังนั้นหากสามารถนำพลังงานจากคลื่นทะเลมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงนับว่าเป็นสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งปัจจุบันมีนักวิจัยที่ให้ความสนใจในการนำพลังงานจากคลื่นทะเลมาใช้ในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น (Savin *et al.*, 2012; Khaled, 2015; Tom and Yeung, 2016;

Pan *et al.*, 2017; Wahyudie and Jama, 2017; Yang *et al.*, 2017)

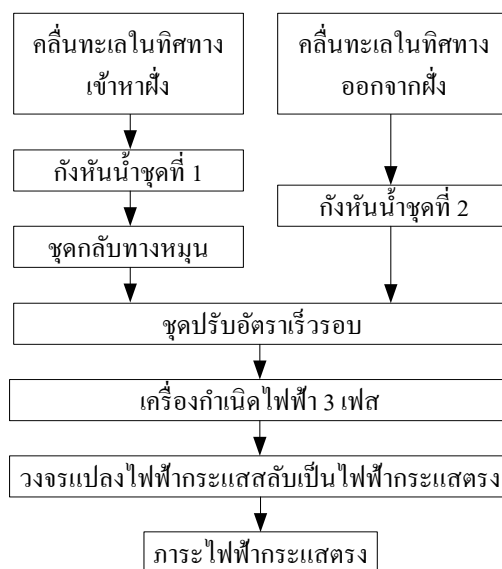
งานวิจัยนี้จึงเสนอต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทาง ด้วยหลักการเปลี่ยนการเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งและออกจากฝั่งของคลื่นทะเลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยออกแบบให้สามารถขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้สองทิศทางนั่นคือทั้งกรณีคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งและเคลื่อนที่ออกจากฝั่ง ดังนั้น จึงสามารถขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบหนึ่งทิศทาง (วิระศักดิ์, 2560) และเนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทางบริเวณชายฝั่งทะเลจึงสามารถลดจำนวนสายส่งและค่าใช้จ่ายในการติดตั้งได้มากกว่าเมื่อเทียบกับระบบผลิตไฟฟ้าจากคลื่นในทะเลน้ำลึก

หลักการ

1. หลักการเปลี่ยนพลังงานคลื่นน้ำขึ้นเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบสองทิศทาง

การเปลี่ยนพลังงานคลื่นน้ำขึ้นเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีที่น่าเสนอนี้อาศัยหลักการเมื่อคลื่น

เคลื่อนที่ในทิศทางเข้าหาฝั่งและออกจากฝั่งมากระทบกับกังหันน้ำชุดที่ 1 และกังหันน้ำชุดที่ 2 ตามลำดับ เพื่อไปผลิตให้เพลลาของชุดปรับอัตราเร็วรอบหมุนเคลื่อนที่ โดยมีชุดกลับทางหมุนซึ่งถูกติดตั้งเข้ากับกังหันน้ำชุดที่ 1 เนื่องจากกำลังของคลื่นในทิศทางเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งมีมากกว่าเมื่อเทียบกับกำลังของคลื่นในทิศทางออกจากฝั่ง ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมให้เพลลาของชุดปรับอัตราเร็วรอบหมุนในทิศทางเดียวกัน เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกต่อเข้ากับเพลลาของชุดปรับอัตราเร็วรอบจึงสามารถหมุนเคลื่อนที่ได้ด้วยอัตราเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส ชนิดแม่เหล็กถาวรแนวราบเพื่อให้สามารถหมุนได้อย่างต่อเนื่อง กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นผลิตได้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับภาระไฟฟ้ากระแสตรง งานวิจัยนี้ใช้หลอดแอลอีดี ขนาด 60 วัตต์ เป็นภาระไฟฟ้า หลักการเปลี่ยนพลังงานคลื่นน้ำขึ้นเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบสองทิศทางที่ได้นำเสนอนี้แสดงดังภาพที่ 1



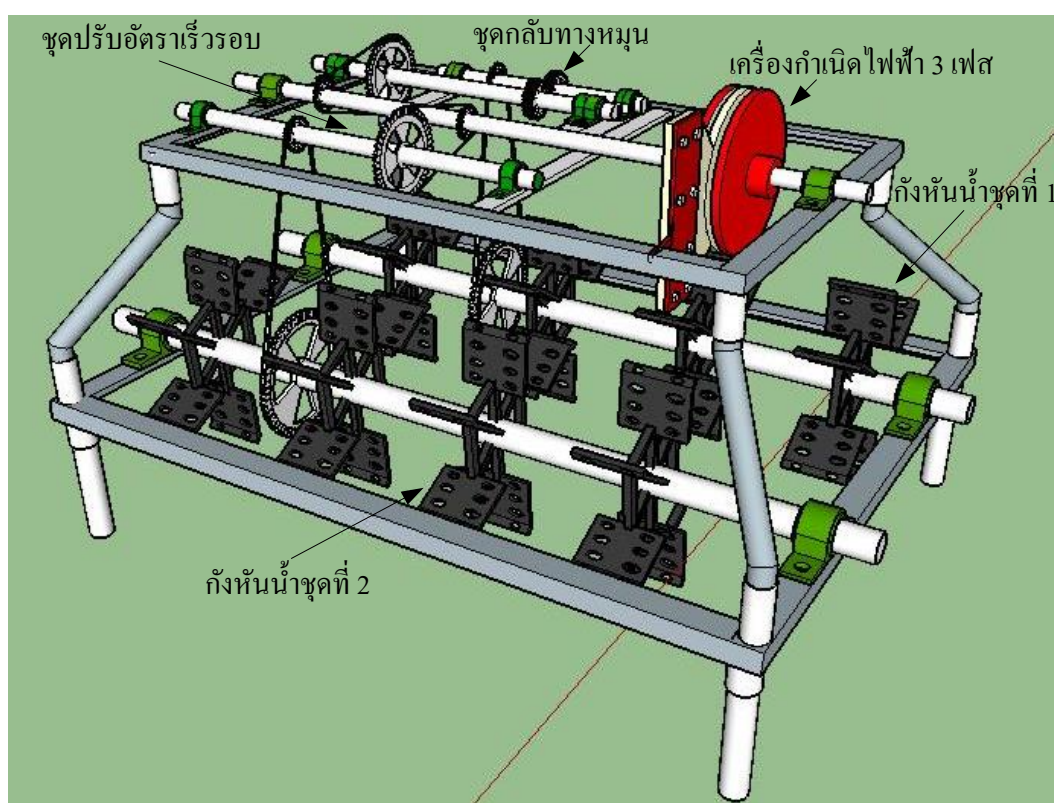
ภาพที่ 1 หลักการเปลี่ยนพลังงานคลื่นน้ำขึ้นเป็นพลังงานไฟฟ้า

2. การออกแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทาง

ต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทางได้ออกแบบให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าวางอยู่ด้านบนของฐานเพื่อป้องกันน้ำทะเลมากระทบ และติดตั้งห่างจากกำแพงกันคลื่น 2 เมตร เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ในทิศทางเข้าหาฝั่งและออกจากฝั่งมากระทบกั้นน้ำชุดที่ 1 และกั้นน้ำชุดที่ 2 ตามลำดับ เพื่อผลักดันเพลลาของชุดปรับอัตราเร็วรอบขนาด 1 : 9.36 หมุนเคลื่อนที่ โดยมีชุดกลับทางหมุนทำหน้าที่ควบคุมให้เพลลาของชุดปรับอัตราเร็วรอบหมุนในทิศทางเดียวกัน เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งถูกต่ออยู่กับเพลลาของชุดปรับอัตราเร็วรอบจึง

สามารถหมุนและผลิตไฟฟ้าได้ทั้งกรณีคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งและออกจากฝั่ง การออกแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทางแสดงดังภาพที่ 2

ในกรณีคลื่นน้ำขึ้น เมื่อคลื่นทะเลเคลื่อนที่สามารถหาอัตราเร็วของผิวคลื่นได้จากความถี่และความสูงของคลื่นทะเล ดังสมการที่ 1 งานวิจัยนี้ใช้ชุดปรับอัตราเร็วรอบแบบระบบเฟืองและโซ่ เพื่อปรับอัตราเร็วรอบของเพลลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีอัตราเร็วรอบเพิ่มขึ้นจนสามารถผลิตไฟฟ้าออกมา ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วรอบแสดงดังสมการที่ 2 (บุญภัทร และ ชัยวุฒิ, 2559)



ภาพที่ 2 การออกแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทาง

$$v_g = 2\pi f a \quad (1)$$

เมื่อ v_g คือ อัตราเร็วของผิวคลื่นทะเล
หน่วยคือ เมตรต่อวินาที

f คือ ความถี่การเกิดคลื่นทะเล
หน่วยคือ เฮิรตซ์

a คือ ความสูงของคลื่นทะเล
หน่วยคือ เมตร

$$N_b = \frac{T_a}{T_b} N_a \quad (2)$$

เมื่อ N_a คือ อัตราเร็วรอบของเฟืองขับ
หน่วยคือ รอบต่อนาที

N_b คือ อัตราเร็วรอบของเฟือง
ตาม หน่วยคือ รอบต่อนาที

T_a คือ จำนวนฟันของเฟืองขับ

T_b คือ จำนวนฟันของเฟืองตาม

กำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับภาระ
ไฟฟ้าขนาด 60 วัตต์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่

3

$$P = V \times I \quad (3)$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรง
หน่วยคือ วัตต์

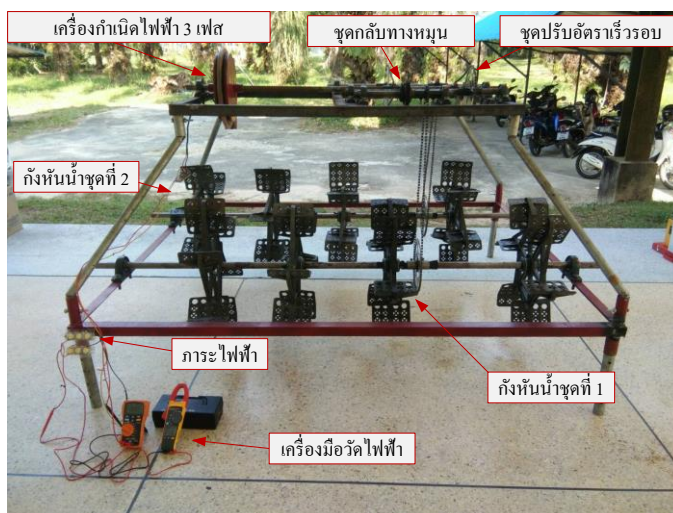
V คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
หน่วยคือ โวลต์

I คือ กระแสไฟฟ้ากระแสตรง
หน่วยคือ แอมแปร์

วิธีดำเนินการวิจัย

1 การดำเนินการวิจัยเพื่อทดสอบต้นแบบ เครื่องกำเนิดพลังงานแบบสองทิศทางด้วยการ จำลองการเกิดคลื่นทะเล

การดำเนินการวิจัยด้วยการจำลองการเกิด
คลื่นทะเลเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิต
ไฟฟ้าจากคลื่นน้ำต้นแบบสองทิศทางก่อนนำไป
ติดตั้งในสถานที่จริง ณ หาดปากเมง อำเภอสิเกา
จังหวัดตรัง ในการทดสอบนั้นได้ทำการจำลองการ
เกิดคลื่นทะเลที่มีความถี่ 0.20 เฮิรตซ์ 0.25 เฮิรตซ์ 0.33
เฮิรตซ์ และ 0.50 เฮิรตซ์ ตามลำดับ ทั้งกรณีต่อกังหัน
น้ำ 1 ชุด (การผลิตไฟฟ้าจากคลื่นน้ำต้นแบบทิศทาง
เดียว) และต่อกังหันน้ำ 2 ชุด (การผลิตไฟฟ้าจาก
คลื่นน้ำต้นแบบสองทิศทาง) จากนั้นวัดอัตราเร็ว
รอบของเพลารูปร่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเครื่องวัด
อัตราเร็วรอบแบบแสงเลเซอร์ DIGICON DT-246L
วัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิด
พลังงานจากคลื่นน้ำต้นแบบสามารถจ่ายให้กับภาระ
ไฟฟ้าขนาด 60 วัตต์ ด้วยเครื่องมือวัด FLUKE 374
FC TRMS CLAMP METER และ Agilent U1232A
True RMS Multimeter ตามลำดับ สำหรับ
กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับภาระไฟฟ้าสามารถคำนวณ
ได้จากแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ การ
ทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำ
ต้นแบบสองทิศทางด้วยการจำลองการเกิดคลื่นทะเล
แสดงดังภาพที่ 3

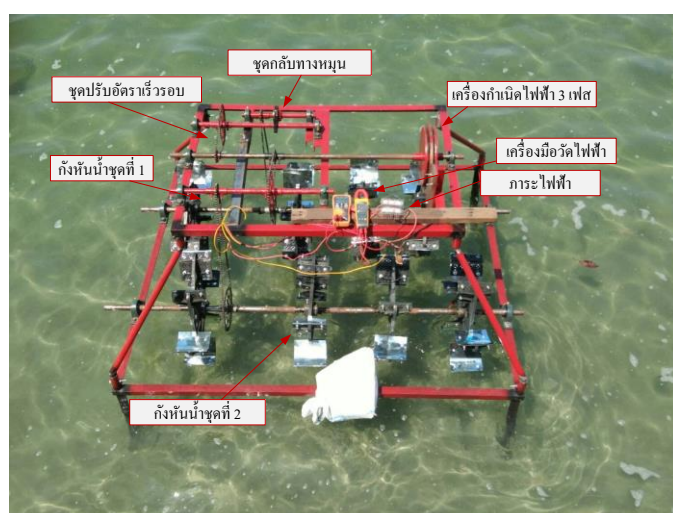


ภาพที่ 3 การทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำต้นแบบสองทิศทางด้วยการจำลองการเกิดคลื่นทะเล

2 การดำเนินการวิจัยเพื่อทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำต้นแบบสองทิศทาง

ในส่วนของการดำเนินการวิจัยเพื่อทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำต้นแบบสองทิศทาง ณ หาดปากเมง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง ระบบทั้งหมดจะถูกติดตั้งภายในทะเล ห่างจากกำแพงกันคลื่น 2 เมตร และต่อภาระไฟฟ้าขนาด 60 วัตต์ ให้กับเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำต้นแบบ

สองทิศทาง จากนั้น วัดแรงดัน ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัด FLUKE 374 FC TRMS CLAMP METER และ Agilent U1232A True RMS Multimeter ตามลำดับ ทุกๆ 5 นาที เพื่อคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำต้นแบบสองทิศทางสามารถจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าจากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า การติดตั้งเพื่อทดสอบแสดงดังภาพที่ 4



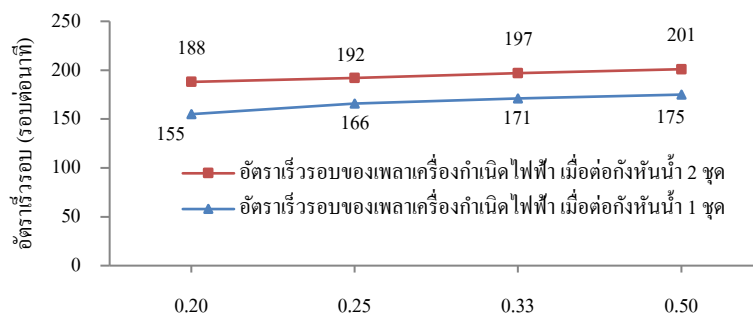
ภาพที่ 4 การทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำต้นแบบสองทิศทาง ณ หาดปากเมง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

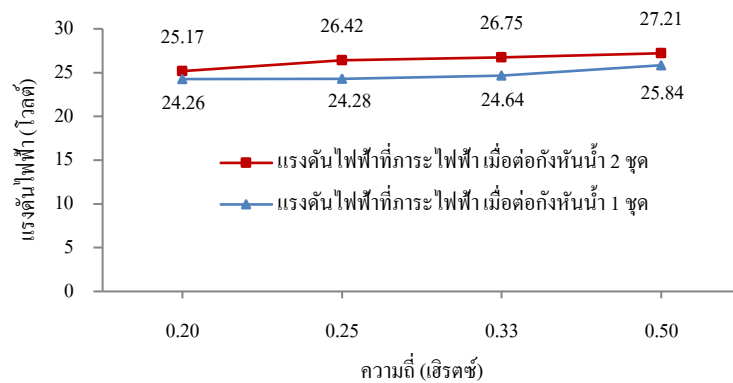
การทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทาง ด้วยการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของคลื่นทะเลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าสามารถแบ่งผลการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลการทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทางด้วยการจำลองคลื่นทะเลที่มีความถี่ 0.20 เฮิรตซ์ 0.25 เฮิรตซ์ 0.33 เฮิรตซ์ และ 0.50 เฮิรตซ์ ตามลำดับ เมื่อต่อภาระไฟฟ้าขนาด 60 วัตต์ จากผลการทดสอบพบว่า การติดตั้งกังหันน้ำ 1 ชุด และการติดตั้งกังหันน้ำ 2 ชุด มีผลต่ออัตราเร็วรอบของเพลารูปร่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อการติดตั้งกังหันน้ำ 2 ชุด จะสามารถควบคุมให้เพลารูปร่างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีอัตราเร็วรอบที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับการต่อกังหันน้ำ 1 ชุด เนื่องจากสามารถขับเพลารูปร่างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ทั้งกรณีจำลองคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งและคลื่นเคลื่อนที่ออกจากฝั่ง อีกทั้งความถี่ของการจำลองการเกิดคลื่นทะเลยังมีผลต่ออัตราเร็วรอบของเพลารูปร่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพราะว่าชุดกังหันน้ำถูกผลัดได้ต่อเนื่องกว่าดังภาพที่ 5 นั่นคือ เมื่อต่อกังหันน้ำ 2 ชุด ที่ความถี่ของการเกิดคลื่นทะเล 0.50 เฮิรตซ์ มีอัตราเร็วรอบของเพลารูปร่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 201 รอบต่อนาที ขณะที่เมื่อต่อกังหันน้ำ 1 ชุด อัตราเร็วรอบของเพลารูปร่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ

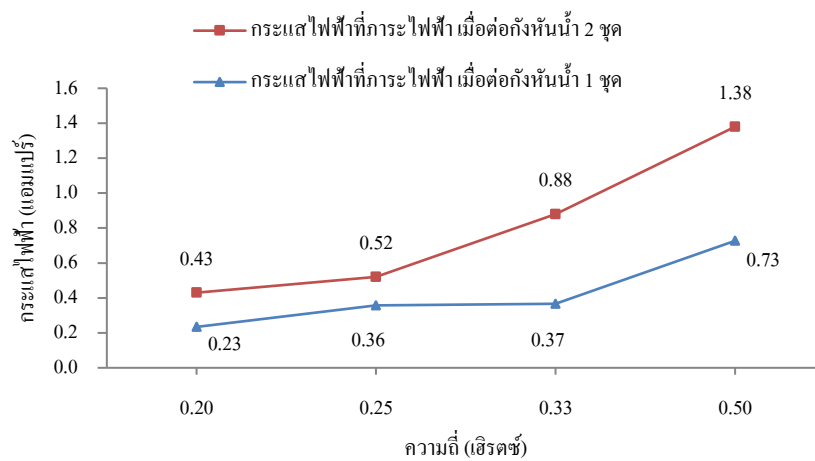
175 รอบต่อนาที และสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าได้มากกว่าการติดตั้งกังหันน้ำ 1 ชุด โดยแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเมื่อติดตั้งกังหันน้ำ 2 ชุด และกังหันน้ำ 1 ชุด ความถี่คลื่นทะเล 0.50 เฮิรตซ์ เท่ากับ 27.21 โวลต์ และ 25.84 โวลต์ ตามลำดับ โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ภาระไฟฟ้าได้ต่ำสุดเมื่อจำลองความถี่คลื่นทะเล 0.20 เฮิรตซ์ เท่ากับ 25.17 โวลต์ และ 24.26 โวลต์ สำหรับการติดตั้งกังหันน้ำ 2 ชุด และการติดตั้งกังหันน้ำ 1 ชุด ตามลำดับ ดังผลการทดสอบในภาพที่ 6 ขณะที่ต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทางด้วยการจำลองการเกิดคลื่นทะเลที่มีความถี่ 0.50 เฮิรตซ์ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ภาระไฟฟ้าได้สูงสุดเมื่อติดตั้งกังหันน้ำ 2 ชุด และการติดตั้งกังหันน้ำ 1 ชุด เท่ากับ 1.38 แอมแปร์ และ 0.73 แอมแปร์ ตามลำดับ ดังภาพที่ 7 จากการทดสอบจะเห็นว่าอัตราเร็วรอบของเพลารูปร่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีผลโดยตรงต่อแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับภาระไฟฟ้า และเมื่อคำนวณหา กำลังไฟฟ้าที่ต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทางจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าง่ายค่าความสัมพันธ์ในสมการที่ 3 พบว่า ที่ความถี่คลื่นทะเล 0.50 เฮิรตซ์ สำหรับการติดตั้งกังหันน้ำ 2 ชุด สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 37.55 วัตต์ ขณะที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 18.79 วัตต์ เมื่อติดตั้งกังหันน้ำ 1 ชุด



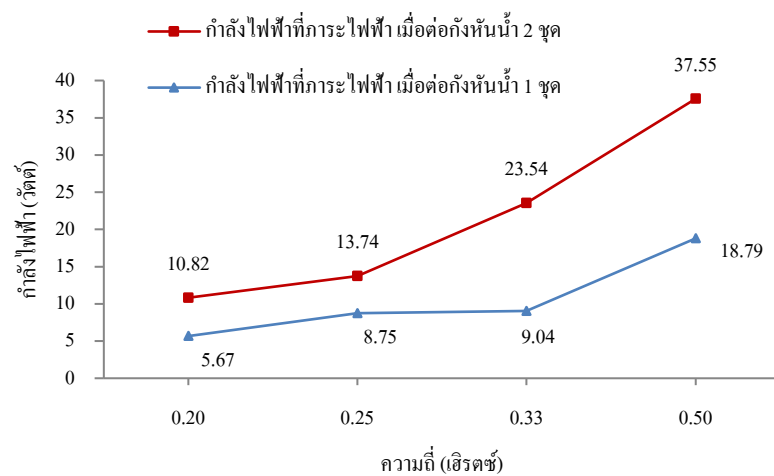
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วรอบของเพลารูปร่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทียบกับการจำลองคลื่นทะเลที่มีความถี่ 0.20 เฮิรตซ์ 0.25 เฮิรตซ์ 0.33 เฮิรตซ์ และ 0.50 เฮิรตซ์



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าเทียบกับการจำลองคลื่นทะเลที่ความถี่ 0.20 เฮิรตซ์ 0.25 เฮิรตซ์ 0.33 เฮิรตซ์ และ 0.50 เฮิรตซ์



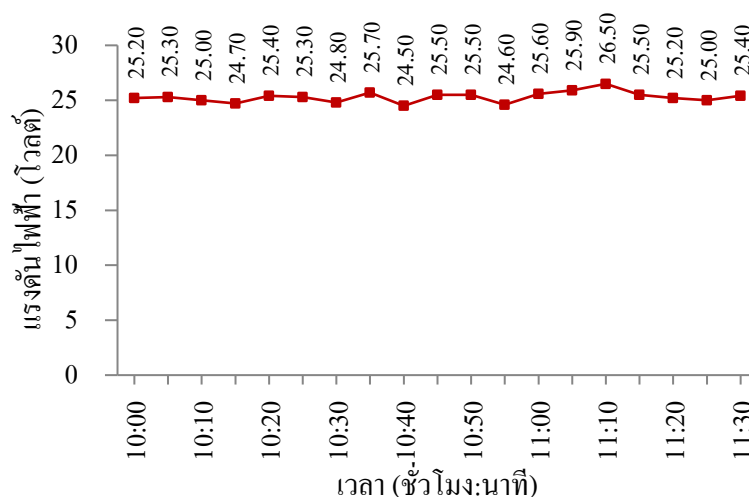
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าเทียบกับการจำลองคลื่นทะเลที่ความถี่ 0.20 เฮิรตซ์ 0.25 เฮิรตซ์ 0.33 เฮิรตซ์ และ 0.50 เฮิรตซ์



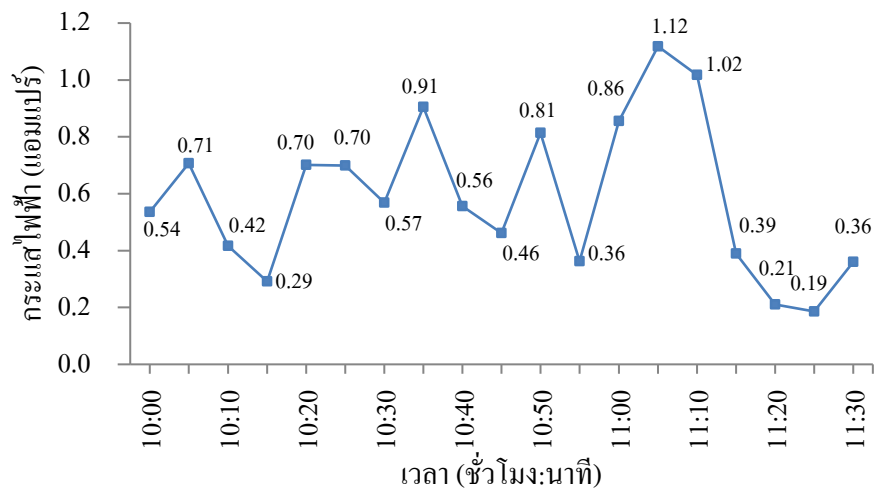
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าเทียบกับการจำลองคลื่นทะเลที่ความถี่ 0.20 เฮิรตซ์ 0.25 เฮิรตซ์ 0.33 เฮิรตซ์ และ 0.50 เฮิรตซ์

ส่วนที่ 2 ผลการทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทาง ระบบทั้งหมดถูกติดตั้งภายในทะเล ณ หาดปากเมง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง ห่างจากกำแพงกันคลื่น 2 เมตร โดยต่อภาระไฟฟ้าขนาด 60 วัตต์ และติดตั้งกังหันน้ำ 2 ชุดให้กับต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทางเนื่องจากผลการทดสอบดังที่ได้แสดงไว้ในส่วนที่ 1 สามารถยืนยันได้ว่า ต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นด้วยการติดตั้งกังหันน้ำ 2 ชุด สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดจึงเหมาะสมสำหรับใช้ในพื้นที่ทะเลที่มีความถี่ของการเกิดคลื่นทะเลต่ำ จากนั้นวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทางสามารถจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าทุกๆ 5 นาที โดยทำการทดสอบในช่วงเวลา 10.00 - 11.30 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงเวลาน้ำขึ้นสูงสุด ความถี่และความสูงของคลื่นทะเลเฉลี่ย 0.27 เฮิร์ตซ์ และ

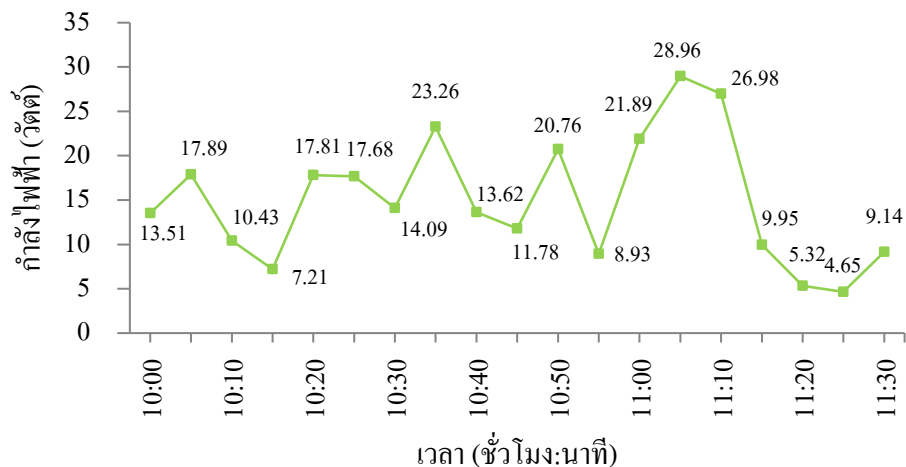
0.3 เมตร ตามลำดับ เมื่อคำนวณหาอัตราเร็วของผิวคลื่นทะเลตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 1 พบว่าอัตราเร็วของผิวคลื่นทะเลเท่ากับ 0.51 เมตรต่อวินาที จากผลการทดสอบ พบว่า แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้ามีค่าสูงสุดที่ 26.50 โวลต์ และ 1.12 แอมแปร์ ตามลำดับ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าต่ำสุด 24.50 โวลต์ และ 0.19 แอมแปร์ ดังภาพที่ 9 และภาพที่ 10 ตามลำดับ จากนั้นเมื่อคำนวณหากำลังไฟฟ้าตามความสัมพันธ์ในสมการที่ 3 พบว่าเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทางสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ภาระไฟฟ้าได้สูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 28.96 วัตต์ และ 4.65 วัตต์ ตามลำดับ ดังผลการทดสอบในภาพที่ 11 จากผลการทดสอบในภาพที่ 9 ถึง 11 จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้ามีลักษณะไม่คงที่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นทะเลและช่วงเวลากำหนดบันทึกผล



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าเทียบกับเวลา



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าเทียบกับเวลา



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าเทียบกับเวลา

จากผลการทดสอบต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำตื้นแบบสองทิศทางด้วยการจำลองคลื่นทะเลและการทดสอบในพื้นที่ชายฝั่งทะเลพบว่า ต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำตื้นแบบสองทิศทางสามารถขับให้เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนได้ทั้งในกรณีคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งและออกจากฝั่ง จึงทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องมากกว่าเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นทะเลแบบทิศทางเดียว (กฤษฎา และ สมภพ, 2556; วีระศักดิ์ และ วรณวิภา,

2560; วีระศักดิ์ และ สุรินทร์, 2559; วีระศักดิ์ และ คณะ, 2561)

สรุป

งานวิจัยนี้เสนอต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำตื้นแบบสองทิศทาง ด้วยวิธีเปลี่ยนการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำตื้นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า การเคลื่อนที่ของคลื่นทะเลทำให้เพลลาของกังหันน้ำทั้ง 2 ชุด หมุนเคลื่อนที่เพื่อขับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส ได้ทั้งกรณีคลื่นเคลื่อนที่

เข้าหาฝั่งและกรณีคลื่นเคลื่อนที่ออกจากฝั่ง โดยมีชุดกลับทางหมุนเป็นตัวควบคุมให้เพลลาของชุดปรับอัตราเร็วรอบหมุนในทิศทางเดียวกัน อัตราเร็วรอบของเพลลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกปรับให้มีอัตราเร็วรอบเพิ่มขึ้นด้วยชุดปรับอัตราเร็วรอบเพื่อให้สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ จากผลการจำลองการเกิดคลื่นทะเล พบว่า เครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทางสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าได้มากกว่าเมื่อติดตั้งกังหันน้ำทั้ง 2 ชุด นั่นคือ สามารถขับเคลื่อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ทั้งกรณีจำลองคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งและออกจากฝั่ง เมื่อทดสอบในสถานที่จริง ณ หาดปากเมง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง พบว่า เครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นน้ำขึ้นแบบสองทิศทางสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าได้ต่อเนื่องแต่มีลักษณะไม่คงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความถี่ของการเกิดคลื่นทะเลและช่วงเวลาการบันทึกผล

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้หากนำไปพัฒนาต่อในระบบขนาดใหญ่และเลือกวัสดุที่คงทนต่อการกัดกร่อนของน้ำทะเลคาดว่าจะสามารถใช้ได้จริงในเชิงพาณิชย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2561 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ขอขอบคุณ นายอดิศร สุวรรณส่องแสง นายกฤตนัน ศรีนวล และนายปวเรศ จิริงจิตร ที่ช่วยเหลือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

2559. รายงานพลังงานทดแทนของประเทศ
ไทย. เอกสารเผยแพร่, กระทรวงพลังงาน.

กฤษฎา พรหมแก้ว และ สมภพ ปัญญาสมพรรค.

2556. การศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก
คลื่นชายฝั่งทะเล. วารสารมหาวิทยาลัย
นราธิวาสราชนครินทร์ มหาวิทยาลัย
นราธิวาสราชนครินทร์ 5(3): 37-46.

ปณชัทธ ภูมิภาค และ ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย. 2559.
ต้นแบบเครื่องกำเนิดพลังงานจากคลื่นทะเล,
น. 49-52. ใน การประชุมวิชาการทาง
วิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39. จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วีระศักดิ์ ไชยชาญ. 2560. การผลิตไฟฟ้าจากคลื่น
น้ำขึ้นแบบทิศทางเดียว สำหรับพื้นที่ชายฝั่ง
ทะเล, น. 226-229. ใน การประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9. มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, จันทบุรี.

วีระศักดิ์ ไชยชาญ และ วรณวิภา ไชยชาญ. 2560.
การผลิตไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของคลื่นทะเล
ในแนวราบ ด้วยตัวส่งกำลัง 4 ชุด. วารสาร
วิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
36(2): 1-10.

วีระศักดิ์ ไชยชาญ และ สุรินทร์ กาญจนะ. 2559.
การผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากคลื่นชายฝั่งทะเล.
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี 9(2): 108-117.

วีระศักดิ์ ไชยชาญ, สุรินทร์ กาญจนะ และ วรณวิภา
ไชยชาญ. 2561. การผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจาก
คลื่นชายฝั่งทะเล ด้วยชุดส่งกำลัง 5 ชุด, น.
319-322. ใน การประชุมวิชาการเครือข่าย
วิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 10. สถาบัน
เทคโนโลยีปทุมวัน, กรุงเทพฯ.

Khaled, K.M. 2015. Power generation from sea
waves using experimental prototype of wells
turbine or suggested special rotating

- mechanism. **International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering** 3(3): 161-166.
- Pan, J.F., Li, S.Y., Cheng, E. and Zhang, B. 2017. Analysis of a direct drive 2-D planar generator for wave energy conversion. **IEEE Transactions on Magnetics** 11(53): 1-5.
- Savin, A., Svensson, O. and Leijon, M. 2012. Estimation of stress in the inner framework structure of a single heaving buoy wave energy converter. **IEEE Journal of Oceanic Engineering** 2(37): 309-317.
- Tom, N. and Yeung, R.W. 2016. Experimental confirmation of nonlinear-model-predictive control applied offline to a permanent magnet linear generator for ocean-wave energy conversion. **IEEE Journal of Oceanic Engineering** 2(41): 281-295.
- Wahyudie, A. and Jama, M.A. 2017. Perspectives on damping strategy for heaving wave energy converters. **IEEE Journals & Magazines** (5): 22224-22233.
- Yang, S., Liu, H., Dai, C. and Li, Y. 2017. An application of virtual synchronous generator technology in wave energy, pp. 1-6. *In* **OCEANS 17 MTS/IEEE Anchorage**. Anchorage, United States of America.

การพัฒนาชุดวิดีโอทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

Developing a Set of Videos to Promote College of Hospitality and Tourism, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus

ทิจฐฐาน เนียมชูชื่น* คุณอนันท์ นิรมล และ กฤษยากาญจน์ โตพิทักษ์

Thittahn Neamchuchuen*, Khunarnan Niramol and Krittayakan Topithak

Received: 5 September 2018, Revised: 25 November 2018, Accepted: 12 December 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อ 1) พัฒนาชุดวิดีโอทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ให้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี 2) ศึกษาดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของชุดวิดีโอทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ 3) เปรียบเทียบความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว ก่อนและหลังรับชมชุดวิดีโอทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ 4) ศึกษาความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อชุดวิดีโอทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ กลุ่มตัวอย่างคือ 1) นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 และระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ปีการศึกษา 2560 ในจังหวัดตรังและจังหวัดกระบี่ จำนวน 380 คน และ 2) ครู อาจารย์ ผู้บริหาร และบุคลากรทางการศึกษาในสถานศึกษาขั้นพื้นฐานและระดับอุดมศึกษา จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ 1) ชุดวิดีโอทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง 2) แบบประเมินคุณภาพชุดวิดีโอทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ 3) แบบทดสอบความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว 4) แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อชุดวิดีโอทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ วิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) และเปรียบเทียบความรู้ก่อนและหลังรับชมวิดีโอทัศน์ด้วยค่าสถิติ t (t-test dependent) ผลการวิจัยพบว่า 1) ชุดวิดีโอทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก 2) ดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ของชุดวิดีโอทัศน์

สาขาวิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่ 140 ถนนกาญจนาภิเษก อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

Division of Educational Technology and Communications, Faculty of Education, Thaksin University, 140 Kanjanavanich Road, Mueang, Songkhla 90000, Thailand.

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

ประชาสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.5 3) ความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการ โรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ของกลุ่มตัวอย่างหลังรับชมวิดีโอทัศนมากกว่าก่อนรับชมชุดวิดีโอทัศนประชาสัมพันธ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 4) กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อชุดวิดีโอทัศนประชาสัมพันธ์ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.39$ และ 4.17)

คำสำคัญ: วิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์, ดัชนีประสิทธิผล, ความพึงพอใจต่อวิดีโอทัศน

ABSTRACT

This research aimed to 1) develop a set of videos to promote College of Hospitality and Tourism, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang Campus to meet high level of quality, 2) investigate the effectiveness index (E.I.) of the videos, 3) compare participants' knowledge of College of Hospitality and Tourism before and after watching the videos, and, 4) investigate participants' satisfactions toward the videos. The participants were 380 Mathayom 6 and High Vocational Certificate students in academic year 2017 from Trang and Krabi provinces; and, 30 of teachers, administrators, and educational staff from Thai basic education and higher education institutions. The research instruments used were set of videos to promote College of Hospitality and Tourism, the evaluation form of videos' quality, the knowledge test, and, the satisfaction questionnaire. The obtained data were analyzed by mean, standard deviation, effectiveness index (E.I.), and t-test dependent (comparing knowledge before and after watching the video). The results revealed that 1) the developed videos met the highest level of quality, 2) the effectiveness index (E.I.) of videos was 0.5, 3) the participants' knowledge after watching the videos was higher than before watching the videos at the significant level of .05, and 4) the participants' satisfactions toward the video were at a high level ($\bar{X} = 4.39$ and 4.17).

Key words: PR video, effectiveness index, satisfactions toward video

บทนำ

เนื่องด้วยสถานการณ์ที่เปลี่ยนไปของมหาวิทยาลัยไทยที่มีสถาบันอุดมศึกษาทั้งในกำกับของรัฐและเอกชนเป็นจำนวนมาก ขัดแย้งกับอัตราการเติบโตของประชากรที่ลดน้อยลง ส่งผลกระทบต่อจำนวนผู้เรียนและรายได้ของมหาวิทยาลัยที่ลดลง เกิดวิกฤตการณ์การแข่งขันของมหาวิทยาลัยไทยที่ต่างเริ่มปรับตัวเพื่อความอยู่รอด นอกจากการปรับปรุงหลักสูตรให้มีความโดดเด่น น่าสนใจ เป็นประโยชน์

และตอบสนองความต้องการของผู้เรียนในยุคที่มีตัวเลือกที่หลากหลายมากขึ้นนั้น การใช้กลยุทธ์ประชาสัมพันธ์เป็นความจำเป็นอย่างหนึ่งที่จะช่วยขับเคลื่อนมหาวิทยาลัยให้ก้าวผ่านสถานการณ์นี้ เนื่องจากการประชาสัมพันธ์เป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการบริหารหน่วยงานหรือองค์กร เพราะการประชาสัมพันธ์เป็นการสร้างภาพลักษณ์ให้กับองค์กรทุกสาขาวิชาชีพ เป็นการสร้างความเข้าใจและทัศนคติที่ดี นำไปสู่การสนับสนุน ให้ความร่วมมือ และเกิดสัมพันธ์ภาพที่ดีระหว่างองค์กรและ

ประชาชนกลุ่มเป้าหมาย (เสรี, 2540) การประชาสัมพันธ์สามารถชักจูงใจให้กลุ่มเป้าหมายต่างๆ เห็นถึงคุณค่าขององค์กร ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องถึงความเชื่อถือในผลิตภัณฑ์ขององค์กรไม่ว่าจะเป็นสินค้าหรือบริการ (กัญญา และคณะ, 2541) การสร้างภาพลักษณ์ให้เกิดแก่องค์กรนั้น เป็นหัวใจหลักของการประชาสัมพันธ์ที่สามารถทำได้โดยการเผยแพร่ให้ประชาชนเข้าใจในเรื่องราวต่างๆ ขององค์กร เช่น นโยบาย เป้าหมาย การดำเนินงาน ตลอดจนผลงานเด่นต่างๆ แต่ต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานความจริงและความถูกต้อง (ชลนทิพย์, 2543)

การสื่อสารประชาสัมพันธ์ขององค์กรประกอบด้วยผู้ส่งสาร ข้อมูลหรือสาร ช่องทางการสื่อสาร และผู้รับสาร (วิภคณัญญ์ และ ศิริจันทร์, 2559) กล่าวคือ การประชาสัมพันธ์เป็นการเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารด้วยตัวกลางต่างๆ เพื่อสื่อสารกับกลุ่มเป้าหมายให้ เกิด ประสิทธิภาพ สูงสุด โดยนำเสนอข้อมูลให้กับกลุ่มเป้าหมายโดยตรงหรือผ่านสื่อประชาสัมพันธ์แต่ละประเภท ซึ่งสื่อประชาสัมพันธ์ หมายถึง ช่องทางการสื่อสารที่นำข่าวสารไปสู่กลุ่มเป้าหมาย และเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเผยแพร่ข้อมูลที่เกิดความรู้ความเข้าใจที่นำไปสู่ภาพลักษณ์ที่ดีให้แก่องค์กร (พรพิทักษ์, 2560) สื่อประชาสัมพันธ์ที่เลือกใช้นั้น มีความสำคัญต่อการดำเนินงานประชาสัมพันธ์ขององค์กร เพราะเป็นตัวกลางในการถ่ายทอดข่าวสารและเรื่องราวต่างๆ เกี่ยวกับนโยบาย วัตถุประสงค์ กิจกรรม การดำเนินงานขององค์กร รวมถึงความรู้ที่เป็นประโยชน์ และเกี่ยวข้องกับองค์กรให้กลุ่มเป้าหมายได้รับรู้และเข้าใจ (เทอดศักดิ์, 2559) การประชาสัมพันธ์จะประสบความสำเร็จและมีประสิทธิภาพมากขึ้นขึ้นอยู่กับการเลือกใช้สื่อในการประชาสัมพันธ์ให้เหมาะสมถูกต้อง โดยพิจารณาถึงข้อดีข้อเสียของสื่อแต่ละประเภท ประสิทธิภาพของ

ผู้รับและผู้ส่งสาร ลักษณะของข่าวสาร วิธีการติดต่อสื่อสาร ตลอดจนกลวิธีต่างๆ ในการเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ (วิรัช, 2535)

รูปแบบของสื่อประชาสัมพันธ์นั้นมีมากมายหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็น วิทยุ วิทยุทัศน์ สื่อบุคคล สื่อสิ่งพิมพ์ สื่อออนไลน์ เป็นต้น การใช้วิทยุทัศน์เพื่อการประชาสัมพันธ์เป็นสื่อหรือเครื่องมือสื่อสารประเภทหนึ่งในการสร้างภาพลักษณ์และความสัมพันธ์อันดีระหว่างองค์กรกับประชาชน รวมถึงเป็นการรณรงค์ เผยแพร่เรื่องราวต่างๆ ให้นุคคลภายนอกได้รับทราบ (วสันต์, 2533) ทั้งยังเป็นการโน้มน้าวชักจูงใจในรูปแบบของการสร้างภาพพจน์ที่ดี ให้ผู้รับชมเกิดความประทับใจ ความศรัทธา ทำให้หน่วยงานเป็นที่รู้จัก (วัฒนา, 2533) วิทยุทัศน์ หรือ วิดีโอ (video) เป็นเครื่องที่แสดงภาพเพื่อความเพลิดเพลิน (ณัฐธิดา, 2551) นำเสนอภาพเคลื่อนไหวและสร้างความต่อเนื่องของเรื่องราวการกระทำ ของสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่ผู้ผลิตอยากสื่อสารให้ผู้ชมเข้าใจ สร้างความรู้สึกใกล้ชิด สร้างความคล้อยตามให้กับผู้ชม ทั้งยังเป็น สื่อที่เข้าถึงง่าย มีความรวดเร็วสามารถเสนอเหตุการณ์ได้ สอดคล้องกับคำกล่าวของ วาสนา (2535) ที่กล่าวถึงคุณค่าของวิทยุทัศน์ว่า เป็นสื่อที่สามารถดึงดูดความสนใจเป็นอย่างดี เนื่องจากให้ทั้งภาพและเสียงที่มีสีสันเหมือนธรรมชาติ สามารถแสดงสิ่งที่สำคัญๆ ได้เห็นอย่างชัดเจน และคำกล่าวของ วิภา (2538) ที่ว่า วิทยุทัศน์นั้นเปิดใช้อย่างเพียงการปรับปรุงสองหรือสามปุ่มก็สามารถที่จะเริ่มต้นการรับชมได้ ทั้งยังกระตุ้นให้ผู้ชมเกิดความรู้สึกใกล้ชิดเหมือนเป็นส่วนตัว

ในปัจจุบัน วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง มีการประชาสัมพันธ์หลักสูตรและภาพลักษณ์ต่างๆ ของวิทยาลัยฯ ผ่าน Facebook Page ของหน่วยประชาสัมพันธ์-วิทยาลัยการ โรงแรมและ

การท่องเที่ยว เว็บไซต์ของวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว และเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัย โดยนำเสนอเนื้อหาด้วยรูปภาพและตัวอักษร ซึ่งการประชาสัมพันธ์ในรูปแบบดังกล่าวนี้มีข้อดีหลายด้านแต่ยังไม่เพียงพอ ยังขาดวิดิทัศน์ที่มีทั้งภาพเคลื่อนไหว ภาพนิ่ง เสียง และเอฟเฟกต์ที่ช่วยถ่ายทอดเรื่องราวให้น่าสนใจและน่าติดตาม อีกทั้งนโยบายขององค์กรต้องการให้การประชาสัมพันธ์เป็นไปในเชิงรุกและมีความหลากหลาย เข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้หลายกลุ่ม ทั้งกลุ่มนักเรียนที่กำลังจะสำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย หรือเทียบเท่า หน่วยงานภายนอกที่มาเยี่ยมชม และประชาชนทั่วไป เนื่องจากวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยวมีการลงพื้นที่เข้าแนะแนวการศึกษาต่อกับสถานศึกษาตามจังหวัดต่างๆ ในทุกปีการศึกษา และให้การต้อนรับบุคลากรจากหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยและหน่วยงานภายนอกเป็นประจำทุกภาคการศึกษา จึงจำเป็นต้องมีวิดิทัศน์นำเสนอข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับวิทยาลัยการ โรงแรมและการท่องเที่ยว เพื่อประชาสัมพันธ์ข้อมูลองค์กร กิจกรรมและผลงานที่เกิดขึ้นกับกลุ่มเป้าหมายดังกล่าว

ด้วยเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงจัดทำชุดวิดิทัศน์เพื่อการประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว เพื่อประชาสัมพันธ์หลักสูตร รูปแบบการเรียนการสอน บรรยากาศ และกิจกรรมต่างๆ ของวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยวเพื่อแนะแนวการศึกษาต่อ และเพื่อประชาสัมพันธ์กิจกรรมและผลงานให้เห็นชัดเป็นรูปธรรม

วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง มีขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

สมมติฐานการวิจัย

1. ชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัย

การโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง มีประสิทธิภาพให้คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีขึ้นไป ($\bar{X} > 2.50$)

2. กลุ่มตัวอย่างมีความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง มากขึ้นหลังรับชมชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

3. กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ในระดับมาก ($\bar{X} > 3.50$)

กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2560 และระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ปีการศึกษา 2560 ในจังหวัดตรังและจังหวัดกระบี่ จำนวน 380 คน คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของ ทาโรยามาเน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน ได้แก่ ครู อาจารย์ ผู้บริหาร และบุคลากรทางการศึกษาในสถานศึกษาขึ้นพื้นฐานและระดับอุดมศึกษา จำนวน 30 คน ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบอาสาสมัคร

วิธีการสร้างเครื่องมือและหาคุณภาพของเครื่องมือในการวิจัย

1. ชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ประกอบด้วยขั้นตอน
การสร้างดังนี้

1.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่
เกี่ยวข้อง ทั้งข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการสัมภาษณ์
ผู้บริหาร
วิทยาลัยการ โรงแรมและการท่องเที่ยวเกี่ยวกับ
รูปแบบและทิศทางการประชาสัมพันธ์องค์กร และ
ข้อมูลทุติยภูมิจากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ
กระบวนการผลิตวิดิทัศน์เพื่อการประชาสัมพันธ์
และข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับวิทยาลัยการ โรงแรมและการ
ท่องเที่ยว

1.2 จัดทำชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์
วิทยาลัยการ โรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยี
ราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ตามหลักขั้นตอน 3P
ของ สมเจตน์ (2552) ได้แก่ การเตรียมงาน
(Pre - Production) การผลิตหรือถ่ายทำ (Production)
และ การตัดต่อและการร้อยเรียง (Post - Production)
ดังตารางที่ 1 โดยชุดวิดิทัศน์ประกอบด้วย วิดิทัศน์
ประชาสัมพันธ์ สำหรับแนะแนวการศึกษาต่อ และ
วิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ สำหรับประชาสัมพันธ์
กิจกรรมและผลงาน

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการจัดทำชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์

ขั้นตอน	รายการ
การเตรียมงาน (Pre - Production)	1. วางแผน กำหนดวัตถุประสงค์/ กำหนดเป้าหมาย/ จัดลำดับขั้นตอนการทำงาน/ กำหนดสถานที่/ กำหนดผู้รับผิดชอบ/ กำหนดวิธีการทำงาน/ กำหนดค่าใช้จ่าย 2. จัดทำเนื้อหา รวบรวมและค้นคว้าหาข้อมูล/ วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปจัดทำเป็นร่างเนื้อหา/ เรียบเรียงเนื้อหาให้ถูกต้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเขียนบท 3. เขียนบท ร่างเนื้อหาที่จะนำมาเป็นคำอธิบายและบทพูดบรรยาย แยกตามวัตถุประสงค์ของวิดิทัศน์/ เขียนบทแบบกิ่งสมบูรณ์และให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาตรวจสอบ/ เขียนบทสมบูรณ์ที่ปรับแก้ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญโดยเขียนพร้อมกับ Story Board ที่ทำไว้ 4. ประสานงาน ประสานงานไปยังบุคคลและสถานที่ที่เกี่ยวข้องเพื่อนัดแนะการถ่ายทำ
การผลิตหรือถ่ายทำ (Production)	1. ถ่ายทำในสถานที่ จัดตั้งไมโครโฟน/ วางตำแหน่งมุกกล้อง/ ซักซ้อมกับทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง/ ลงมือถ่ายทำ โดยใช้แสงไฟภายในห้องปกติ และปรับแสงของกล้องให้มีความสว่างที่เหมาะสม 2. ถ่ายทำนอกสถานที่ ถ่ายทำตามบทในจุดที่กำหนด
การตัดต่อและการ ร้อยเรียงรายการ (Post - Production)	1. ตัดต่อแบบ Offline นำไฟล์วิดีโอและไฟล์เสียงทั้งหมดลงคอมพิวเตอร์เพื่อคัดเลือกไฟล์ที่ต้องการใช้ 2. ตัดต่อแบบ Online ใช้คอมพิวเตอร์และโปรแกรมตัดต่อสำเร็จรูปตัดต่อตามบทและ Story Board ที่วางแผนไว้

1.3 ตรวจสอบคุณภาพชุดวิดิทัศน์โดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านสื่อ 3 ท่าน ประเมินด้านเทคนิคและการออกแบบ และผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหา 3 ท่าน ประเมินด้านเนื้อหา โดยใช้แบบประเมินคุณภาพชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ จากนั้นทำการแก้ไขและปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

1.4 นำชุดวิดิทัศน์ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับกลุ่มทดลอง คือ ทดลองใช้วิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ สำหรับแผนการเรียนการสอนต่อ กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2560 จำนวน 30 คน เพื่อตรวจสอบหาดัชนีประสิทธิผล (Effectiveness Index: E.I.) ของ วิดิทัศน์ และเนื่องจากวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ สำหรับประชาสัมพันธ์กิจกรรมและผลงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ต้อนรับคณะศึกษาดูงานจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเท่านั้น จึงไม่มีการหาค่าดัชนีประสิทธิผลของวิดิทัศน์ชิ้นนี้

2. แบบ ประเมิน คุณ ภาพ ชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการ โรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

แบบ ประเมิน คุณ ภาพ ชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ ประกอบด้วยแบบประเมิน 2 ชุด คือ 1) แบบประเมินคุณภาพด้านเทคนิคและการออกแบบ สำหรับผู้เชี่ยวชาญทางด้านสื่อ และ 2) แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา สำหรับผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหา แบบประเมินทั้ง 2 ชุดแบ่งออกเป็น 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัว สอบถามชื่อ-สกุล และตำแหน่งงานของผู้เชี่ยวชาญ ตอนที่ 2 คุณภาพวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ มีลักษณะเป็นข้อคำถามปลายปิดแบบมาตราส่วนประมาณค่า 4 ระดับ (1 หมายถึง คุณภาพควรแก้ไข และ 4 หมายถึง คุณภาพดีมาก) สอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

ที่มีต่อคุณภาพวิดิทัศน์ และตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ มีลักษณะเป็นข้อคำถามปลายเปิดให้ผู้เชี่ยวชาญเขียนแสดงข้อคิดเห็นเพิ่มเติม ตรวจสอบหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ของแบบประเมินทั้ง 2 ชุดโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ผลการตรวจสอบพบว่าข้อคำถามทุกข้อมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ได้ (IOC=1.00)

3. แบบทดสอบความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการ โรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

แบบทดสอบความรู้ประกอบด้วยคำถามแบบปลายปิด 4 ตัวเลือก จำนวน 15 ข้อ แต่ละข้อมีคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียง 1 ตัวเลือก ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดหรือไม่ตอบให้ 0 คะแนน ตรวจสอบค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบกับวัตถุประสงค์โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ผลการตรวจสอบพบว่าข้อคำถามทุกข้อมีความสอดคล้อง ตรวจสอบหาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบเป็นรายข้อ โดยทดลองใช้แบบทดสอบกับนักศึกษา อาจารย์ และบุคลากร วิทยาลัยการ โรงแรมและการท่องเที่ยว ใช้เกณฑ์ความยากง่ายระหว่าง 0.20 - 0.80 และค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป ซึ่งพบว่าแบบทดสอบวัดความรู้มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.44 - 1.00 และมีค่าอำนาจจำแนกระหว่าง 0.00 - 0.73 ทั้งนี้เนื่องจากกลุ่มทดลองมีความรู้เดิมเกี่ยวกับวิทยาลัยการ โรงแรมและการท่องเที่ยวอยู่แล้ว ตรวจสอบหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบความรู้โดยใช้สูตร KR-20 ของ Kuder-Richardson ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.17 (ทำไมค่าความเชื่อมั่นต่ำมาก พิมพ์ผิดหรือป่าวครับ น่าจะเป็น 0.71)

4. แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการ โรงแรมและการ

ท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
วิทยาเขตตรัง

แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีชุดวิดิทัศน์
ประชาสัมพันธ์ แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1
ด้านเทคนิคและการออกแบบ และตอนที่ 2 ด้าน
ประโยชน์และการนำไปใช้ ข้อคำถามเป็นลักษณะ
ปลายปิดแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ
(1 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด และ 5 หมายถึงพึง
พอใจมากที่สุด) ตรวจสอบค่าดัชนีความ
สอดคล้อง (IOC) ระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์
โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ผลการตรวจสอบพบว่าข้อ
คำถามทุกข้อมีความเหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ได้
(IOC=1.00) ตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ของความ
เชื่อมั่นของแบบสอบถามกับกลุ่มทดลองด้วย
สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's
Alpha) ได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามเท่ากับ
0.91

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม
ดังนี้

1. เก็บข้อมูลกับกลุ่มนักเรียน โดยให้กลุ่ม
ตัวอย่างทำแบบทดสอบวัดความรู้ก่อนรับชมวิดิทัศน์
ประชาสัมพันธ์ สำหรับแผนการเรียนต่อ และ
หลังจากรับชมวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ ให้กลุ่ม
ตัวอย่างทำแบบทดสอบวัดความรู้อีกครั้ง พร้อมทั้งทำ
แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อวิดิทัศน์
ประชาสัมพันธ์

2. เก็บข้อมูลกับกลุ่มบุคลากร โดยให้กลุ่ม
ตัวอย่างรับชมวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ สำหรับ
ประชาสัมพันธ์กิจกรรมและผลงาน จากนั้นทำ
แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อวิดิทัศน์
ประชาสัมพันธ์

วิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์หาคุณภาพชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์

โดยหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากแบบ
ประเมิน คุณภาพวิดิทัศน์ วิเคราะห์หาดัชนี
ประสิทธิผล (Effectiveness Index: E.I.) ของชุดวิดิ
ทัศน์ประชาสัมพันธ์ โดยใช้วิธีการของ Goodman,
Fletcher and Schneider เปรียบเทียบความรู้เกี่ยวกับ
วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ก่อนและ
หลังรับชมวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ โดยหาค่าเฉลี่ย
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสถิติ t (t-test
dependent) และ วิเคราะห์หาความพึงพอใจที่มีต่อชุด
วิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ โดยใช้แบบสอบถามสำรวจ
ความพึงพอใจที่มีต่อชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์
วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบน
มาตรฐานจากแบบสอบถามความพึงพอใจ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ผลการพัฒนาชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์
วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง แบ่งตาม
วัตถุประสงค์การวิจัยได้ดังนี้

ผลการวิจัยตอนที่ 1 พัฒนาชุดวิดิทัศน์
ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการ
ท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
วิทยาเขตตรัง ให้มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี

ชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการ
โรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ประกอบด้วย 1) วิดิ
ทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการ
ท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
วิทยาเขตตรัง สำหรับแผนการเรียนต่อ ความ
ยาว 8.43 นาที เนื้อหาประกอบด้วย สถานที่ตั้ง ความ
เป็นมา หลักสูตรที่เปิดสอน รายละเอียดของหลักสูตร
แยกตามสาขาวิชา กิจกรรมในรายวิชา ความก้าวหน้า
ในอาชีพ และบทสัมภาษณ์ศิษย์เก่าที่ประสบ

ความสำเร็จจากทุกสาขาวิชา 2) วิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง สำหรับประชาสัมพันธ์กิจกรรมและผลงาน ความยาว 6.44 นาที ประกอบด้วยเนื้อหาด้านสถานที่ตั้ง ความเป็นมา ปรัชญา วิสัยทัศน์ พันธกิจ 5 ด้าน หลักสูตรที่เปิดสอน รายละเอียดของหลักสูตร

แยกตามสาขาวิชา กิจกรรมในรายวิชา กิจกรรมเสริมหลักสูตร และงานบริการวิชาการ

ผลการประเมินคุณภาพ ชุดวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง โดยผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อ 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 3 ท่าน ปรากฏดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับคุณภาพ ของคุณภาพวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D	ระดับคุณภาพ
วีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ สำหรับแนะแนวการศึกษาต่อ			
ด้านเทคนิคและการออกแบบ	3.44	0.74	ดีมาก
ด้านเนื้อหา	3.33	0.74	ดีมาก
เฉลี่ยรวม	3.40	0.75	ดีมาก
วีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ สำหรับประชาสัมพันธ์กิจกรรมและผลงาน			
ด้านเทคนิคและการออกแบบ	3.53	0.64	ดีมาก
ด้านเนื้อหา	3.82	0.63	ดีมาก
เฉลี่ยรวม	3.63	0.51	ดีมาก

จากตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินคุณภาพ ชุดวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ โดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าคุณภาพทั้งด้านเทคนิคและการออกแบบ และด้านเนื้อหาของวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ สำหรับการแนะแนวการศึกษาต่อ อยู่ในเกณฑ์ดีมาก ($\bar{x} = 3.44$, S.D. = 0.74 และ $\bar{x} = 3.33$, S.D. = 0.74 ตามลำดับ) คุณภาพของวีดิทัศน์ในภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ($\bar{x} = 3.40$, S.D. = 0.75) และผลการประเมินคุณภาพวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ สำหรับประชาสัมพันธ์กิจกรรมและผลงาน พบว่าทั้งด้านเทคนิคและการออกแบบ และด้านเนื้อหาอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ($\bar{x} = 3.53$, S.D. = 0.64 และ $\bar{x} = 3.82$, S.D. = 0.63 ตามลำดับ) และคุณภาพในภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ($\bar{x} = 3.63$, S.D. = 0.51) ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยได้จัดทำวีดิทัศน์อย่างเป็นระบบและเป็นขั้นตอน ผ่านการ

ประเมินและให้ข้อเสนอแนะโดยผู้เชี่ยวชาญ และผ่านการทดลองใช้กับกลุ่มทดลอง ซึ่งในการผลิตชุดวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ นั้น ผู้วิจัยได้นำหลักขั้นตอน 3P ของสมเจตน์ (2552) มาใช้ในกระบวนการผลิต กล่าวคือ มีการเตรียมงาน (Pre-Production) โดยการวางแผน จัดทำเนื้อหา เขียนบท และประสานงาน มีการผลิตหรือถ่ายทำ (Production) ตามสถานที่และรูปแบบที่ได้วางแผนไว้ และมีการตัดต่อและร้อยเรียงรายการ (Post-Production) โดยใช้ทั้งวิธีการแบบ offline และ online นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตชุดวีดิทัศน์ยังพิจารณาถึงหลักพื้นฐานที่สำคัญในการลำดับภาพด้านต่างๆ เช่น ความต่อเนื่อง รายละเอียดของเนื้อหา สี สัน เสียง เป็นต้น เนื่องจากการลำดับหรือตัดต่อภาพและเสียงให้มีความสัมพันธ์และต่อเนื่องอย่างเหมาะสมนั้น จะช่วย

ให้เรื่องราวของวิดิทัศน์ที่ออกมามีความสมบูรณ์ (สมคิด, 2540)

ผลการวิจัยตอนที่ 2 ศึกษาดัชนีประสิทธิผลของชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

ผลการศึกษาดัชนีประสิทธิผลของชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ จากการวิเคราะห์คะแนนทดสอบวัดความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยวของกลุ่มทดลอง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2560 จำนวน 30 คน ปรากฏดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีประสิทธิผลของชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ (n = 30)

คะแนนจากทดสอบ	คะแนนรวม	คะแนนเฉลี่ย (เต็ม 15)	ดัชนีประสิทธิผล
ก่อนรับชมวิดิทัศน์	202	6.73	0.5
หลังรับชมวิดิทัศน์	326	10.87	

จากตารางที่ 3 แสดงค่าดัชนีประสิทธิผลจากผลการวิเคราะห์คะแนนทดสอบความรู้ก่อนและหลังรับชมวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ ซึ่งพบว่า ผลรวมคะแนนทดสอบก่อนรับชมวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ เท่ากับ 202 คะแนน และผลรวมคะแนนทดสอบหลังรับชมวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ เท่ากับ 326 คะแนน เมื่อคำนวณค่าดัชนีประสิทธิผลมีค่าเท่ากับ 0.5 แสดงว่ากลุ่มทดลองมีความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 เนื่องจากวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ ชุดนี้ เป็นวิดิทัศน์ประเภทรายการประชาสัมพันธ์ ซึ่งวิดิทัศน์ประเภทนี้จะเน้นการสร้างภาพลักษณ์ให้แก่องค์กร และเผยแพร่เรื่องราวขององค์กรให้กับบุคคลภายนอกทราบ (วสันต์, 2533) ทำให้บุคคลภายนอกรับรู้ข้อมูลและมีความรู้เกี่ยวกับ

องค์กรมากขึ้น ดังที่ วิจิตร (2539) ได้กล่าวถึงวัตถุประสงค์ของการประชาสัมพันธ์ไว้ว่า การประชาสัมพันธ์มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่เนื้อหาให้ประชาชนเกิดความรู้เกี่ยวกับองค์กร และมีความเข้าใจองค์กรอย่างถูกต้อง

ผลการวิจัยตอนที่ 3 เปรียบเทียบความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว ก่อนและหลังรับชมชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

เปรียบเทียบความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว ก่อนและหลังรับชมวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 380 คน ปรากฏผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติทดสอบที และระดับนัยสำคัญทางสถิติ ในการทดสอบ

เปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังรับชมชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ (n = 380)

คะแนนทดสอบ	$\bar{x}$	S.D.	t	df	Sig
ก่อนชมวิดิทัศน์	7.32	2.01	-42.705	379	.000
หลังชมวิดิทัศน์	12.00	1.40			

* $p < .05$

จากตารางที่ 4 พบว่า คะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังรับชมวิดีโอทัศนประชาสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 7.32 คะแนน และ 12.00 คะแนน ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังรับชมวิดีโอทัศนประชาสัมพันธ์ พบว่า คะแนนทดสอบหลังรับชมวิดีโอทัศนสูงกว่าก่อนรับชมวิดีโอทัศนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ นารณรพี (2543) ซึ่งทำการศึกษาเรื่องการผลิตวิดีโอทัศนเพื่อการประชาสัมพันธ์ เรื่อง สถาบันพัฒนาข้าราชการตำรวจสำหรับข้าราชการตำรวจผู้เข้ารับการอบรมหลักสูตรสารวัตร รุ่นที่ 57 พบว่า คะแนนเฉลี่ยของผู้รับการอบรมที่เรียนผ่านสื่อวิดีโอทัศน สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยของผู้รับการอบรมกลุ่มที่เรียนแบบบรรยายปกติ โดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของทั้งสอง

กลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พรสวรรค์ (2544) ซึ่งศึกษาเรื่องการสร้างสื่อเพื่อใช้ในการประชาสัมพันธ์ เรื่อง การแปรรูปการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในส่วนกลาง โดยพบว่าผู้เข้ารับการทดสอบมีความรู้เรื่องการแปรรูปการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 จากผลการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ในการใช้สื่อประชาสัมพันธ์ กับพนักงานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในส่วนกลาง

ผลการวิจัยตอนที่ 4 ศึกษาความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อชุดวิดีโอทัศนประชาสัมพันธ์ วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อชุดวิดีโอทัศนประชาสัมพันธ์ สำหรับแผนการศึกษาต่อ (n = 380)

รายการ	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเทคนิคและการออกแบบ	4.34	0.44	มาก
ด้านประโยชน์และการนำไปใช้	4.49	0.46	มาก
เฉลี่ยรวม	4.39	0.42	มาก

ตารางที่ 6 การทดสอบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อชุดวิดีโอทัศนประชาสัมพันธ์ สำหรับแผนการศึกษาต่อกับค่าที่คาดหมาย

ค่าเฉลี่ย	ค่าที่คาดหมาย	df	t
4.39	3.5	379	41.204*

* $p < .05$

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 380 คน ที่มีต่อวิดีโอทัศนประชาสัมพันธ์ สำหรับแผนการศึกษาต่อ พบว่า ความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.39$, S.D. = 0.42) และเมื่อวิเคราะห์รายด้าน พบว่า ทั้งด้านเทคนิคและการออกแบบ และด้านประโยชน์และการ

นำไปใช้อยู่ในระดับพึงพอใจมาก ($\bar{x} = 4.34$, S.D. = 0.44 และ $\bar{x} = 4.49$, S.D. = 0.46)

จากตารางที่ 6 การทดสอบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างกับค่าที่คาดหมาย (3.5) พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 ซึ่งมากกว่า 3.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อชุดวิดิทัศน์
ประชาสัมพันธ์ฯ สำหรับประชาสัมพันธ์กิจกรรมและผลงาน (n = 30)

รายการ	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเทคนิคและการออกแบบ	4.13	0.59	มาก
ด้านประโยชน์และการนำไปใช้	4.26	0.56	มาก
เฉลี่ยรวม	4.17	0.56	มาก

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่า ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน ที่มีต่อวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ สำหรับประชาสัมพันธ์กิจกรรมและผลงาน อยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.17$, S.D. = 0.56) จากการวิเคราะห์รายด้าน

พบว่า ความพึงพอใจในด้านเทคนิคและการออกแบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.13$, S.D. = 0.59) และความพึงพอใจในด้านประโยชน์และการนำไปใช้อยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.26$, S.D. = 0.56)

ตารางที่ 8 การทดสอบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ฯ สำหรับ
ประชาสัมพันธ์กิจกรรมและผลงานกับค่าที่คาดหมาย

ค่าเฉลี่ย	ค่าที่คาดหมาย	df	t
4.17	3.5	29	6.626*

*p < .05

จากตารางที่ 8 การทดสอบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างกับค่าที่คาดหมาย (3.5) พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.17 ซึ่งมากกว่า 3.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการวิจัยข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของนันท์นภัส (2556) ซึ่งทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาสื่อวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์การเรียนแนวชีวิตสำหรับผู้ปกครอง พบว่า ผู้ปกครองมีความคิดเห็นโดยรวมต่อสื่อวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์การเรียนแนวชีวิตอยู่ในระดับมาก และมีความคิดเห็นด้านเนื้อหา ด้านภาพ ด้านเสียง และด้านประเมินผล ในระดับมากทุกด้าน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เมลดา (2550)

ซึ่งทำการพัฒนารายการวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พบว่า กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ กลุ่มผู้ปฏิบัติงาน สายสนับสนุน อาจารย์ นิสิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีความพึงพอใจต่อวิดิทัศน์โดยรวมในระดับมาก อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศรีนทิพย์ (2550) ที่ได้ทำการพัฒนาวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โรงเรียนเทคนิคบริหารธุรกิจกรุงเทพ ชลบุรี โดยผลการวิจัยพบว่า นักเรียน นักศึกษา อาจารย์ และบุคลากรในโรงเรียนเทคนิคบริหารธุรกิจกรุงเทพ ชลบุรี มีความพึงพอใจต่อวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ในระดับมาก

สรุป

ในการพัฒนาชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง สรุปผลได้ดังนี้

1. ชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี

การพัฒนาชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง เป็นการผลิตเครื่องมือประชาสัมพันธ์ในประเภทสารคดีวิดีโอ ประกอบด้วยวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์สำหรับแนะแนวการศึกษาต่อ และวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์สำหรับประชาสัมพันธ์กิจกรรมและผลงาน ผลจากการประเมินคุณภาพชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง โดยผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อและด้านเนื้อหา พบว่ามีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1 คือ ชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง มีประสิทธิภาพให้คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี

2. ดัชนี ประสิทธิภาพของชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ วิทยาลัยการ โรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง มีค่าเท่ากับ 0.5

เมื่อพิจารณาคำดัชนีประสิทธิผลจากผลการวิเคราะห์คะแนนทดสอบความรู้ก่อนและหลังรับชมวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง สำหรับแนะแนวการศึกษาต่อของกลุ่มทดลอง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปี

การศึกษา 2560 จำนวน 30 คน พบว่า ผลรวมคะแนนทดสอบก่อนรับชมวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ มากกว่าผลรวมคะแนน ทดสอบ หลังรับ ชมวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ เมื่อคำนวณค่าดัชนีประสิทธิผลมีค่าเท่ากับ 0.5 แสดงว่ากลุ่มทดลองมีความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นร้อยละ 50

3. ความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ของกลุ่มตัวอย่างหลังมากกว่าก่อนรับชมชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อพิจารณาจากคะแนนเฉลี่ยความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยวโดยภาพรวม ซึ่งมีคะแนนเต็ม 15 คะแนน กลุ่มตัวอย่างมีคะแนนเฉลี่ยก่อนรับชมวิดิทัศน์ 7.32 คะแนน คะแนนเฉลี่ยหลังรับชมวิดิทัศน์ 12 คะแนน โดยคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 4.68 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 31.2 คะแนนเฉลี่ยความรู้เกี่ยวกับวิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยวหลังรับชมวิดิทัศน์สูงกว่าก่อนรับชมวิดิทัศน์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ วิทยาลัยการ โรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง อยู่ในระดับมาก

เมื่อพิจารณาจากระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างต่อชุดวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ วิทยาลัยการ โรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจด้านเทคนิคและการออกแบบในระดับมาก ด้านประโยชน์และการ

นำไปใช้ในระดับมาก และโดยภาพรวมแล้วกลุ่มตัวอย่างมีระดับความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์มาก ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ข้อเสนอแนะ

เผยแพร่วีดิทัศน์ผ่านระบบออนไลน์เพื่อประชาสัมพันธ์องค์กรในวงกว้างขึ้น และขยายพื้นที่การประชาสัมพันธ์ในจังหวัดอื่นๆ ที่นอกเหนือจากเขตพื้นที่กลุ่มเป้าหมายขององค์กร โดยทำการวิจัยความต้องการรับรู้ข้อมูลข่าวสารจากวีดิทัศน์หรือสื่อต่าง ๆ เพื่อผลิตสื่อประชาสัมพันธ์ให้ตรงกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมายนั้น

เอกสารอ้างอิง

- กัญญา ศิริสกุล, เจริญศักดิ์ อึ้งเจริญวัฒนา, และสายพิน สมวรรตกุล. 2541. **หลักการประชาสัมพันธ์**. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- ชลันทิพย์ ประดับพงษา. 2543. กระบวนการประชาสัมพันธ์โครงการทำอากาศยานสุวรรณภูมิ. วิทยานิพนธ์นิเทศศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐธิดา ศิริหิรัญ. 2551. การสร้างสื่อวีดิทัศน์เพื่อประชาสัมพันธ์โรงไฟฟ้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เทิดศักดิ์ สุขดาว. 2559. การวิเคราะห์สื่อประชาสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. **วารสาร**

สถาบันวัฒนธรรมและศิลปะ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 17(2): 49-56.

นันทน์ภัส นาบุก. 2556. การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์การเรียนรู้แนวจิตะสำหรับผู้ปกครอง. สารนิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

นารณทิ อินทสุวรรณ. 2543. การผลิตวีดิทัศน์เพื่อประชาสัมพันธ์เรื่องสถาบันพัฒนาข้าราชการตำรวจ. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรพิทักษ์ แม้นศิริ. 2560. **กลยุทธ์การประชาสัมพันธ์ในภาวะวิกฤติ**. เอกสารประกอบการอบรมการบริหารวิกฤตการณ์เพื่อการฝึกการระดมสรรพกำลังเพื่อการทหารประจำปี 2561, นนทบุรี.

พรสวรรค์ ภูประกร. 2544. การสร้างสื่อเพื่อใช้ในการประชาสัมพันธ์เรื่องการแปรรูปการณไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในส่วนกลาง. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

เมลดา พาทีเพระ. 2550. การพัฒนารายการวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์สำนักงานคณบดีคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. สารนิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วสันต์ อดิศักดิ์. 2533. **การผลิตเทปโทรทัศน์ การศึกษาและฝึกอบรม**. สำนักพิมพ์ โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

วัฒนา จันทรจรัสวัฒนา. 2533. ประสิทธิภาพของสื่อวีดิทัศน์ที่ใช้ในการประชาสัมพันธ์เผยแพร่โครงการอีสานเขียว. วิทยานิพนธ์นิเทศศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วาสนา ชาวหา. 2535. **สื่อการเรียนการสอน**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- วิจิตร อาวะกุล. 2539. **ประชาสัมพันธ์หลักและวิธีปฏิบัติ**. พิมพ์ครั้งที่ 4. โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.
- วิภคณัญญ์ นิมิตรพันธ์ และ ศิริจันทร์ พลกนิษฐ. 2559. กลยุทธ์การประชาสัมพันธ์ภายใต้สื่อสังคมออนไลน์. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย** 6(1): 21-31.
- วิภา อุดมฉันท. 2538. **การผลิตสื่อโทรทัศน์และวีดิทัศน์**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วิรัช อภิรัตน์กุล. 2535. **การประชาสัมพันธ์**. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ศรินทิพย์ วิริยะพากเพียร. 2550. **การพัฒนาวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โรงเรียนเทคนิคบริหารธุรกิจ** กรุงเทพฯ ชลบุรี. สารนิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโร.
- สมคิด ชีระศิลป์. 2540. **การผลิตรายการโทรทัศน์**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.
- สมเจตน์ เมฆพ่ายพ. 2552. **การผลิตรายการโทรทัศน์**. ศูนย์เทคโนโลยีทางการศึกษา สำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัย สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ กระทรวงศึกษาธิการ, กรุงเทพฯ.
- เสรี วงษ์มณฑา. 2540. **การประชาสัมพันธ์เชิงปฏิบัติ**. A.N. การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

**ผลที่เกิดจากการใช้โปรแกรม The Geometer's Sketchpad (GSP)
ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอนเรื่องการ
ประยุกต์การอินทิกรัลจำกัดเขตสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี
The Effect of Using the Geometer's Sketchpad (GSP) Program on 5 Es
Inquiry Learning Activities: The Applications of Definite Integral for
Undergraduate Students**

สุภัทรา เก็ดมมงคล และ กัญญาภักดิ์ กัยแคล้ว *

Supattra Kerdmongkon and Kanyaphak Paikhlaew *

Received: 5 February 2018, Revised: 19 October 2018, Accepted: 23 November 2018

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาโดยใช้โปรแกรม The Geometer's Sketchpad (GSP) ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต โดยการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการใช้โปรแกรม พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 60 นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการใช้โปรแกรม

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจงคือนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 1 หมู่เรียน จำนวน 17 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 4 แผน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 20 ข้อ และแบบวัดความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้ จำนวน 14 ข้อ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที (t-test) ผลการศึกษาพบว่า 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 ไม่สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) ระดับความพึงพอใจของนักศึกษามีอยู่ในระดับมาก

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา เลขที่ 340 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Nakhonratchasimarajabhat University, 340 Suranarai Road, Nai Muang, Muang, NakhonRatchasima 30000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): gift.1122334455@gmail.com Tel: 09 8929 2893

คำสำคัญ: กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน, การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต, the Geometer's Sketchpad

ABSTRACT

The purpose of this research were to study learning achievement of using the Geometer's Sketchpad (GSP) program on 5Es inquiry learning activities: the applications of definite integral for undergraduate students, compare pretest-posttest learning achievement scores in using GSP program, compare the students' learning achievement with 60 percent criterion, and, study students' satisfaction towards the use of GSP program.

The sample of this research consisted of 17 students who enrolled Calculus I in 2nd semester of academic year 2017. They were selected using purposive sampling method.

The instruments used in gathering data were 1) 4 lesson plans, 2) 20 questions of learning achievement measurement test, and 3) 14 items of satisfaction questionnaire for learning activities. The data were analyzed using means, standard deviations, and t-test. The results of this study were as follows: 1) The post-achievement-test score was significantly higher than pre-achievement-test score at level of .05. 2) The learning achievement of the students who studied Calculus I were not higher than the criterion of 60 percent at significant level of .05. 3) Overall students' satisfaction towards the program was at high level.

Key words: 5Es inquiry learning activities, applications of definite integral, the Geometer's Sketchpad

บทนำ

การจัดการเรียนการสอนโดยเน้นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ หมายถึง การดำเนินการเรียนการสอนโดยผู้สอนกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดและลงมือแสวงหาความรู้เพื่อนำมาประมวลหาคำตอบหรือข้อสรุปด้วยตนเอง (ทิสนา, 2547) โดยการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) เป็นวิธีการสอนที่วิธีหนึ่งซึ่งช่วยให้ผู้เรียนได้ค้นหาคำรู้ด้วยตนเอง โดยการลงมือปฏิบัติก่อกำเนิดนักเรียนเกิดความคิดในการเรียนรู้ (ณัชชาภิญโญ, 2555) ซึ่งการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอนตามแนวคิดของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), (2546) ประกอบด้วย ขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ 1) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) เป็นขั้นที่จะนำเข้าสู่

บทเรียนหรือเรื่องที่นำเสนอ 2) ขั้นการสำรวจค้นหา (Exploration) เป็นขั้นที่นักเรียนทำความเข้าใจกับประเด็นปัญหาที่นักเรียนสนใจ และเปิดโอกาสให้นักเรียนใช้แนวความคิดที่มีอยู่แล้ว มาจัดความสัมพันธ์กับประเด็นปัญหาเข้าเป็นหมวดหมู่ 3) ขั้นการอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) เป็นขั้นที่นักเรียนได้ข้อมูลอย่างเพียงพอจากการสำรวจตรวจสอบ จึงนำข้อมูลที่ได้อธิบายหรือสรุปผล 4) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) เป็นขั้นที่นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการสำรวจและตรวจสอบไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมที่มีอยู่ 5) ขั้นประเมินผล (Evaluation) เป็นขั้นที่จะประเมินนักเรียนว่ามีความรู้อะไรบ้าง และมากน้อยเพียงใด โดยให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นหรืออธิบายความรู้ที่ได้ศึกษามา

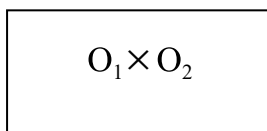
โปรแกรม The Geometer's Sketchpad (GSP) หมายถึง เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ ที่ครูสามารถนำมาใช้ในกิจกรรมการเรียนการสอน นำมาใช้สร้างสื่อการสอนและใบงานเพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่หลากหลาย (กิตติพร, 2554) และโปรแกรม GSP หรือเทคโนโลยีอื่นๆ ไม่ได้เป็นได้ทุกอย่างทุกอย่าง แต่เป็นเพียงเครื่องมือและสื่อเพื่อการเรียนรู้ประเภทหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถใช้แทนครูผู้สอนได้ ครูจะต้องมีบทบาทสำคัญในการออกแบบและจัดกิจกรรมการเรียนการสอนเพื่อให้ได้ใช้เทคโนโลยีอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด (ชุดิกกาญจน์, 2559)

ด้วยวิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ และเครื่องมือที่เป็นโปรแกรม GSP มีความเหมาะสมต่อการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต ซึ่งเป็นเรื่องที่ยากแก่การเข้าใจสำหรับนักศึกษา อีกทั้งนักศึกษายังไม่มีพื้นฐานจึงควรเริ่มจากเรื่องแรกที่ยากก่อนจะไปเรื่องที่ มีเนื้อหาที่ยากขึ้นถ้านักศึกษาสามารถสร้างกราฟจากที่ โจทย์กำหนด นักศึกษาจะสามารถค้นพบวิธีการหาพื้นที่ที่ต้องการได้อย่างถูกต้องด้วยตนเอง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน มาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยมีการนำโปรแกรม GSP เข้ามาใช้ในการสร้างความสนใจ

และขั้นการสำรวจค้นหา เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้ 1) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต 2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา หลังใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต กับเกณฑ์ร้อยละ 60 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษา ต่อการใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยแบบเตรียมทดลอง ซึ่งเป็นการวิจัยแบบศึกษากลุ่มเดียว วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังทดลอง (One group pretest-posttest design) โดยมีรูปแบบการวิจัย ดังแผนภาพที่ 1 (สะอาดศรี, 2554)



ภาพที่ 1 แบบแผนการทดลอง

O₁ แทน การทดสอบก่อนเรียน

× แทน การใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน

O₂ แทน การทดสอบหลังเรียน

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 6 หมู่เรียน จำนวน 195 คน

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 1 หมู่เรียน จำนวน 17 คน ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง

2. ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ คือการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอนร่วมกับการใช้โปรแกรม GSP ตัวแปรที่ศึกษา คือผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาแคลคูลัส 1 และความพึงพอใจต่อการใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่องการประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้รูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.1 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 20 ข้อ ซึ่งใช้เป็นแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

3.2.2 แบบวัดความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่องการประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต

4. การสร้างและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

4.1 แผนการจัดการเรียนรู้

4.1.1 วิเคราะห์คำอธิบายรายวิชาแคลคูลัส 1 และความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหา จุดมุ่งหมายของ

วิชาและเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการสอน รายวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขตสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เขียนแผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้รูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต

4.1.2 นำแผนการจัดการเรียนรู้เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ และผู้เชี่ยวชาญด้าน GSP จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับสาระสำคัญ ผลการเรียนรู้ เนื้อหา กิจกรรมการเรียนรู้ สื่อการเรียนรู้

4.1.3 วิเคราะห์ผลการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้ของผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ และผู้เชี่ยวชาญด้าน GSP จำนวน 3 ท่าน แล้วนำไปเทียบกับเกณฑ์ โดยใช้หลักเกณฑ์การประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า ซึ่งมี 5 ระดับ คือ เหมาะสมมากที่สุด เหมาะสมมาก เหมาะสมปานกลาง เหมาะสมน้อย และเหมาะสมน้อยที่สุด (บุญชม, 2545) โดยกำหนดให้คะแนนเฉลี่ยระดับคุณภาพความเหมาะสม 3.51 ขึ้นไป เป็นเกณฑ์พิจารณา และยอมรับว่าเป็นแผนการจัดการเรียนรู้ที่นำไปใช้ได้

4.1.4 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ และผู้เชี่ยวชาญด้าน GSP นำไปทดลองกับนักศึกษาที่ไม่เคยเรียนรู้ด้วยแผนการจัดการเรียนรู้นี้มาก่อน เมื่อดำเนินกิจกรรมตามแผนที่กำหนดเสร็จแล้ว นำผลการทดลองไปปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ก่อนนำไปใช้จริง

4.1.5 นำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

4.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

4.2.1 ศึกษาคำอธิบายรายวิชาแคลคูลัส 1 ระดับปริญญาตรี เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต ศึกษาเอกสารเกี่ยวกับการวัดและประเมินผล และการสร้างแบบทดสอบ

4.2.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหาผลการเรียนรู้ที่ต้องการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ตามรายละเอียดของรายวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบทดสอบ

4.2.3 สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบเลือกตอบ ให้กับนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 1 หมู่เรียน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต จำนวน 40 ข้อ ให้สอดคล้องกับตัวบ่งชี้

4.2.4 นำแบบทดสอบที่ผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ และผู้เชี่ยวชาญด้าน GSP มาคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (IOC) (บุญชม, 2545) ได้ค่าความสอดคล้อง (IOC) เป็นรายข้อ ตั้งแต่ 0.67 ขึ้นไป หมายความว่าวัดได้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ทุกข้อ

4.2.5 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ปรับปรุงแก้ไขไปทดลองใช้กับนักศึกษาที่เรียนเนื้อหา เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต มาแล้วเพื่อหาคุณภาพของแบบทดสอบ

4.2.6 นำผลคะแนนที่ได้จากการทดสอบ มาวิเคราะห์เป็นรายข้อเพื่อวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และหาค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบแต่ละข้อ คัดเลือกข้อสอบจำนวน 20 ข้อ ที่มีค่าระดับความยากง่ายตั้งแต่ 0.20-0.76 และค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20-0.53

4.2.7 นำแบบทดสอบที่คัดเลือกไว้จำนวน 20 ข้อ ไปหาความเชื่อมั่นของแบบทดสอบโดยใช้

สูตร KR-20 ได้ค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.772 แสดงว่าเป็นแบบทดสอบที่สามารถนำไปใช้ได้

4.2.8 นำแบบทดสอบไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

4.3 แบบวัดความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต

4.3.1 ศึกษาความหมายและทฤษฎี เกี่ยวกับความพึงพอใจจากเอกสารต่างๆ เพื่อจัดทำแบบสอบถามความพึงพอใจ

4.3.2 ศึกษาวิธีสร้างแบบวัดความพึงพอใจจากเอกสารประมวลสาระชุดวิชาการวิจัยหลักสูตร และกระบวนการเรียนการสอน และเอกสารงานวิจัยต่างๆ

4.3.3 สร้างแบบวัดความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต มีลักษณะเป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับคือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด จำนวน 14 ข้อ ข้อคำถามผ่านการตรวจสอบคุณภาพ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ และผู้เชี่ยวชาญด้าน GSP จำนวน 3 ท่าน โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เฉลี่ยเท่ากับ 1.00 ทุกข้อสอดคล้องกับความพึงพอใจที่ต้องการวัด

4.3.4 นำแบบวัดความพึงพอใจไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1 ทดสอบก่อนเรียน กับนักศึกษาที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต ใช้เวลา 1 ชั่วโมง

5.2 ดำเนินการสอน โดยใช้ใบงานและแบบฝึกหัด เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต โดย

การจัดการเรียนรู้ โดยใช้รูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน ใช้เวลาทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง โดยทดลองสอนสัปดาห์ละ 1 วัน วันละ 3 ชั่วโมง จำนวน 4 สัปดาห์

5.3 ทดสอบหลังเรียนด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต ซึ่งเป็นชุดเดียวกันกับแบบทดสอบก่อนเรียนใช้เวลาฉบับละ 1 ชั่วโมง

5.4 ให้นักศึกษาทำแบบวัดความพึงพอใจในการเรียนของผู้เรียน โดยใช้แบบวัดความพึงพอใจหลังจากเรียนโดยใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต ระหว่างก่อนและหลังเรียน จากการใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน นำเสนอตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต ระหว่างก่อนและหลังเรียน จากการใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน

สภาพการณ์	n	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	T	p
ก่อนเรียน	17	20	5.88	1.61	3.327*	0.004
หลังเรียน	17	20	7.59	2.26		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 1 ใช้การทดสอบค่าที (t-test for dependent samples) (ชูศรี, 2553)

เมื่อ D แทน ผลต่างระหว่างคะแนนก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาแต่ละคน

$\sum D$ แทน ผลรวมทั้งหมดของผลต่างระหว่างคะแนนก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาแต่ละคน

$\sum D^2$ แทน ผลรวมทั้งหมดของผลต่างระหว่างคะแนนก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาแต่ละคนยกกำลังสอง

n แทน จำนวนนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง

พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 เรื่องการประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน โดยใช้โปรแกรม GSP มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต โดยใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน กับเกณฑ์ร้อยละ 60 นำเสนอตามตารางที่ 2 ดังนี้

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n - 1}}}$$

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต หลังเรียนจากการใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน กับเกณฑ์ร้อยละ 60

สภาพการณ์	N	คะแนนเต็ม	คะแนนร้อยละ 60	$\bar{X}$	S.D.	T	p
หลังเรียน	17	20	12	7.59	2.26	-8.029	0.00

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 2 ใช้การทดสอบค่าที (t-test for one samples) (ชูศรี, 2553)

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S.D.}{\sqrt{n}}}$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของคะแนนของกลุ่มตัวอย่าง

μ_0 แทน ค่าร้อยละ 60 ของคะแนนเต็มของแบบทดสอบ

S.D. แทน ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

n แทนจำนวนนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง

พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต หลังเรียนจากการใช้โปรแกรม GSP

ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน ไม่สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้สอบถามถึงการเรียนรู้ที่ผ่านมานักศึกษา พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่ไม่ได้ผ่านการเรียนเนื้อหาพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง หรือสัมพันธ์กับแคลคูลัสในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังนั้นคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจึงค่อนข้างต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่นักศึกษาไม่มีพื้นฐานในเรื่องแคลคูลัส

3. ความพึงพอใจของนักศึกษาหลังจากเรียน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต โดยใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน นำเสนอตามตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจในการเรียนของนักศึกษาหลังจากเรียน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต โดยใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ					$\bar{X}$	S.D.
		มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด		
1	นักศึกษาพอใจที่ผู้วิจัยไม่ใช้วิธีสอนแบบบรรยายเนื้อหาเพียงอย่างเดียวให้แก่ นักศึกษา	41.18	52.94	5.88	0.00	0.00	4.35	0.61
2	นักศึกษาชอบความมีอิสระในการเรียนรู้ การมีส่วนร่วมและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนเกี่ยวกับเรื่องที่เรียน	47.06	35.29	17.65	0.00	0.00	4.29	0.77

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ข้อที่	ข้อความ	ระดับความพึงพอใจ					$\bar{X}$	S.D.
		มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด		
3	นักศึกษาชื่นชอบให้ผู้วิจัยเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้ซักถามปัญหาและแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับงานที่ใช้โปรแกรม GSP ประกอบการเรียนการสอน	58.82	23.53	17.65	0.00	0.00	4.41	0.80
4	นักศึกษาพอใจภาพของไฟล์งาน GSP ที่มี ความชัดเจน สวยงาม เข้าใจง่าย และสื่อความหมายได้ตรงตามเนื้อหาช่วยให้การเรียนน่าสนใจมากขึ้น	41.18	41.18	17.65	0.00	0.00	4.24	0.75
5	นักศึกษาพอใจในการใช้โปรแกรม GSP จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน ซึ่งช่วยให้มองเห็นภาพที่เป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น	47.06	35.29	17.65	0.00	0.00	4.29	0.77
6	นักศึกษาพอใจต่อการปฏิบัติกิจกรรมที่มีลำดับขั้นตอนที่เข้าใจง่าย	52.94	29.41	17.65	0.00	0.00	4.35	0.79
7	นักศึกษาพอใจที่ผู้วิจัยส่งเสริมให้นักศึกษาได้ฝึกการคิด วิเคราะห์ และแสวงหาความรู้ในการแก้ปัญหาด้วยตนเอง	41.18	47.06	11.76	0.00	0.00	4.29	0.69
8	นักศึกษามีความกระตือรือร้นและสนุกกับการได้เรียนรู้ด้วยโปรแกรม GSP	35.29	47.06	17.65	0.00	0.00	4.18	0.73
9	จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน โดยใช้โปรแกรม GSP ทำให้นักศึกษามีกำลังใจอยากเรียนคณิตศาสตร์มากขึ้น	29.41	64.71	5.88	0.00	0.00	4.24	0.56
10	นักศึกษาสามารถสรุปเนื้อหาได้ด้วยตนเอง	41.18	41.18	17.65	0.00	0.00	4.24	0.75
11	จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน โดยใช้โปรแกรม GSP เป็นการส่งเสริมบรรยากาศในการเรียนของนักศึกษามากขึ้น	41.18	58.82	0.00	0.00	0.00	4.41	0.51
12	นักศึกษาพอใจในระยะเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมีความเหมาะสม	47.06	29.41	23.53	0.00	0.00	4.24	0.83
13	นักศึกษาพอใจที่ผู้วิจัยมีการวัดและประเมินผลที่หลากหลายวิธี	47.06	35.29	17.65	0.00	0.00	4.29	0.77
14	นักศึกษาเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน แล้วมีความสุขกับการเรียนมากขึ้น	47.06	35.29	17.65	0.00	0.00	4.29	0.77
เฉลี่ยรวม		44.12	41.18	14.70	0.00	0.00	4.29	0.71

จากตารางที่ 3 พบว่า ระดับความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต โดยใช้โปรแกรม GSP ภาพรวมอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ข้อที่ 3 นักศึกษาชื่นชอบให้ผู้วิจัยเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้ซักถามปัญหาและแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับงานที่ใช้โปรแกรม GSP ประกอบการเรียนการสอน ($\bar{X} = 4.41$, S.D. = 0.80) และข้อที่ 11 จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน โดยใช้โปรแกรม GSP เป็นการส่งเสริมบรรยากาศในการเรียนของนักศึกษามากขึ้น ($\bar{X} = 4.41$, S.D. = 0.51) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดและเท่ากันทั้ง 2 ข้อ รองลงมาคือข้อที่ 1 นักศึกษาพอใจที่ผู้วิจัยไม่ใช้วิธีสอนแบบบรรยายเนื้อหาเพียงอย่างเดียวให้แก่ นักศึกษา ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.61) และข้อที่ 6 นักศึกษาพอใจต่อการปฏิบัติกิจกรรมที่มีลำดับขั้นตอนที่เข้าใจง่าย ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.79) มีค่าเฉลี่ยเท่ากันทั้ง 2 ข้อ

ระดับความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต โดยใช้โปรแกรม GSP ภาพรวมอยู่ในระดับมาก เนื่องจากกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ช่วยให้นักศึกษามีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการหาพื้นที่ใต้โค้ง และสามารถกระตุ้นให้นักศึกษาเกิดการค้นคว้าสืบเสาะเพื่อหาคำตอบ อีกทั้งไฟล์ภาพในกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนั้น นักศึกษาสามารถมองเห็นภาพได้ นักศึกษาจึงสามารถที่จะสร้างองค์ความรู้ได้จากกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ได้ด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับ ไพรัช (2556) ที่ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์เพิ่มเติม เรื่อง แคลคูลัส โดยใช้ซอฟต์แวร์ GSP พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์เพิ่มเติม เรื่องแคลคูลัส โดยใช้ซอฟต์แวร์ GSP อยู่ในระดับ

มากและงานวิจัยของ ยูพิน (2557) ที่ได้พัฒนาการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง ภาคตัดกรวย โดยใช้โปรแกรมจีเอสพี (GSP) ที่เน้นการเชื่อมโยงสู่สถานการณ์จริง พบว่า นักเรียนมีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก

4. คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต ก่อนเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 29.40 และหลังเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 37.95 ซึ่งคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากระยะเวลาในการทดลองเป็นระยะเวลาที่สั้น นักศึกษาจึงต้องใช้เวลาในการปรับตัวกับการเรียนเพื่อให้เกิดความคุ้นเคยมากขึ้น และถึงแม้ผู้วิจัยจะใช้โปรแกรม GSP สร้างกราฟให้นักศึกษามองเห็นภาพอย่างเป็นรูปธรรมดีขึ้นแต่ยังไม่มากพอ ดังนั้นหากมีเวลามากกว่านี้ผลการทดลองอาจจะออกมาดีขึ้นซึ่งสอดคล้องกับ อัจฉรา (2560) ที่ได้พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้แบบ 5Es โดยใช้โปรแกรม The Geometer's Sketchpad (GSP) เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

สรุป

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต โดยใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน มีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต โดยใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหา

ความรู้ 5 ขั้นตอน หลังเรียนไม่สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ระดับความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนโดยใช้โปรแกรม GSP ประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เรื่อง การประยุกต์อินทิกรัลจำกัดเขต ภาพรวมอยู่ในระดับมาก

เอกสารอ้างอิง

กิตติพร อัจฉริยะ. 2554. การพัฒนาบทเรียนปฏิบัติการโดยใช้โปรแกรม The Geometer's Sketchpad (GSP) เรื่อง พาราโบลา กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน), มหาวิทยาลัยราชภัฏ.

ชุดิภาณูจน์ สุประดิษฐ์. 2559. การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม GSP เป็นสื่อประกอบ เรื่อง วงรี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา), มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

ชูศรี วงศ์รัตน. 2553. เทคนิคการสถิติเพื่อการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 12. ไทยเนรมิตกิจ อินเตอร์ โปรดักส์, นนทบุรี.

ณัชชาภิญญา วิรัตน์ชัยวรรณ. 2555. ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคการสืบเสาะหาความรู้ (5E) เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จิตวิทยา และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต

(สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน), มหาวิทยาลัยราชภัฏ.

ทิสนา แคมมณี. 2547. ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

บุญชม ศรีสะอาด. 2545. การวิจัยเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 7. สุวีริยาสาส์น, กรุงเทพฯ.

ไพรัช วงศ์ศรีตระกูล. 2556. การจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์เพิ่มเติม เรื่องแคลคูลัส โดยใช้ซอฟต์แวร์ The Geometer's Sketchpad (GSP), น. 1-8. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 51 (สำนักหอสมุด). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยุพิน พลเรือง. 2557. การพัฒนาการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ เรื่องภาคตัดกรวยโดยใช้โปรแกรมจีเอสพี (GSP) ที่เน้นการเชื่อมโยงสู่สถานการณ์จริง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา), มหาวิทยาลัยสารคาม.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). 2546. เรขาคณิต. พิมพ์ครั้งที่ 2. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.

สะอาดศรี คงนิล. 2554. หลักการวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครราชสีมา, นครราชสีมา.

อัจฉรา เหลือผล, เพลินพิศ ธรรมรัตน์ และ พงมาน ชำนาญกิจ. 2560. การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้แบบ 5Es โดยใช้โปรแกรม The Geometer's Sketchpad

(GSP) เรื่อง พื้นที่ผิวและปริมาตร ชั้น
มัธยมศึกษาปีที่ 3. วารสารวิชาการหลักสูตร
และการสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
9(24): 103-114.

การเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ราคาสุกรมีชีวิต

A Comparison of Forecasting Models of Live Swine Price

วารางคณา เรียนสุทธิ*

Warangkhan Riansut *

Received: 20 March 2018, Revised: 21 November 2018, Accepted: 3 May 2019

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือ การเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ราคาสุกรมีชีวิต 4 วิธี ได้แก่ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก โดยใช้ราคาสุกรมีชีวิตเฉลี่ยต่อเดือนจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนมกราคม 2561 จำนวน 157 ค่า ข้อมูลดังกล่าวถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนมิถุนายน 2560 จำนวน 150 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2560 ถึงเดือนมกราคม 2561 จำนวน 7 ค่า สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำสุดและเกณฑ์ราคของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุด ผลการศึกษาพบว่า จากวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดที่ได้ศึกษาวิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุด คือ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ ซึ่งมีตัวแบบพยากรณ์เป็น

$$\hat{Y}_t = \text{Exp}\{Z_{t-1} + Z_{t-12} - Z_{t-13} + 0.464565e_{t-1} - 0.954125e_{t-12} - 0.443253e_{t-13}\} ; Z_t = \ln(Y_t)$$

ด้วยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 8.4164 และราคของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 5.1719

คำสำคัญ: สุกร, วิธีบอกซ์-เจนกินส์, วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง, เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย, ราคของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

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

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

ABSTRACT

The objective of this study is to compare the four forecasting models of live swine price; namely Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method, Brown's exponential smoothing method, and damped trend exponential smoothing method. The live swine average price per month is obtained from the website of Office of Agricultural Economics during January 2005 to January 2018. There are 157 observations and the data are divided into 2 sets. The first set including 150 observations during January 2005 to June 2017 is used to construct the forecasting models. The second set comprising 7 observations during July 2017 to January 2018 is employed to investigate the most suitable forecasting method via the criteria of the lowest mean absolute percentage error (MAPE) and root mean squared error (RMSE). The findings indicate that Box-Jenkins method is the most appropriate and the forecasting model is

$$\hat{Y}_t = \text{Exp}\{Z_{t-1} + Z_{t-12} - Z_{t-13} + 0.464565e_{t-1} - 0.954125e_{t-12} - 0.443253e_{t-13}\}; \quad Z_t = \ln(Y_t)$$

with MAPE is 8.4164 and RMSE is 5.1719.

Key words: Swine, box-jenkins method, exponential smoothing method, mean absolute percentage error

(MAPE), root mean squared error (RMSE)

บทนำ

การเลี้ยงสัตว์สำหรับการบริโภคในปัจจุบัน มักใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ได้เนื้อสัตว์ที่มีคุณภาพดี และมีผลผลิตสูงขึ้น รวมทั้งมีการปรับปรุงการจัดการหลังการฆ่าให้มีมาตรฐานเดียวกัน ทำให้การจำหน่ายเนื้อสัตว์มีมาตรฐาน ผู้บริโภคได้รับความยุติธรรม และได้เนื้อสัตว์ที่มีความสะอาดปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ราคาขายปรับตัวสูงขึ้นกว่าในอดีต โดยเฉพาะเนื้อสุกรซึ่งเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีปริมาณการบริโภคสูงกว่าเนื้อโคและเนื้อกระบือ เนื่องจากสุกรให้ผลผลิตในระยะเวลาสั้นกว่าโคและกระบือ สามารถนำมาประกอบอาหารและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด การเลี้ยงสุกรส่วนใหญ่ใช้เพื่อการบริโภคภายในประเทศ เนื่องจากคนไทยนิยมบริโภคเนื้อสุกรในชีวิตประจำวัน ทั้งนี้การเลี้ยงสุกรมีตั้งแต่การเลี้ยงไว้บริโภคเองในครัวเรือน ไป

จนถึงการเลี้ยงในระดับอุตสาหกรรมรายย่อย และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การเลี้ยงสุกรจึงนับเป็นแหล่งรายได้ที่สำคัญแก่เกษตรกร อย่างไรก็ตาม การทำฟาร์มสุกรยังคงประสบปัญหาทั้งภาวะความผันผวนของราคาและต้นทุนที่สูงขึ้น ทำให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรประสบกับภาวะขาดทุน และบางรายต้องเลิกเลี้ยงสุกรไป (เกษมสุข, 2553) จากข้อมูลของกรมการค้าภายในที่มีการระบุว่าในช่วงเทศกาลตรุษจีนของทุกปี ราคาสุกรมักผันผวนปรับตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีความต้องการสูง ซึ่งราคาจะปรับตัวสูงขึ้นทั้งในส่วนของผู้ค้าส่ง ค้าปลีก และผู้เลี้ยง โดยหลังเทศกาลตรุษจีนราคามักมีแนวโน้มลดลง (Independent News Network, 2556) ด้วยเหตุผลของความแปรปรวนในราคาสุกรจากช่วงเดือนต่างๆ ของแต่ละปี ผู้วิจัยจึงเริ่มสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพยากรณ์ราคาสุกรโดยใช้วิธีการทางสถิติ พบการศึกษาดังนี้ การศึกษาของกมลพรรณ (2556) ได้พยากรณ์ราคาสุกรชำแหละ เนื้อแดง

สะโพก ด้วยวิธีของบอกซ์-เจนกินส์ ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลชุดนี้คือ ตัวแบบ ARIMA(1, 1, 2) การศึกษาของวรางคณา (2557) ได้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ระหว่างวิธีบอกซ์-เจนกินส์และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโสด์สำหรับการพยากรณ์ราคาขายปลีกสุกรชำแหละ เนื้อแดง สะโพก ผลการศึกษาพบว่าวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโสด์มีความเหมาะสมมากกว่าวิธีบอกซ์-เจนกินส์ และการศึกษาของภักฐญา และ จตุภัทร (2560) ได้พยากรณ์ราคาสุกรพันธุ์ลูกผสมด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ ตัวแบบที่ SARIMA(1, 0, 1)(1, 1, 1)₆ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว อย่างไรก็ตาม การศึกษาของกมลพรรณ (2556) และวรางคณา (2557) ได้พยากรณ์ราคาสุกรที่ไม่มีชีวิตเท่านั้น และการศึกษาของภักฐญา และ จตุภัทร (2560) ได้พยากรณ์ราคาสุกรมีชีวิตเฉพาะวิธีบอกซ์-เจนกินส์เท่านั้น ดังนั้นการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพยากรณ์ราคาสุกรมีชีวิตด้วยวิธีการทางสถิติที่หลากหลายนอกเหนือจากวิธีบอกซ์-เจนกินส์ สำหรับหลักการของการพยากรณ์ที่นำมาใช้คือ การใช้ข้อมูลเวลาจากอดีตมาวิเคราะห์หารูปแบบการเปลี่ยนแปลง เพื่อกำหนดแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ค่าอนาคตโดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ การพยากรณ์ราคาสุกรมีชีวิตด้วยการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ 4 วิธี ที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่กำลังศึกษามากที่สุด ได้แก่ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโสด์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก จากนั้นจึงตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ต่ำสุดและเกณฑ์

รากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) ต่ำสุด ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะทำให้ทราบถึงสถานการณ์ แนวโน้ม และความผันแปรตามฤดูกาล จึงนับเป็นอีกหนึ่งมาตรการที่จะช่วยเหลือเกษตรกรเพื่อเป็นจุดเริ่มต้นของการวางแผนการเลี้ยงสุกรและเป็นแนวทางที่ช่วยคาดการณ์ความผันผวนของราคาในอนาคต อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อรัฐบาลในการวางแผนนโยบายเชิงกลยุทธ์ทางการค้าในอนาคตต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยโปรแกรม SPSS version 17 โดยใช้ข้อมูลเวลาราคาสุกรมีชีวิต (บาท/กิโลกรัม) จากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนมกราคม 2561 จำนวน 157 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนมิถุนายน 2560 จำนวน 150 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโสด์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก เนื่องจากวิธีการพยากรณ์ทั้ง 4 วิธีนี้มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้ ซึ่งมีเพียงแนวโน้ม แต่ไม่มีความผันแปรตามฤดูกาล (แสดงรายละเอียดในผลการวิจัยและวิจารณ์ผล) อีกทั้งวิธีการทั้ง 4 นี้ยังมีค่า MAPE และ RMSE ต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ ซึ่งการศึกษานี้ได้พิจารณาวิธีการแยกส่วนประกอบอนุกรมเวลา (Decomposition Method) ทั้งตัวแบบบวก (Additive Model) และตัวแบบคูณ (Multiplicative Model) รวมอยู่ด้วย (แสดงผลการเปรียบเทียบค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1 ในผลการวิจัยและวิจารณ์ผล ตารางที่ 1)

สำหรับข้อมูลชุดที่ 2 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2560 ถึงเดือนมกราคม 2561 จำนวน 7 ค่า ผู้วิจัยจะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างจากข้อมูลชุดที่ 1 โดยใช้เกณฑ์ MAPE และ RMSE ค่าสุด

การตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มี ส่วนประกอบของแนวโน้มหรือไม่ ดำเนินการดังนี้

1. ตรวจสอบข้อสมมุติ (Assumption) คือ อนุกรมเวลาในแต่ละปีมีการแจกแจงปกติหรือไม่ โดยใช้การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมิรโนฟ (Kolmogorov-Smirnov's Test) และตรวจสอบความเท่ากันของความแปรปรวนโดยใช้การทดสอบของ เลวินภายใต้การใช้มัธยฐาน (Levene's Test based on Median)

2. เลือกใช้สถิติสำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาในแต่ละปี โดยถ้าอนุกรมเวลาในแต่ละปีมีการแจกแจงปกติและความแปรปรวนเท่ากัน จะใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ (Parametric Statistics) ซึ่ง คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) แต่ถ้าอนุกรมเวลาในแต่ละปีไม่มีการแจกแจงปกติหรือมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric Statistics) ซึ่งคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดย ลำดับที่ของครัสคาล-วอลลิส (Kruskal-Wallis's One-Way Analysis of Variance by Rank)

การตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีความผันแปรตามฤดูกาลหรือไม่ ดำเนินการดังนี้

1. พิจารณาว่าอนุกรมเวลามีส่วนประกอบของแนวโน้มหรือไม่ ถ้ามีต้องกำจัดแนวโน้มออกก่อนที่จะทดสอบค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาในแต่ละเดือน ซึ่งวิธีการกำจัดแนวโน้มมี 2 วิธี คือ ถ้าพิจารณาที่กราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลาแล้วพบว่าอนุกรมเวลามีการเคลื่อนไหวหรือมีการแกว่งตัวที่ค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป กล่าวได้ว่า

อนุกรมเวลามีความเหมาะสมกับตัวแบบบวกร ควรกำจัดแนวโน้มออกด้วยการลบ แต่ถ้าอนุกรมเวลา มีการเคลื่อนไหวหรือมีการแกว่งตัวที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป กล่าวได้ว่า อนุกรมเวลา มีความเหมาะสมกับตัวแบบคูณ ควรกำจัดแนวโน้มออกด้วยการหาร

2. ตรวจสอบข้อสมมุติ คือ อนุกรมเวลาในแต่ละเดือนหลังจากกำจัดแนวโน้มออกแล้วมีการแจกแจงปกติและความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่ เช่นเดียวกับข้อ 1 ของการตรวจสอบแนวโน้ม

3. เลือกใช้สถิติทดสอบค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาในแต่ละเดือนเพื่อการตรวจสอบความผันแปรตามฤดูกาล โดยมีหลักการเลือกใช้สถิติเช่นเดียวกับข้อ 2 ของการตรวจสอบแนวโน้ม

วิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติทั้ง 4 วิธี แสดงรายละเอียดดังนี้

1. การพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins Method)

ตัวแบบของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ คือ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s แสดงดังสมการที่ (1) (Box et al., 1994)

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

เมื่อ Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

ε_t แทนอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา

$\delta = \mu\phi_p(B)\Phi_p(B^s)$ แทนค่าคงตัว (Constant) โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary)

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

$\Phi_p(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_p B^{ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวอันดับที่ P กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Autoregressive Operator of Order P : SAR(P))

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

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

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_t โดยที่ n_t แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

s แทนจำนวนคาบของฤดูกาล

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

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

ขั้นตอนการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ แสดงรายละเอียดดังนี้

1) พิจารณาอนุกรมเวลาว่ามีลักษณะคงที่หรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา (Y_t, t) ถ้าพบว่า อนุกรมเวลาไม่แนวนิ่งหรือความผันแปรตามฤดูกาล จะสรุปว่าอนุกรมเวลามีลักษณะไม่คงที่ (Non-Stationary) หรือพิจารณาจากกราฟ Autocorrelation Function (ACF) และกราฟ Partial Autocorrelation Function (PACF) ถ้าพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวจากกราฟ ACF และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวบางส่วนจากกราฟ

PACF ตกอยู่นอกขอบเขตความเชื่อมั่นที่กำหนด จะสรุปว่าอนุกรมเวลามีลักษณะไม่คงที่ หากพบว่าอนุกรมเวลาไม่คงที่ ต้องแปลงอนุกรมเวลาให้คงที่ก่อนที่จะทำขั้นตอนต่อไป เช่น การแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างหรือผลต่างฤดูกาล (Difference or Seasonal Difference) ลอการิทึมสามัญหรือลอการิทึมธรรมชาติ (Common Logarithm or Natural Logarithm) (Bowerman and O'Connell, 1993)

2) กำหนดค่าพารามิเตอร์ p, q, P และ Q จากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่มีลักษณะคงที่ พร้อมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ

3) ตัดพารามิเตอร์ที่ไม่มีนัยสำคัญออกจากตัวแบบพยากรณ์ครั้งละ 1 ตัว จากนั้นจึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์และประมาณค่าพารามิเตอร์ใหม่จนกว่าจะได้ตัวแบบพยากรณ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทั้งหมด

4) คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมจากการพิจารณาที่ค่าเกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียน (Bayesian Information Criterion, BIC) ต่ำสุด มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการแจกแจงปกติ ซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมิธ-นอฟ มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยพิจารณาจากกราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบที (t -Test) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบของเลวินภายใต้การใช้มัธยฐาน

5) พยากรณ์อนุกรมเวลา โดยใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดจากขั้นตอนที่ 4

2. การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ (Holt's Exponential Smoothing Method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล มีค่าคงตัวการปรับเรียบ 2 ตัว คือ ค่าคงตัวการปรับเรียบของค่าระดับ (Level: α) และค่าคงตัวการปรับเรียบของค่าความชัน (Trend: γ) ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังสมการที่ (2) (IBM Corporation, 2018)

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

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

a_t และ b_t แทนค่าประมาณ ณ เวลา t แสดงระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้ม ตามลำดับ

โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$ และ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$

α และ γ แทนค่าคงตัวการปรับเรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$ และ $0 < \gamma < 1$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_t โดยที่ n_t แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

หลังจากที่ได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วจะดำเนินการตรวจสอบอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนตามขั้นตอนที่ 4 ของการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

3. การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ (Brown's Exponential Smoothing Method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาลเช่นเดียวกับการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ แต่มีการกำหนดให้ค่าคงตัวการปรับเรียบของค่าระดับและค่าคงตัวการปรับเรียบของค่า

ความชันเท่ากัน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์เป็นกรณีพิเศษของการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังสมการที่ (3) (IBM Corporation, 2018)

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t[(m-1)+1/\alpha] \quad (3)$$

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

a_t และ b_t แทนค่าประมาณ ณ เวลา t แสดงระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้ม ตามลำดับ

โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)a_{t-1}$ และ $b_t = \alpha(a_t - a_{t-1}) + (1-\alpha)b_{t-1}$

α แทนค่าคงตัวการปรับเรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$
 t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_t โดยที่ n_t แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

หลังจากที่ได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วจะดำเนินการตรวจสอบอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนตามขั้นตอนที่ 4 ของการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

4. การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม (Damped Trend Exponential Smoothing Method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาลเช่นเดียวกับการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์และการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงสำหรับวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมจะช้ากว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรงของวิธีการปรับเรียบ

ด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโพลด์ รวมถึงความชันจะมีค่าลดลงตามเวลา ตัวแบบพยากรณ์แสดงดังสมการที่ (4) (IBM Corporation, 2018)

$$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^m \phi^i \quad (4)$$

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

a_t และ b_t แทนค่าประมาณ ณ เวลา t แสดงระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้ม ตามลำดับ

โดยที่ $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + \phi b_{t-1})$ และ

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

α , γ และ ϕ แทนค่าคงตัวการปรับเรียบ โดยที่

$$0 < \alpha < 1, 0 < \gamma < 1 \text{ และ } 0 < \phi < 1$$

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

หลังจากที่ได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วจะดำเนินการตรวจสอบอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนตามขั้นตอนที่ 4 ของการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์

5. การเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้เปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ 4 วิธี คือ วิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโพลด์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ที่สร้างมาจากข้อมูลชุดที่ 1 ซึ่งคือ

อนุกรมเวลาราคาสุกรมีชีวิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนมิถุนายน 2560 โดยนำตัวแบบพยากรณ์ที่ได้มาใช้ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาราคาสุกรมีชีวิตชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2560 ถึงเดือนมกราคม 2561 หลังจากนั้นจะเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลจริงในชุดที่ 2 (Y_t) กับค่าพยากรณ์ ($\hat{Y}_t$) โดยการคำนวณค่า MAPE และ RMSE ซึ่งตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำสุด จัดเป็นตัวแบบที่มีความถูกต้องเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด เกณฑ์ MAPE และ RMSE แสดงดังสมการที่ (5) (สมเกียรติ, 2548) จากนั้นผู้วิจัยจะใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความถูกต้องมากที่สุดในการพยากรณ์ราคาสุกรมีชีวิตตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนธันวาคม 2561 ต่อไป

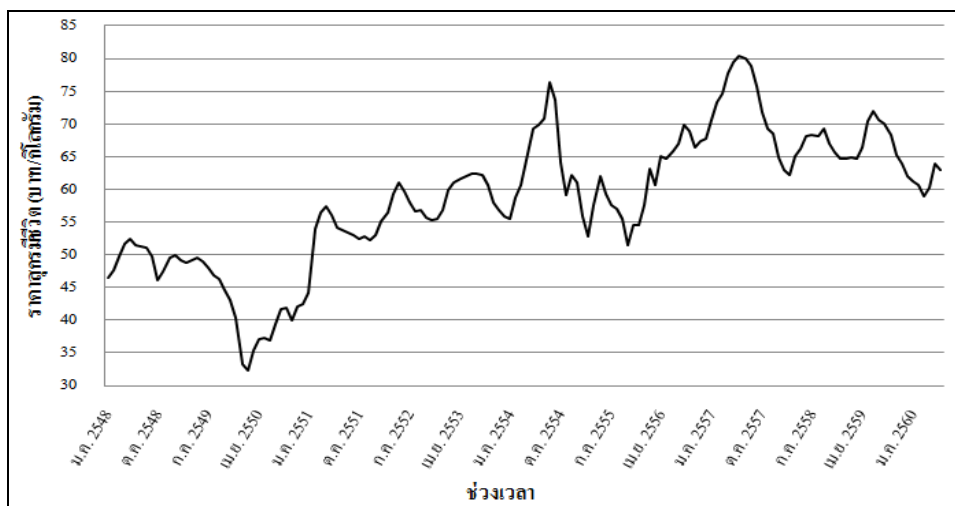
$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \text{ และ } RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} e_t^2} \quad (5)$$

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

Y_t แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา t

$\hat{Y}_t$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_2 โดยที่ n_2 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 2



ภาพที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาราคาสุกรมมีชีวิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนมิถุนายน 2560

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาราคาสุกรมมีชีวิต ชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนมิถุนายน 2560 จำนวน 150 ค่า ดังภาพที่ 1 พบว่า ราคาสุกรมมีชีวิตตั้งแต่ต้นปี 2548 ถึงประมาณกลางปี 2550 มีแนวโน้มลดลง หลังจากนั้นแนวโน้มของราคาเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน และอาจจะมีความผันแปรตามฤดูกาล

เพื่อให้ผลการวิจัยมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาชุดนี้ มีส่วนประกอบของแนวโน้มหรือความผันแปรตามฤดูกาลหรือไม่ด้วยการทดสอบทางสถิติ ดังนี้

เนื่องจากราคาสุกรมมีชีวิตในแต่ละปี ไม่มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงตรวจสอบค่าเฉลี่ยในแต่ละปี โดยใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric Statistics) พบว่า ราคาสุกรมมีชีวิตในแต่ละปี มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Kruskal-Wallis: $\chi^2 = 132.982$, $p\text{-value} < 0.0001$) หมายความว่าอนุกรมเวลาชุดนี้มีส่วนประกอบของแนวโน้ม

เนื่องจากราคาสุกรมมีชีวิตในแต่ละเดือน เมื่อปรับแนวโน้มออกด้วยการลบ (อนุกรมเวลาชุดที่ 1 มีความเหมาะสมกับตัวแบบบวก เนื่องจากมีการแกว่งตัวของข้อมูลที่ค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป จึงปรับแนวโน้มออกด้วยการลบ) มีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนเท่ากัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงตรวจสอบค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือน โดยใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ (Parametric Statistics) พบว่า ราคาสุกรมมีชีวิตในแต่ละเดือน เมื่อปรับแนวโน้มออกด้วยการลบ มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน (ANOVA: $F = 0.567$, $p\text{-value} = 0.853$) หมายความว่า อนุกรมเวลาชุดนี้ไม่มีส่วนประกอบของความผันแปรตามฤดูกาล

เนื่องจากอนุกรมเวลาชุดนี้มีเพียงแนวโน้ม และ ไม่มีความผันแปรตามฤดูกาล ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบอซซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก

ตารางที่ 1 ค่า MAPE และ RMSE ของตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างจากข้อมูลชุดที่ 1

วิธีการพยากรณ์	MAPE (ร้อยละ)	RMSE (บาท/กิโลกรัม)
บอซ-เจนกินส์ รูปแบบที่ 1	<u>2.6111</u>	<u>2.0812</u>
บอซ-เจนกินส์ รูปแบบที่ 2	2.6844	2.1748
โฮลต์	3.1599	2.4158
บราวน	3.2868	2.5994
แคม	2.8357	2.2779
แยกส่วนประกอบแบบบวก	9.1452	6.3628
แยกส่วนประกอบแบบคูณ	9.1431	6.3658

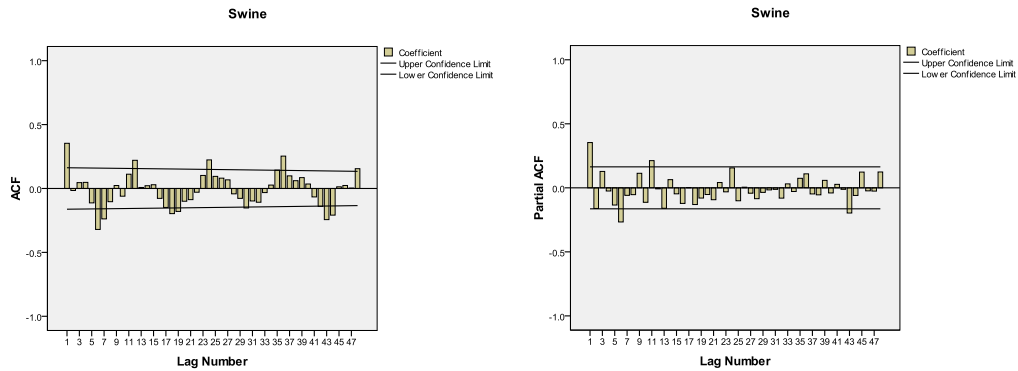
ซึ่งได้ตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีการพยากรณ์ทั้ง 4 วิธีนี้โดยพิจารณาที่ค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1 แล้วพบว่า MAPE และ RMSE มีค่าต่ำกว่าวิธีการพยากรณ์อื่นๆ เช่น วิธีการแยกส่วนประกอบอนุกรมเวลาทั้งตัวแบบบวกและตัวแบบคูณ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่า วิธีบอซ-เจนกินส์ รูปแบบที่ 1 มีค่า MAPE และ RMSE ต่ำสุด กล่าวคือวิธีการพยากรณ์นี้สามารถสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่มีความผิดพลาดจากการพยากรณ์เพียงร้อยละ 2.6111 (MAPE = 2.6111) หรือมีความผิดพลาดจากการพยากรณ์ 2.0812 บาท/กิโลกรัม (RMSE = 2.0812)

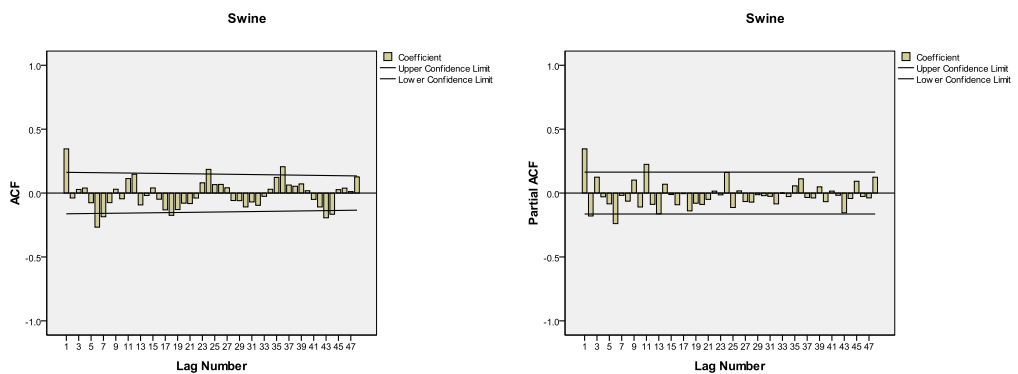
1. ผลการพยากรณ์โดยวิธีบอซ-เจนกินส์

เนื่องจากอนุกรมเวลาราคาสุกรมมีชีวิตมีส่วนประกอบของแนวโน้มอย่างชัดเจน แต่ไม่มีความผันแปรตามฤดูกาล ดังนั้นผู้วิจัยจึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) ได้กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลแล้ว แสดงดังภาพที่ 2

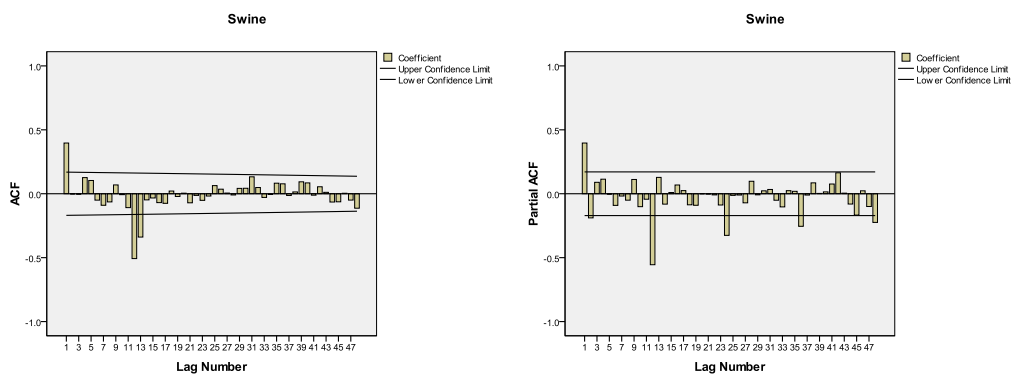
ซึ่งพบว่า กราฟ ACF มีค่าความสัมพันธ์เกินจากขอบเขตที่กำหนดใน Lag ของฤดูกาล (Lag 12, 24, 36 และ 48) ดังนั้นผู้วิจัยจึงแปลงข้อมูลเพิ่มด้วยลอการิทึมธรรมชาติ (ln) ได้กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลแล้ว แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งพบว่าอนุกรมเวลามีลักษณะค่อนข้างคงที่ จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น รูปแบบที่ 1 คือ ตัวแบบ SARIMA(2, 1, 2)(1, 0, 2)₁₂ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยสงสัยว่ากราฟ ACF ในภาพที่ 3 ยังคงมีการเคลื่อนไหวในลักษณะคลื่นไซน์ (Sine Wave) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความผันแปรตามฤดูกาลที่มีอยู่เพียงเล็กน้อย จึงตรวจสอบไม่พบด้วยการทดสอบทางสถิติข้างต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเพิ่มเติมการแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 ($D = 1$) ได้กราฟ ACF และ PACF แสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งพบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ยิ่งขึ้น จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้น รูปแบบที่ 2 คือ ตัวแบบ SARIMA(2, 1, 1)(3, 1, 1)₁₂



ภาพที่ 2 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาราคาสุกรมีชีวิต เมื่อแปลงข้อมูลด้วยผลต่างลำดับที่ 1



ภาพที่ 3 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาราคาสุกรมีชีวิต เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาลอการิทึมธรรมชาติและผลต่างลำดับที่ 1



ภาพที่ 4 กราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาราคาสุกรมีชีวิต เมื่อแปลงข้อมูลด้วยการหาลอการิทึมธรรมชาติ ผลต่างและผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1

ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบที่เป็นไปได้เริ่มต้นจากวิธีบอกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 1 ซึ่งคือ ตัวแบบ SARIMA(2, 1, 2)(1, 0, 2)₁₂ จนได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์ทุกตัวมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 มีค่า BIC ต่ำสุด (BIC = -6.414) และมีค่าสถิติ

Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 23.957, p-value = 0.066) คือ ตัวแบบ SARIMA(0, 1, 1)(1, 0, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงตัวเมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ความคลาด

เคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov $Z = 1.366$, $p\text{-value} = 0.048$) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (แสดงรายละเอียดในภาพที่ 5 ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 99) มีค่าเฉลี่ย

เท่ากับศูนย์ ($t = 0.115$, $p\text{-value} = 0.908$) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 1.361 , $p\text{-value} = 0.199$) ดังนั้นตัวแบบ SARIMA(0, 1, 1)(1, 0, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว มีความเหมาะสม ซึ่งจากการที่ (1) สามารถเขียนเป็นตัวแบบได้ดังนี้

$$\begin{aligned}(1 - \Phi_1 B^{12})(1 - B)Z_t &= (1 - \theta_1 B)(1 - \Theta_1 B^{12})\varepsilon_t \\ (1 - B - \Phi_1 B^{12} + \Phi_1 B^{13})Z_t &= (1 - \Theta_1 B^{12} - \theta_1 B + \theta_1 \Theta_1 B^{13})\varepsilon_t \\ Z_t &= Z_{t-1} + \Phi_1(Z_{t-12} - Z_{t-13}) + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \Theta_1 \varepsilon_{t-12} + \theta_1 \Theta_1 \varepsilon_{t-13}\end{aligned}$$

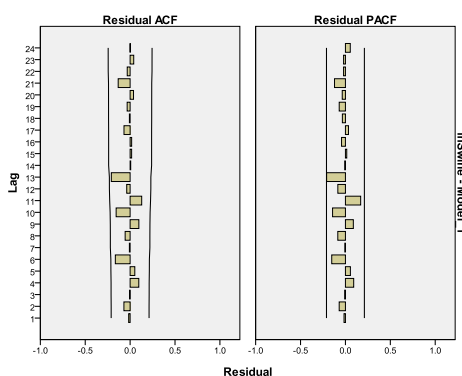
จากการแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 1 แสดงดังนี้

$$\begin{aligned}\hat{Z}_t &= Z_{t-1} + 0.980510(Z_{t-12} - Z_{t-13}) + 0.465773e_{t-1} - 0.899287e_{t-12} - 0.418864e_{t-13} ; Z_t = \ln(Y_t) \\ \text{หรือ} \\ \hat{Y}_t &= \text{Exp}\{Z_{t-1} + 0.980510(Z_{t-12} - Z_{t-13}) + 0.465773e_{t-1} - 0.899287e_{t-12} - 0.418864e_{t-13}\} ; Z_t = \ln(Y_t)\end{aligned}\quad (6)$$

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

Z_{t-j} แทนลอการิทึมธรรมชาติของอนุกรมเวลา ณ เวลา $t-j$

e_{t-j} แทนความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา $t-j$; $e_{t-j} = Z_{t-j} - \hat{Z}_{t-j}$



ภาพที่ 5 กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์โดยวิธี

บอกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ SARIMA (0, 1, 1)(1, 0, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว

ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบที่เป็นไปได้เริ่มต้นจากวิธีบอกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 2 ซึ่งคือ ตัวแบบ SARIMA(2, 1, 1)(3, 1, 1)₁₂ จนได้

ตัวแบบพยากรณ์ที่มีพารามิเตอร์ทุกตัวมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 มีค่า BIC ต่ำสุด (BIC = -6.293) และมีค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

(Ljung-Box Q ณ lag 18 = 23.674, p-value = 0.097) คือ ตัวแบบ SARIMA(0, 1, 1)(0, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติของ ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ (Kolmogorov-Smirnov Z = 1.172, p-value = 0.128) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน (แสดงรายละเอียดในภาพที่ 6 ซึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัว

และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของความคลาดเคลื่อนตกอยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นร้อยละ 99) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ($t = -0.096$, p-value = 0.923) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Levene Statistic = 1.519, p-value = 0.133) ดังนั้นตัวแบบ SARIMA(0, 1, 1)(0, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว มีความเหมาะสม ซึ่งจากสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็น ตัวแบบได้ดังนี้

$$\begin{aligned}(1-B)(1-B^{12})Z_t &= (1-\theta_1 B)(1-\Theta_1 B^{12})\varepsilon_t \\ (1-B^{12}-B+B^{13})Z_t &= (1-\Theta_1 B^{12}-\theta_1 B+\theta_1 \Theta_1 B^{13})\varepsilon_t \\ Z_t &= Z_{t-1} + Z_{t-12} - Z_{t-13} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \Theta_1 \varepsilon_{t-12} + \theta_1 \Theta_1 \varepsilon_{t-13}\end{aligned}$$

จากการแทนค่าประมาณพารามิเตอร์ จะได้ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 2 แสดงดังนี้

$$\hat{Z}_t = Z_{t-1} + Z_{t-12} - Z_{t-13} + 0.464565e_{t-1} - 0.954125e_{t-12} - 0.443253e_{t-13} ; Z_t = \ln(Y_t)$$

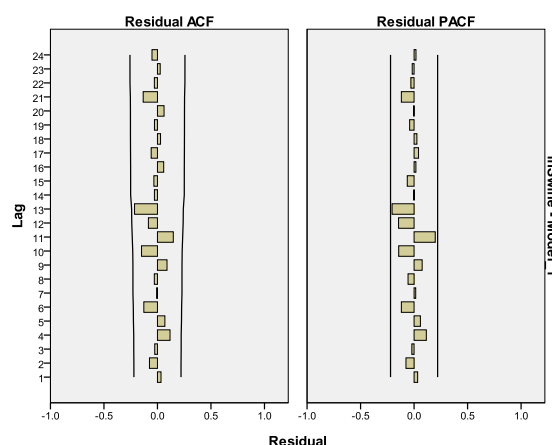
หรือ

$$\hat{Y}_t = \text{Exp}\{Z_{t-1} + Z_{t-12} - Z_{t-13} + 0.464565e_{t-1} - 0.954125e_{t-12} - 0.443253e_{t-13}\} ; Z_t = \ln(Y_t) \quad (7)$$

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

Z_{t-j} แทนลอการิทึมธรรมชาติของอนุกรมเวลา ณ เวลา $t-j$

e_{t-j} แทนความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา $t-j$; $e_{t-j} = Z_{t-j} - \hat{Z}_{t-j}$



ภาพที่ 6 กราฟ ACF และ PACF ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ที่มีตัวแบบ SARIMA (0, 1, 1)(0, 1, 1)₁₂ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว

2. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮสต์

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮสต์ เมื่อแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมธรรมชาติ (ln) พบว่า สถิติ Ljung-Box Q มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 53.968, p-value < 0.0001) นั่นหมายความว่า ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีนี้ไม่มีความเหมาะสม จึงไม่นำเสนอตัวแบบไว้ ณ ที่นี้ รวมถึงจะไม่มีการนำตัวแบบไปพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบค่า MAPE และ RMSE

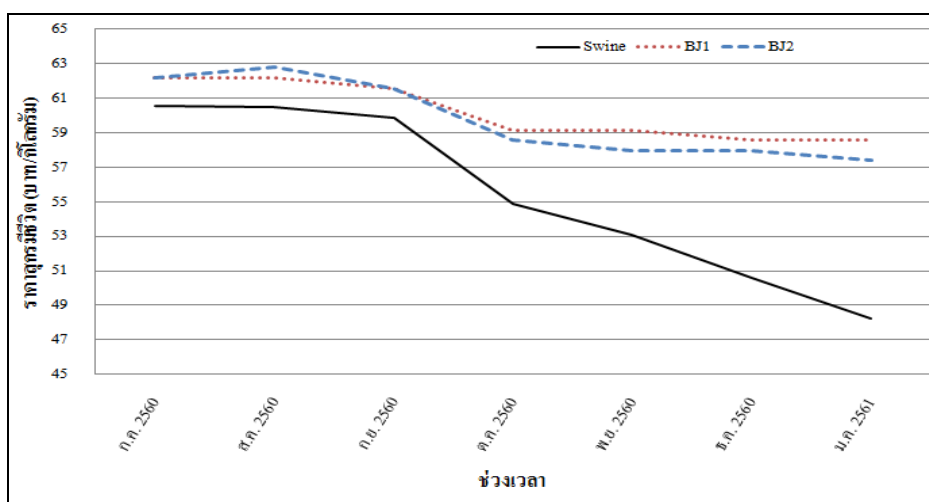
3. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ เมื่อแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมธรรมชาติ (ln) พบว่า สถิติ Ljung-Box Q มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q

ณ lag 18 = 54.762, p-value < 0.0001) นั่นหมายความว่า ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีนี้ไม่มีความเหมาะสม จึงไม่นำเสนอตัวแบบไว้ ณ ที่นี้ รวมถึงจะไม่มีการนำตัวแบบไปพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบค่า MAPE และ RMSE

4. ผลการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก เมื่อแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมธรรมชาติ (ln) พบว่า สถิติ Ljung-Box Q มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (Ljung-Box Q ณ lag 18 = 37.464, p-value = 0.0011) นั่นหมายความว่า ตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีนี้ไม่มีความเหมาะสม จึงไม่นำเสนอตัวแบบไว้ ณ ที่นี้ รวมถึงจะไม่มีการนำตัวแบบไปพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบค่า MAPE และ RMSE



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบราคาสุกรและค่าพยากรณ์จากวิธีการทางสถิติ 2 วิธี

5. ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์

จากการใช้ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 1 ในสมการที่ (6) และตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 2 ใน

สมการที่ (7) ได้ค่าพยากรณ์สำหรับอนุกรมเวลาชุดที่ 2 ซึ่งคือ ราคาสุกรมีชีวิตตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2560 ถึงเดือนมกราคม 2561 แสดงดังภาพที่ 7 ซึ่งพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 1 ให้ค่าพยากรณ์ของราคาสุกรมีชีวิตตั้งแต่

เดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน 2560 ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากกว่าตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 2 แต่หลังจากนั้นตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบอกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 2 ให้ค่าพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์โดยการคำนวณค่า MAPE และ RMSE ในสมการที่ (5) แสดงผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 2 พบว่า วิธีบอกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 2 เป็นวิธีที่มีความถูกต้อง เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการพยากรณ์มากที่สุด เนื่องจากให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำสุด หรือให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด ดังนั้นจึงใช้ตัวแบบพยากรณ์นี้ในการพยากรณ์ราคาสุกกรมี่ชีวิตตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึง

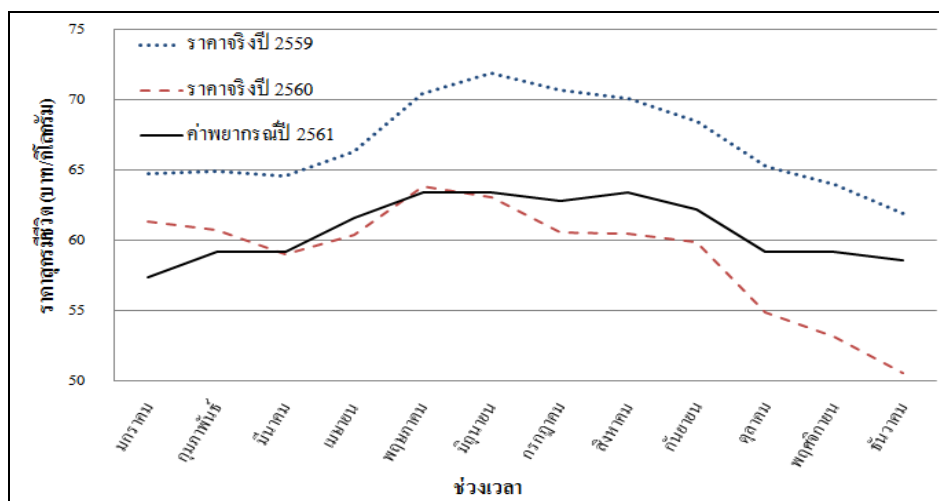
เดือนธันวาคม 2561 ได้ผลแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่า ราคาสุกกรมี่ชีวิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนสิงหาคม หลังจากนั้นแนวโน้มของราคาจะเป็นไปในทิศทางลดลง โดยในเดือนกุมภาพันธ์ 2561 ราคาสุกกรมี่ชีวิตมีค่าประมาณ 59.15 บาท/กิโลกรัม ในเดือนมิถุนายน 2561 ราคาสุกกรมี่ชีวิตมีค่าประมาณ 63.43 บาท/กิโลกรัม และในเดือนธันวาคม 2561 ราคาสุกกรมี่ชีวิตมีค่าประมาณ 58.56 บาท/กิโลกรัม เมื่อใช้ค่าพยากรณ์ในปี 2561 จากวิธีบอกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 2 เปรียบเทียบกับราคาสุกกรมี่ชีวิตปี 2559 และ 2560 พบว่า ราคาสุกกรมี่ชีวิตปี 2560 และปี 2561 ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก แต่มีแนวโน้มต่ำกว่าปี 2559 ดังภาพที่ 8

ตารางที่ 2 ค่าจริงและค่าพยากรณ์ของราคาสุกกรมี่ชีวิต (บาท/กิโลกรัม) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2560 ถึงเดือนมกราคม 2561

ช่วงเวลา	ราคาสุกกรมี่ชีวิต	ราคาสุกกรมี่ชีวิต จากการพยากรณ์โดยวิธี	
		บอกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 1	บอกซ์-เจนกินส์ รูปแบบที่ 2
ก.ค. 2560	60.53	62.18	62.18
ส.ค. 2560	60.50	62.18	62.80
ก.ย. 2560	59.86	61.56	61.56
ต.ค. 2560	54.89	59.15	58.56
พ.ย. 2560	53.10	59.15	57.97
ธ.ค. 2560	50.55	58.56	57.97
ม.ค. 2561	48.22	58.56	57.40
MAPE (ร้อยละ)		9.2451	8.4164
RMSE (บาท/กิโลกรัม)		5.7791	5.1719

ตารางที่ 3 ค่าพยากรณ์ของราคาสุกรมีชีวิด (บาท/กิโลกรัม) ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนธันวาคม 2561

ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์	ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์	ช่วงเวลา	ค่าพยากรณ์
ก.พ. 2561	59.15	มิ.ย. 2561	63.43	ค.ค. 2561	59.15
มี.ค. 2561	59.15	ก.ค. 2561	62.80	พ.ย. 2561	59.15
เม.ย. 2561	61.56	ส.ค. 2561	63.43	ธ.ค. 2561	58.56
พ.ค. 2561	63.43	ก.ย. 2561	62.18		



ภาพที่ 8 แนวโน้มของราคาสุกรมีชีวิดปี 2559 ถึงปี 2561

จากการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างจากข้อมูลชุดที่ 1 โดยการนำตัวแบบมาพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 พบว่า วิธีบอซซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบพยากรณ์รูปแบบที่ 2 มีค่า MAPE และ RMSE ต่ำสุด กล่าวคือ วิธีการพยากรณ์นี้สามารถสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่มีความผิดพลาดจากการพยากรณ์เพียงร้อยละ 8.4164 ($MAPE = 8.4164$) หรือมีความผิดพลาดจากการพยากรณ์ 5.1719 บาท/กิโลกรัม ($RMSE = 5.1719$) ซึ่งเมื่อพิจารณาเฉพาะข้อมูลชุดที่ 1 พบว่า วิธีบอซซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบพยากรณ์รูปแบบที่ 1 มีค่า MAPE และ RMSE ต่ำสุด ($MAPE = 2.6111$, $RMSE = 2.0812$) อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้วิธีบอซซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบพยากรณ์รูปแบบที่ 1 ในการพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 พบว่า วิธีการนี้มีค่า MAPE และ RMSE สูงกว่าวิธีบอซซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบพยากรณ์รูปแบบที่ 2 เพียงเล็กน้อย ($MAPE = 9.2451$,

$RMSE = 5.7791$) เป็นที่น่าสังเกตว่าวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังทั้ง 3 วิธี ซึ่งได้แก่ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ไม่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่น่าสนใจในครั้งนี เนื่องจากไม่ผ่านข้อสมมุติของการสร้างตัวแบบ ผลการศึกษารังนี้สอดคล้องกับการศึกษาของกมลพรรณ (2556) และการศึกษาของภัญญา และ จตุภัทร (2560) ที่พบว่า วิธีของบอซซ์-เจนกินส์ให้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด แต่ขัดแย้งกับการศึกษาของวรารคณา (2557) ที่พบว่า วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์มีความเหมาะสมมากกว่าวิธีบอซซ์-เจนกินส์ อาจเนื่องมาจากอนุกรมเวลาที่น่าสนใจเป็นข้อมูลคนละชุด กล่าวคือ วรารคณา (2557) ศึกษาราคาขายปลีกสุกรชำแหละ

เนื้อแดง สะโพก แต่การศึกษากครั้งนี้ศึกษาราคาสุกรมีชีวิต อีกทั้งยังเป็นการศึกษาอนุกรมเวลาคนละช่วงเวลา อย่างไรก็ตาม หากมีข้อมูลในอนาคตเพิ่มเติม ผู้วิจัยแนะนำว่าควรนำวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังมาทดลองสร้างตัวแบบอีกครั้ง รวมถึงควรพิจารณาวิธีการพยากรณ์อื่นๆ ด้วย เช่น วิธีการแยกส่วนประกอบอนุกรมเวลา เนื่องจากผลการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่า วิธีบอซซ์-เจนกินส์เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด อาจจะไม่ใช่วิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับการพยากรณ์ราคาสุกรมีชีวิตตลอดไป เพราะราคาสุกรมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เนื่องจากสถานการณ์การผลิต สถานการณ์ตลาด ปริมาณความต้องการบริโภคภายในประเทศ สภาวะเศรษฐกิจ นโยบายการค้า-การส่งออกระหว่างประเทศ หรือปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นเมื่อมีราคาสุกรมีชีวิตที่เป็นปัจจุบันมากขึ้น ผู้วิจัยควรนำมาปรับปรุงตัวแบบ เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ใหม่ที่มีความถูกต้อง เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการพยากรณ์ค่าในอนาคตต่อไป

สรุป

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคาสุกรมีชีวิต โดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนมกราคม 2561 จำนวน 157 ค่า ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนมิถุนายน 2560 จำนวน 150 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบอซซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ชุดที่ 2 คือข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2560 ถึงเดือนมกราคม 2561 จำนวน 7 ค่า

สำหรับการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ค่าสุดและเกณฑ์รากของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ค่าสุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีบอซซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบพยากรณ์รูปแบบที่ 2 เป็นวิธีที่มีความถูกต้อง เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการพยากรณ์มากที่สุด โดยมีตัวแบบพยากรณ์เป็น

$$\hat{Y}_t = \text{Exp}\{Z_{t-1} + Z_{t-12} - Z_{t-13} + 0.464565e_{t-1} - 0.954125e_{t-12} - 0.443253e_{t-13}\}$$

เมื่อ $Z_t = \ln(Y_t)$

เอกสารอ้างอิง

- กมลพรรณ เกลิมวงศ์. 2556. การพยากรณ์ราคาสุกรมีชีวิตเนื้อแดงสะโพก ด้วยวิธีของบอซซ์-เจนกินส์. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- เกษมสุข เอ็งเจริญ. 2553. การศึกษาโอกาสของธุรกิจฟาร์มสุกรพันธุ์ในจังหวัดฉะเชิงเทรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ภักฐญา สิทธิสร และ จตุภัทร เมฆพ่าย. 2560. การพยากรณ์ราคาสุกรพันธุ์ลูกผสมด้วยวิธีบอซซ์-เจนกินส์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. รัษฎา 7(2): 206-217.
- วรางคณา กิรติวิบูลย์. 2557. การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ระหว่างวิธีบอซซ์-เจนกินส์และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์สำหรับการพยากรณ์ราคาขายปลีกสุกรชำแหละ เนื้อแดง สะโพก. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 42(3): 532-543.
- สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. 2548. เทคนิคการพยากรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. **ราคาสินค้าเกษตรที่เกษตรกรขายได้ ณ ไร่นา.**

แหล่งที่มา : <http://www.oae.go.th/tableofpriceindex.html>, 20 กุมภาพันธ์ 2561.

Bowerman, B.L. and O'Connell, R.T. 1993.

Forecasting and Time Series: An Applied Approach 3rd ed. Duxbury Press, California.

Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C. 1994.

Time Series Analysis: Forecasting and Control 3rd ed. Prentice Hall, New Jersey.

IBM Corporation. 2018. **IBM SPSS Statistics**

Information Center. Available Source:

<http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/ssstat/v20r0m0/index.jsp?>, March 17, 2018.

Independent News Network. 2556. **กรมการค้าภายใน**

ชี้ราคาหมูตรุษจีนผันผวน. แหล่งที่มา:

<http://www.innnews.co.th/shownews/show?newscode=431021>, 17 มีนาคม 2561

ไขเคลือบผลไม้ย่อยสลายได้ที่ผลิตจากไขมันที่แยกได้ จากน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม

Formulating of Fruit Coating Wax by Using Fat from Palm Oil Industrial Wastewater as Raw Materials

จุฑามณี แสงสว่าง^{1*} อรอนงค์ ผิวนิล^{1,2} เกษม จันทรแก้ว^{1,2} ไพบุญ ประพฤติธรรม^{1,2} ศรีนยา คุณะดิลก³
และ วัลลภ อารีรบ⁴

Juthamane Sangsawang^{1*}, Onanong Phewnil^{1,2}, Kasem Chunkao^{1,2}, Paiboon Prabuddham^{1,2},
Sarunya Khunandilok³ and Wallop Arirop⁴

Received: 3 July 2018, Revised: 30 October 2018, Accepted: 22 November 2018

บทคัดย่อ

ไขมันที่แยกได้จากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มถูกแยกออกมาโดยการหมุนเหวี่ยงในอัตราส่วนระหว่างน้ำเสียต่อกรดอะซิติก 5% เท่ากับ 3:1 ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ได้ส่วนผสมที่แยกตัวออกเป็น ชั้นบนสุด คือ ชั้นไขมัน ชั้นกลาง คือ ชั้นของเหลว และชั้นล่างสุด คือ ชั้นตะกอน นำไขมันชั้นบนสุดออกมาทำความสะอาดโดยการหมุนเหวี่ยงในอัตราส่วนไขมันต่อน้ำเปล่า เท่ากับ 1:1 ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที 3 ชั่วโมง นำส่วนผสมที่แยกชั้นแล้วแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แยกไขมันที่ทำความสะอาดแล้วออกมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ (TH-ENV wax) ความเข้มข้นของเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn) ลดลงเมื่อหมุนเหวี่ยง แต่ความเข้มข้นของทองแดง (Cu) และอลูมิเนียม (Al) เพิ่มขึ้น เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับ

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

¹ Department of Environmental Science, Faculty of Environment, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

² โครงการวิจัยและพัฒนาแหลมผักเบี้ยในพระราชดำริฯ มูลนิธิชัยพัฒนา เพชรบุรี 76100

² The King's Royal Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Chaipattana Foundation, Petchaburi 76100, Thailand.

³ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

³ Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

⁴ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

⁴ Department of Botany, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): pangjung@yahoo.com Tel: 08 0935 2892

กับในไขมันที่แยกได้ก่อนทำความสะอาด มีความเข้มข้นลดลงอย่างมากโดยเหลือลดลง 65.34% เมฆกานีสลดลง 67.99% ทองแดงลดลง 69.73% และสังกะสีลดลง 25.64% ส่วนอนุภาคน้ำมันไม่ถือว่าเป็นโลหะหนักที่มีพิษ นำไขมันที่ผ่านการล้างทำความสะอาดมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ TH-ENV wax ที่มีส่วนผสม ได้แก่ ไขมันที่แยกได้จากน้ำเสีย 30% สารสกัดใบสาบเสือ 5% แป้งท้าวยายหม่อมละลายน้ำในอัตราส่วน 3:1 10% โคลิซาน 5% น้ำ 50% และเติม Triton X-100 จำนวน 10 หยด ต่อส่วนผสม 200 มิลลิลิตร เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของ TH-ENV wax ต่อการยับยั้งการสุกของตัวอย่างกล้วย โดยศึกษาค่าเฉลี่ย CO_2 และค่าเฉลี่ย C_2H_4 ที่ตัวอย่างกล้วยปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมงทั้งกล้วยที่มีระยะการจัดเก็บทั้ง 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ผลจากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการปลดปล่อย CO_2 และ C_2H_4 ของ TH-ENV wax ไม่แตกต่างจาก Commercial wax อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 เมื่อจัดเก็บไว้ 5 วัน มีการเสื่อมสภาพ มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผิวเปลือกและการเพิ่มขึ้นของความนิ่มของเนื้อผลไม้มากขึ้นในกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax ยังไม่เริ่มเสื่อมสภาพ ส่วนกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax เริ่มเสื่อมสภาพในวันที่ 3

คำสำคัญ: ปาล์ม, น้ำเสีย, ไขมัน, ไขเคลือบผลไม้

ABSTRACT

Grease in palm oil industry's wastewater was collected using grease trap. Fat was separated from grease in wastewater by mixing acetic acid 5% (3:1), 3,000 rpm, 15 minutes centrifugation. Three layers were formed: fat, liquid and sludge. Fat was collected and cleaned by centrifugation with pure water at 3,000 rpm speed, 15 minutes, 3 times. Metallic contaminants in wastewater, crude fat and cleaned fat were tested. The results showed that Fe, Mn and Zn were decreased after centrifugation, while Cu and Al were increased. After cleaning processes Fe, Mn, Cu and Zn were greatly decreased. Al in cleaned fat was considered as nontoxic metal. Cleaned fat was used as raw materials of fruit coating wax (TH-ENV wax). Product of this study is TH-ENV wax, a bilayer composite wax. Ingredients were fat, Siam weed extracts, Tacca's starch in water (3:1), chitosan and water (30, 5, 10, 5, 50 % v/v respectively). Triton X-100 was emulsifier. Wax efficiencies were tested on banana. Gas chromatography was investigated to study on CO_2 and C_2H_4 released from banana fruit per hour at day 1, day 3 and day 5. The results showed that no significantly difference in releasing of CO_2 and C_2H_4 from TH-ENV wax coated, commercial wax coated and unwaxed banana ($\alpha = 0.01$). At day 5 of storage deterioration, change in peel color, change in peel texture, an increase in pulp softness were found in the TH-ENV coated bananas while no deterioration, change in peel color, peel texture, and pulp firmness were observed in commercial wax coated bananas. Unwaxed bananas (control) began deteriorating at day 3 of storage.

Key words: palm, wastewater, fat, coating wax, TH-ENV wax

บทนำ

ไขเคลือบผลไม้มีความสำคัญต่อการยืดอายุการจัดเก็บผลไม้ไว้ให้นานขึ้นสมบัติในการขวางกั้นการแพร่ของก๊าซของสารเคลือบผิวผลไม้ ทั้งการยับยั้งการแพร่ของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เทลีน และสารระเหยมีส่วนจำเป็นในการชะลอการหายใจซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างภายในกับสิ่งแวดล้อม การเคลือบผลไม้เป็นการควบคุมหรือปรับปรุงสภาวะแวดล้อมภายในของผักผลไม้ระหว่างการเก็บรักษาอย่างไรก็ตามการใช้ edible coating จะทำให้เกิดกลิ่นแอลกอฮอล์ได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการหายใจแบบไร้ออกซิเจน และการมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไปและขาดแคลนออกซิเจน การเลือกวัสดุเคลือบผิวผลไม้ที่มีความเหมาะสมในการแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นสิ่งสำคัญต่อการเก็บรักษาผลไม้ นอกจากนี้การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นยังมีผลต่อความสดของผลไม้เนื่องมาจากการแลกเปลี่ยนก๊าซและการหายใจ (Smock, 1940; Ben-Yehoshua, 1969) บทบาทหลักของ edible coating คือการชะลออัตราการหายใจในช่วงการเก็บรักษาผลไม้ ยืดอายุการจัดเก็บ รักษาความแน่นของเนื้อผลไม้และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Vu *et al.*, 2011) ปัจจุบันมีสูตรไขเคลือบผลไม้หลากหลายรูปแบบ เช่น เรซินแวกซ์ ลิพิดอิมัลชัน แวกซ์ พาราฟินแวกซ์ หรือแวกซ์ที่ไม่อันตรายต่อผู้บริโภค (edible wax) ได้แก่ กลุ่ม hydrophobic base เช่น lipid base กลุ่ม hydrocolloid หรือ hydrophilic เช่น polysaccharide base หรือ protein base หรือกลุ่มผสมระหว่างสองกลุ่มแรก หรือ composite base เช่น lipid/polysaccharide composite wax เป็นต้น (Hall, 1981; Warriner *et al.*, 2009; Han and Gennodios, 2014) แหล่งของไขมันที่นำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต edible wax มีหลากหลาย เช่น ไขจากคานูบา นอกจากแหล่งไขมันจากสิ่งมีชีวิตโดยตรงแล้ว การ

วิจัยครั้งนี้ยังมีการนำไขมันจากของเสียภาคอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ ที่เป็น edible wax ประเภท composite base (lipid/polysaccharide) ใช้ชื่อว่า “TH-ENV wax” เนื่องจากปาล์มน้ำมันครองส่วนแบ่ง 5% ของพื้นที่ปลูกพืชน้ำมันของโลก และครองส่วนแบ่งปริมาณการผลิตน้ำมันถึง 36% ของปริมาณการผลิตน้ำมันพืชของโลก (Petchseechoung, 2017) น้ำมันปาล์มถูกใช้เป็นน้ำมันปรุงอาหารและเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกอย่างกว้างขวาง ทำให้อุปสงค์ของน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นมากในตลาดโลก อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มพยายามที่จะตอบสนองต่ออุปสงค์ของน้ำมันปาล์มในตลาดโลก จึงเร่งเพิ่มปริมาณการผลิต ซึ่งเป็นเหตุให้ของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพิ่มปริมาณขึ้นด้วย ในทุกๆ ขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มเกิดของเสียหลายชนิดในปริมาณมาก น้ำเสียเป็นของเสียหลักของอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม กระบวนการต่างๆ ในการผลิตน้ำมันปาล์มก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณมาก ตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบไปจนถึงการล้างทำความสะอาดเครื่องจักรต่างๆ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มเป็นส่วนผสมของน้ำที่ใช้ในการควบแน่น น้ำที่แยกออกมาจากตะกอนและน้ำหล่อเย็นในระบบ hydrocyclone ในอัตราส่วน 9 : 15 : 1 ตามลำดับ การผลิตน้ำมันปาล์มดิบปริมาณ 1 ตันก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณ 2.6-3.3 ลูกบาศก์เมตร (Pleanjai *et al.*, 2007; Van-Zutphen and Wijibrans, 2011; Ahmad *et al.*, 2003) น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มมีลักษณะขุ่น สีน้ำตาล มีสารแขวนลอยและสารคอลลอยด์ละลายปนอยู่มาก เป็นน้ำเสียที่มีองค์ประกอบซับซ้อน มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เช่น ไขมัน เศษผงฝุ่น โลหะ โลหะหนัก รวมทั้งไขมัน (oil and grease) เป็นต้น ไขมันที่มีอยู่ปริมาณมากในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มเป็นปัญหาอย่างมากในการชักชวน

ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยจะลอยขึ้นมาบนผิวน้ำแล้วเป็นฟิล์มปิดกั้นระหว่างน้ำและอากาศทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียขาดประสิทธิภาพ ในส่วนของ grease จะเป็นโมเลกุลที่มีโครงสร้างคล้ายฟองน้ำของน้ำมันพืชล้อมรอบแกนซึ่งเป็นโลหะ grease ในน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเป็นสารคอลลอยด์กึ่งเหลวกึ่งแข็ง (semi-solid colloid) ที่กระจายอยู่ในของเหลว ชนิดของ grease จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างขององค์ประกอบ โมเลกุลของ grease มีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ ไขมัน หรือ base oil ที่มีกรดไขมัน (fatty acid) หลากหลายชนิด ซึ่ง base oil จำแนกได้เป็น 2 แบบ คือ mineral base oil ซึ่งเป็นน้ำมันจากแร่ธาตุ และ vegetable base oil ซึ่งเป็นน้ำมันจากพืช ส่วนที่สอง เป็นแกนกลางของโมเลกุล มี 3 ประเภท คือ metallic soap, organic thickener-clay (silica skeleton) และ non-soap thickener เช่น แแกนโพลิยูเรีย บางครั้งอาจเกิดเป็นแกนผสมของ soap-salt ก็ได้ ส่วนสุดท้าย คือ สารอื่นๆ ที่ปะปนอยู่ในโมเลกุล grease (Adhvaryu *et al.*, 2005) ไขมันที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในส่วน base oil ของโมเลกุล grease จากน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการนำมาแปรสภาพใหม่เพื่อใช้ประโยชน์ (recycle) สอดคล้องกับหลักการ zero waste หรือการเปลี่ยนของเสียให้กลายเป็นทรัพยากร ซึ่งไม่เพียงแต่จะช่วยแก้ปัญหาของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม แต่ยังสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสิ่งที่เรียกว่าของเสียได้ สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการนำไขมันที่แยกได้จาก grease ในน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ (TH-ENV wax) และศึกษาประสิทธิภาพไขเคลือบผลไม้ต่อกลิ้นน้ำว่าหลังการเก็บเกี่ยว

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มผสมกับกรดอะซิติก 5% ในอัตราส่วน 3:1 ถูกลำมาหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ล้างทำความสะอาดไขมันอีก 3 ครั้ง โดยผสมไขมันที่แยกได้กับน้ำในอัตราส่วน 1:1 หมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที นำไปแช่ในอุณหภูมิ 4 °C แยกไขมันที่อยู่ส่วนบนสุดของสารละลายออกมาเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้

2. การตรวจการปนเปื้อน

นำน้ำเสีย ไขมันที่แยกได้ และไขมันที่ทำความสะอาดแล้วตรวจวัดค่าการปนเปื้อนของโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และอลูมิเนียม (Al) โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS (flame technique AAS) การเตรียมตัวอย่างใช้วิธี wet digestion method ใช้ HNO_3 : HClO_4 (2:1) เป็น digestive agent

3. การพัฒนาสูตรไขเคลือบผลไม้ TH-ENV wax

ไขเคลือบผลไม้ที่พัฒนาขึ้นมา ใช้ชื่อว่า TH-ENV wax เป็น bilayer composites fruit coating wax ประเภท lipid/polysaccharides มีส่วนผสม ได้แก่ ไขมันที่แยกได้จากน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม แป้งข้าวเหนียว ไคโตซาน สารสกัดใบสาบเสือ น้ำ และ triton X-100 การนำ TH-ENV wax ไปใช้เป็น coating wax โดยทำความสะอาดผิวของผลไม้ทั้งไว้ให้แห้ง ใช้แปรงจุ่มในสารละลาย coating wax ที่เตรียมไว้ ทาผิวของผลไม้ให้ทั่ว หลังจากเคลือบแล้วปล่อยให้แห้ง และทำการเคลือบซ้ำ 2 รอบ

4. การทดสอบประสิทธิภาพของไขเคลือบผลไม้

ในการทดสอบประสิทธิภาพของไขเคลือบผลไม้ ทดสอบในตัวอย่างกล้วยน้ำว้าที่มีอายุเท่าๆ กัน

โดยเปรียบเทียบกล้วยซึ่งเคลือบด้วย TH-ENV wax กับกล้วยซึ่งเคลือบด้วยไขเคลือบผลไม้ในท้องตลาด (commercial wax) และกล้วยซึ่งไม่ได้เคลือบผิว (unwaxed) พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ในการทดสอบประสิทธิภาพของไขเคลือบผลไม้ในการวิจัยนี้ ได้แก่ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ที่ผลไม้ปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมง การทดสอบการเสื่อมสภาพจากการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ผิวเปลือกและการเพิ่มขึ้นของความนิ่มของเนื้อผล

1) การศึกษาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเอทิลีน (C_2H_4) ที่กล้วยปล่อยออกมาด้วยเทคนิค GC (Gas Chromatography) โดยแบ่งกล้วยตัวอย่างออกเป็นสามส่วน ได้แก่ กล้วยซึ่งเคลือบด้วย TH-ENV wax (TR1_1 ถึง TR1_10) กล้วยซึ่งเคลือบด้วย commercial wax (TR2_1 ถึง TR2_10) และกล้วยซึ่งไม่ได้เคลือบผิวเปลือก (CR_1 ถึง CR_10) จัดเก็บในอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน จากนั้นนำมาบรรจุในกล่องสุญญากาศเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการดูดอากาศภายในกล่องสุญญากาศด้วยเข็มฉีดยาขนาด 10 ml ฉีดอากาศที่ดูดได้ใส่ในขวดตัวอย่างซึ่งอยู่ภายใต้ น้ำเกลืออิมมัวส์ที่มีความเข้มข้นของเกลือ 13 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร วัดค่าปริมาณ CO_2 ด้วยเทคนิค Gas Chromatography เปรียบเทียบในแต่ละ Treatment ของแต่ละช่วงเวลา ใช้แผนการทดลองแบบ factorial experiment แบบ 2×3 ที่มี 2 ตัวแปร คือ วิธีการจัดเก็บ (เคลือบ coating wax/ไม่เคลือบ coating wax) และระยะเวลาในการจัดเก็บ (1 วัน 3 วัน 5 วัน)

2) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสี (color) และลักษณะผิว (texture) ของเปลือกและความนิ่มของเนื้อผลไม้ นำตัวอย่างกล้วยมาทำการทดลองโดยแบ่งตัวอย่างออกเป็นสามส่วน ได้แก่ กล้วยที่เคลือบด้วย coating wax ที่ผลิตจากไขมันจากบ่อน้ำคั้น

เสียโรงงานน้ำมันปาล์ม หรือ TH-ENV wax (TR1) กล้วยที่เคลือบด้วย coating wax ที่มีขายในท้องตลาด หรือ commercial wax (TR2) และกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax หรือ control (CR) มาสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะผิวของเปลือกกล้วย บันทึกการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา ใช้แผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ที่มี 2 ตัวแปร คือ วิธีการจัดเก็บ (เคลือบ coating wax/ไม่เคลือบ coating wax) และระยะเวลาการจัดเก็บ (1 วัน 3 วัน 5 วัน)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ CO_2 และปริมาณ ethylene (C_2H_4) ที่ผลไม้ปล่อยออกมาโดยใช้ค่าสถิติ Independent T-test

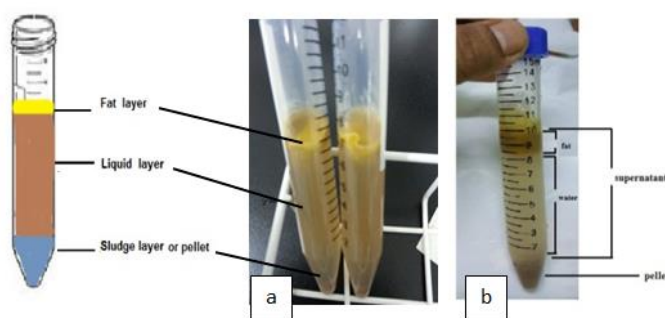
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การเตรียมวัตถุดิบ

เมื่อทำการแยกไขมันออกจากในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มโดยการหมุนเหวี่ยง ใช้ตัวทำละลายเป็นกรดอะซิติก 5% ในอัตราส่วนระหว่างน้ำเสียดูดกรดอะซิติก 5% เท่ากับ 3:1 หมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ภายหลังการหมุนเหวี่ยงส่วนผสมจะแยกตัวออกเป็น 3 ชั้น ชั้นบนสุด คือ ชั้นไขมัน (fat layer) ชั้นกลาง คือ ชั้นของเหลว (liquid layer) และชั้นล่างสุด คือ ชั้นตะกอน (sludge หรือ pellet) (ภาพที่ 1a) แยกเอาไขมันชั้นบนสุดออกมาทำความสะอาดโดยการหมุนเหวี่ยงด้วยน้ำเปล่า ในอัตราส่วนไขมันต่อน้ำเปล่า เท่ากับ 1:1 ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จำนวน 3 ชั่วโมงที่ได้จะมีสีเหลืองอมน้ำตาล ตะกอนที่ตกลงรวมตัวกันข้างล่างจะมีสีน้ำตาลดำ นำส่วนผสมที่แยกชั้นแล้วแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไขมันจะลอยขึ้นรวมตัวอยู่ข้างบนสุดด้วยคุณสมบัติที่ไม่มีขั้ว

(non-polar) และไม่ละลายน้ำ (ภาพที่ 1b) แยกไขมันที่ทำความสะอาดแล้วออกมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโकेลือบผลไม้ (TH-ENV wax) ในชีวมวล (biomass) ของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม มีไขมันเป็นองค์ประกอบถึง 39.9% (Nur *et al.*, 2017) การแยกไขมันออกจากน้ำเสียด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยง (centrifugation) ด้วยตัวทำละลายที่ไม่มีความเป็นพิษ เป็นวิธีการทางกายภาพที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและไม่มีการตกค้างของตัวทำละลายใน

ไขมันที่จะนำไปใช้ประโยชน์ การหมุนเหวี่ยงใช้แรง centrifugal force หรือ g-force เพื่อแยกสารแขวนลอยออกจากตัวกลาง (Rickwood and Graham, 2001) ไขมันในน้ำเสียยังสามารถล้างทำความสะอาดได้โดยการหมุนเหวี่ยงด้วยน้ำ ไขมันจะลอยขึ้นบนผิวหน้าเป็นครีมีสีเหลือง ควรใช้ความเร็วรอบสูงและตัวทำละลายอินทรีย์ (Naviglio *et al.*, 2014; Chow and Ho, 2002)



ภาพที่ 1 การแยกและทำความสะอาดไขมันจากน้ำเสีย;

a: การแยกตัวเป็น 3 ชั้น ของน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มหลังการหมุนเหวี่ยง;

b: การแยกตัวเป็น 3 ชั้น ของไขมันที่ผ่านการหมุนเหวี่ยงด้วยน้ำเปล่าและแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C

2. การปนเปื้อนโลหะและโลหะหนัก

ผลการตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนโลหะและโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม ไขมันที่แยกได้จาก grease ในน้ำเสีย และไขมันที่ทำความสะอาดแล้วด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และ สังกะสี (Zn) ลดลงเมื่อหมุนเหวี่ยง แต่ความเข้มข้นของทองแดง (Cu) และอลูมิเนียม (Al) เพิ่มขึ้น เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และ สังกะสี (Zn) ในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับในไขมันที่แยกได้ก่อนทำความสะอาด มีความเข้มข้นลดลงอย่างมาก (ตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และภาพที่ 2) ความเข้มข้นของโลหะและ

โลหะหนักที่ปนเปื้อนในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานความปลอดภัยในการบริโภค (the dietary reference intakes: DRIs) ที่กำหนดไว้โดย National Academy of Sciences (2014) ส่วนอลูมิเนียมจัดเป็นโลหะปนเปื้อนที่ไม่เป็นพิษซึ่งค่า PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake) หรือค่ามาตรฐานความปลอดภัยของการได้รับอลูมิเนียมทางการกินต่อสัปดาห์ มีค่าไม่เกิน 7.0 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัม น้ำหนักตัวต่อสัปดาห์ ความเป็นพิษของอลูมิเนียมขึ้นอยู่กับปริมาณ ระยะเวลา และวิธีการได้รับ การได้รับอลูมิเนียมเพียงเล็กน้อยเข้าสู่ร่างกายโดยทางเดินอาหารจะถูกขับออกทั้งหมดทางอุจจาระและปัสสาวะอย่างรวดเร็ว (FAO/WHO, 1989)

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของการปนเปื้อนโลหะและโลหะหนักในน้ำเสีย ไขมันที่แยกได้ และไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว (เทคนิคAAS)

พารามิเตอร์	ความเข้มข้น (mg/l)			%การเปลี่ยนแปลง	
	น้ำเสีย	ไขมันที่แยกได้	ไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว	น้ำเสีย - ไขมันที่แยกได้	ไขมันที่แยกได้ - ไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว
เหล็ก (Fe)	25.33	22.42	7.77	-11.49	-65.34
แมงกานีส (Mn)	12.21	4.28	1.37	-64.95	-67.99
ทองแดง (Cu)	0.62	0.76	0.23	+36.42	-69.73
สังกะสี (Zn)	2.11	0.78	0.58	-63.03	-25.64
อลูมิเนียม (Al)	0.70	1.87	n.d.*	+267.00	n.d.*

หมายเหตุ: *Al ในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วไม่มีการวัดเพราะไม่มีความเป็นพิษ (Stahl *et al.*, 2011)

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของการปนเปื้อนโลหะและโลหะหนักในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต KU-ENV wax

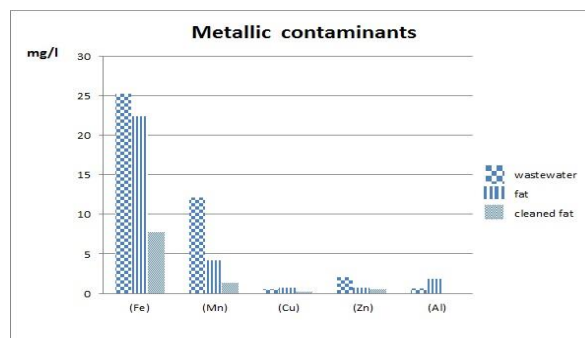
พารามิเตอร์	ไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว(mg/l)	Dietaryreference intakes (DRIs)(mg/day) ¹⁾	ปริมาณขั้นต่ำที่ เกิดพิษ(ml/day) ⁴⁾	ความเป็นพิษ ²⁾
เหล็ก (Fe)	7.77	0.007-0.008*	0.90	toxic
แมงกานีส (Mn)	1.37	0.012-0.019*	8.76	toxic
ทองแดง (Cu)	0.23	0.340-0.700*	1,479.29	toxic
สังกะสี (Zn)	0.58	0.003-0.008*	5.17	toxic
อลูมิเนียม (Al)	n.d. ³⁾	-	-	non-toxic

หมายเหตุ: ¹⁾ National Academy of Sciences (2014)

²⁾ Stahl *et al.* (2011)

³⁾ ในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วไม่วิเคราะห์ห้อลูมิเนียม เพราะไม่ใช่โลหะที่มีพิษ

⁴⁾ คำนวณจากความเข้มข้นของโลหะในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วเทียบกับค่า DRIs

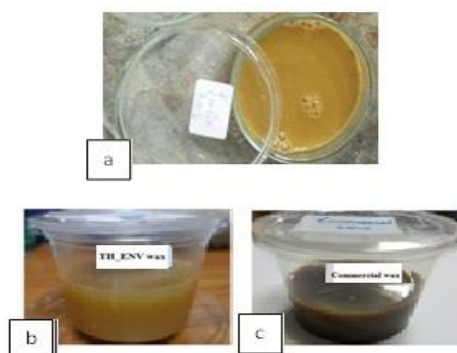


ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของการปนเปื้อนโลหะและโลหะหนักในน้ำเสีย ไขมันที่แยกได้ และไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว

3. การพัฒนาสูตรไขเคลือบผลไม้ (TH-ENV wax)

นำไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว (ภาพที่ 3a) มาใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ ซึ่งใช้ชื่อว่า TH-ENV wax ซึ่งเป็น edible wax ประเภท bilayer composites fruit coating wax (lipid/polysaccharides) ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้ ไขมันที่แยกได้จาก grease ในน้ำเสีย 30% สารสกัดใบสาบเสือ 5% แป้งท้าวยายหม่อมละลายน้ำในอัตราส่วน 3:1 10% ไคโตซาน 5% น้ำ 50% และเติม Triton X-100 จำนวน 10 หยด ต่อส่วนผสม 200 มิลลิลิตร แป้งท้าวยายหม่อมและไคโตซานเป็นโพลิแซคคาไรด์ที่ทำหน้าที่เป็นสารก่อความหนาตัว แป้ง มีคุณสมบัติในการปิดกั้นการแลกเปลี่ยนก๊าซในระดับปานกลาง ลดอัตราการหายใจของเซลล์ แต่จะเพิ่มความหนา

ความแข็ง การยึดเกาะ และความหนืด (Morillon *et al.*, 2002; Robertson, 2009; Gill and Gill, 2005) ไคโตซานมีประสิทธิภาพดีมากในการยับยั้งการแลกเปลี่ยน O_2 และ CO_2 ด้านจุลินทรีย์เพิ่มความชื้น ความเรียบ ความเงางาม และการยึดเกาะ (Peniston and Johnson, 1980; Pol *et al.*, 2002) สารสกัดใบสาบเสือมีสารสำคัญหลายชนิดที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ (Venkata *et al.*, 2012) Triton X-100 เป็น emulsifier เพราะในโมเลกุลมีทั้งส่วนที่เป็นขั้วชอบน้ำ (hydrophilic part) และส่วนที่ไม่มีขั้วที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic part) ทั้งยังเป็นสารที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (biodegradable) และไม่มีความเป็นพิษ (Abu-Ghunmi *et al.*, 2014)



ภาพที่ 3 ผลิตภัณฑ์ TH-ENV wax เปรียบเทียบกับ Commercial wax; a: ไขมันที่แยกและทำความสะอาดเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต TH-ENV wax, b : TH-ENV wax เข้มข้นและ c : commercial wax

4. การทดสอบประสิทธิภาพของไขเคลือบผลไม้

1) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ที่กล้วยปลดปล่อยออกมา

ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และปริมาณก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ที่ปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมง ด้วยเทคนิค GC (Gas Chromography) จากกล้วยซึ่งเคลือบด้วยไขเคลือบผลไม้ TH-ENV wax เปรียบเทียบกับกล้วยซึ่งเคลือบด้วยไขเคลือบผลไม้ในท้องตลาด (commercial wax)

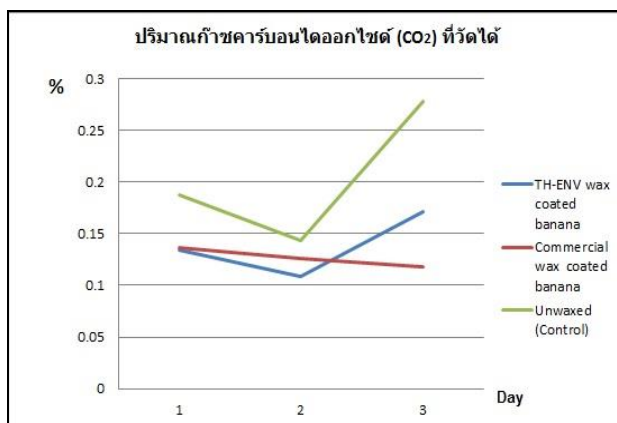
และกล้วยซึ่งไม่ได้เคลือบผิวเปลือก (unwaxed) ผลการทดลอง พบว่า ในระยะการจัดเก็บ 1 และ 3 วัน กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมามากกว่ากล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และต่ำกว่ากล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (Control) แต่ในระยะการจัดเก็บ 5 วัน กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสูงกว่ากล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax แต่ยังคงต่ำกว่า

กล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (Control) (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 4) ส่วนปริมาณก๊าซเอทิลีนที่กล้วยปลดปล่อยออกมานั้น พบว่า ในระยะการจัดเก็บ 1 วัน กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ออกมาสูงกว่ากล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และสูงกว่ากล้วยที่ไม่ได้เคลือบ

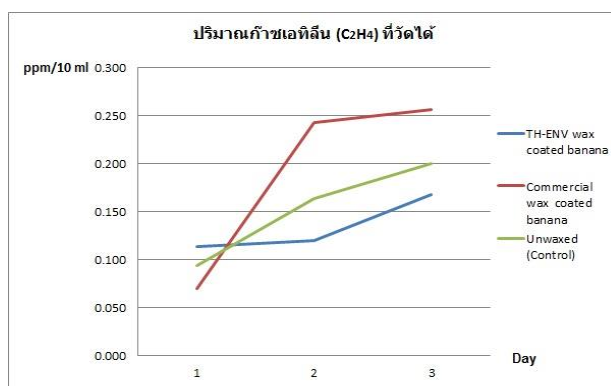
wax (Control) แต่ในระยะการจัดเก็บ 3 และ 5 วัน กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ออกมาต่ำกว่ากล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และต่ำกว่ากล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (Control) (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 5)

ตารางที่ 3 ปริมาณ CO_2 และ C_2H_4 เฉลี่ยที่กล้วยตัวอย่างปลดปล่อยออกมาในเวลา 1 ชั่วโมง

Sample	Day1				Day3				Day5			
	CO_2		C_2H_4		CO_2		C_2H_4		CO_2		C_2H_4	
	%	S.D.	ppm/	S.D.	%	S.D.	ppm/	S.D.	%	S.D.	ppm/	S.D.
			10				10				10	
			ml				ml				ml	
TH-ENV waxcoated banana	0.134	0.078	0.113	0.113	0.109	0.270	0.120	0.028	0.171	0.089	0.168	0.154
Commercial waxcoated banana	0.136	0.038	0.070	0.011	0.126	0.057	0.243	0.160	0.118	0.043	0.256	0.234
Unwaxed (Control)	0.188	0.130	0.094	0.021	0.144	0.071	0.163	0.118	0.278	0.225	0.200	0.162



ภาพที่ 4 ปริมาณ CO_2 ตรวจวัดได้ในระยะเวลา 1 ชั่วโมงจากตัวอย่างกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax (TR1) เปรียบเทียบกับตัวอย่างกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax (TR2) และไม่เคลือบ wax (Control)



ภาพที่ 5 ปริมาณ C₂H₄ ที่ตรวจวัดได้ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากตัวอย่างกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax (TR1) เปรียบเทียบกับตัวอย่างกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax (TR2) และไม่เคลือบ wax (Control)

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และปริมาณก๊าซเอทิลีน (C₂H₄) ที่ตัวอย่างกล้วยปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมง ด้วยค่าสถิติ Independent T-test พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในระยะเวลาจัดเก็บ 1 วัน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างจากกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และไม่แตกต่างจากกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig. = 0.916 และ 0.306 ตามลำดับ) ในระยะเวลาจัดเก็บ 3 วัน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างจากกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และไม่แตกต่างจากกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig. = 0.490 และ 0.237 ตามลำดับ) และในระยะเวลาจัดเก็บ 5 วัน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างจากกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และไม่แตกต่างจากกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig. = 0.135 และ 0.088 ตามลำดับ) แม้ว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จากการ

ปลดปล่อยของกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax จะมีค่าต่ำสุด และที่วัดได้จากการปลดปล่อยของกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) จะมีค่าสูงสุดก็ตามแต่ก็เป็นค่าที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) ทั้งนี้เพราะปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้มีค่าน้อยมาก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนส่วนหนึ่งไม่สามารถแพร่เข้าออกได้เมื่อถูกเคลือบด้วยฟิวเปลือก เป็นเพราะสารเคลือบขัดขวางการยอมให้ก๊าซแพร่ผ่าน หรืออุดตันรูเปิดต่างๆ บนเปลือกผลไม้ ของสารเคลือบมีผลต่อการแพร่ของก๊าซ แต่ความหนาของสารเคลือบไม่ได้มีผลต่อคุณสมบัติในการยับยั้งการแพร่ของก๊าซเหล่านี้ ในขณะที่การแพร่ของไอน้ำจะขึ้นอยู่กับความหนาของสารเคลือบมากกว่าชนิดของสารเคลือบ (Mannheim and Soffer, 1996; Hagenmaier and Baker, 1993) มีรายงานการวิจัยที่ศึกษาพบว่า ผลไม้ซึ่งไม่ได้เคลือบฟิวเปลือก (unwaxed) และผลไม้ซึ่งเคลือบเปลือกด้วยสารเคลือบฟิว (coated fruit) ต่างก็มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เมื่อระยะเวลาจัดเก็บผลไม้ (storage period) เพิ่มขึ้น (Davila-Avina *et al.*, 2014) อย่างไรก็ตามก็ยังมียังงานวิจัยที่ศึกษาพบว่า สารเคลือบผลไม้ที่มีส่วนผสมระหว่างลิวติคและโพลีแซคคาไรด์ สามารถใช้เพื่อเป็นตัวกั้นขวางการแพร่ผ่านของก๊าซและความชื้นได้ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ

โพลีแซคคาไรด์ เช่น ไคโตซาน จะมีผลให้การหายใจ (respiration) ลดลงไปพร้อมๆ กับการสูญเสียน้ำหนัก (weight loss) ความแน่นตัว (firmness) และสีของเปลือกผลไม้ (Perez-Gago *et al.*, 2002; Hernandez-Munoz *et al.*, 2008)

ส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ในระยะเวลาจัดเก็บ 1 วัน ปริมาณก๊าซเอทิลีนที่กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างจากกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และไม่แตกต่างจากกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig. = 0.259 และ 0.627 ตามลำดับ) ในระยะเวลาจัดเก็บ 3 วัน ปริมาณก๊าซเอทิลีนที่กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างจากกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และไม่แตกต่างจากกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig. = 0.057 และ 0.300 ตามลำดับ) และในระยะเวลาจัดเก็บ 5 วัน ปริมาณก๊าซเอทิลีนที่กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างจากกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และไม่แตกต่างจากกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (Sig. = 0.068 และ 0.383 ตามลำดับ) แม้ว่าค่าปริมาณก๊าซเอทิลีนที่วัดได้จากกล้วยซึ่งเคลือบเปลือกด้วย TH-ENV wax จะมีค่าต่ำที่สุด และปริมาณก๊าซเอทิลีนที่วัดได้จากกล้วยซึ่งไม่เคลือบผิวเปลือก (unwaxed) จะมีค่าสูงสุดก็ตามแต่ก็เป็นค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) โดยกระบวนการสุกแก่ของผลไม้เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีและเมตาบอลิซึมที่เกิดขึ้นภายในผลไม้ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพิ่มอัตราการหายใจ เพิ่มการสังเคราะห์เอทิลีน เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์ที่ทำให้เนื้อผลไม้มีน้ำขึ้น การสูญเสียที่สำคัญๆ ของผักผลไม้ คือ คุณภาพและปริมาณของ

ความสดในช่วงเวลาหลังการเก็บเกี่ยวไปจนถึงการบริโภค เมื่อผลไม้ถูกเก็บมา ปัจจุบันนี้สารเคลือบผิวผลไม้เป็นทางเลือกใหม่ที่จะเอาชนะปัญหาของการรักษาคุณภาพของผลไม้ เพราะจะช่วยชะลออัตราการเกิดเมตาบอลิซึมที่ทำให้เกิดการสังเคราะห์เอทิลีน เพื่อช่วยชะลอความสุกแก่ของผลไม้ การควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลไม้ การเคลือบผิวเปลือกของผลไม้ สามารถยับยั้งอัตราการหายใจและการสังเคราะห์เอทิลีน ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ได้ (Yonemoto *et al.*, 2002; Herianus *et al.*, 2003; Verma, 2010)

การที่ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ระหว่างกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax กล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แม้ว่าผลการวัดค่าปริมาณ CO_2 และ C_2H_4 ในเชิงปริมาณจะเห็นความแตกต่างกันก็ตาม (ตารางที่ 3 ภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5) ทั้งนี้เพราะปริมาณก๊าซที่กล้วยปลดปล่อยออกมามีน้อยเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ จึงไม่เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mishra *et al.* (2009) ที่กล่าวไว้ว่า สมบัติการยอมให้ก๊าซผ่านของ edible coating จะยอมให้ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำผ่านเข้าออกได้น้อยแม้ว่าโดยหลักการแล้วการเคลือบผลไม้จะมีผลในการชะลอการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่เป็นผลจากการสุกแก่ หรือความเสียหายทางสรีรวิทยาของผลไม้ ซึ่งเป็นผลมาจากการปิดกั้นการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ทำให้อัตราการหายใจลดลง (Valero *et al.*, 2013; Fagundes, 2015) โดยส่วนใหญ่การปิดกั้นการแลกเปลี่ยนก๊าซด้วยการเคลือบผิวจะมีผลอย่างมากต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผลไม้ อย่างไรก็ตามสมบัติในการปิดกั้นการ

แลกเปลี่ยนก๊าซของสารเคลือบผลไม้ไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของสารเคลือบแล้ว ยังขึ้นอยู่กับสถานะของการปลูกและการจัดเก็บ (Valencia-Chamorro *et al.*, 2008) ในที่นี้กล้วยที่ทำการทดลองได้ถูกจัดเก็บในอุณหภูมิห้องก็ย่อมจะไม่ถูกยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาโดยอิทธิพลของอุณหภูมิอยู่แล้ว แต่การที่ไม่เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตินั้นอาจเป็นผลมาจากปริมาณก๊าซที่เก็บเกี่ยวได้จากกล้วยแต่ละผลมีไม่มากพอทั้งๆ ที่การวัดเชิงปริมาณจะเห็นความแตกต่างกันอยู่บ้าง จะพบว่ากล้วยที่เคลือบผิวด้วย TH-ENV wax มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาในปริมาณใกล้เคียง

กับกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax แต่ปริมาณต่ำกว่ากล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4 ส่วนการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนนั้นจะเห็นได้ว่า กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการปลดปล่อยเอทิลีนออกมาในปริมาณต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) อย่างไรก็ตามกล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax กลับมีการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนออกมาสูงที่สุด ดังภาพที่ 5 ทั้งนี้อาจเป็นการปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนจากส่วนผสมของตัว Commercial wax เอง ซึ่งต่างจาก TH-ENV wax ที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติเป็นหลัก

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมงจากกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax กล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และกล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (Control) ด้วยเทคนิคสถิติ Independent T-test

Sample	N	Mean	S.D.	df	T -value	Sig.
Day1 : TH-ENV wax coated × Commercial wax coated						
TH-ENV wax coated	10	0.134	0.078	19	0.109	0.916
Commercial wax coated	10	0.136	0.038			
Day1 : TH-ENV wax coated × Unwaxed (Control)						
TH-ENV wax coated	10	0.134	0.078	19	1.086	0.306
Unwaxed (Control)	10	0.188	0.130			
Day3 : TH-ENV wax coated × Commercial wax coated						
TH-ENV wax coated	10	0.109	0.270	19	0.720	0.490
Commercial wax coated	10	0.126	0.057			
Day3 : TH-ENV wax coated × Unwaxed (Control)						
TH-ENV wax coated	10	0.109	0.270	19	1.267	0.237
Unwaxed (Control)	10	0.144	0.071			
Day5 : TH-ENV wax coated × Commercial wax coated						
TH-ENV wax coated	10	0.171	0.089	19	1.643	0.135
Commercial wax coated	10	0.118	0.043			

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Sample	N	Mean	S.D.	df	T -value	Sig.
Day5 : TH-ENV wax coated × Unwaxed (Control)						
TH-ENV wax coated	10	0.171	0.089	19	1.912	0.088
Unwaxed (Control)	10	0.278	0.225			

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซเอทิลีน (C_2H_4) ที่ปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมงจากกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax กล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax และกล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (Control) ด้วยเทคนิคสถิติ Independent T-test

Sample	N	Mean	S.D.	df	T -value	Sig.
Day1 : TH-ENV wax coated × Commercial wax coated						
TH-ENV wax coated	10	0.113	0.113	19	1.205	0.259
Commercial wax coated	10	0.070	0.011			
Day1 : TH-ENV wax coated × Unwaxed (Control)						
TH-ENV wax coated	10	0.113	0.113	19	0.503	0.627
Unwaxed (Control)	10	0.094	0.021			
Day3 : TH-ENV wax coated × Commercial wax coated						
TH-ENV wax coated	10	0.120	0.028	19	2.185	0.057
Commercial wax coated	10	0.243	0.160			
Day3 : TH-ENV wax coated × Unwaxed (Control)						
TH-ENV wax coated	10	0.120	0.028	19	1.099	0.300
Unwaxed (Control)	10	0.163	0.118			
Day5 : TH-ENV wax coated × Commercial wax coated						
TH-ENV wax coated	10	0.168	0.154	19	2.075	0.068
Commercial wax coated	10	0.256	0.234			
Day5 : TH-ENV wax coated × Unwaxed (Control)						
TH-ENV wax coated	10	0.168	0.154	19	0.916	0.383
Unwaxed (Control)	10	0.200	0.162			

2) การเปลี่ยนแปลงของสี (color) และลักษณะผิว (texture) ของเปลือกและความนิ่ม (softening) ของเนื้อผลไม้

จากผลการทดลองในตัวอย่างกล้วยที่เคลือบด้วย coating wax ที่ผลิตจากไขมันจากบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำมันปาล์ม หรือ TH-ENV wax กล้วยที่

เคลือบด้วย coating wax ที่มีขายในท้องตลาด หรือ commercial wax และกล้วยที่ไม่ได้เคลือบ wax (control) โดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีและลักษณะผิวของเปลือกกล้วย ในแต่ละช่วงเวลา ในระยะเวลาการจกเก็บ 1 วัน และ 5 วัน โดยการจก ระดับ มีเกณฑ์ คือ ระดับ 1 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงมาก ระดับ 2 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงปานกลางและระดับ 3 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ผลการสังเกต พบว่าเมื่อจกเก็บ ตัวอย่างกล้วยไว้ 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกปานกลาง มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นปานกลาง กล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกน้อย มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อย ปานกลาง มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นน้อย ส่วนกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมาก มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อย มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นปานกลาง เมื่อจกเก็บ ตัวอย่างกล้วยไว้ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกน้อย มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อย มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นปานกลาง กล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อยปานกลาง มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นน้อย ส่วนกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมาก มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกมาก มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นมาก (ตารางที่ 7) ในระยะการจกเก็บ 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเข้มทั้งผล กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax สีของเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อนทั้งผล ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อยปานกลาง มีความนิ่มของเนื้อผลเพิ่มขึ้นมาก (ตารางที่ 7) ในระยะการจกเก็บ 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเข้มทั้งผล กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax สีของเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อนทั้งผล ส่วนกล้วย

ที่เคลือบด้วย commercial wax สีของเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อนบางส่วน แต่ยังมีส่วนที่เป็นสีเขียวปรากฏอยู่มากกว่า 50% ของพื้นที่ผิวเปลือกทั้ง 3 แบบมีลักษณะผิวเปลือกเรียบ แต่งตั้ง หลังจากจกเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องต่อเป็นระยะเวลา 5 วัน กล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax จะมีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเหลืองเข้มไปเป็นสีน้ำตาลเข้มบางส่วน มีรอยขนาดใหญ่สีน้ำตาลเข้มขยับขึ้นเป็นกลุ่มเซลล์ของเปลือกกล้วยที่เสื่อมสภาพประมาณ 40% ของพื้นที่ผิวเปลือกกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax สีเปลือกเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเหลืองเข้มค่อนข้างดำบางส่วนและสีน้ำตาลอ่อนบางส่วน มีรอยจุดสีน้ำตาลเล็กขึ้นประปรายบริเวณปลายผล ลักษณะผิวเปลือกไม่มีความเงา ผิวสัมผัสค่อนข้างแห้งส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax สีเปลือกกล้วยเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเหลืองเข้มทั้งผล มีรอยสีน้ำตาลอ่อนจางๆ อยู่ประปรายทั่วผล แต่ลักษณะผิวยังคงค่อนข้างเรียบ ยังคงมีความเงาของผิวเปลือกในระยะการจกเก็บ 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเข้มทั้งผลกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax สีของเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อนทั้งผล ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax สีของเปลือกเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอ่อนบางส่วน แต่ยังมีส่วนที่เป็นสีเขียวปรากฏอยู่มากกว่า 50% ของพื้นที่ผิวเปลือกทั้ง 3 แบบ มีลักษณะผิวเปลือกเรียบ แต่งตั้ง หลังจากจกเก็บไว้ในอุณหภูมิห้องต่อเป็นระยะเวลา 5 วัน กล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax จะมีสีเปลือกเปลี่ยนจากสีเหลืองเข้มไปเป็นสีน้ำตาลเข้มบางส่วน มีรอยขนาดใหญ่สีน้ำตาลเข้มขยับขึ้นเป็นกลุ่มเซลล์ของเปลือกกล้วยที่เสื่อมสภาพประมาณ 40% ของพื้นที่ผิวเปลือกกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax สีเปลือกเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเหลืองเข้มค่อนข้างดำบางส่วน

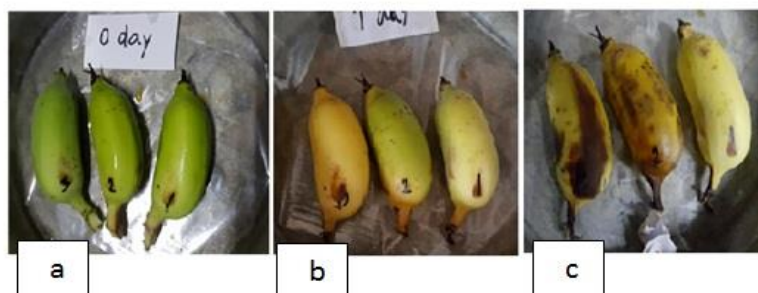
และสีน้ำตาลอ่อนบางส่วน มีรอยจุดสีน้ำตาลเล็กน้อยขึ้น ประปรายบริเวณปลายผล ลักษณะผิวเปลือกไม่มีความเงา ผิวสัมผัสค่อนข้างแห้ง ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax สีเปลือกกล้วยเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีเหลืองเข้มทั้งผล มีรอยสีน้ำตาลอ่อนจางๆ อยู่ประปรายทั่วผล แต่ลักษณะผิวยังคงค่อนข้างเรียบ ยังคงมีความเงาของผิวเปลือก ในด้านความนิ่มของเนื้อผลกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีเนื้อผลนิ่มมากที่สุด รองลงมา คือ กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax จะมีความนิ่มของเนื้อผลน้อยที่สุด (ภาพที่ 6) ทั้งนี้เพราะการสุกของผลไม้ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี มีการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาล มีผลทำให้เนื้อผลไม้เน่า เนื่องจากเอนไซม์โพลีแซคคาไรด์-ดีเกรดิง (polysaccharide-degrading enzyme) ถูกกระตุ้นให้สลายเซลลูโลสที่ผนังเซลล์ของเนื้อผลไม้ทำให้เนื้อนิ่มลง ทั้งยังมีผลต่อการสร้างสารอาหาร (nutrition) และเส้นใย (fiber) ที่มีคุณค่าทางอาหารในผลไม้ เช่น กล้วย แอปเปิ้ล สาลี่ ผลไม้เมล็ดแข็ง แดง พักแพง

มะเขือเทศ เป็นต้น (Rytioja *et al.*, 2014; Barry and Giovannoni, 2007) การเคลือบผิวผลไม้ ไม่เพียงแต่การลดการแพร่ของไอน้ำ ก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ สารประกอบอะโรมาติกและไขมัน แต่ยังช่วยในด้านการต้านอนุมูลอิสระ เป็นการถนอมรักษาสารประกอบอะโรมาติก สี เป็นต้น (Pranoto *et al.*, 2005) ในระหว่างการจัดเก็บหรือการขนส่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ เคมี และกายภาพได้ เช่น การสุกแก่ การสูญเสียหรือการดูดซับน้ำ ที่จะทำให้เกิดความเสื่อมสภาพของผลไม้ การเคลือบผิวจะช่วยรักษาสสมบัติตามธรรมชาติของผลไม้ ปรับปรุงโครงสร้าง ผิวนอกและความคงสภาพ ผลของการใช้ edible coating เคลือบผิวผลไม้ต่อการสูญเสียเนื่องจากแรงดันออสโมติก การเคลือบผิวช่วยลดการสูญเสียน้ำปริมาณมาก ลดการสูญเสียสภาพสี สารอาหาร และการเสื่อมสภาพของกลิ่น ลดการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน การถูกทำลายโดยจุลินทรีย์ (Camirand *et al.*, 1992)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบสีเปลือก ลักษณะผิวเปลือกและความนิ่มของเนื้อของตัวอย่างกล้วยจำแนกตามชนิดของไขเคลือบผิวเปลือก

coating agents	ระดับการเปลี่ยนแปลง		
	สีเปลือก	ลักษณะผิวเปลือก	ความนิ่มของเนื้อผล
Day1			
TH-ENV wax	2	2	2
commercial wax	3	2	3
control	1	1	2
Day5			
TH-ENV wax	3	3	2
commercial wax	2	2	3
control	1	1	1

P-value = 0.01



ภาพที่ 6 ตัวอย่างกล้วยหลังเคลือบด้วย TH-ENV wax (หมายเลข 1) เคลือบด้วย commercial wax (หมายเลข 2) และไม่เคลือบ wax (หมายเลข 3) เมื่อจัดเก็บในอุณหภูมิห้องในระยะเวลาต่างๆ (a: ตัวอย่างกล้วยที่เริ่มเคลือบด้วย wax, b : ตัวอย่างกล้วยที่จัดเก็บไว้ในระยะ 1 วันและ c : ตัวอย่างกล้วยที่จัดเก็บไว้ในระยะ 5 วัน)

สรุป

การแยกไขมันออกจากในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มโดยการหมุนเหวี่ยง ที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำเสียต่อกรดอะซิติก 5% เท่ากับ 3:1 ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ได้ส่วนผสมที่แยกตัวออกเป็น ชั้นบนสุด คือ ชั้นไขมันชั้นกลาง คือ ชั้นของเหลวและชั้นล่างสุด คือ ชั้นตะกอน แยกเอาไขมันชั้นบนสุดออกมาทำความสะอาดโดยการหมุนเหวี่ยงในอัตราส่วนไขมันต่อน้ำเปล่า เท่ากับ 1:1 ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที 3 ชั่วโมง นำส่วนผสมที่แยกชั้นแล้วแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ไขมันจะลอยขึ้น รวมตัวอยู่ข้างบนสุดด้วยคุณสมบัติที่ไม่มีขั้ว (non-polar) และไม่ละลายน้ำ แยกไขมันที่ทำความสะอาดแล้วออกมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไขเคลือบผลไม้ (TH-ENV wax)

ผลการตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนโลหะและโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม ไขมันที่แยกได้จาก grease ในน้ำเสีย และไขมันที่ทำความสะอาดแล้ว ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ผลการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของเหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) และ สังกะสี (Zn) ลดลงเมื่อ หมุนเหวี่ยง

แต่ความเข้มข้นของทองแดง (Cu) และอลูมิเนียม (Al) เพิ่มขึ้น เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และ สังกะสี (Zn) ในไขมันที่ทำความสะอาดแล้วเมื่อเปรียบเทียบกับในไขมันที่แยกได้ก่อนทำความสะอาด มีความเข้มข้นลดลงอย่างมาก

ไขมันที่แยกได้จากน้ำเสียของอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม ด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยงจะผ่านการล้างทำความสะอาด และนำมาใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิต ไขเคลือบผลไม้ TH-ENV wax โดยมีส่วนผสมดังนี้ ไขมันที่แยกได้จาก grease ในน้ำเสีย 30% สารสกัดใบสาบเสือ 5% แป้งท้าวขมอม ละลายน้ำในอัตราส่วน 3:1 10% โคลโคซาน 5% น้ำ 50% และเติม Triton X-100 จำนวน 10 หยด ต่อส่วนผสม 200 มิลลิกรัม

เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของ TH-ENV wax ต่อการยับยั้งการสุกของตัวอย่างกล้วยพบว่า ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของทั้งค่าเฉลี่ย CO_2 และค่าเฉลี่ย C_2H_4 ที่ตัวอย่างกล้วยปลดปล่อยออกมาใน 1 ชั่วโมงในระหว่างการจัดเก็บทั้ง 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ตัวอย่างกล้วยซึ่งเคลือบด้วย TH-ENV wax มีค่าเฉลี่ยของ CO_2 และค่าเฉลี่ยของ C_2H_4 ไม่แตกต่างกันกับตัวอย่างกล้วยซึ่งเคลือบด้วย commercial wax

และไม่แตกต่างกันกับตัวอย่างกล้วยซึ่งไม่เคลือบ wax (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01

ในด้านของการเปลี่ยนแปลงของสี (color) และลักษณะผิว (texture) ของเปลือกและความนุ่ม (softening) ของเนื้อผลไม้ผลการทดสอบ พบว่าเมื่อจัดเก็บตัวอย่างกล้วยไว้ 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกปานกลาง มีความนุ่มของเนื้อผลไม้เพิ่มขึ้นปานกลาง กล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกน้อย มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อยปานกลาง มีความนุ่มของเนื้อผลไม้เพิ่มขึ้นน้อย ส่วนกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมาก มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อย มีความนุ่มของเนื้อผลไม้เพิ่มขึ้นปานกลาง และเมื่อจัดเก็บตัวอย่างกล้วยไว้ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกปานกลาง มีความนุ่มของเนื้อผลไม้เพิ่มขึ้นปานกลาง กล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกปานกลาง มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกน้อย มีความนุ่มของเนื้อผลไม้เพิ่มขึ้นน้อย ส่วนกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมาก มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวเปลือกมาก มีความนุ่มของเนื้อผลไม้เพิ่มขึ้นมากกว่ากล้วยตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองเป็นกล้วยเครือเดียวกันที่ตัดเก็บจากต้นมาแล้ว 2 วัน เมื่อจัดเก็บไว้ 5 วัน หลังจากการเคลือบผิวเปลือกมีการเสื่อมสภาพ มีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกผิวเปลือกและการเพิ่มขึ้นของความนุ่มของเนื้อผลไม้มากขึ้นในกล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax ส่วนกล้วยที่เคลือบด้วย commercial wax ยังไม่เริ่มเสื่อมสภาพส่วนกล้วยที่ไม่ได้เคลือบด้วย coating wax เริ่มเสื่อมสภาพในวันที่ 3 ดังนั้นจึงสามารถสรุป

ได้ว่า กล้วยที่เคลือบด้วย TH-ENV wax สามารถมีอายุการจัดเก็บได้ 7 วัน กล้วยที่เคลือบด้วย Commercial wax สามารถมีอายุการจัดเก็บได้มากกว่า 7 วัน และกล้วยที่ไม่เคลือบ wax (Control) สามารถมีอายุการจัดเก็บได้ 5 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ โครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย ในพระราชดำริฯ มูลนิธิชัยพัฒนา ที่ได้เอื้ออำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ขอขอบคุณ บริษัท สมอทอง น้ำมันปาล์ม จำกัด ที่สนับสนุนตัวอย่างน้ำเสียสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และหน่วยงานอื่นๆ ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Abu-Ghunmi, L., Badawi, M. and Fayyad, M. 2014. Fate of Triton X-100 applications on water and soil environments: A Review. **Journal of Surfactants and Detergents** 17(5): 833-838.
- Adhvaryu, A., Sung, C. and Erhan, S.Z. 2005. Fatty acids and antioxidant effects on grease microstructures. **Industrial crops and products** 21: 285-291.
- Ahmad, A., Ismail, S. and Bhatia, S. 2003. Absorption of residual oil from palm oil mill effluent using rubber powder. **Brazilian Journal of Chemical Engineering** 22(3): 371-379.

- Barry, C.S. and Giovannoni, J.J. 2007. Ethylene and fruit ripening. **Journal of Plant Growth Regulation** 26: 143-159.
- Ben-Yehoshua, S. 1969. Gas exchange, transportation, and the commercial deterioration in storage of orange fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 94: 524-8.
- Camirand, W.M., Krochta, J.M., Pavlath, A.E., Wong, D. and Cole, M.E. 1992. Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potential use in osmotic dehydration. **Carbohydrate Polymer** 17: 39-49.
- Chow, M.C. and Ho, C.C. 2002. Chemical composition of oil droplet from palm oil mill sludge. **Journal of Oil Palm Research** 14(1): 25-34.
- Davila-Avina, J.E., Villa-Rodriguez, J.A., Villegas-Ochoa, M.A., Tortoledo-Ortiz, O., Olivas, G.I., Ayala-Zavala, J.F. and Gonzalez-Aguilar, G.A. 2014. Effect of edible coatings on bioactive compounds and antioxidant capacity of tomatoes at different maturity stages. **Journal of Food Science and Technology** 51(10): 2706-2712.
- Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A.R. and Perez-Gago, M.B. 2015. Hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings formulated with antifungal food additives to reduce alternaria black spot and maintain postharvest quality of cold-stored cherry tomatoes. **Scientia Horticulturae** 193: 249-257.
- FAO/WHO. 1989. **WHO Food Additives Series: 24, Toxicological Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants.** Cambridge University Press, Cambridge.
- Gill, A.O. and Gill, C.O. 2005. Preservative packaging for meat, poultry and fin fish, pp. 204-226. *In* Han, J.H., ed. **Innovation in food packaging.** Plano, Texas.
- Hagenmaier, R.D. and Baker, R.A. 1993. Reduction in gas exchange of citrus fruit by waxcoatings. **Journal Agriculture Food Chemistry** 41(2): 283-287.
- Hall, D.J. 1981. Innovations in Citrus waxing-an overview. **Proceedings of The Florida State Horticultural Society** 94: 258-263.
- Han, J.H. and Gennodios, A. 2014. Edible films and coating: A Review, pp. 213-241. *In* Han, J.H., ed. **Innovation in Food Packaging.** Elsevier science and technology books, Amsterdam.
- Herianus, J.D., Singh, L.Z. and Tan, S.C. 2003. Aroma volatiles production during fruit ripening of 'Kensington Pride' mango. **Postharvest Biology and Technology** 27(3): 323-336.
- Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Valle, V.D., Velez, D. and Gavara, R. 2008. Effect of chitosancoating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria xananassa*) quality during refrigerated storage. **Food Chemistry** 110: 428-435.

- Mannheim, C.H. and Soffer, T. 1996. Permeability of different wax coatings and their effect on Citrus fruit quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 44(3): 919-923.
- Mishra, B., Khatkar, B.S., Garg, M.K. and Wilson, L.A. 2009. Permeability of edible coatings. **Journal of Food Sciences and Technology** 47(1): 109-113.
- Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M. and Voilley, A. 2002. Factors affecting the moisture permeability of lipid based edible films. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 42(1): 67-89.
- Naviglio, D., Ferrara, L. and Gallo, M. 2014. Extraction and characterization of free nonpolar lipid fraction of chocolate using a rapid analytical procedure. **European Scientific Journal** 2: 208-215.
- National Academy of Sciences. 2014. **Dietary Reference Intakes (DRIs)**. National Academies Press, Washington (DC).
- Nur, M.M.A., Setyoningrum, T.M. and Budiaman, G.S. 2017. Potency of *Botryococcus braunii* cultivated on palm oil mill effluent waste water as a source of biofuel. **Environmental Engineering Research** 22(4): 417-425.
- Perez-Gago, M.B., Rojas, C. and DelRio, M. 2002. Effect of lipid type and amount of edible hydroxypropylmethylcellulose-lipid composite coatings used to protect postharvest quality of Mandarins cv. Fortune. **Journal of Food Science** 67(8): 2903-2910.
- Pleanjai, S., Gheewala, S.H. and Garivait, S. 2007. Environmental evaluation of biodiesel Production from palm oil in a life cycle perspective. **Asian Journal of Energy Environment** 8(1-2): 15-32.
- Peniston, Q.P. and Johnson, E. 1980. **Process for the manufacture of chitosan**. Available Source: <https://patentimages.storage.googleapis.com/86/7b/e1/62512586670b36/US4195175.pdf>, May 20, 2018.
- Petchseechoung, W. 2017. **Palm Oil Industry: Thailand Industry Outlook 2017-2019**. Available Source: https://www.krungsri.com/bank/getmedia/ac87c171-db74-442b-ae295b69572896ca/IO_Oil_Palm_2017_EN.aspx, May 20, 2018.
- Pol, H., Dowson, P., Acton, P.N. and Ogale, A. 2002. Soy protein isolate/corn zein laminated films: transport and mechanical properties. **Journal of Food Science** 67(1): 212-217.
- Pranoto, Y., Salokhe, V.M. and Rakshit, S.K. 2005. Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil. **Food Research International** 38: 267-272.
- Rickwood, D. and Graham, J.M. 2001. **Biological Centrifugation**. Bios scientific Pub Ltd., Oxford.
- Robertson, G.L. 2009. **Food packaging: principle and practices (2nd ed)**. CRC Press, New York.
- Rytioja, J., Hilden, K., Yuzon, J., Hatakka, A., Vries, R.P.D. and Makela, M.R. 2014. Plant-polysaccharide-degrading enzymes

- from basidiomycetes. **Microbiology and Molecular Biology Review** 78(4): 614-649.
- Smock, R.M. 1940. Some additional effects of waxing apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science** 37: 448-52.
- Stahl, T., Taschan, H. and Brun, H. 2011. Aluminium content of selected foods and food products. **Environmental Sciences Europe** 23(37): 1-11.
- Valencia-Chamorro, S.A., Palou, L., Del-Rio, M.A. and Perez-Gago, M.B. 2008. Inhibition of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* by hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible composite films containing food additives with antifungal properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 56(23): 11270-11278.
- Valero, D., Diaz-Mula, H.M., Zapata, P.J., Guillen, F., Martínez-Romero, D., Castillo, S. and Serrano, M. 2013. Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plum cultivars during postharvest storage. **Postharvest Biology and Technology** 77: 1-6.
- Van-Zutphen, J.M. and Wijbrans, R.A. 2011. LCA GHG emissions in production and Combustion of Malaysian palm oil biodiesel. **Journal of Oil Palm & The Environment** 2: 86-92.
- Venkata, R.B., Samuel, L.A., Saradhi, M.P., Rao, B.N., Krishna, A.N.V., Sudhakar, M. and Radhakrishnan, T.M. 2012. Antibacterial, antioxidant activity and GC-MS analysis of *Eupatorium odoratum*. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research** 5(2): 99-106.
- Verma, A. 2010. Effect of edible coating to extend the shelf-life of guava fruits. Masters thesis, College of Agriculture Jabalpur, India.
- Vu, K.D., Hollingsworth, R.G., Leroux, E., Salmieri, S. and Lacroix, M. 2011. Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries. **Food Research International** 44: 198-203.
- Warriner, K., Huber, A., Namvas, A., Fan, W. and Dinfield, K. 2009. Recent advance in microbial safety of fresh fruits and vegetables. **Advance in Food and Nutrition Resouce** 57: 155-208.
- Yonemoto, Y., Higuchi, H. and Kitano, Y. 2002. Effects of storage temperature and wax coating on ethylene production, respiration and shelf-life in cherimoya fruit. **Engei Gakkai zasshi** 71(5): 643-650.

วารสารวิจัย มทร.ศรีวิชัย

นโยบายการตีพิมพ์ทั่วไป

วารสารวิจัย มทร. ศรีวิชัย เป็นสื่อกลางการเผยแพร่บทความวิจัย (Research article) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยรับพิจารณาตีพิมพ์ต้นฉบับของบุคคลทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย วารสารมีกำหนดเผยแพร่ออนไลน์ปีละ 3 ฉบับ (ราย 4 เดือน) ผลงานที่ส่งมาจะต้องไม่เคยเสนอ หรือกำลังเสนอตีพิมพ์ในวารสารวิชาการใดมาก่อน

รูปแบบการจัดเตรียมต้นฉบับ

ต้นฉบับต้องจัดหน้ากระดาษให้ได้ในกระดาษ A4 โดยตั้งหน้ากระดาษ ขอบบน 2.5 cm. ขอบล่าง 2.5 cm. ขอบซ้าย 3 cm. ขอบขวา 2 cm. บทความภาษาไทยใช้ตัวอักษร Angsana UPC/New บทความภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษร Time New Roman โดยมีความยาวไม่เกิน 15 หน้า

รายละเอียดการจัดเตรียมต้นฉบับ

ชื่อเรื่อง ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ ชื่อภาษาอังกฤษขึ้นต้นคำให้พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ บทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 22 ตัวหนา บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา

ชื่อผู้พิมพ์ ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จัดให้อยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ บทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 15 บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 ให้กำกับหมายเลขยกกำลังไว้ต่อท้ายด้วย สำหรับชื่อของหน่วยงานให้พิมพ์ไว้ในส่วนเชิงอรรถ โดยพิมพ์ชื่อหน่วยงานต้นสังกัดให้ตรงกับตัวเลขยกกำลังที่กำกับไว้ในหน้าเดียวกัน พร้อมทั้งระบุผู้พิมพ์ประสานงาน (corresponding author) โดยทำเครื่องหมาย * ไว้หลังตัวเลขระบุ E-mail และเบอร์โทรศัพท์ของผู้พิมพ์ประสานงาน โดยบทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 10

บทคัดย่อและ Abstract เนื้อหาต้องครอบคลุมถึงบทนำ วิธีดำเนินการวิจัย สรุปและวิจารณ์ผลตาม ลำดับความยาวไม่เกิน 300 คำ พิมพ์หัวข้อเป็นตัวหนาขนาด 18 สำหรับบทความภาษาไทย และ 14 สำหรับบทความภาษาอังกฤษ สำหรับเนื้อความใช้ตัวอักษรขนาด ขนาด 15 สำหรับบทความภาษาไทย และ 12 สำหรับบทความภาษาอังกฤษ

คำสำคัญ (Keywords) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ ประมาณ 3-5 คำ โดยพิมพ์ต่อจากส่วนเนื้อหาของบทคัดย่อและ Abstract บทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 15 บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12

เนื้อหา ประกอบด้วย บทนำ วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล สรุป กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง บทความภาษาอังกฤษประกอบด้วย เนื้อความบทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 15 บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 การพิมพ์หัวข้อใหญ่ บทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 18 ตัวหนา

บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา ส่วนหัวข้อย่อย บทความภาษาไทยให้ใช้ตัวอักษรขนาด 15 บทความภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 ตัวหนา

ภาพและตาราง การนำเสนอรูปภาพและตาราง ให้พิมพ์เป็นตัวหนา เช่น ตารางที่ 1 หรือ Table 1 และ ภาพที่ 1 หรือ Figure 1 โดยมีคำอธิบาย บทความภาษาไทยขนาดตัวอักษร 15 บทความภาษาอังกฤษขนาดตัวอักษร 12 ขนาดของรูปและตารางตามความเหมาะสมของแต่ละบทความ จัดคำอธิบายใต้ภาพให้อยู่กึ่งกลาง โดยให้อยู่ในรูปแบบบทความพร้อมตีพิมพ์ และส่งไฟล์รูปเฉพาะด้วย

การอ้างอิง เอกสารที่นำมาอ้างอิงในเนื้อความจะต้องตรงกับเอกสารที่ปรากฏในส่วนรายการเอกสารและสิ่งอ้างอิง ระบบการอ้างอิงให้ใช้ระบบนาม-ปี การอ้างอิงเอกสารภาษาไทยให้ใช้ชื่อตัวเอกสารภาษาอังกฤษให้ใช้ชื่อสกุล

ตัวอย่างการอ้างอิง

1.1 การอ้างอิงในเนื้อหา

1.1.1 อ้างอิงจากเอกสารภาษาไทย

1.1.1.1 ผู้แต่งหนึ่งราย (สุวจน์, 2543)

1.1.1.2 ผู้แต่ง 2 ราย (ประเสริฐ และ ชาญยุทธ, 2548)

1.1.1.3 ผู้แต่งมากกว่า 2 ราย (อิทธิรักษ์ และคณะ, 2549)

1.1.1.4 เอกสารที่นำมาอ้างอิงมากกว่า 1 รายการ ให้เรียงลำดับปีที่พิมพ์จากน้อยไปหา มากและคั่นแต่ละชุดด้วยเครื่องหมาย (;) เช่น (สุวจน์, 2543; ประเสริฐ, 2545; ชาญยุทธและคณะ, 2548)

1.1.2 อ้างอิงจากเอกสารภาษาอังกฤษ

1.1.2.1 Single author (Sano, 1987)

1.1.2.2 Two authors (Smith and Hardy, 1953)

1.1.2.3 More than two authors (Ikejima *et al.*, 1959)

1.1.2.4 Multiple references (Sano, 1987; Kon and Kurokura, 1990; Rooster, 2000)

1.2 การอ้างอิงเอกสารท้ายบทความ

วารสาร

ชื่อผู้เขียน (ให้เขียนชื่อเต็ม ตามด้วยชื่อสกุล). ปีที่พิมพ์. ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร (ใช้ชื่อเต็ม) ปีที่ (ฉบับที่): หน้าที่ปรากฏบทความ.

วรรณวิสัย ไชยสาร. 2550. การเผาซินเตอร์แบบสองระยะของเซรามิกแบเรียมไทเทเนต. วารสาร

วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร 3(2): 149–158.

ภาษาอังกฤษใช้เช่นเดียวกับภาษาไทย แต่ชื่อผู้เขียนใช้นามสกุลขึ้นก่อน ตามด้วยอักษรย่อตัวแรกของชื่อตัว ชื่อกลาง ตามลำดับ

- Gensemer, R.W. 1991. The effects of pH and aluminum on the growth of the acidophilic diatom *Asterionella ralfsii* var. *americana*. **Limnology and Oceanography** 36(1): 123–131.
- Prapainop, R. and Maneeratana, K. 2004. Simulation of ice formation by the finite volume method. **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 26(1): 55–70.
- Sultana, N., Kasem, M.A., Hossain, M.D. and Alam, M.S. 1998. Biochemical changes of some promising lines of Yard Long Bean due to the infection of Yellow Mosaic virus. **Thai Journal of Agricultural Science** 31(3): 322–327.
- Katayama, S. 2002. Coexistence of resident and anadromous pond smelt, *Hypomesus nipponensis*, in Lake Ogawa. **Fisheries Science** 68(Suppl. D): 33–44.

หนังสือ

ผู้แต่งคนเดียวหรือหลายคน

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. ผู้จัดพิมพ์, สถานที่พิมพ์.

สุวรรณ ธีรุต. 2550. วิทยาศาสตร์ทางทะเลเบื้องต้น. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

Underwood, A.J. 1997. **Experiments in Ecology: Their Logical Design and Interpretation Using Analysis of Variance**. Cambridge University Press, Cambridge.

Hutcheson, G.D. and Sofroniou, N. 1999. **The Multivariate Social Scientist: Introductory Statistics Using Generalized Linear Models**. SAGE Publications, London.

Brower, J.E., Zar, J.H. and von Ende, C.N. 1990. **Field and Laboratory Methods for General Ecology** (3rd ed). Wm. C. Brown Publishers, Dubuque.

อ้างอิงบทหนึ่งในหนังสือ

ชื่อผู้เขียนบทที่อ้าง. ปีที่พิมพ์. ชื่อบทที่อ้าง, หน้าที่ย่อบนหน้าตีพิมพ์. ใน ชื่อบรรณาธิการ หรือผู้รวบรวม, บรรณาธิการ หรือผู้รวบรวม. ชื่อหนังสือ. สำนักพิมพ์, สถานที่พิมพ์.

ไพโรจน์ จัวงพานิช. 2520. โรคอ้อยที่เกิดจากเชื้อรา, น. 141-145. ใน เกษม สุขสถาน และ อุดม พูลเกษ, บรรณาธิการ. **หลักการทำอ้อย**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Jacobeer, L.F. and Rand, A.G. 1982. Biochemical of seafood, pp. 347-365. In Martin, R.E., Flick, G.J., Hebard, C.E. and Ward, D.R., eds. **Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products**. AVI Inc, Westport.

รายงานการประชุม/สัมมนา

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง, หน้าที่ย่อบนหน้าตีพิมพ์. ใน ชื่อบรรณาธิการ, บรรณาธิการ (ถ้ามี). ชื่อการประชุม ครั้งที่. สำนักพิมพ์ (หรือหน่วยงานที่จัดการประชุม), สถานที่พิมพ์.

สุธน ตั้งทวีวัฒน์ และ บุญล้อม ชีวะอิสระกุล. 2533. การใช้เมล็ดทานตะวันเป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานในอาหารสัตว์ปีก, น. 47-59. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 28 (สาขาสัตวแพทย์และประมง). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Henderson, S. 1978. An evaluation of the filter feeding fishes, Silver and bighead Carp, for Water quality improvement, pp. 121-136. In R.O. Smitherman, W.L. Shelton and J.H. Grover, eds. **Symposium on The Culture of Exotic Fishes.** American Fisheries Society, Auburn University, Alabama.

วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อวิทยานิพนธ์. ระดับวิทยานิพนธ์, ชื่อสถาบันการศึกษา.
ประเสริฐ ทองหนูน้อย. 2543. การจำแนกชนิดและการกระจายของปลาว่ายอ่อนในป่าชายเลน อำเภอลิเกา จังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

ซีดีรอม (CD-ROM)

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อบทความ (ซีดี-รอม). ชื่อวารสาร ปีที่ (ลำดับที่): เลขหน้าที่ปรากฏบทความในวารสาร, สารสังเขป จาก: ชื่อฐานข้อมูลและหมายเลขเอกสารเพื่อการค้น

Preston, W. 1982. Poetry ideas in teaching literature and writing to foreign student (CD-ROM).

TESOL Quart. 16: 489-502 Abstract from: Dialog File: ERIT Item: EJ274529

ข้อมูลสารสนเทศ (World Wide Web)

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อหัวของเว็บไซต์. แหล่งที่มา: วัน เดือน ปี ที่สืบค้นข้อมูล.

มัทนา มากเยี่ยม, ปทุมพร สุขยิ่ง, นพวรรณ หลากสิน, วิทยา แยม่นุ่น, พรทิพย์ แก่งทุกทาง, พุกามาศ เกศศรี, ภูมิพงษ์ พร้อมพันธ์ และ สาวิตรี เรืองเดช. 2541. ผลลัพธ์จากมันสำปะหลัง. คู่มือส่งเสริมการเกษตรที่ 43. แหล่งที่มา:

[http:// WWW.ku.ac.th/agri/com/com.htm](http://WWW.ku.ac.th/agri/com/com.htm), 27 มีนาคม 2541.

Sillery, B. 1998. **Urban rainforest: An African jungle come to life on New York's west side.**

Popular Science. Available Source:

<http://WWW.epnet.com/hostrial/hostrial/login.htm>, March 27, 1998.

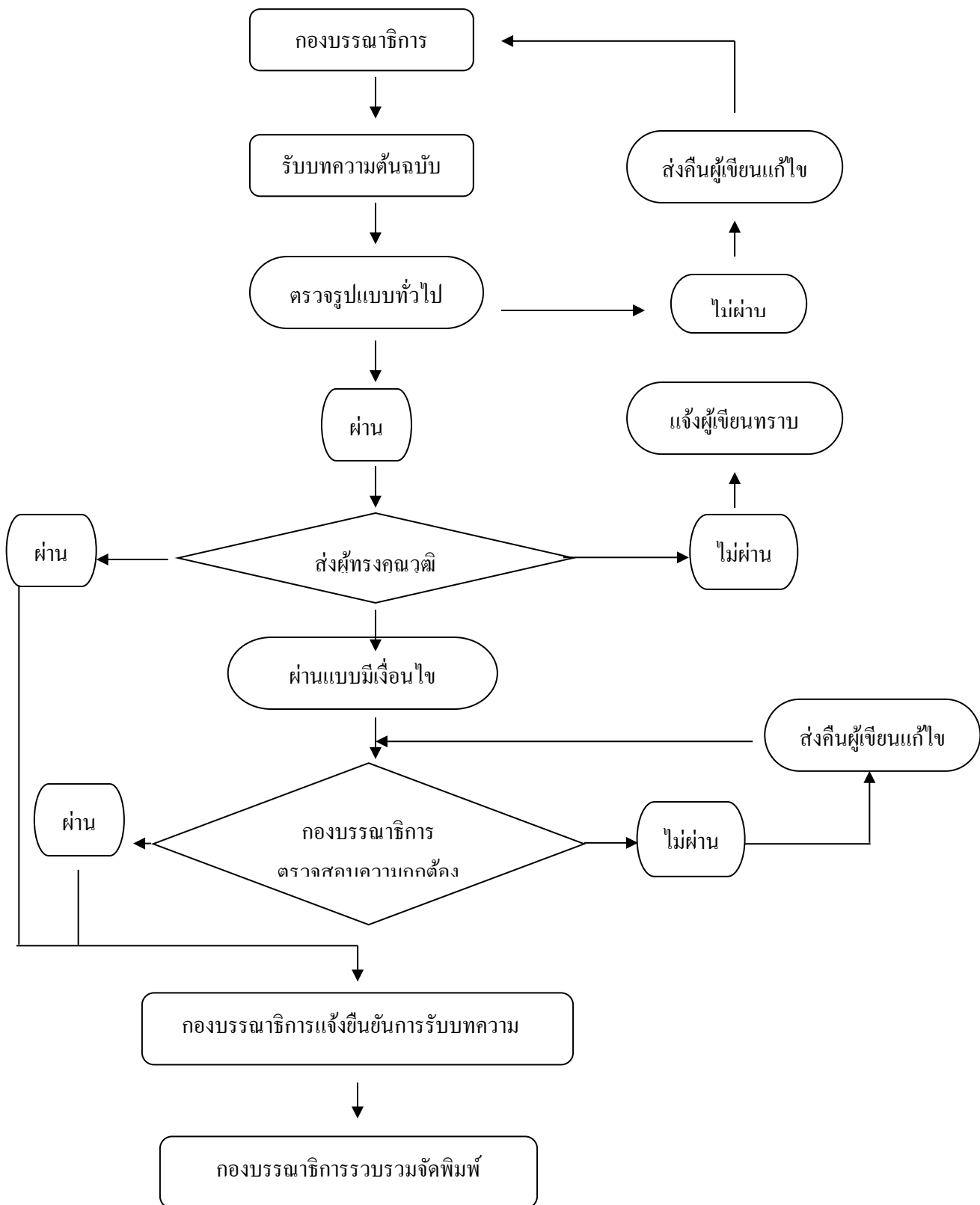
การส่งต้นฉบับ

ผู้สนใจตีพิมพ์จะต้องส่งไฟล์ต้นฉบับในรูปแบบ Microsoft Office Word รูปแบบ PDF และไฟล์รูปภาพจริง พร้อมแบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาไปยัง กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.ศรีวิชัย ผ่านระบบ Online submission ของวารสาร ทาง <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutsvrj/index>

หลักเกณฑ์การประเมินบทความเพื่อตอบรับการตีพิมพ์

กองบรรณาธิการจะพิจารณาคำขอเบื้องต้น เกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป ถ้าไม่ผ่านการพิจารณา จะส่งกลับไปแก้ไขหรือปฏิเสธการรับเข้าสู่กระบวนการตีพิมพ์ ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาของผู้ประเมินจากภายนอก เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้ต้นฉบับทราบ และเมื่อบทความได้รับการเผยแพร่ ผู้ต้นฉบับจะได้รับการแจ้งเดือนจากวารสาร

ขั้นตอนการดำเนินงาน
วารสารวิจัย มทร. ศรีวิชัย
(RMUTSV Research Journal)



แบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....นามสกุล.....

ตำแหน่งทางวิชาการ.....

สังกัด/หน่วยงาน.....

.....

.....

ขอส่งบทความ

เรื่อง (ภาษาไทย).....

.....

เรื่อง (ภาษาอังกฤษ).....

.....

ผู้เขียน (ภาษาไทย) 1.....

2.....

3.....

4.....

ผู้เขียน (อังกฤษ) 1.....

2.....

3.....

4.....

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก.....

.....

.....

.....

โทรศัพท์.....e-mail.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มทร.ศรีวิชัย ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ลงชื่อ.....

(.....)