



วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ISSN 1906-1889

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2561 Vol. 11 No. 2 July - December 2018



วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก (RMUTTO RESEARCH JOURNAL)

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2561

ผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviewer)

ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร
ศ.ดร.เสาวภา อังสุพานิช
ศ.ดร.วีระ อินพันทัง
รศ.ดร.วราวุฒิ ครุสง
รศ.ดร.รังสฤษดิ์ กาวิตะ
รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู
รศ.ดร.สมพงษ์ ดุลจินดาชบาพร
รศ.ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ
รศ.ดร.ฉัตรชัย นิยมผล
รศ.ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา
รศ.ดร.ยุทธนา ศิริวัธนกุล
รศ.น.สพ.ชูชาติ กมลเลิศ
รศ.สมพล ดำรงเสถียร
รศ.ยุวดี วงษ์กระจ่าง
ผศ.ดร.ปิตานต์ กร้ามาตร
ผศ.ดร.อารักษ์ ธีรอำพน
ผศ.ดร.พิทักษ์ เชื้อวงศ์
ภญ.ดร.อรรค์ คงพานิช
ดร.สุธีรา อานามวงษ์
ดร.ปรัชญา แก้วแก่น
ดร.สุภาภรณ์ ชัยอารยะเลิศ

ศ.ดร.สมปอง เตชะโต
ศ.ดร.อลงกลด แทนอมทอง
รศ.ดร.วิจิตรา แดงปรก
รศ.ดร.จำเริญ อ่อนทอง
รศ.ดร.วัชรินทร์ ชื่นสุวรรณ
รศ.ดร.วันวิสาข์ งามผ่องใส
รศ.ดร.วีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย
รศ.ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล
รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์
รศ.ดร.ฤกษ์ชัย พุประทับศิริ
รศ.ดร.สุธัญญา พรหมสมบูรณ์
รศ.ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก
รศ.สุรศักดิ์ กังขาว
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ ศรุตโยภาส
ผศ.ดร.วัชรพล ชยประเสริฐ
ผศ.ดร.อำนาจ จำรัสจรงผล
ผศ.ดร.สุภาภรณ์ เจริญแข่ง
พญ.ดร.กมลชนก มนตะเสวี
ดร.พิมพ์พรรณ ปรี่องาม
ดร.ปริญญ์ ขวัญอ่อน
ดร.นนทศักดิ์ เปี่ยมผล

ศ.ดร.สนั่น จอกลอย
ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร
รศ.ดร.อมรรัตน์ मुखประเสริฐ
รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ
รศ.ดร.พรเทพ ถนนแก้ว
รศ.ดร.เทอดชัย เวียร์ศิลป์
รศ.ดร.จรรยา จักรมณี
รศ.ดร.สุรัชย์ รดาการ
รศ.ดร.วาณี ชัยวัฒนสิน
รศ.ดร.วิฑูรย์ เหลียวรุ่งเรือง
รศ.น.สพ.ดร.ธีระ รักความสุข
รศ.อุธร ฤทธิลักษณ์
รศ.ชินศักดิ์ ตันพิกุล
ผศ.ดร.ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์
ผศ.ดร.นฤมล มงคลธนวัฒน์
ผศ.ดร.จันทนา บุญยะรัตน์
ผศ.สพ.ญ.ทิพย์รัตน์ มูลิกะเรียว
ดร.วราภิตย์ ดลสุจิต
ดร.คณิต มานะรุระ
ดร.ยศพล เหลืองโสมนภา

ทีมงานจัดทำวารสาร

ดร.ภทรพร ยุทธาภรณ์พินิจ
ผศ.พรทิพย์ พรสุริยา
นางสาวเดือนใจ สลับศรี
นางสาวปัญญชา สุริยะสาร
นางสาวสุวรรณา ปิตาบาล

รศ.ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา
นางสาววรรณษา บาลโสง
นางสาววิริยา แจ่มสวัสดิ์
นางสาววิลาวัลย์ ฤทธิ์เรืองโรจน์
นางสาวอริชฐาน บุญเสริม

ดร.ชัยวัฒน์ หลุทัยพันธ์
นางสาวประกาย ขวัญหลาย
นางสาวนิราวัลย์ ศรีทอง
นางสาวลัดดาณีย์ บังเกิดสุข



วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2561 Vol.11 No.2 July - December 2018

Institute of Research and Development

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

<http://ird.rmutto.ac.th>

ISSN 1906-1889



วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ผู้จัดพิมพ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

กำหนดการเผยแพร่

ตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี และเผยแพร่ในเว็บไซต์ สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

การเผยแพร่

มอบให้ห้องสมุดหน่วยงานรัฐบาล สถาบันการศึกษาในประเทศ
และหน่วยงาน/บุคคลที่สนใจ

ข้อมูลติดต่อ

กองบรรณาธิการวารสารวิจัย
สำนักงานวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 5
เลขที่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร. 0-3835-8201 ต่อ 8508-8510
โทรสาร 0-3835-8142 <http://ird.rmutto.ac.th>

- ❖ บทความทุกเรื่องได้รับการตรวจความถูกต้องทางวิชาการโดยผู้ทรงคุณวุฒิ
- ❖ มีผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกประจำกองบรรณาธิการมากกว่าร้อยละ 50
- ❖ มีบทความจากนักวิชาการและนักวิจัยภายนอกลงตีพิมพ์ทุกฉบับ
- ❖ ข้อความและบทความในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เป็นแนวคิดของผู้เขียน ไม่ใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของคณะผู้จัดทำ บรรณาธิการ กองบรรณาธิการ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
- ❖ กองบรรณาธิการไม่สงวนสิทธิ์การคัดลอก แต่ควรระบุแหล่งอ้างอิงจากวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



ชลกิจการพิมพ์

47 ถ.ศรีราชานคร 1 ต.ศรีราชา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร. 038-324711 E-mail : chonlakit555@hotmail.com

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2561

Vol. 11 No. 2 July - December 2018

ISSN 1906-1889



เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ที่ปรึกษา

ศ.ดร.สมชาย ปฐมศิริ

ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

ศ.ดร.สมปอง เตชะโต

ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร

ศ.ดร.อลงกลด แทนอมทอง

รศ.ดร.จำเริญ อ่อนทอง

รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร

รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ

รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู

รศ.ดร.กฤษณมภ์ ภูมิภิตติพิชญ์

รศ.ธีรวิสิทธิ์ พวงจิก

ผศ.ดร.อภิรักษ์ณธ์ เกษมผลกุล

กองบรรณาธิการ

ศ.ดร.สิน พันธุ์พินิจ

ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

ศ.ดร.เสาวภา อังสุภานิช

ศ.ดร.สนั่น จอกลอย

ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร

รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู

รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ

รศ.ดร.จำเริญ อ่อนทอง

รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร

รศ.ดร.ดุสิต เวทกิจ

รศ.ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย

รศ.ดร.สุวัจน์ ธีรสุร

รศ.ดร.กฤษณมภ์ ภูมิภิตติพิชญ์

ม.เกษตรศาสตร์

ม.สงขลานครินทร์

ม.ขอนแก่น

ม.ขอนแก่น

ม.ราชภัฏรำไพพรรณี

มจพ.

ม.สงขลานครินทร์

ม.เชียงใหม่

ม.สุโขทัยธรรมาธิราช

ม.บูรพา

มทร.ศรีวิชัย

มทร.ธัญบุรี

บรรณาธิการ

รศ.ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผศ.พรทิพย์ พรสุริยา

ผลงานวิจัยหรือบทความที่ปรากฏในวารสารนี้เป็นแนวคิดและความรับผิดชอบของผู้เขียน ไม่ใช่แนวคิดของคณะผู้จัดทำ กองบรรณาธิการ ไม่สงวนสิทธิ์ในการคัดลอก แต่ควรระบุแหล่งอ้างอิงจาก วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2561) มีงานวิจัยที่น่าสนใจและน่าติดตามเป็นอย่างยิ่ง โดยในหน้าปกฉบับนี้เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมโรคเน่าดำในกล้วยไม้มอคคาร่าในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้พืชสมุนไพร และยังมีงานวิจัยทางด้านสมุนไพรในเรื่องอื่น ๆ ได้แก่ การศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากต้นพะยอม ประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชสมุนไพรต่อการควบคุมเพลี้ยแป้งมะละกอ ผลของการเสริมไบโमेรุ่มต่อคุณสมบัติโฟรโบไอดีกนิมแพะอัดเม็ด และองค์ประกอบทางเคมีจากส่วนสกัดหยาดเหงื่อของราก *Artocarpus thailandicus* เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยทางด้านผลิตภัณฑ์อาหารและวิศวกรรม เช่น การพัฒนาวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายปริมาณน้อยเพื่อวิเคราะห์กรดเบนโซอิกในขนมจีน การกักเก็บสารสกัดหยาดเหงื่อจากเปลือกส้มโอ และการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น โดยในฉบับนี้ได้รับความร่วมมือจากนักวิจัยทุกท่านในการปรับแก้รูปแบบการตีพิมพ์ของบทความตามรูปแบบการตีพิมพ์ของฐานข้อมูล ACI (Asian Citation Index) ซึ่งในปัจจุบันวารสารอยู่ในฐาน TCI 1 และจะเข้าสู่ฐาน ACI ต่อไปอีกก้าวหนึ่ง

ทั้งนี้ตั้งแต่ฉบับ 1/62 เป็นต้นไป ทางวารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จะได้เข้าสู่ระบบการจัดการ และตีพิมพ์วารสารวิชาการในรูปแบบวารสารออนไลน์อิเล็กทรอนิกส์ (E-Journal) ซึ่งดำเนินงานโดยศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) หรือที่เรียกว่า ThaiJo ดังนั้นผู้แต่งจึงต้องส่งและติดตามบทความได้โดยผ่านทางเว็บไซต์ของ ThaiJo โดยเข้าไปที่เว็บไซต์ <https://www.tci-thaijo.org/> และค้นหาวารสารวิจัยฯ ในช่องค้นหาของหน้าเว็บ (หรือค้นคำว่า researchjournal2rmutto) ท่านก็จะคลิกเข้าสู่หน้าของวารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกได้ในระบบ ThaiJo

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

บรรณาธิการ

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สารบัญ

หน้า

ผลของอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลีและระยะเวลาการอบแห้งขึ้นต้นต่อสมบัติทางกายภาพ และประสาทสัมผัสของพลาสติกแผ่นกรอบที่เตรียมโดยใช้เตาไมโครเวฟ.....	1
นันทิกา พันธุ์สวัสดิ์ สุพิชญา วาสะศิริ และ จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร	
ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากต้นพะยอม	10
กรรณิการ์ พิมพ์รส อนุคนันท์ โสภณางกูร อนันตญา แสนสวัสดิ์ และ มาโนช รัตนคุณ	
การกักเก็บสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ	21
พุดิยา รัตนศิริวัฒน์ กนิษฐา ไพรงาม รัชนก สงวนวงษ์ วาสนา ชาวนาตรี และ ประภาพรณ เพียรชอบ	
ผลของการเสริมไบโอมะรุมต่อคุณลักษณะโพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ด.....	31
มนตรี ยอดธงชัย และ วิสาขะ อนันธวัช	
ผลของการใช้น้ำสารสกัดสาหร่ายน้ำจืดร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโต ของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์.....	45
รัตนกร กฤษณชาญติ	
องค์ประกอบทางเคมีจากส่วนสกัดหยาบเฮกเซนของราก <i>Artocarpus thailandicus</i>	50
วันทนี นามมาลา และ วารี เนื่องจำนงค์	
การเพิ่มผลผลิตโคเนื้อโดยใช้พืชสมุนไพรตระกูลถั่วทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป.....	58
วิระพล แจ่มสวัสดิ์ ชงโค แซ่ตั้ง วรพล แจ่มสวัสดิ์ สุรศักดิ์ สาลีพัชราภรณ์ และ จิรัฏ्ฐ เหมือนวิหาร	
การพัฒนากระบวนการควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง.....	65
พิทักษ์ คล้ายชม อภิศักดิ์ พรหมฝ่าย และ ไพโรจน์ นะเที่ยง	
อิทธิพลของสัดส่วนชีวมวลผสมและอุณหภูมิไฟโรไลซิสที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของถ่าน ที่ผลิตได้ในกระบวนการไฟโรไลซิสแบบช้า เพื่อประยุกต์ไปใช้เชิงธุรกิจชุมชน	75
พิมพ์ไศภิชฐ์ สดเอี่ยม ฉัตรชัย เบญจปิยะพร และ ณัฐดนัย พรณูเจริญวงศ์	
ประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชสมุนไพรต่อการควบคุมเพลี้ยแป้งมะละกอ	84
อมรรัตน์ ชุมทอง และ ศุภรัตน์ สังข์ทอง	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การตรวจวินิจฉัยพยาธิเม็ดเลือดในสุนัขชนิดเอริเซีย เคนิส และบาปีเซีย สปีชีส์โดยใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่ โพลิเมอเรสสำหรับศูนย์ชันสูตรโรคสัตว์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก	92
ธนิดา สนั่นเมือง ภาวนา บุณะกิจ วรรณิษา นาพูน และ กาจ โชคชัยอุสาทะ	
การศึกษาโรคเน่าดำของกล้วยไม้สกุลมอคคาร่าและการควบคุม	99
สุภาภรณ์ เอี่ยมแข่ง และ ชญานนท์ บริบูรณ์	
การพัฒนาวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายปริมาณน้อยเพื่อวิเคราะห์กรดเบนโซอิกในขมจีน	106
วรพรรณ พรหมศิลา ธาวิตา จาดเชื้อ และ ลลิตา สว่างเวียง	
การเปรียบเทียบการให้ค่าน้ำหนักค่าแบบทีเอฟและแบบทีเอฟไอดีเอฟในการหาความคล้ายคลึงแบบโคซายน์ สำหรับระบบแนะนำการดูแลตนเองของผู้ป่วยเบาหวาน	114
ณิชนันท์ กิตติพัฒน์บวร สุวิสา คงวัดใหม่ และ สุดฝัน สุวรรณมณี	
คุณลักษณะและคุณภาพบางประการของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่หมดอายุแล้ว 5 ปี	122
สุบัณฑิต นิมรัตน์ ณัฐวดี ขุนแจ้ง และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย	
การจัดทำแผนที่มรดกทางสถาปัตยกรรม ชุมชนบางปลาสร้อย จังหวัดชลบุรี โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน	131
พรจิต พิระพัฒน์กุล	
การออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อมัดเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก	142
ยิ่งยง รุ่งฟ้า มธุรส ชาวไร่ปรารถนา อนันต์ พงศ์ธรรณกุลพานิช ธัญญพัทธ์ วัฒนจิรพันธุ์ และ นัยนา สถิตยเสถียร	

ผลของอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลีและระยะเวลาการอบแห้งขั้นต้น
ต่อสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของปลาสดแผ่นกรอบ
ที่เตรียมโดยใช้เตาไมโครเวฟ

Effect of Tapioca Starch/Wheat Flour Ratio and Pre-drying Time
on Physical and Sensory Properties of Snake Skin Gourami Fish Chips
Prepared by Using Microwave Oven

นันทิภา พันธุ์สวัสดิ์ สุพิชญา วาสะศิริ และ จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร

Nantipa Pansawat, Supichaya Wasasiri and Jiraporn Runglerdkreingrai

ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Department of Fishery Products, Faculty of Fisheries, Kasetsart University

Email: ffsntp@ku.ac.th โทร. 0-2942-8644

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลีและระยะเวลาในการอบแห้งขั้นต้น (pre-drying time) ต่อสมบัติของปลาสดแผ่นกรอบซึ่งเตรียมจาก ซูริมิ เนื้อปลาสดเค็มแดดเดียว เกลือ และส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี อัตราส่วน 100:0, 75:25 และ 50:50 โดยน้ำหนัก ผสมและขึ้นรูปเป็นแผ่นขนาด 40×40×1 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบแห้งขั้นต้นในเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 0, 30 และ 60 นาที เก็บปลาแผ่นดิบไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วทำพองด้วยไมโครเวฟ วิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส ได้แก่ ปริมาณความชื้นของปลาแผ่นก่อนและหลังทำพอง ค่าสี ความแข็ง การขยายตัวในแนวระนาบ การขยายตัวของความหนา อัตราส่วนการขยายตัว ความหนาแน่นรวม และการทดสอบความชอบ (hedonic scores) พบว่า ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของปลาแผ่นหลังขึ้นรูปมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 18.55-18.81 ที่ทุกอัตราส่วน แป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี ($P > 0.05$) และหลังจากการอบแห้งขั้นต้นเป็นระยะเวลา 30 และ 60 นาที ปริมาณความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 12.31-13.93 และ 10.01-12.90 ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) ค่าความสว่าง (L^*) ของปลาแผ่นหลังทำพองมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาการอบแห้งขั้นต้น ($P \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลจากอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี ($P > 0.05$) ส่วนค่าความแข็งลดลงตามระยะเวลาการอบแห้งขั้นต้นที่เพิ่มขึ้น ($P \leq 0.05$) การเพิ่มอัตราส่วนแป้งสาลีและระยะเวลาการอบแห้งขั้นต้นให้ผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นกรอบหลังทำพองที่ได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงขึ้น โดยการใช้อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี 50:50 และระยะเวลาการอบแห้งขั้นต้น 60 นาที มีปริมาณความชื้นหลังอบร้อยละ 10.01 ± 0.16 ให้ผลิตภัณฑ์ปลาสดแผ่นกรอบที่ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด

คำสำคัญ : ปลาแผ่นกรอบ ปลาสด เตาไมโครเวฟ

Abstract

The objective of this study was to investigate the effect of tapioca starch and wheat flour (T:W) ratio and pre-drying time on properties of the fish chips. The fish chips were prepared by mixing surimi, salted snake skin gourami (*Trichogaster pectoralis*) meat, salt and mixtures of T:W (100:0, 75:25 and 50:50, w/w), forming into thin sheets (40×40×1 mm), pre-drying in a hot air oven at 60°C (0, 30 and 60 min). The raw fish chips were kept overnight at 4°C and puffed by using a microwave oven.

The chemical, physical and sensory properties of the fish chips: moisture content, color, hardness, linear expansion, expansion ratio, bulk density and sensory properties were determined. The initial moisture contents of the raw fish chip (0 min pre-drying time) were not different (18.55-18.81%) for all T:W ratio ($p > 0.05$). After pre-drying for 30 and 60 min the moisture contents reduced to 12.31-13.93% and 10.01-12.90% ($p \leq 0.05$), respectively. L^* value of the fish chips after puffing were decreased when increased pre-drying time ($p \leq 0.05$) but not affected by the T:W ratio. The hardness values of the fish chip were increased when increased pre-drying time ($p \leq 0.05$). The expansion ratio and linear expansion (%) tended to decrease when increased pre-drying time at any T:W ratio. Increased wheat flour ratio and pre-drying time increased the hedonic scores for appearance, color, texture and overall acceptability and the highest hedonic score in overall acceptability was found at T:W 50:50 and 60 min pre-drying time ($10.01 \pm 0.16\%$ moisture content).

Keywords : Fish chips, Snakeskin gourami, Microwave oven

1. บทนำ

ปลาสดเป็นปลาน้ำจืดที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย มีมากในบริเวณภาคกลาง นิยมนำมาแปรรูปเป็นปลาสดเค็มหรือปลาสดเค็มแดดเดียวเนื่องจากมีกลิ่นและรสชาติเฉพาะตัว ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากปลาสดยังคงมีอยู่น้อย ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำปลาสดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวแบบแผ่นโดยไม่ใช้กระบวนการทอดเพื่อเป็นทางเลือกอาหารเพื่อสุขภาพและเป็นการเพิ่มรูปแบบการใช้ประโยชน์จากปลาสด ทั้งนี้ มีปัจจัยด้านส่วนผสมและกระบวนการผลิตซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของขนมขบเคี้ยวจากปลาสดทั้งทางกายภาพและประสาทสัมผัส เช่น ปริมาณเนื้อปลา ชนิดและอัตราส่วนของแป้งที่ใช้ ปริมาณไขมัน ปริมาณความชื้นเริ่มต้น รวมทั้งปัจจัยด้านกระบวนการผลิต เช่น ชนิดของเครื่องมือ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความร้อน เป็นต้น การให้ความร้อนในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์พองกรอบทำได้หลายวิธี เช่น การทอด การย่าง การอบลมร้อน การใช้เตาไมโครเวฟ และเอ็กซ์ทราซัน ซึ่งเป็นกระบวนการทำพองโดยไม่ใช้ตัวกลางเป็นน้ำมัน

ในการศึกษานี้เลือกใช้วิธีการทำพองปลาสดแผ่นกรอบโดยใช้เตาไมโครเวฟ ซึ่งเป็นวิธีการให้ความร้อนที่ได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากมีอัตราการให้ความร้อนกับอาหารสูงและรวดเร็วกว่าการแปรรูปด้วยวิธีอื่น (Humberto *et al.*, 2001) ลดการใช้น้ำมันและสามารถเป็นทางเลือกอาหารเพื่อสุขภาพ (Rakesh and Datta, 2011; Truong *et al.*, 2014) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการใช้คลื่นไมโครเวฟเกิดจากการเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กอย่างรวดเร็วของสารประกอบที่มีขั้ว (dipole rotation) และเกิดจากการเคลื่อนที่เสียดสีกันของไอออนในสารละลาย (ionic polarization) (Rungsardthong, 2002; Chandrasekaran *et al.*, 2013) ซึ่งน้ำเป็นโมเลกุลมีขั้วที่สำคัญที่ทำให้เกิดความร้อนในอาหาร เมื่อน้ำได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวและเกิดแรงดัน ในขณะเดียวกันโครงสร้างของผลิตภัณฑ์จะเกิดแรงต้านหรือแรงยึดเหนี่ยวไม่ให้น้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ การขยายตัวที่ดีและเกิดรูพรุนที่สม่ำเสมอจะเกิดจากสภาวะที่มีแรงดันของไอน้ำเท่ากับแรงต้านของผลิตภัณฑ์ (Suwonsichon, 1992) ต้องไม่ทำให้โครงสร้างของโพรงอากาศแตก (breaking) หรือร้าว (cracking) ระหว่างการทำพอง (Jiamjaritatham *et al.*, 2015) ดังนั้น ส่วนประกอบของอาหารและสภาวะในการทำพอง เช่น ปริมาณน้ำ อุณหภูมิ และความดันจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อโครงสร้างของผลิตภัณฑ์

ส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ เนื้อปลา การผสมเนื้อปลากับเกลือปริมาณที่เหมาะสมทำให้เกิดเป็นเจล (gelation) ซึ่งยึดหยุ่นได้ จากการศึกษาลักษณะของเจล (gel) ที่เตรียมจากเนื้อปลาล้วน เจลผสมระหว่างเนื้อปลากับแป้งมันสำปะหลัง และเจลแป้งมันสำปะหลังล้วน พบว่า เจลจากเนื้อปลาล้วนหลังจากให้ความร้อนจนสุกจะได้เจลที่มีความสามารถในการคืนตัว (springiness) และค่าการยึดเกาะ (cohesiveness) สูงกว่าเจลจากแป้งมันสำปะหลังล้วน อย่างไรก็ตามเมื่อทำให้พองด้วยไมโครเวฟ พบว่ามีลักษณะโพรงอากาศขนาดใหญ่ มีการขยายตัวต่ำกว่าเจลจาก

แป้งมันสำปะหลังล้วนและเจลดผสมระหว่างเนื้อปลากับแป้งมันสำปะหลัง (Wang *et al.*, 2013) การเติมแป้งมันสำปะหลังลงไปในผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นเนื้อปลาจึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความสามารถในการพองตัวและมีความคงตัวของโครงสร้างหลังทำพองเพิ่มมากขึ้น

อัตราส่วนของอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) ในแป้งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของเพส (paste) หรือเจลและการพองตัวของผลิตภัณฑ์ทำพอง (puffed products) (Saeleaw and Schleining, 2010) แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูงซึ่งเกิดการพองตัวได้ดี ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นต่ำ ส่วนแป้งสาลีเป็นแป้งที่มีอัตราส่วนของอะไมโลสสูงพองตัวได้ยาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะกรอบแข็ง แต่จะพองตัวอยู่ได้นาน ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลีและระยะเวลาในการอบแห้งขั้นต้น (pre-drying time) ต่อคุณสมบัติของพลาสติกแผ่นกรอบ เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตอาหารขบเคี้ยวแบบพองกรอบจากพลาสติกโดยไม่ใช้กระบวนการทอดให้ที่มีลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบและวิธีการเตรียมผลิตภัณฑ์

วัตถุดิบที่ใช้ประกอบด้วย ซูริมิปลาทรายแดง จากบริษัท แปซิฟิกมารีนฟู้ดโปรดักส์ จำกัด มีค่าความแข็งแรงของเจล 500-700 g.cm ปริมาณความชื้นร้อยละ 76-78 เนื้อพลาสติกเค็มแดดเดียวบดละเอียด มีปริมาณความชื้นและปริมาณเกลือร้อยละ 31 และ 8 ตามลำดับ แป้งมันสำปะหลังตราปลาไทย แป้งสาลีเอนกประสงค์ตราว่าว และเกลือป่นตราปทุมทิพย์

เตรียมพลาสติกแผ่นโดยนำซูริมิ 65 กรัม และเนื้อพลาสติกเค็มแดดเดียว 20 กรัม สับผสมด้วยเครื่องสับผสมเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเติมเกลือ 1 กรัม สับผสมเป็นเวลา 1 นาที เติมส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี ศึกษาเปรียบเทียบที่อัตราส่วน 100:0, 75:25 และ 50:50 โดยน้ำหนัก รีดขึ้นรูปเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมให้มีความหนา 1 มิลลิเมตร ตัดให้มีขนาด 40×40 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบแห้งขั้นต้น (pre-drying) ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 0, 30 และ 60 นาที เก็บปลาแผ่นดิบไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง นำมาพักไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปทำพองด้วยไมโครเวฟกำลังไฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 45 วินาที แล้วนำเข้าไมโครเวฟอีกครั้งที่กำลังไฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 90 วินาที

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์พลาสติกแผ่น

2.2.1 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005) ของพลาสติกแผ่นก่อนและหลังนำไปอบลดความชื้นขั้นต้นที่ระยะเวลาต่าง ๆ และหลังจากการทำพองด้วยไมโครเวฟ

2.2.2 คุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่

1) ค่าสี CIE L* a* และ b* วัดด้วยเครื่องวัดสี (Konica MINOLTA spectrophotometer CM-3500d) วัดค่า 5 ซ้ำ

2) ค่าความแข็ง (Hardness) วัดด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยใช้หัววัด spherical probe ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว (SMS P/O.5S) ความเร็วก่อนเจาะตัวอย่าง 1.0 mm/s อัตราเร็วในการเจาะ 1.0 mm/s ความเร็วหลังเจาะตัวอย่าง 10.0 mm/s และระยะทางในการกด 5 mm วัดค่า 10 ซ้ำ (ดัดแปลงจากวิธีของ Nguyen *et al.*, 2013)

3) การขยายตัวในแนวระนาบ (linear expansion) วัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (Kyaw *et al.*, 2001) วัดค่า 10 ซ้ำ คำนวณดังนี้

$$\text{การขยายตัวในแนวระนาบ} = \frac{\text{ความยาวหลังทำพอง} - \text{ความยาวก่อนทำพอง}}{\text{ความยาวก่อนทำพอง}} \times 100$$

4) การขยายตัวของความหนา (% thickness expansion) วัดโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Kyaw *et al.*, 2001) วัดค่า 10 ซ้ำ คำนวณดังนี้

$$\text{การขยายตัวของความหนา} = \frac{\text{ความหนาหลังทำพอง} - \text{ความหนาก่อนทำพอง}}{\text{ความหนาก่อนทำพอง}} \times 100$$

5) อัตราส่วนการขยายตัว (expansion ratio) โดยการวัดปริมาตรของปลาแผ่นด้วยการแทนที่เมล็ดงา (seed displacement) (Yan *et al.*, 2008) วัดค่า 10 ซ้ำ คำนวณดังนี้

$$\text{อัตราส่วนการพองตัว} = \frac{\text{ปริมาตรหลังทำพอง}}{\text{ปริมาตรก่อนทำพอง}} \times 100$$

6) ความหนาแน่นโดยรวม (bulk density) (Yan *et al.*, 2008) วัดค่า 10 ซ้ำ คำนวณดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นโดยรวม (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังทำพอง}}{\text{ปริมาตรหลังทำพอง}}$$

2.2.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ใช้การประเมินความชอบแบบ 9-point hedonic scale (Meilgaard *et al.*, 1990) ให้คะแนนความชอบ 1 ถึง 9 คะแนน (1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ ชอบมากที่สุด) โดยประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความแข็ง และความชอบรวม ใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 30 คน

2.3 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3x3 ชนิดสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี และระยะเวลาในการอบแห้งขั้นต้น ปัจจัยละ 3 ระดับ นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าคุณภาพทาง เคมี กายภาพและประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ค่า $\alpha = 0.05$ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของปลาสดแผ่น

ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างปลาแผ่นที่มีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี 100:0, 75:25 และ 50:50 หลังขึ้นรูป มีค่าร้อยละ 18.55-18.81 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่หลังการอบแห้งขั้นต้นเป็นเวลา 60 นาที พบว่าปลาแผ่นที่มีอัตราส่วนแป้งสาลีสูงขึ้นมีปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่า ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 1) เนื่องจากแป้งสาลีมีปริมาณอะไมโลสสูง โครงสร้างของแป้งมีความแข็งแรง มีความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ได้น้อย (Tester and Morrison, 1990) น้ำจึงระเหยออกได้มากกว่า

อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลีและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งขั้นต้นมีอิทธิพลร่วมกัน ($p \leq 0.05$) ต่อค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์ปลาแผ่นกรอบ เมื่อใช้ระยะเวลาในการอบแห้งขั้นต้นเพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย กล่าวคือ ที่อัตราส่วนแป้งสาลีที่สูงขึ้นจะมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง และค่าความเป็นสีแดง (a^*) สูงกว่าที่เติมแป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโปรตีนของเนื้อปลาและแป้งสาลีได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไมซ์เอนไซม์ (Maillard reaction) สอดคล้องกับรายงานของ Sriroth and Piyachomkwan (2000) พบว่าสีของผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งสาลี และแป้งข้าวโพดเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไมซ์เอนไซม์ (Maillard reaction) หลังจากให้ความร้อนเนื่องจากแป้งเหล่านี้มีปริมาณโปรตีนสูง

อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลีและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นต้นมีอิทธิพลร่วมกัน ($p \leq 0.05$) ต่อค่าความแข็ง โดยในพลาสติกแผ่นที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี 100:0 นั้น การเพิ่มระยะเวลาการอบแห้งขึ้นต้นปริมาณความชื้นลดลง ให้ผลิตภัณฑ์มีค่าอัตราส่วนการขยายตัวสูงขึ้นและมีค่าความแข็งลดลง ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 1) การเพิ่มระยะเวลาการอบแห้งขึ้นต้นในปลาแผ่นที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี 75:25 และ 50:50 ให้ผลิตภัณฑ์มีอัตราส่วนการขยายตัวสูงกว่าที่ระยะเวลาการอบแห้งขึ้นต้น 0 นาที แต่มีค่าความแข็งไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) (ตารางที่ 1) เนื่องจากที่ระยะเวลาการอบแห้งขึ้นต้น 0 นาที มีปริมาณความชื้นสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแข็งเหนียว (Kulchan *et al.*, 2010) ส่วนที่ระยะเวลาการอบแห้งขึ้นต้นที่นานมากขึ้นจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะความแข็งแบบแข็งกรอบ ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีแป้งสาลีซึ่งเป็นแป้งที่มีอะไมโลสสูงเป็นส่วนผสม จะให้ลักษณะการพองตัวแบบแน่นและแข็งกรอบ (Boon-Long, 1985) ส่วนแป้งมันสำปะหลังเป็นมีปริมาณอะไมโลสต่ำจะให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำ เปราะ และแตกหักง่าย (Chotpradit, 2002)

อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลีและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นต้นมีอิทธิพลร่วมกัน ($P \leq 0.05$) ต่อการขยายตัวในแนวระนาบ การขยายตัวของความหนา และอัตราส่วนการพองตัว แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน ($P > 0.05$) ต่อความหนาแน่นรวม (ตารางที่ 1) กล่าวคือ ความหนาแน่นรวมของปลาแผ่นที่อบแห้งเบื้องต้นระยะเวลา 0 นาที มีค่าสูงกว่าที่อบแห้งระยะเวลานานขึ้นที่ทุกอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี แต่ค่าความหนาแน่นรวมของผลิตภัณฑ์ที่ทุกอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลีมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$)

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้นในพลาสติกแผ่นที่เติมแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลีอัตราส่วน 100:0, 75:25 และ 50:50 โดยน้ำหนัก ก่อนและหลังการอบแห้งขึ้นต้น 0, 30 และ 60 นาที และค่าทางกายภาพของพลาสติกแผ่นกรอบหลังทำพองด้วยเตาไมโครเวฟ

ค่าคุณภาพ	อัตราส่วนของ แป้งมันสำปะหลัง ต่อแป้งสาลี	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			เฉลี่ย
		ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นต้น			
		0 นาที (ไม่อบแห้งขึ้นต้น)	30 นาที	60 นาที	
ปริมาณความชื้น หลังอบแห้งขึ้นต้น (ร้อยละ)	100:0	18.68±1.18 Aa	13.93±0.34 Ba	12.90±0.60 Ba	
	75:25	18.55±0.64 Aa	12.31±0.47 Bb	10.28±0.32 Cb	
	50:50	18.81±0.90 Aa	13.33±0.39 Ba	10.01±0.16 Cb	
ค่าสี L*	100:0	57.55±1.52 Ab	59.56±1.90 Aa	59.54±1.25 Aa	
	75:25	44.30±1.38 Cc	56.73±0.96 Aa	51.00±1.74 Bb	
	50:50	61.79±0.58 Aa	56.68±1.63 Ba	59.46±1.96 ABa	
ค่าสี a*	100:0	2.00±0.82 Ab	1.71±0.68 Ab	0.95±0.33 Ab	
	75:25	6.90±0.93 Aa	4.85±1.62 Aa	6.31±1.76 Aa	
	50:50	-0.66±0.18 Bc	2.49±0.72 Ab	1.98±0.88 Ab	
ค่าสี b*	100:0	19.48b±2.13 Aa	19.48±0.51 Ab	14.58±2.72 Ba	
	75:25	20.08±2.31 ABa	22.61±1.66 Aa	17.24±1.61 Ba	
	50:50	15.06±2.30 Bc	19.10±1.14 Ab	17.69±1.88 ABa	
ความแข็ง (นิวตัน)	100:0	8.59±1.23 Aa	6.48±0.63 Ba	4.54±0.48 Cc	
	75:25	7.07±0.69 Ac	5.41±0.33 Bb	5.99±0.47 Bb	
	50:50	7.97±1.35 Aab	6.32±0.90 Ba	7.20±0.59 ABa	
การขยายตัว ในแนวระนาบ (ร้อยละ)	100:0	18.25±3.3 6 Ca	31.80±0.91 Ba	44.79±5.27 Aa	
	75:25	6.97±1.79 Cb	21.09±2.25 Bb	35.58±5.46 Ab	
	50:50	0.29±3.70 Bb	21.60±3.7 4 Ab	22.30±3.33 Ac	

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ค่าคุณภาพ	อัตราส่วนของ แป้งมันสำปะหลัง ต่อแป้งสาลี	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นต้น			เฉลี่ย
		0 นาที (ไม่อบแห้งขึ้นต้น)	30 นาที	60 นาที	
การขยายตัวของความหนา (ร้อยละ)	100:0	90.9 $\pm$ 13.77 ^{Aa}	1.99 $\pm$ 3.75 ^{Bb}	-4.02 $\pm$ 8.86 ^{Ba}	
	75:25	91.43 $\pm$ 9.72 ^{Aa}	26.92 $\pm$ 7.06 ^{Ba}	-7.20 $\pm$ 9.91 ^{Ca}	
	50:50	98.15 $\pm$ 4.53 ^{Aa}	27.58 $\pm$ 3.96 ^{Ba}	-11.59 $\pm$ 17.74 ^{Ca}	
อัตราส่วนการขยายตัว	100:0	4.50 $\pm$ 0.33 ^{Ba}	5.80 $\pm$ 0.42 ^{Ab}	5.93 $\pm$ 0.21 ^{Ab}	
	75:25	4.30 $\pm$ 0.21 ^{Ba}	6.57 $\pm$ 0.27 ^{Aa}	6.63 $\pm$ 0.27 ^{Aa}	
	50:50	3.90 $\pm$ 0.21 ^{Bb}	6.27 $\pm$ 0.43 ^{Aab}	5.90 $\pm$ 0.37 ^{Ab}	
ความหนาแน่นรวม	100:0	0.23 $\pm$ 0.04	0.13 $\pm$ 0.02	0.14 $\pm$ 0.01	0.17 $\pm$ 0.05 ^{ns}
	75:25	0.23 $\pm$ 0.01	0.13 $\pm$ 0.02	0.12 $\pm$ 0.01	0.16 $\pm$ 0.05 ^{ns}
	50:50	0.23 $\pm$ 0.02	0.14 $\pm$ 0.01	0.14 $\pm$ 0.01	0.17 $\pm$ 0.04 ^{ns}
	เฉลี่ย	0.23 $\pm$ 0.02 ^A	0.14 $\pm$ 0.01 ^B	0.13 $\pm$ 0.01 ^B	

^{A, B, C} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

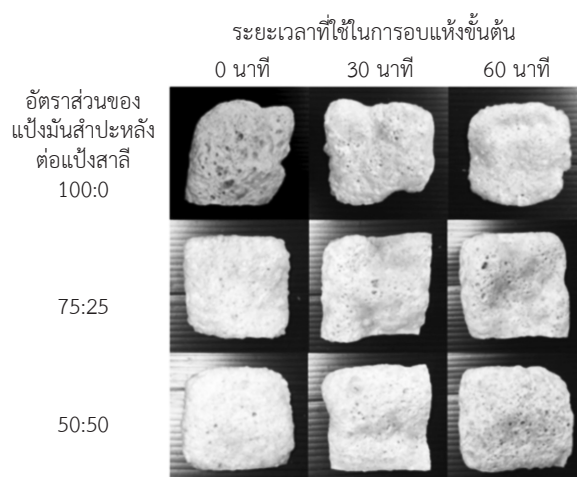
^{a, b, c} ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นต้น 60 นาที ที่ทุกอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี ให้แนวโน้มค่าการขยายตัวในแนวนอนและอัตราส่วนการพองตัวสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นก่อนทำพองที่เหมาะสม โดยที่ปริมาณความชื้นต่ำ เมื่อเกิดการพองตัว ผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์จะแห้ง จึงไม่เกิดการยุบตัวหลังการอบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jitjumnong (2011) ซึ่งรายงานว่าการผลิตขนมข้าวเหนียวกลิ้งอบพองที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นก่อนทำพองร้อยละ 14 มีอัตราการขยายตัวสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 16, 18, 20 และ 22

3.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ลักษณะของผลิตภัณฑ์พลาสติกแผ่นกรอบหลังทำพองด้วยไมโครเวฟมีลักษณะการพองตัวคล้ายคลึงกัน คือ มีโพรงอากาศกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ยกเว้นในปลาแผ่นที่เติมแป้งมันสำปะหลังล้วน มีสีอ่อนและโพรงอากาศขนาดใหญ่ (ภาพที่ 1) เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบ พบว่า อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลีและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นต้นมีอิทธิพลร่วมกันต่อลักษณะปรากฏและกลิ่น ($P \leq 0.05$) และมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคะแนนความชอบด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบรวมเฉลี่ย (ตารางที่ 2) จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนแป้งสาลีและระยะเวลา การอบแห้งขึ้นต้นที่สูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนความชอบที่สูงขึ้นด้วย ($P \leq 0.05$) โดยที่อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี 50:50 ระยะเวลาในการอบแห้งขึ้นต้น 60 นาที ให้คะแนนความชอบสูงที่สุดในทุกลักษณะ รวมถึงความชอบรวม ผลิตภัณฑ์มีลักษณะพองตัวแบบมีโพรงอากาศขนาดเล็กกระจายทั่วทั้งแผ่น (ภาพที่ 1) มีค่าความแข็ง ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงที่สุดเท่ากับ 7.13 $\pm$ 1.03



ภาพที่ 1 ปลาสลิดแผ่นที่เติมแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลีอัตราส่วน 100:0, 75:25 และ 50:50 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการอบแห้งชิ้นต้น 0, 30 และ 60 นาที หลังทำพองโดยใช้เตาไมโครเวฟ

ตารางที่ 2 คะแนนความชอบ 9 ระดับของปลาสลิดแผ่นที่เติมแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี อัตราส่วน 100:0, 75:25 และ 50:50 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการอบแห้งชิ้นต้น 0, 30 และ 60 นาที หลังทำพองด้วยเตาไมโครเวฟ

ลักษณะทาง ประสาทสัมผัส	อัตราส่วนของ แป้งมันสำปะหลัง ต่อแป้งสาลี	คะแนนเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			เฉลี่ย
		ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งชิ้นต้น			
		0 นาที (ไม่อบแห้งชิ้นต้น)	30 นาที	60 นาที	
ลักษณะปรากฏ	100:0	5.98 $\pm$ 1.10 ^{Bb}	6.65 $\pm$ 0.89 ^{Aa}	6.67 $\pm$ 1.16 ^{Aa}	
	75:25	6.92 $\pm$ 0.89 ^{Aa}	6.50 $\pm$ 1.24 ^{Aa}	6.92 $\pm$ 0.98 ^{Aa}	
	50:50	7.19 $\pm$ 0.85 ^{Aa}	6.87 $\pm$ 0.89 ^{Aa}	7.00 $\pm$ 1.13 ^{Aa}	
สี	100:0	6.12 $\pm$ 1.28	6.50 $\pm$ 1.03	6.79 $\pm$ 1.10	6.47 $\pm$ 1.56 ^b
	75:25	6.58 $\pm$ 0.99	6.77 $\pm$ 0.91	6.62 $\pm$ 1.02	6.65 $\pm$ 0.96 ^b
	50:50	7.15 $\pm$ 0.97	6.94 $\pm$ 0.94	7.12 $\pm$ 0.86	7.07 $\pm$ 0.92 ^a
	เฉลี่ย	6.62 $\pm$ 1.15 ^{ns}	6.74 $\pm$ 0.97 ^{ns}	6.84 $\pm$ 1.01 ^{ns}	
กลิ่น	100:0	5.62 $\pm$ 1.24 ^{Bb}	6.38 $\pm$ 0.90 ^{Aa}	6.38 $\pm$ 1.33 ^{Aa}	
	75:25	6.48 $\pm$ 1.06 ^{Aa}	5.88 $\pm$ 1.48 ^{Aa}	6.27 $\pm$ 1.34 ^{Aa}	
	50:50	5.33 $\pm$ 1.63 ^{Bb}	5.71 $\pm$ 1.56 ^{Ba}	6.77 $\pm$ 1.39 ^{Aa}	
รสชาติ	100:0	5.73 $\pm$ 1.25	6.56 $\pm$ 1.06	6.56 $\pm$ 1.08	6.28 $\pm$ 1.19 ns
	75:25	6.50 $\pm$ 1.07	6.67 $\pm$ 1.19	6.37 $\pm$ 1.40	6.51 $\pm$ 1.22 ns
	50:50	6.04 $\pm$ 1.43	6.40 $\pm$ 1.44	6.79 $\pm$ 1.12	6.41 $\pm$ 1.35 ns
	เฉลี่ย	6.09 $\pm$ 1.28 ^B	6.54 $\pm$ 1.23 ^A	6.57 $\pm$ 1.20 ^A	
เนื้อสัมผัส	100:0	5.46 $\pm$ 1.39	6.27 $\pm$ 1.04	6.04 $\pm$ 1.43	5.92 $\pm$ 1.32 ^b
	75:25	6.52 $\pm$ 1.15	6.62 $\pm$ 1.06	6.83 $\pm$ 1.17	6.65 $\pm$ 1.12 ^a
	50:50	6.42 $\pm$ 1.21	6.87 $\pm$ 1.25	7.25 $\pm$ 0.95	6.85 $\pm$ 1.18 ^a
	เฉลี่ย	6.13 $\pm$ 1.33 ^B	6.58 $\pm$ 1.13 ^A	6.70 $\pm$ 1.29 ^A	

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี	คะแนนเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			เฉลี่ย
		ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นต้น			
		0 นาที (ไม่อบแห้งขึ้นต้น)	30 นาที	60 นาที	
ความชอบรวม	100:0	5.56 $\pm$ 1.27	6.33 $\pm$ 1.14	6.31 $\pm$ 1.38	6.06 $\pm$ 1.30 ^b
	75:25	6.42 $\pm$ 1.17	6.63 $\pm$ 1.00	6.88 $\pm$ 1.07	6.64 $\pm$ 1.08 ^a
	50:50	6.15 $\pm$ 1.43	6.56 $\pm$ 1.06	7.13 $\pm$ 1.03	6.62 $\pm$ 1.24 ^a
	เฉลี่ย	6.04 $\pm$ 1.33 ^B	6.51 $\pm$ 1.06 ^A	6.78 $\pm$ 1.21 ^A	

^{A, B} คะแนนเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{a, b} คะแนนเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{ns} คะแนนเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีความนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4. สรุป

อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลีและระยะเวลาการอบแห้งขึ้นต้นมีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์หลังทำพองด้วยไมโครเวฟ ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแป้งและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมก่อนการทำพอง โดยอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแป้งสาลี 50:50 และระยะเวลาการอบแห้งขึ้นต้น 60 นาที มีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 10 ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวสม่ำเสมอ และได้คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสสูงที่สุดในทุกลักษณะ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร ที่ให้ทุนอุดหนุนวิจัยในโครงการ “การเพิ่มศักยภาพการเพาะเลี้ยงและการพัฒนาคุณภาพมาตรฐานความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์พลาสติก”

6. เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 2005. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland.
- Boon-Long, N. 1985. **Development of cassava products as food and feed: cassava cracker quality**. Research Report. Department of product Development, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Chandrasekaran, S., S. Ramanathan and T. Basak. 2013. **Microwave food processing-A review**. Food Res. Intl. 52: 243-261.
- Chotpradit, B. 2002. **Development of Fish Strip from Clarias Catfish Surimi Fortified with Fibre from Konjac Flour**. M.S. Thesis. Department of Fishery Product, Kasetsart University, Bangkok (in Thai)
- Humbeto, V. M., M. Marcela C. N. and V. N. Gustavo. 2001. **Advance in dehydration of foods**. Food Eng. 49: 271-289.
- Jiamjariyatam, R., V. Kongpensook and P. Pradipasena. 2015. **Effects of amylose content, cooling rate and aging time on properties and characteristics of rice starch gels and puffed products**. J. Cereal Sci. 61:16-25.
- Jitjumnong, J. 2011. **Processing of Puffed Brown Sticky Rice Using Microwave Oven**. M.S. Thesis. Department of Food Science and Technology, Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)

- Kulchan, R., P. Suppakul and W. Boonsupthip. 2010. **Texture of glassy tapioca-flour based baked product as a function of moisture content.** In *Water Properties in Food, Health, Pharmaceutical and Biological Systems* (Sajjaanantakul, T., P. J. Lillford and S. Charoenrein, ed.). Wiley Blackwell, New York.
- Kyaw, Z. Y., S. Y. Yu, C. S. Cheow, M. H. Dzulkifly and N. K. Howell. 2001. **Effect of fish to starch ratio on viscoelastic properties and microstructure of fish cracker (keropok) dough.** *Int. J. Food Sci. Technol.* 36: 741-747.
- Lertworasirikul, S. and Y. Tipsuwan. 2008. **Moisture content and water activity prediction of semi-finished cassava crackers from drying process with artificial neural network.** *J. Food Eng.* 84: 65-74.
- Meilgaard, M., G. V. Civille and B. T. Carr. 1990. **Sensory Evaluation Techniques.** Florida, USA: CRC Press, Inc.
- Nguyen, T. T., T. Q. Le and S. Songsermpong. 2013. **Shrimp cassava cracker puffed by microwave technique: effect of moisture and oil content on some physical characteristics.** *Kasetsart J.* 47: 434-446.
- Rakesh, V. and A. Datta. 2011. **Microwave puffing: mathematical modeling and Optimization.** *Procedia Food Sci.* 1: 762-769.
- Rungsardthong, V. 2002. **Food Processing Technology.** 2nd. King Mongkut Institute University North Bangkok Press, Bangkok.
- Saeleaw, M. and G. Schleining. 2010. **Effect of blending cassava starch, rice, waxy rice and wheat flour on physico-chemical properties of flour mixtures and mechanical and sound emission properties of cassava crackers.** *J. Food Eng.* 100: 12-24.
- Sriroth, K. and K. Piyachomkwan. 2000. **Starch Technology.** 2nd. Kasetsart University Press, Bangkok. (in Thai)
- Suwonsichon, T. 1992. **Development of Snack Food from Defatted Peanut Flour and Pregelatinized Tapioca Flour.** M.S. Thesis. Department of Product Development, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Tipyawimol, T. 2008. **Development of A Microwave Heat Pump Dryer for Herbal Drying.** Ph.D. Thesis. Department of Agricultural Engineering, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Tester, R. F. and W. R. Morrison. 1990. **Swelling and gelatinization of cereal starches and waxy rice starches.** *Cereal Chem.* 67: 558-563.
- Truong, K.T-H., T.C. Le, S. Songsermpong and T.T. Le. 2014. **Comparison between traditional deep-oil and microwave puffing for physical and eating qualities of puffed pork rind.** *Kasetsart J. (Nat. Sci.).* 48: 799-814.
- Wang, W., M. Zhang and A.S. Mujumdar. 2013. **Effect of cassava starch gel, fish gel and mixed gels and thermal treatment on structure development and various quality parameters in microwave vacuum-dried gel slices.** *Food Hydrocoll.* 33: 26-37.
- Yan, Z. Y., M. J. Sousa-Gallagher and F. A. R. Oliveira. 2008. **Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying.** *J. Food Eng.* 84: 430-440.

ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากต้นพะยอม
Antimicrobial Activity of Extracts from Pa-Yom Tree
(*Shorea roxburghii* G. Don)

กรรณิการ์ พิมพ์รส* อนงค์นาฏ โสภณางกูร อนันทยา แสนสวัสดิ์ และ มาโนช รัตนคุณ
Kannika Pimrote*, Anongnat Sopanangkul, Ananthaya Sansawat
and Manoch Ratanacoon

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi

*E-mail: kpimrote@gmail.com, โทร. 063-6655887

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ของสารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ของต้นพะยอม (*Shorea roxburghii* G. Don) ได้แก่ เปลือก ราก และใบ โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน (เอทานอล เอทิลอะซิเตต และ เมทานอล) ที่มีผลต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ 8 ชนิด ได้แก่ *Staphylococcus aureus* DMST8840, *Escherichia coli* DMST4212, *Salmonella typhimurium* DMST562, *Pseudomonas aeruginosa* DMST4739, *Bacillus cereus* DMST5040, *Propionibacterium acne* DMST14916, *Candida albicans* DMST5815 และ *Trichophyton mentagrophytes* DMST19735 ด้วย Agar disc diffusion method และ poisoned food technique ผลการศึกษาพบว่า การสกัดด้วยเอทิลอะซิเตตให้ผลในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่สุดในขณะที่สารสกัดด้วยเอทานอลและเมทานอลไม่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้โดยสารสกัดหยาบด้วยเอทิลอะซิเตตจากรากของต้นพะยอมสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ศึกษาได้ทุกชนิด ในขณะที่สารสกัดจากเปลือกไม่แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Pro. acne* และ *C. albicans* และสารสกัดจากใบไม่แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 8 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบกับยาปฏิชีวนะ พบว่า สารสกัดหยาบด้วยเอทิลอะซิเตตจากเปลือกและรากของพะยอมมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Stap. aureus* ได้ดีที่สุด (ค่า MIC และ MBC เท่ากับ 1.56 และ 6.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร และ 1.56 และ 12.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่า สารสกัดจากเปลือกและรากของพะยอมสามารถยับยั้งเชื้อ *Pseu. aeruginosa* ได้ดีกว่ายาปฏิชีวนะ (Azithromycin) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากพะยอมสามารถเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับใช้เป็นยาต้านจุลินทรีย์จากธรรมชาติได้

คำสำคัญ : พะยอม การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ สารสกัด

Abstract

This study aimed to investigate the antimicrobial activity of crude extract from Pa-Yom Tree (*Shorea roxburghii* G. Don). Parts of Pa-Yom Tree (stem bark, root and leaf) were extracted by different solvents (ethanol, ethyl acetate and methanol) and the antimicrobial activity of resulting crude extracts was tested against eight microorganisms (*Staphylococcus aureus* DMST8840, *Escherichia coli* DMST4212, *Salmonella typhimurium* DMST562, *Pseudomonas aeruginosa* DMST4739, *Bacillus cereus* DMST5040, *Propionibacterium acne* DMST14916, *Candida albicans* DMST5815 and *Trichophyton mentagrophytes* DMST19735) by using agar disc diffusion method and poisoned food technique. The ethyl acetate extract exhibited the strongest antimicrobial effect, whereas the ones extracted by ethanol and methanol had no inhibitory effect on all microorganisms. Crude ethylacetate extract from root showed

antimicrobial activity against eight microorganisms, while the stem bark extract did not affect against *Pro. Acne* and *C. albicans*, and the leaf extract showed no antimicrobial activity against all tested microorganisms. Compared to the antibiotics, the ethyl acetate extracts from stem bark and root of Pa-Yom Tree showed the strongest inhibitory effect on the growth of *Stap. aureus* (with MIC and MBC at 1.56 mg/ml and 6.25 mg/ml, 1.56 mg/ml and 12.50 mg/ml, respectively). Moreover, the crude extract from stem bark and root had better antimicrobial activity against *Pseu. Aeruginosa* than antibiotic (Azithromycin). The results of this study reveal that the ethyl acetate extract of Pa-Yom Tree has a potential to be used as an alternative natural source of antimicrobial agents.

Keywords : Pa-Yom (*Shorea roxburghii* G. Don), Antimicrobial activity, Extract

1. บทนำ

พืชเป็นแหล่งสารพฤกษเคมี (phytochemical) ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลายการศึกษาค้นคว้าองค์ประกอบทางพฤกษเคมีในพืชจึงมีประโยชน์ในหลายด้าน เช่น ด้านการรักษาโรค ด้านอาหารและเครื่องสำอาง รวมทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับพืชชนิดนั้น ๆ ด้วย โดยกลุ่มสารพฤกษเคมีสำคัญที่พบได้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่สารประกอบฟีนอลิก แทนนิน อัลคาลอยด์ และฟลาโวนอยด์ซึ่งจัดเป็นกลุ่มสาร secondary metabolize นั้น มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (Maisuthisakul, 2006; Luapattarakasem, 2005; Ghasemzadeh *et al.*, 2010) เนื่องจากอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ เช่นมะเร็งและหลอดเลือดหัวใจอุดตัน (Pham Huy *et al.*, 2008) เป็นต้น

พะยอมน (*Shorea roxburghii* G. Don) เป็นพืชอยู่ในวงศ์ Dipterocarpaceae สกกุลสยา เป็นไม้พื้นเมืองของเอเชีย พบตามป่าผลัดใบและป่าดิบ สามารถปลูกและหาได้ง่ายในประเทศไทย รายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของพืชในวงศ์ยาง ส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่ม oligostilbenoids ซึ่งเป็นกลุ่มสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย เช่น ด้านเชื้อแบคทีเรีย (antibacterial) ด้านเชื้อรา (antifungal) ด้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ด้านมะเร็ง (anticancer) และยับยั้งเชื้อเอชไอวี (HIV inhibitory) (Dai *et al.*, 1998; Essawi & Srour, 2000; Subramanian, 2015; Moriyama, 2016) เป็นต้น จึงมีการใช้ประโยชน์จากต้นพะยอมอย่างกว้างขวาง เช่น การใช้เปลือกพะยอมเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการทำน้ำตาลมะพร้าว ซึ่งเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจนถึงปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับสรรพคุณของสารสกัดจากพะยอมจำนวนมาก เช่น ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในพืช (Leksomboon *et al.*, 1998) และฤทธิ์การยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในอาหาร (Assavasirijinda, 2010) ตลอดจนการนำสารสกัดจากพะยอมมาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อหมูดิบ โดยพบว่าสารสกัดจากเปลือกพะยอมสามารถยืดอายุเก็บรักษาเนื้อหมูดิบที่อุณหภูมิ 4°C ได้นานขึ้น 4 วัน โดยไม่พบการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น (Intarapichet and Nukew, 1994) นอกจากนี้ยังมีวิจัยพบว่า สารสกัดจากรากของพะยอมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านมะเร็งได้ (Patcharamun, 2009) การนำสารสกัดพะยอมมาใช้ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้พืชเป็นยาต้านจุลินทรีย์จากธรรมชาติเพื่อทดแทนยาปฏิชีวนะ การวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดหยาบที่สกัดจากส่วนต่าง ๆ ของต้นพะยอม (*Shorea roxburghii* G. Don) ด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำสารสกัดจากพะยอมมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร ยารักษาโรค ตลอดจนเครื่องสำอางให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 เชื้อจุลินทรีย์

เชื้อแบคทีเรียจำนวน 6 สายพันธุ์ ได้แก่ *Staphylococcus aureus* DMST8840, *Escherichia coli* DMST4212, *Salmonella typhimurium* DMST562, *Pseudomonas aeruginosa* DMST4739, *Bacillus cereus* DMST5040, *Propionibacterium acne* DMST14916 ยีสต์ 1 สายพันธุ์ คือ *Candida albicans* DMST5815 และเชื้อราอีก 1 สายพันธุ์ คือ *Trichophyton mentagrophytes* DMST19735 โดยได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

2.2 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างส่วนต่าง ๆ ของต้นพะยอมจากจังหวัดมหาสารคาม โดยส่วนใบจะเลือกใบที่ขนาดไม่แก่หรืออ่อนเกินไป ไม่มีการเข้าทำลายของโรคพืชหรือแมลง และเป็นใบที่แสงสว่างส่องถึง ส่วนเปลือกและราก เก็บจากต้นพะยอมที่มีอายุในช่วง 10-15 ปี

2.3 การเตรียมสารสกัดหยาบจากพะยอม

เตรียมสารสกัดด้วยวิธี Maceration (ดัดแปลงวิธีการจาก Okeke *et al.*, 2001; Voravuthikunchai *et al.*, 2005) โดยหั่นส่วนต่าง ๆ ของพะยอม (เปลือก ราก และใบ) เป็นชิ้นเล็กและอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท จากนั้นบดหยาบด้วยเครื่องบด นำส่วนของพะยอมอบแห้งปริมาณ 200 กรัม สกัดด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ เอทานอล (95%) เอทิลอะซิเตท และเมทานอล ปริมาตร 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยเขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Rotary shaker) ที่ความเร็ว 250 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำส่วนผสมกรองด้วยผ้าขาวบาง และนำส่วนของเหลวที่ได้มาระเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary vacuum evaporator) จนกระทั่งได้สารสกัดหยาบ (Crude extract) เก็บสารสกัดหยาบที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อการทดสอบต่อไป

2.4 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากพะยอม

2.4.1 การเตรียมแผ่นตัวอย่างสารสกัด

กรองสารที่สกัดได้ด้วยกระดาษกรองขนาด 0.2 ไมโครเมตรก่อนหยดสารสกัดปริมาตร 20 ไมโครลิตรลงบน sterile paper disc (Whatman paper) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร วางผึ่งที่อุณหภูมิห้องจนแห้งและเก็บในภาชนะปิดสนิท

2.4.2 การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียและยีสต์ด้วยวิธี Agar disc diffusion (ดัดแปลงจาก Ahmet *et al.*, 2009)

เลี้ยงเชื้อต่าง ๆ ในอาหารเฉพาะเพื่อเพิ่มปริมาณเซลล์ ดังนี้ *Stap. aureus*, *E. coli*, *Sal. Typhimurium* และ *Pseu. Aeruginosa* เลี้ยงในอาหาร Nutrient broth (NB) เชื้อ *Pro. Acne* เลี้ยงในอาหาร Brain heart infusion broth (BHI) และ *C. albicans* เลี้ยงในอาหาร Sabouraud 4% dextrose broth (SDB) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จนได้ปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ประมาณ 108 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ป้ายเชื้อ (swab) ที่ไต่ลงในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ (Agar) ที่เหมาะสมกับเชื้อแต่ละชนิด โดย 1 จานจะประกอบด้วยแผ่นตัวอย่าง จำนวน 6 แผ่น ดังนี้ : แผ่นที่ 1, 2 และ 3 เป็นแผ่นตัวอย่างที่จุ่มสารสกัดจากเปลือก ราก และใบของพะยอมตามลำดับ แผ่นที่ 4 เป็นแผ่นตัวอย่างที่จุ่มยาปฏิชีวนะ (Amoxycillin, Azithromycin, Clindamycin, ketoconazole, Kanamycin, Penicillin V) แผ่นที่ 5 เป็นแผ่นที่จุ่มตัวทำละลาย และแผ่นที่ 6 เป็นแผ่นที่จุ่มน้ำกลั่นสำหรับเป็นตัวควบคุม (control) นำบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ยกเว้นเชื้อ *Pro. Acne* ให้บ่มในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน ตรวจสอบผลการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสหรือบริเวณที่ยับยั้งจุลินทรีย์ (Clear zone หรือ Inhibition zone) บนอาหารเลี้ยงเชื้อ ทดลองชุดละ 3 ซ้ำ และคำนวณประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อเมื่อเทียบกับยาปฏิชีวนะ โดยคำนวณจาก (ขนาดบริเวณใสของสารสกัด / ขนาดบริเวณใสของยาปฏิชีวนะ) * 100

2.4.3 การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราด้วย Poisoned food technique (ดัดแปลงวิธีจาก Assavasirijinda, 2010)

เทอาหาร Sabouraud 4% dextrose agar (SDA) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่มีส่วนผสมของสารสกัดพะยอม 1% ลงในจานเพาะเชื้อ ผึ่งให้ผิวหน้าแห้งก่อนใช้ทดสอบ โดยใช้จานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมน้ำกลั่นและยาฆ่าเชื้อรา (Ketoconazole) เป็นชุดควบคุมการทดลองลบและบวก ตามลำดับ จากนั้นใช้ที่เจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร (Cork borer เบอร์ 3) เจาะกลุ่มเส้นใยของ *T. mentagrophytes* DMST19735 ที่เจริญบนอาหาร SDA เป็นเวลา 7 วัน โดยเจาะบริเวณที่เชื้อกำลังมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว คือส่วนขอบโคโลนีของเชื้อราวางชิ้นเส้นใยตรงกลางจานอาหารที่เตรียมไว้ ปิดฝาจานพันรอบจานเลี้ยงเชื้อด้วยพาราฟิล์ม บ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน ตรวจผลโดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเชื้อราในชุดทดลองในวันเดียวกับที่เชื้อราในชุดควบคุมการทดลองแบบลบเจริญเต็มจานเพาะเชื้อ โดยทดลองชุดละ 3 ซ้ำ และคำนวณหาการยับยั้งการเจริญโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{ร้อยละของการยับยั้งการเจริญ} = 100 - (2r/2R \times 100)$$

r = รัศมีเฉลี่ยของโคโลนีเชื้อราในชุดทดสอบ

R = รัศมีเฉลี่ยของโคโลนีเชื้อราในชุดควบคุมการทดลองแบบลบ

2.4.4 การทดสอบหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ (Minimal inhibitory concentration, MIC) ของสารสกัดพะยอม โดยวิธี Macro broth dilution (ดัดแปลงวิธีจาก Srisukong *et al.*, 2016)

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวสำหรับเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดลงในหลอดทดลองซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อและทำให้แห้งจำนวน 12 หลอด ๆ ละ 1 มิลลิลิตร เติมเชื้อจุลินทรีย์ (108 เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ลงไปในทุกหลอดหลอดละ 1 มิลลิลิตร เติมสารสกัดพะยอมความเข้มข้น 0, 0.09, 0.19, 0.39, 0.78, 1.56, 3.12, 6.25, 12.5, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรลงในหลอดที่ 1-12 ตามลำดับ โดยหลอดที่ 1 จะใช้เป็นตัวอย่างควบคุมแบบบวก (positive control) นำบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง สังเกตความขุ่นของเชื้อที่เกิดขึ้นในแต่ละหลอดเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมแบบบวก โดยหลอดที่มีความเข้มข้นของสารสกัดน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดความขุ่นน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมแบบบวกให้ถือว่าเป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อนั้นได้ (MIC) บันทึกหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อมิลลิเมตร ทำการทดสอบแบบเดียวกันสำหรับการศึกษาฤทธิ์ของยาปฏิชีวนะ โดยเปลี่ยนจากการเติมสารสกัดพะยอมเป็นการเติมยาปฏิชีวนะที่เหมาะสมกับเชื้อแต่ละชนิดที่ความเข้มข้นเดียวกัน โดยทดลองชุดละ 3 ซ้ำ

2.4.5 การทดสอบหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อได้ (Minimal bactericidal concentration, MBC) (ดัดแปลงจาก Srisukong *et al.*, 2016)

จากผลการทดลองข้อ 2.4.4 ดูอาหารเลี้ยงเชื้อจากหลอดที่ไม่มี ความขุ่นทุกหลอด จำนวน 100 ไมโครลิตร หยดและเกลี่ยบนอาหารเลี้ยงเชื้อแบบแข็งที่เหมาะสมสำหรับเชื้อแต่ละชนิด นำบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง สังเกตการเจริญของเชื้อที่เกิดบนอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของสารสกัดน้อยที่สุดที่ไม่พบการเจริญของเชื้อให้ถือว่าเป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อนั้นได้ (MBC) บันทึกหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อมิลลิเมตร ทำการทดสอบแบบเดียวกันสำหรับการศึกษาฤทธิ์ของยาปฏิชีวนะ โดยทดลองชุดละ 3 ซ้ำ

2.5 การวิเคราะห์ผล

นำผลที่ได้ (ขนาดบริเวณใส ค่า MIC และ MBC) ไปหาค่า mean และ SD วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธีของ Duncan โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS (SPSS Statistics 11.0 for Windows) ที่ค่า $P < 0.05$

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ 8 ชนิด ได้แก่ *Stap. Aureus* DMST8840, *E. coli* DMST4212, *Sal. typhimurium* DMST562, *Pseu. Aeruginosa* DMST4739, *B. cereus* DMST5040, *Pro. Acne* DMST5815,

C. albicans DMST14916 และ *T. mentagrophytes* DMST19735 ของสารสกัดจากส่วนเปลือก ราก และใบของพะยอม โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกัน (เอทานอล เอทิลอะซิเตต และเมทานอล) ด้วยวิธี Agar disc diffusion และ poisoned food technique เปรียบเทียบกับยาปฏิชีวนะ 6 ชนิด ได้แก่ Amoxycillin, Azithromycin, Clindamycin, Itraconazole, Kanamycin, Penicillin V และยาฆ่าเชื้อรา 1 ชนิด ได้แก่ Ketoconazole พบว่าสารที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตตสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด ในขณะที่สารสกัดด้วยเอทานอลและเมทานอลไม่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ (ไม่แสดงผล) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Assavasirijinda (2010) ในการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคโดยสารสกัดจากเปลือกของพะยอมในตัวทำละลายเอทานอล เอทิลอะซิเตต และน้ำ พบว่าสารที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตตมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด

ตารางที่ 1 แสดงฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและยีสต์ของสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของต้นพะยอมด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตต พบว่า สารสกัดจากรากมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อได้ทุกชนิด ในขณะที่สารสกัดจากเปลือกไม่แสดงฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Pro. Acne* และ *C. albicans* ส่วนสารสกัดจากใบไม่แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ศึกษา สังเกตจากขนาดของบริเวณใส (inhibition zone) ของสารที่สามารถยับยั้งเชื้อได้จะมีขนาดกว้างกว่าสารที่ยับยั้งได้น้อย ส่วนสารที่ไม่สามารถยับยั้งได้จะไม่เกิดบริเวณใส เมื่อสังเกตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณใสของสารสกัดจากเปลือกและรากของพะยอมที่ทดสอบกับ เชื้อ *E. coli* พบว่า มีขนาดกว้างที่สุด (19.67 ± 1.53 และ 24.67 ± 0.58 มิลลิเมตร ตามลำดับ) แสดงถึงความสามารถของสารสกัดจากเปลือกและรากของพะยอมในการยับยั้งเชื้อ *E. coli* ได้ดีที่สุด (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 1) ซึ่งเชื่อดังกล่าวเป็นแบคทีเรียก่อโรคในอาหาร ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคอุจจาระร่วง การติดเชื้อนอกระบบทางเดินอาหาร การติดเชื้อที่บาดแผล การติดเชื้อในกระแสโลหิต เยื่อหุ้มสมองอักเสบ ปอดอักเสบ และการติดเชื้อในระบบทางเดินปัสสาวะ เป็นต้น (Indrawattana and Vanaporn, 2015)

นอกจากนี้สารสกัดพะยอมยังมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อก่อโรคในอาหารชนิดอื่น ๆ ได้แก่ *Stap. aureus*, *B. cereus*, *Sal. typhimurium* สอดคล้องกับ Assavasirijinda (2010) ดังนั้นสามารถใช้สารสกัดพะยอมไปประยุกต์ใช้ในการป้องกันโรคอาหารเป็นพิษที่เกิดจากแบคทีเรียได้ ตลอดจนใช้สารสกัดพะยอมเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้นานขึ้นได้ (Intarapichet and Nukuew, 1994) นอกจากนี้พบว่าสารสกัดด้วยเอทิลอะซิเตตจากเปลือกและรากของพะยอมมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวก (*Pro. acne*, *Stap. Aureus* และ *B. cereus*) และแกรมลบ (*E. coli*, *Sal. Typhimurium* และ *Pseu. aeruginosa*) ยกเว้นสารสกัดจากเปลือกที่ไม่สามารถยับยั้ง *Pro. acne* ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutthisawad and Thanisawanyangkura (2006) พบว่าสารสกัดพะยอมสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ (*E. coli*, *Stap. aureus*) แต่แตกต่างจากงานวิจัยของ Kaewkanokwiji (2002) และ Assavasirijinda (2010) ที่พบว่าสารสกัดจากพะยอมยับยั้งได้เพียงแบคทีเรียแกรมบวกเท่านั้น (*B. cereus*, *B. subtilis*, *L. monocytogenes* และ *Stap. aureus*) แต่ไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบได้ (*E. coli*, *Sal. Typhimurium* และ *V. parahaemolyticus*) ดังนั้นประสิทธิภาพของสารสกัดพะยอมจากงานวิจัยในครั้งนี้มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ครอบคลุมได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ ทั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) ของสารสกัดจากพะยอมในส่วนต่างๆ พบว่าประกอบด้วยสารสำคัญหลายกลุ่ม โดยเฉพาะกลุ่มแทนนินและฟีนอลิก (Chalerm, 2012; Aeimsard, 2014; Marandi et al. 2016) ซึ่งสารกลุ่มดังกล่าวมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ (Molee et al., n.d.)

นอกจากนี้งานวิจัยยังพบว่า สารสกัดจากรากพะยอมมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Pro. acne* ได้ (ตารางที่ 1 และภาพที่ 2) โดยเชื่อดังกล่าวเป็นเชื้อสำคัญที่ก่อโรคทางผิวหนังโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดสิว (Kittrongsiri and Nganlert, 2005) ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการนำสารสกัดพะยอมไปใช้ในอุตสาหกรรมเวชสำอางเพื่อการดูแลรักษาผิวได้

การเปรียบเทียบผลในการยับยั้งเชื้อของสารสกัดพะยอมกับยาปฏิชีวนะพบว่าสารสกัดจากรากของพะยอมมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการยับยั้งทั้งเชื้อแบคทีเรียและยีสต์ที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม พบว่า การยับยั้งเชื้อที่มีประสิทธิภาพ

ที่สุดเมื่อเทียบกับยาปฏิชีวนะ คือ การยับยั้งเชื้อ *Pseu. aeruginosa* ของสารสกัดเปลือกและรากของพะยอม (ร้อยละ 107.50 และ 137.51 ตามลำดับ) (ตารางที่ 1 และภาพที่ 3) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเชื้อ *P. aeruginosa* มีความสามารถในการปรับตัวได้ดีในสภาวะที่มียาปฏิชีวนะและส่งผลให้เกิดการดื้อยา จึงได้มีความพยายามในการศึกษา วิจัยและค้นหาสารสกัดจากพืชที่สามารถยับยั้งเชื้อเพื่อรักษาโรคที่เกิดจากเชื้อดังกล่าว (Luvira, 2006) โดยเชื้อชนิดนี้เป็นเชื้อโรคฉวยโอกาส สามารถติดเชื้อมกับผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ และสามารถเจริญและแพร่กระจายไปยังอวัยวะของผู้ป่วยในส่วนต่าง ๆ พร้อมทั้งมีการทำลายเนื้อเยื่อของผู้ป่วยโดยสร้างสารพิษและเอนไซม์ต่าง ๆ และสามารถแพร่กระจายภายในโรงพยาบาลได้หลายทาง เช่น อุปกรณ์การแพทย์ ผิวหน้า อาหาร เป็นต้น ซึ่ง *Pseu. Aeruginosa* เป็นสาเหตุของอุบัติเหตุการติดเชื้อในโรงพยาบาลจำนวนมาก เช่น การติดเชื้อในกระแสโลหิต การติดเชื้อที่บาดแผลการติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ การติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ การติดเชื้อหลังการผ่าตัดต่อกระดูก ไฟไหม้น้ำร้อนลวก เป็นต้น (Bitsori *et al.*, 2012; Hamot *et al.*, 2003) นอกจากนี้ *Pseu. aeruginosa* ยังเป็นเชื้อในกลุ่มที่มีการพัฒนาการดื้อยาเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงสิบปีที่ผ่านมา นับเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับโรงพยาบาลทุกระดับในประเทศไทย และเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะสร้างความเสียหายในหลาย ๆ ด้าน เช่น เวลา กำลังคน ค่าใช้จ่าย และชีวิตของผู้ป่วย (Indrawattana and Vanaporn, 2015) ดังนั้นการรักษามักต้องให้ยาต้านการแพร่กระจายเชื้อไปสู่ผู้อื่น นับเป็นความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดจากงานวิจัยนี้จึงควรมีการต่อยอดและพัฒนาความรู้ที่ได้จากสารสกัดเปลือกและรากของพะยอมด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตตไปใช้พัฒนาตัวยาที่สามารถยับยั้งเชื้อ *Pseu. aeruginosa* ได้ เพื่อประโยชน์ในการรักษาผู้ติดเชื้อดังกล่าวต่อไป

นอกจากนี้ผลการวิจัยพบว่าสารสกัดจากเปลือกและรากของพะยอมมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *T. mentagrophytes* ได้อย่างดีเมื่อเทียบกับชุดควบคุมการทดลองแบบลบ (ภาพที่ 4 และ 5) ซึ่งเชื้อดังกล่าวเป็นเชื้อราในกลุ่ม Cutaneous mycoses ที่พบบริเวณผม ขนและเล็บโดย *T. mentagrophytes* เป็นเชื้อราก่อให้เกิดโรคกลาก (dermatophytosis) (Pumirat, 2013) การค้นพบดังกล่าวเป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อพัฒนาตัวยาที่เหมาะสมต่อการรักษาโรคที่เกิดจากเชื้อราดังกล่าวต่อไป เนื่องจากปัจจุบันเชื้อราจัดเป็นจุลชีพก่อโรคที่พบได้เพิ่มมากขึ้น จากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมและความเสื่อมถอยของสุขภาพของชนจากการใช้ชีวิตประจำวัน

ตารางที่ 1 ฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและยีสต์ของสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของต้นพะยอมด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตต

เชื้อจุลินทรีย์	สารตัวอย่าง	ขนาดบริเวณใส (มิลลิเมตร) ¹	ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อเมื่อเทียบกับยาปฏิชีวนะ (ร้อยละ) ²
<i>Stap. aureus</i>	เปลือก	16.00±2.65 ^c	48.97
	ราก	23.67±0.58 ^b	72.45
	ใบ	NA	NA
	ยา Amoxycillin	32.67±0.58 ^a	NA
<i>E. coli</i>	เปลือก	19.67±1.53 ^c	70.25
	ราก	24.67±0.58 ^b	88.12
	ใบ	NA	NA
	ยา Kanamycin	28.00±1.00 ^a	NA
<i>Sal. typhimurium</i>	เปลือก	17.33±3.06 ^c	61.89
	ราก	23.33±1.15 ^b	83.32
	ใบ	NA	NA
	ยา Kenamycin	28.00±1.00 ^a	NA

ตารางที่ 1 (ต่อ)

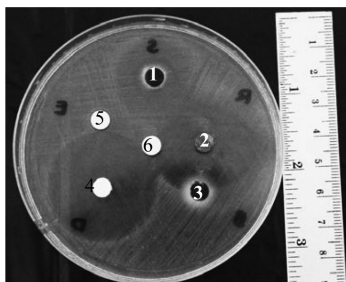
เชื้อจุลินทรีย์	สารตัวอย่าง	ขนาดบริเวณใส (มิลลิเมตร) ¹	ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อเมื่อเทียบกับยาปฏิชีวนะ (ร้อยละ) ²
<i>Pseu. aeruginosa</i>	เปลือก	14.33±0.58 ^b	107.50
	ราก	18.33±4.04 ^a	137.51
	ใบ	NA	NA
	ยา Azithromycin	13.33±0.58 ^c	NA
<i>B. cereus</i>	เปลือก	17.00±1.00 ^c	57.30
	ราก	22.67±1.53 ^b	76.41
	ใบ	NA	NA
	ยา Penicillin V.	29.67±0.58 ^a	NA
<i>Pro. acnes</i>	เปลือก	NA	NA
	ราก	6.67±2.52 ^b	22.74
	ใบ	NA	NA
	ยา Clindamycin	29.33±0.58 ^a	NA
<i>C. albicans</i>	เปลือก	NA	NA
	ราก	4.67±0.58 ^b	20.91
	ใบ	NA	NA
	ยา Ketoconazole	22.33±1.53 ^a	NA

^{1/} แสดงผลการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดบริเวณใส (Inhibition zone) (mean ± SD)

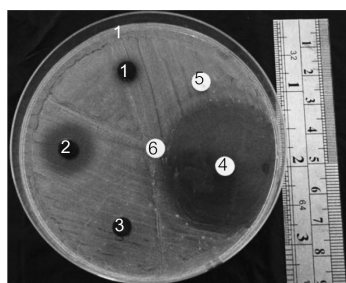
^{2/} คำนวณจาก (ขนาดบริเวณใสของสารสกัด / ขนาดบริเวณใสของยาปฏิชีวนะ) *100

^{a - c} เป็นตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

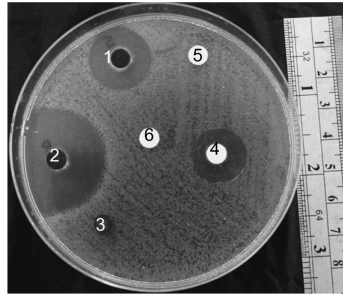
NA หมายถึง No Activity



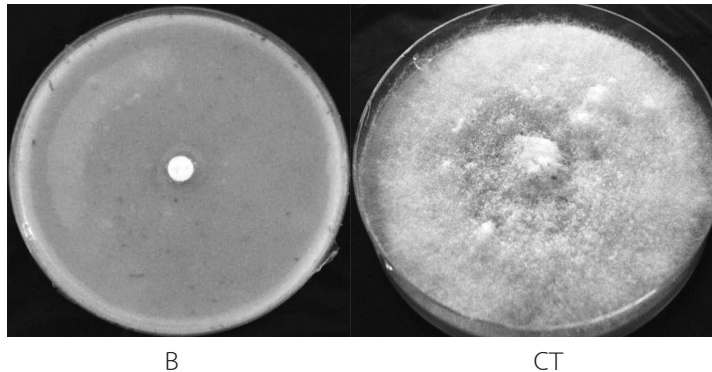
ภาพที่ 1 ผลการยับยั้งเชื้อ *E. coli* DMST4212 ของสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของต้นพะยอม (1 : เปลือก 2 : ราก 3 : ใบ 4 : ยา Kanamycin 5 : เอทิลอะซิเตต 6 : น้ำกลั่นปลอดเชื้อ)



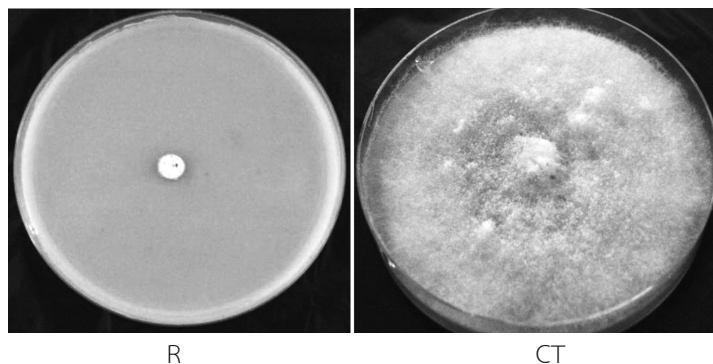
ภาพที่ 2 ผลการยับยั้งเชื้อ *Pro. acne* DMST14916 ของสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของต้นพะยอม (1 : เปลือก 2 : ราก 3 : ใบ 4 : ยา Kanamycin 5 : เอทิลอะซิเตต 6 : น้ำกลั่นปลอดเชื้อ)



ภาพที่ 3 ผลการยับยั้งเชื้อ *Pseu. aeruginosa* DMST4739 ของสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของต้นพะยอม
(1 : เปลือก 2 : ราก 3 : ใบ 4 : ยา Kanamycin 5 : เอทิลอะซิเตต 6 : น้ำกลั่นปลอดเชื้อ)



ภาพที่ 4 ผลการยับยั้งเชื้อรา *T. mentagrophytes* DMST19735 ของสารสกัดจากเปลือกพะยอม
(B: สารสกัดจากเปลือกพะยอม, CT: Control)



ภาพที่ 5 ผลการยับยั้งเชื้อรา *T. mentagrophytes* DMST19735 ของสารสกัดจากรากพะยอม
(R: สารสกัดจากรากพะยอม, CT: Control)

เมื่อทดสอบค่า MIC และ MBC ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (แบคทีเรียและยีสต์) ด้วยสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของต้นพะยอมในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตต (ตารางที่ 2) พบว่า สารสกัดจากเปลือกของพะยอมมีฤทธิ์ในการยับยั้ง *Stap. aureus* ได้ดีที่สุด (MIC และ MBC เท่ากับ 1.56 และ 6.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) และสารสกัดจากรากของพะยอมมีฤทธิ์ดีที่สุดในการยับยั้งเชื้อ *Stap. aureus* (MIC และ MBC เท่ากับ 1.56 และ 12.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) ทั้งนี้สารสกัดจากเปลือกและรากของพะยอมที่ความเข้มข้น 0.002 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งเชื้อรา *T. mentagrophytes* ได้ร้อยละเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับยาฆ่าเชื้อรา (ภาพที่ 4 และ 5)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่า MIC และ MBC ของสารสกัดหยาบจากจากส่วนต่าง ๆ ของต้นพะยอม

เชื้อจุลินทรีย์	สารตัวอย่าง	ปริมาณที่ใช้ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	
		MIC	MBC
<i>Stap. aureus</i>	เปลือก	1.56	6.25
	ราก	1.56	12.5
	ใบ	NA	NA
	ยา Amoxycillin	0.78	3.12
<i>E. coli</i>	เปลือก	6.25	25
	ราก	6.25	12.5
	ใบ	NA	NA
	ยา Kanamycin	0.39	1.56
<i>Sal. typhimurium</i>	เปลือก	6.25	12.50
	ราก	6.25	12.50
	ใบ	NA	NA
	ยา Kanamycin	0.39	1.56
<i>Pseu. aeruginosa</i>	เปลือก	6.25	12.50
	ราก	3.12	12.50
	ใบ	NA	NA
	ยา Azithromycin	0.08	0.39
<i>B. cereus</i>	เปลือก	6.25	25
	ราก	3.12	3.12
	ใบ	NA	NA
	ยา Penicillin V.	12.50	12.50
<i>Pro. acnes</i>	เปลือก	NA	NA
	ราก	6.25	25.00
	ใบ	NA	NA
	ยา Clindamycin	12.50	12.50
<i>C. albicans</i>	เปลือก	NA	NA
	ราก	12.50	3.12
	ใบ	NA	NA
	ยา Ketoconazole	0.19	0.78

หมายเหตุ : NA หมายถึง No Activity

4. สรุปผล

สารสกัดหยาบด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตตจากรากพะยอมให้ผลในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 8 ชนิด ได้แก่ *Stap. aureus*, *E. coli*, *Sal. typhimurium*, *Pseu. aeruginosa*, *B. cereus*, *C. albicans*, *T. mentagrophytes* และ *Pro. acnes* ได้ดีที่สุด โดยมีค่า MIC และ MBC อยู่ระหว่าง 1.56 - 12.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 3.12 - 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ ส่วนสารสกัดจากเปลือกพะยอมไม่แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *C. albicans* และ *Pro. acnes* ขณะที่สารสกัดจากใบพะยอมไม่แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ศึกษา นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจากเปลือกและรากพะยอมมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Pseu. aeruginosa* ได้ดีกว่ายาปฏิชีวนะ (Azithromycin) ซึ่งข้อค้นพบจากการวิจัยจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำสารสกัดจากพะยอมหรือพืชสมุนไพรอื่นมาใช้ในการพัฒนาเป็นยารักษาโรค

เพื่อแก้ปัญหการดื้อยาปฏิชีวนะหรือยาแผนปัจจุบันของเชื้อก่อโรคต่าง ๆ ได้

อย่างไรก็ตาม สารสกัดที่ได้จากการวิจัยนี้ได้จากการสกัดอย่างหยาบ (crude extract) ฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเสริมฤทธิ์กันของสารพฤษเคมีอื่น ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่มากขึ้น จึงควรนำสารสกัดที่ได้ไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดเพื่อยอมและศึกษากลไกในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจาก งบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2559 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ แผนกเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้ งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- Ahmet, A., H. Ozer and M. Sokmen. 2009. **Antimicrobial and antioxidant activity of the essential oil and methanol extract of nepetacataria**. Polish Journal of Microbiology. 58(1): 69-76.
- Aeimsard, R., B. Thumthanaruk, R. Jumnongpon and S. Lekhavat. 2014. **Physicochemical and antioxidant properties of palm sugar sap**. Agricultural Sci. J. 45(2) (Suppl.): 657-660.
- Assavasirijinda, N. 2010. **Antibacterial activity of *Shorea roxburghii* G. Don and their active components against**. Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok. (in Thai)
- Bitsori, M., S. Maraki, S. Koukouraki, et al. 2012. ***Pseudomonas aeruginosa* urinary tract infection in children: risk factors and outcomes**. Journal of Urol.187(Suppl1):260-4.
- Chalerm, V. 2012. **Efficiency of hair dye cream from *Shorea roxburghii* G. Don bark and *Cassia Fistula* Linnbark crude extract**. Thesis. Department of science and technology, ValayaAlongkornRajabhat University,Bangkok. (in Thai)
- Dai, J-R., Y.F. Hallock, J.H. Cardellina and M.R. Boyd. 1998. **HIV-inhibitory and cytotoxicity oligostilbenes from the leaves of *Hopea malibato***. J. Nat. Prod.61(3): 351-353.
- Essawi, T. and M. Srour. 2000. **Screening of some Palestinian medicinal plants for antibacterial activity**. Journal of Ethnopharmacology.70(3): 343-349.
- Ghasemzadeh, A., H.Z.E. Jaafar and A. Rahmat. 2010. **Antioxidant activities total phenolics and flavonoids content in two varieties of Malaysia young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe)**. Molecules. 15: 4324-4333.
- Hamot, E., E.L. Boffi, E. Amari, et al. 2003. **Effectiveness of combination antimicrobial therapy for *Pseudomonas aeruginosa* bacteremia**. Antimicrob Agents Chemother. 47 (Suppl 9): 2756-64.
- Indrawattana, N., and M. Vanaporn. 2015. **Nosocomial infection**. Journal of Medicine and Health Sciences. 22(1): 81-92.
- Intarapichet, K. and L. Nukuew. 1994. **Effects of *Cotylelobium lanceolanceolatum* and *Shorea talura* extract on microorganisms and storage of meat at low temperatures**. Suranaree J. Sci. Technol. 1(2): 81-87. (in Thai)

- Kaewkanokwijit, A. 2002. **Effects of Payom (*Shorea roxburghii* G.Don) and Makreu (*Diospyros mollis*) on microorganisms in coconut today.** Thai thesis database. Bangkok. (in Thai)
- Kittrongsiri, K., and N. Nganlert. 2005. **Survey of prevalence, impacts, and treatment of acne among undergraduate students in Bangkok and its vicinity.** Department of Pharmacy, Faculty of Pharmacy, Mahidol University, Bangkok. (in Thai)
- Leksomboon, C., N. Thaveechai and W. Kositratana. 1998. **Effect of Thai medicinal plant extracts on growth of Phytopathogenic bacteria.** In Proceedings of the 36th Kasetsart University Annual Conference. (pp. 1-11). Kasetsart University.Bangkok. (in Thai)
- Luapattarakasem, P. 2005. **Role of natural products on cancer prevention and treatment.** Srinagarind Medical Journal. 20(3): 180-189. (in Thai)
- Luvira, V. 2006. **Antibiotic resistance.** Songkla Medicine Journal. 24(5): 453-459. (in Thai)
- Maisuthisakul, P. 2006. **Use of plant phenolic compounds as antioxidants.** University of the Thai Chamber of Commerce Journal 26(3): 222-238. (in Thai)
- Marandi, R.R., S.J. Britto and P.K. Soreng. 2015. **Phytochemical profiling, antibacterial screening and antioxidant properties of the sacred tree (*Shorea robusta* Gaertn.).** Int. J. Pharm Sci Res. 7(7): 2874-88.
- Molee, C. and N. Jinda. n.d. **Rambutan Tannin Extraction for Biopolymer Dye.** Department of Biotechnology, Faculty of Agro-industry, Kasetsart University, Bangkok. 914-922. (in Thai)
- Moriyama, H., M. Moriyama, K. Ninomiya, T. Morikawa and T. Hayakawa. 2016. **Inhibitory effects of oligostilbenoids from the bark of *Shorea roxburghii* on malignant melanoma cell growth: implications for novel topical anticancer candidates.** BIOL PHARM BULL. 39(10): 675-1682.
- Okeke, M.I., C.U. Iroegbu, E.N. Eze, A.S. Okoli and C.O. Esimone. 2001. **Evaluation of extracts of the root of landolphiaowerrience for antibacterial activity.** J Ethnopharmacol. 78(2-3): 119-27.
- Patcharamun, W. 2009. **Chemical Constituents from the Roots of *Shorea roxburghii* G. Don.** Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkron University,Bangkok. (in Thai)
- Pham-Huy, L.A., H. He and D. Pham-Huy. 2008. **Free radicals antioxidants in disease and heath.** Int J Biomed Sci. 4(2): 89-96.
- Pumirat, P., W. Tunyong and N. Luplertlop. 2013. **Medical mycology.** Journal of Medicine and Health Sciences. 20(2): 31-44. (in Thai)
- Srisukong, A., J. Kanlayaporn and S. Hanpakphum. 2016. **The study of antibacterial in weed extracts.** VRU Research and Development Journal Science and Technology. 11(1): 69-82. (in Thai)
- Subramanian, R., V. Raj, K. Manigandan and N. Elangovan. 2015. **Antioxidant activity of hopeaphenol isolated from *Shorea roxburghii* stem bark extract.** J Taibah Univ. Sci. 9: 237-244.
- Sutthisawad, N. and S. Thanisawanyangkura. 2006. **Antimicrobial activity of *Caesalpinia sappan* L. as preservative in Chilli-paste.** Faculty of Pharmacy, Mahidol University,Bangkok. (in Thai)
- Voravuthikunchai, S.P., S. Phongpaichit and S. Subhadhirasakul. 2005. **Evaluation of antibacterial activities of medicinal plants widely used among AIDS patient in Thailand.** Journal Pharmaceutical Biology. 43(8): 701-706. (in Thai)

การกักเก็บสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ

Encapsulation of Crude Extracts from Pumelo Peel

พุดธิยา รัตนศิริวัฒน์ กนิษฐา ไพรงาม รัชนก สงวนวงษ์ วาสนา ขาวนาตรี

และ ประภาพรรณ เพียรชอบ

Phutthiya Ratanasiriwat, Kanista Pai-Ngam, Ratchanok Sa-Ngonwong,

Watsana Chaonatri and Prapapan Pienchob

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จ.นครปฐม 73000

Food Science and Technology Division, Faculty of Science and Technology, NaKhon Pathom Rajabhat University

*E-mail: r.phutthiya@gmail.com โทร. 034-109300 ต่อ 3749

บทคัดย่อ

สารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปริมาณของสารสกัดหยาบและชนิดของสารที่จะนำมาใช้ในการกักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอได้แก่ Maltodextrin, Gum Arabic, แป้งดัดแปร (Hicap-100) และ Whey protein concentrate พบว่าประสิทธิภาพการกักเก็บสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอของไมโครแคปซูลที่ผลิตจาก Maltodextrin ผสมกับ Whey protein concentrate ที่อัตราส่วน 1:1 และปริมาณสารสกัดหยาบร้อยละ 10 (MW-10) และร้อยละ 15 (MW-15) มีประสิทธิภาพการกักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอซึ่งมีค่าเท่ากับ 94.36 และ 92.52 ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) การตรวจสอบประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระพบว่า Maltodextrin ผสมกับ Whey protein concentrate ที่อัตราส่วน 1:1 และปริมาณสารสกัดหยาบร้อยละ 15 มี % DPPH inhibition และค่า FRAP สูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ การวัดค่าสีของไมโครแคปซูลพบว่าค่า L^* , a^* และ b^* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) การวัดปริมาณน้ำอิสระของไมโครแคปซูลพบว่ามีความอยู่ในช่วง 0.069-0.353 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) การวัดปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลพบว่าปริมาณความชื้นของสารที่ใช้ในการกักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอมีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 2.806-5.656 ซึ่งค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ขนาด และลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูลพบว่า ไมโครแคปซูลที่ผลิตจาก Maltodextrin (MD), Maltodextrin ผสมกับ Gum Arabic (MG) และ Maltodextrin ผสมกับ Whey Protein Concentrate (MW) ที่ปริมาณสารสกัดหยาบร้อยละ 10 และ 15 มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ ไม่ขรุขระ ไม่มีการยุบหรือหดตัว เหลี่ยมของมุมมีความแข็งแรง คมชัด สามารถทนต่อปัจจัยภายนอกได้ดีมากกว่าไมโครแคปซูลที่ผลิตจาก Maltodextrin ผสมกับ Hicap-100 (MH-10 และ MH-15) ซึ่งมีลักษณะการห่อหุ้มที่จับตัวกันเกิดการไหลเยิ้มของสารห่อหุ้มอย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสมบัติ และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระพบว่าไมโครแคปซูลที่ผลิตจาก MW-15 มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

คำสำคัญ : สารสกัดหยาบ เปลือกส้มโอ สารประกอบพินอลิก ไมโครแคปซูล กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

Crude extracts from pumelo peel possess antioxidant activities. The study of crude extraction and various contents selected to encapsulate the pumelo peel extracts such as Maltodextrin, Gum Arabic, modified starch (Hicap-100) and Whey protein concentrate was conducted. The results showed that the encapsulation efficiency of microcapsule produced by 1:1 of Maltodextrin mixed with Whey protein concentrate and 10% of crude extracts (MW-10) and 15% of crude extracts (MW-15) obtained 94.36 and 92.52, respectively, which it showed that there were no statistically significant difference

($P>0.05$). For the determination of antioxidant activity, MW-15 had higher % DPPH inhibition and FRAP values than other samples. The evaluation of microcapsule color showed that the value of L^* , a^* and b^* were no statistically significant difference ($P>0.05$). The measurement of the quantities of free water were ranged from 0.069 to 0.353 which were no statistically significant difference ($P>0.05$). The moisture content of microcapsule ranged from 2.806 to 5.656 which were not statistically different. Size and microcapsule structure produced by MD, MG, and MW obtained 10 % and 15 % of the crude extract, showed that the surface of the capsule shells were smooth, not ragged, not compressed or shrink. The capsule shells were hard and sharp, and could endure to the outer factors more than that of microencapsulation with Maltodextrins mixed Hicap-100 (MH-10 and MH-15), which was melted of the coating. However, when examining the properties of the antioxidant activity, the results showed that the microencapsulation with MW-15 samples were appropriate for encapsulation in the food products.

Keywords : Crude extraction, Pumelo peel, Phenolic compound, Microencapsulation, Antioxidant activity

1. บทนำ

ส้มโอ (*Citrus grandis* Linn.) เป็นผลไม้ตระกูลส้มที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยสามารถปลูกและเจริญได้ดีในทุกภาคให้ผลผลิตได้ตลอดปี การบริโภคส้มโอจะบริโภคเฉพาะเนื้อ ขณะที่เปลือกซึ่งเป็นส่วนที่ไม่นิยมบริโภค และมีปริมาณค่อนข้างสูงจะถูกทิ้งไป ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาเรื่องการกำจัดเศษเหลือดังกล่าว เปลือกส้มโอมีสารพฤกษเคมี ซึ่งมีสมบัติเด่นคือความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารกลุ่มโพลีฟีนอล และกลุ่ม ฟลาโวนอยด์ Loypimai *et al.* (2011) ศึกษาการเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของเปลือกส้มโอเหลือทิ้ง 10 ชนิด ได้แก่ ส้มเขียวหวาน ส้มโอ ถั่วลิสง มะไฟ แตงโม สับปะรด แคนตาลูป มะละกอ มะม่วงดิบ และมะม่วงสุก นำมาวิเคราะห์หาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (1,1-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging และ total antioxidant capacity) และสารประกอบฟีนอลิกรวม พบว่าเปลือกมะม่วงดิบและมะม่วงสุกมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (IC₅₀ เท่ากับ 2.32 และ 2.31 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ) และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด (เทียบกับกรดแอสคอร์บิก และกรดแกลลิก) ในทำนองเดียวกันเมื่อทำการศึกษาสารประกอบฟีนอลิกรวมพบว่าเปลือกมะม่วงดิบมีสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด เท่ากับ 72.8 กรัม GAE/ กรัม น้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ Tantipaibulvut *et al.* (2012) ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของเปลือกผลไม้ 5 ชนิด ได้แก่ ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง มังคุดสุก ส้มเขียวหวาน ถั่วลิสง และหมากสงดิบ เมื่อสกัดด้วยน้ำร้อน เอทานอล เข้มข้นร้อยละ 95 และอะซิโตน จากการทดลองพบว่า สารสกัดจากเปลือกผลไม้ทุกชนิดที่ทดสอบด้วยอะซิโตนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าสารสกัดด้วยน้ำร้อนและสารสกัดด้วยเอทานอล ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างมูลค่าของเศษเหลือจากผลผลิตทางการเกษตร การพัฒนาการสกัดสารสกัดหยาบ โดยใช้เศษเหลือจากส้มโอเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากสารสกัดหยาบ จากเปลือกส้มโอมีสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Suklampoo *et al.*, 2010)

ปัญหาที่พบในการประยุกต์ใช้สารสกัดหยาบจากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ นั้น คือความไม่เสถียรต่อปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ทั้งในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา เช่น แสง ออกซิเจน สภาวะความเป็นกรด-ด่าง และการเกิดออกซิเดชัน เป็นต้น จึงเป็นผลทำให้สารสกัดหยาบที่ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติสูญเสียประสิทธิภาพได้ง่าย ดังนั้นในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มสมบัติความคงตัวทางเคมี ทางกายภาพ หรือช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ จากสภาวะแวดล้อม การใช้เทคโนโลยีการกักเก็บ (encapsulation) จึงเป็นอีกทางเลือกที่มีความเป็นไปได้ในการช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพจากสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมอัตราการปลดปล่อย

ของสารออกจากแคปซูล และช่วยรักษาสสมบัติของสารภายในแคปซูลให้คงทนและมีประสิทธิภาพภายใต้สภาวะที่กำหนด ไมโครเอนแคปซูลชัน (microencapsulation) เป็นการใส่สารเคลือบ (wall material) มาหุ้มหรือเคลือบสารสำคัญ (core material) ไมโครแคปซูลมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.2-5000 ไมโครเมตร ซึ่งสารสำคัญอาจจะมีสถานะเป็นของเหลว ของแข็ง หรือก๊าซ ซึ่งปัจจุบันเทคนิคนี้ได้รับการพัฒนาและได้รับการยอมรับอย่างกว้าง อุตสาหกรรมอาหารที่นิยมใช้เทคนิคเอนแคปซูลชัน ได้แก่ การกักเก็บสารประกอบให้กลิ่น วิตามิน เกลือแร่ สารให้สีและเอนไซม์ หลักการของกระบวนการเอนแคปซูลชันประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรก นำอนุภาคสารสำคัญที่ต้องการกักเก็บมาทำการเคลือบด้วยสารเคลือบ เช่นโพลีแซกคาไรด์ (polysaccharide) หรือโปรตีน ขั้นตอนที่สอง คือ การทำแห้งโดยเทคนิคนี้จะช่วยรักษาสสมบัติของไมโครแคปซูล ในระหว่างการเก็บรักษา และป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารสำคัญกับสภาวะแวดล้อม (น้ำ แสง และออกซิเจน) ลดการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ควบคุมอัตราการปลดปล่อยและช่วยให้ทำการขนส่งได้ง่ายขึ้น ซึ่งการเอนแคปซูลชันสามารถช่วยปลดปล่อยสารอย่างช้า ๆ ตามช่วงเวลาหรือสภาวะที่ต้องการ (Gouin, 2004) ตลอดจนยับยั้งการปลดปล่อยหรือป้องกันไม่ให้สารสำคัญและส่วนประกอบแต่ละชนิดทำปฏิกิริยากัน รวมทั้งเปลี่ยนสารสำคัญจากสภาพที่เป็นของเหลวให้เป็นของแข็งหรือผง จึงได้มีการนำเทคนิคนี้มาใช้กับสารสกัดหยาบที่ได้จากเปลือกส้มโอ มีงานวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากพืช แต่ยังมีข้อมูลการวิจัยจำนวนน้อยที่ทำการศึกษากักเก็บเพื่อรักษาสสมบัติฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการกักเก็บสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอที่ได้ทำการกักเก็บ

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบ และการเตรียมตัวอย่าง

ส้มโอที่ใช้ในการทดลองเป็นพันธุ์ขาวน้ำผึ้งจากอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม การเตรียมตัวอย่างเริ่มจากการนำเอาเปลือกส้มโอมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า ทำการแยกส่วนเปลือกสีขาวกับเปลือกสีเขียวออกจากกัน นำเปลือกเขียวมาหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดเท่า ๆ กัน นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (จนน้ำหนักคงที่ และมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10) จากนั้นนำไปบดหยาบด้วยเครื่องบดอาหารไฟฟ้า ทำการสกัดด้วยเครื่อง Soxhlet apparatus โดยใช้ 95% เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ในอัตราส่วน 1 ต่อ 4 ทำการสกัดเป็นเวลา 5-8 ชั่วโมง (20 รอบของการชะไขมันของตัวทำละลาย) สารที่สกัดได้นำไประเหยเอาตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องระเหยภายใต้สภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 178 mbar ชั่งน้ำหนักของสารสกัดที่ได้เพื่อนำไปคำนวณหา ร้อยละของผลผลิต (% Yield) และทำการเก็บในขวดฝาเกลียวสีขาวที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

2.2 วิธีการ

1) ศึกษาชนิดของสารเคลือบ และวิธีการที่เหมาะสมในการกักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอ

การเตรียมตัวอย่างดัดแปลงจากวิธีการของ Bhandari *et al.* (1998) และ Ratanasiriwat *et al.* (2012) ทำโดยนำสารที่เป็นสารเคลือบ (total solid) 30 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 100 mL จากนั้นนำมาผสมกับสารสกัดจากเปลือกส้มโอตามอัตราส่วนที่กำหนด (ชนิดและอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 1) ในเครื่องปั่น (ยี่ห้อ Ika รุ่น T25 basic) ผสมเป็นเวลา 5 นาที ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เพื่อทำให้ได้สารผสมระหว่างสารสกัดจากเปลือกส้มโอและสารเคลือบ ตัวอย่างที่เตรียมได้นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ยี่ห้อ Scanvac รุ่น coolsafe 55-9) ที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปบดหยาบด้วยเครื่องปั่นอาหาร จากนั้นทำการเก็บรักษาในขวดสีขาวที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้นเพื่อรอการตรวจวิเคราะห์ต่อไป

2) การหาปริมาณกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล (Total Phenolic content; TPC)

การหาปริมาณกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูลดัดแปลงตามวิธีของ Saikia *et al.* (2015) นำไมโครแคปซูลของสารสกัดจากเปลือกส้มโอ ปริมาณ 0.1 g เติมตัวทำละลาย 1 mL (ตัวทำละลายประกอบด้วย เอทานอล กรดอะซิติก และน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 50 : 8 : 42) ทำการกวนบนเครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกด้วยตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอน จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกในไมโครแคปซูล โดยวิธี Folin-Ciocalteu assay ตามวิธีของ Swain and Hills (1959)

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของวัตถุดิบในการเตรียมอิมัลชัน

ชุดการทดลอง	Code	Wall material combination (Ratio of total solid)				Core material (% in total solid)
		MD	GA	Hicap	WPC	
1	MD-10	1	-	-	-	10
2	MG-10	0.5	0.5	-	-	10
3	MH-10	0.5	-	0.5	-	10
4	MW-10	0.5	-	-	0.5	10
5	MD-15	1	-	-	-	15
6	MG-15	0.5	0.5	-	-	15
7	MH-15	0.5	-	0.5	-	15
8	MW-15	0.5	-	-	0.5	15

หมายเหตุ MD = Maltodextrin, GA = Gum Arabic, Hi-cap 100 คือ แป้งดัดแปร และ WPC = Whey protein concentrate

3) การหาปริมาณกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูลตามวิธีของ (Surface Phenolic content; SPC)

การหาปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูลดัดแปลงตามวิธีของ Saikia *et al.* (2015) นำไมโครแคปซูลของสารสกัดจากเปลือกส้มโอ ปริมาณ 0.1 g เติมตัวทำละลาย 1 mL (ตัวทำละลายประกอบด้วย เอทานอล และเมทานอล ในอัตราส่วน 1 : 1) ทำการกวนบนเครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกด้วยตัวกรองขนาด 0.45 ไมครอน จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลวไปวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูล โดยวิธี Folin-Ciocalteu assay ตามวิธีของ Swain and Hills (1959)

4) การคำนวณหาประสิทธิภาพการกักเก็บ (Encapsulation efficiency, EE) สารสกัดจากเปลือกส้มโอ

ประสิทธิภาพการกักเก็บ (Encapsulation efficiency, EE) คือร้อยละของสารสกัดที่ถูกกักเก็บไว้ในไมโครแคปซูลโดยการนำปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกทั้งหมดของไมโครแคปซูลและปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูลที่สกัดได้จากข้อ 2) และ 3) ผลต่างของปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่ถูกกักเก็บ ดัดแปลงตามวิธีของ Saikia *et al.* (2015) คำนวณได้ดังนี้

$$EE \text{ (ร้อยละ)} = \frac{(\text{ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล} - \text{ปริมาณฟีนอลิกที่ผิวไมโครแคปซูล}) \times 100}{\text{ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูล}}$$

5) ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูล ด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay เป็นวิธีที่อ้างอิงมาจาก Nayak *et al.* (2015) โดยเตรียมสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil) ความเข้มข้น 70 μM ในเมทานอล ปิเปตต์สารตัวอย่าง ปริมาตร 0.1 mL ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 3.9 mL เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 515 nm ด้วยเครื่อง ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทร-โฟโตมิเตอร์

เทียบกับสารละลายแบลนด์ (Blank: ใช้เมทานอลแทนสารตัวอย่าง) บันทึกค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, Abs) (A_{sample}) คำนวณค่าการยับยั้ง DPPH อนุมูล (%) ได้จากสมการ

$$\% \text{ DPPH radical scavenging} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

เมื่อ A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH
 A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัด

6) ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูล ด้วยวิธี FRAP assay

การทดสอบด้วยวิธี FRAP (Ferric reducing antioxidant power) assay เป็นวิธีที่อ้างอิงมาจาก Barros *et al.* (2012) โดยเตรียมสารละลาย Ferric chloride solution โดยผสมสารละลาย acetate buffer pH 3.6 ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 25 mL กับ Ferric chloride solution ความเข้มข้น 20 mM ปริมาตร 2.5 mL และสารละลาย TPTZ (2,4,6-Tris (2-pyridyl)-1,3,5-triazine) ความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 2.5 mL ให้เข้ากัน ก่อนใช้นำไปอุ่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ทำการทดสอบโดยปิเปตต์ตัวอย่าง ปริมาตร 0.15 mL ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย TPTZ ปริมาตร 2.85 mL ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 593 nM (Blank: ใช้ เมทานอลแทนสารละลายตัวอย่าง) บันทึกค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, Abs) วิเคราะห์หาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ Trolox เป็นกราฟมาตรฐาน และรายงานผลโดยใช้หน่วย $\mu\text{M TE/g fresh mass}$ (TE คือ Trolox equivalents)

7) การวัดสีของไมโครแคปซูลด้วยวิธี Colourimeter

นำไมโครแคปซูลของสารสกัดจากเปลือกส้มโอ มาวัดสีด้วยเครื่อง Colour meter รายงานค่าในระบบ CIE L* a* และ b* โดยค่า L* คือค่าความสว่าง, a* คือ ค่าสีเขียว-สีแดง โดยค่าติดลบให้ค่าสีเขียว ค่าเป็นบวกให้ค่าสีแดง ส่วน b* คือค่าสีน้ำเงิน-สีเหลือง โดยค่าติดลบให้ค่าสีน้ำเงิน ค่าเป็นบวกให้ค่าสีเหลือง และรายงานค่าสีความขาว (whiteness)

8) การศึกษาขนาด และลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูล

นำไมโครแคปซูลของสารสกัดจากเปลือกส้มโอมาส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด โดยส่งวิเคราะห์ ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร

9) การประเมินผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยเทคนิค ANOVA (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย Duncan's multiple range test (DMRT) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลของการตรวจสอบสมบัติการกักเก็บของไมโครแคปซูลของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ

จากการศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยวิธี Folin-Ciocalteu assay ของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ โดยใช้ชุดการทดลอง 8 ชุด คือ มอลโตเด็คตริน+สารสกัด 10% (MD-10), มอลโตเด็คตริน+กัมอารบิก+สารสกัด 10% (MG-10), มอลโตเด็คตริน+ไฮแคป-100+สารสกัด 10% (MH-10), มอลโตเด็คตริน+เวย์โปรตีน+สารสกัด 10% (MW-10), มอลโตเด็คตริน+สารสกัด 15% (MD-15), มอลโตเด็คตริน+กัมอารบิก+สารสกัด 15% (MG-15), มอลโตเด็คตริน+ไฮแคป-100+สารสกัด 15% (MH-15) และ มอลโตเด็คตริน+เวย์โปรตีน+สารสกัด 15% (MW-15) พบว่า ในชุดการทดลอง MW-10 และ MW-15 มีประสิทธิภาพในการกักเก็บดีที่สุดมีผลมาจากปริมาณฟีนอลิกที่ได้ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Folin-Ciocalteu assay ของสารสกัดจากเปลือกส้มโอ โดยพบปริมาณฟีนอลิกที่สูงกว่าชุดการทดลองชนิดอื่น

จากผลการทดลอง โดยการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไมโครแคปซูลที่ผลิตจากสารสกัดจากเปลือกส้มโอ ได้ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Folin-Ciocalteu assay โดยมี 8 ตัวอย่าง คือ MD-10, MG-10, MH-10, MW-10, MD-15, MG-15, MH-15 และ MW-15 พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในแต่ละตัวอย่างมีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ผลิตจากสารสกัดจากเปลือกส้มโอจะพิจารณาตัวอย่างที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาสำหรับการใช้ศึกษาในการทดลองขั้นต่อไป ซึ่งในการวิเคราะห์ในแต่ละตัวอย่าง พบว่าตัวอย่าง MW-10 และ MW-15 มีค่าอยู่ที่ประมาณ 9.91 และ 10.10 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าในแต่ละตัวอย่าง MW-10 และ MW-15 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดปริมาณสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่า MW-10 และ MW-15 มีสมบัติในการกักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอไว้ได้ดี เพราะพบค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงทำให้โอกาสที่สารสกัดจะถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อมีโอกาสที่จะถูกปลดปล่อยออกมาได้สูง

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ผิวของไมโครแคปซูลที่ผลิตจากสารสกัดจากเปลือกส้มโอที่ได้ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Folin-Ciocalteu assay โดยมี 8 ตัวอย่าง คือ MD-10, MG-10, MH-10, MW-10, MD-15, MG-15, MH-15 และ MW-15 มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งในการวิเคราะห์ในแต่ละตัวอย่าง พบว่า MG-10 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ผิวนอกน้อย ซึ่งมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.53 โดย MG-10 จะมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะบ่งบอกได้ว่าการกักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอ โดยชุดการทดลอง MG-10 สามารถกักเก็บสารสกัดไว้ได้ดีมีการปลดปล่อยออกมาได้น้อย และยังสามารถรักษาคุณสมบัติของสารสกัดไว้ได้ดี เมื่อเก็บรักษาไว้ในระยะเวลานาน โดยดูได้จากค่าของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ผิวนอก ที่มีการปลดปล่อยออกมาสู่ภายนอกได้น้อยก็จะแสดงได้ว่าสารสกัดจะออกมาสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ไม่ดี ทำให้สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ทำให้สารสกัดเกิดการเสื่อมเสียได้

ประสิทธิภาพการกักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอในไมโครแคปซูลที่ผลิตจากสารสกัดจากเปลือกส้มโอซึ่งเป็นค่าที่คำนวณมาจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในไมโครแคปซูลและค่าจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ผิวนอกของไมโครแคปซูล ซึ่งในการวิเคราะห์พบว่าในแต่ละชุดการทดลองมีค่าออกมาที่ใกล้เคียงกัน แต่ในชุดการทดลองของ MW-10 และ MW-15 มีค่าสูงที่สุดกว่าชนิดอื่น ๆ โดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 94.36 และ 92.52 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งบ่งบอกได้ว่า MW-10 และ MW-15 มีประสิทธิภาพในการกักเก็บได้ดีที่สุด สามารถห่อหุ้มสารสกัดไว้ได้ดี โดยดูจากค่าที่ได้ทำการทดลองที่มีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองชนิดอื่น ๆ

ตารางที่ 2 ปริมาณฟีนอลิกและประสิทธิภาพการกักเก็บของไมโครแคปซูลของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ

ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/g _{sample})	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ที่ผิวของไมโครแคปซูล (mgGAE/g _{sample})	ประสิทธิภาพการกักเก็บ, EE (ร้อยละ)
MD-10	2.71 ^c ± 0.45	0.61 ^{cd} ± 0.08	76.75 ^c ± 5.23
MG-10	2.95 ^c ± 0.35	0.53 ^d ± 0.06	81.91 ^{bc} ± 3.65
MH-10	3.23 ^c ± 0.41	0.57 ^d ± 0.09	81.97 ^{bc} ± 3.86
MW-10	9.91 ^a ± 1.32	0.55 ^d ± 0.07	94.36 ^a ± 0.88
MD-15	4.89 ^b ± 0.81	0.76 ^b ± 0.08	84.17 ^b ± 2.57
MG-15	4.60 ^b ± 0.69	0.67 ^{bcd} ± 0.04	85.23 ^b ± 2.23
MH-15	5.16 ^b ± 0.58	0.90 ^a ± 0.10	82.44 ^b ± 1.85
MW-15	10.10 ^a ± 1.2	0.75 ^b ± 0.09	92.52 ^a ± 1.33

หมายเหตุ MD-10 = Maltodextrin กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10, MG-10 = Maltodextrin ผสมกับ Gum Arabic กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10, MH-10 คือ Maltodextrin ผสมกับ Hi-cap 100 กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10, MW-10

คือ Maltodextrin ผสมกับ Whey protein กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10, MD-15 = Maltodextrin กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 15, MG-15 = Maltodextrin ผสมกับ Gum Arabic กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 15, MH-15 คือ Maltodextrin ผสมกับ Hi-cap 100 กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 15, MW-15 คือ Maltodextrin ผสมกับ Whey protein กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 15; ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเล็กต่างกันในแนวดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

3.2 การตรวจสอบประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูล

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay โดยใช้ไมโครแคปซูลของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 nm เพื่อหาปริมาณร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูลของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบเพิ่มขึ้น ไมโครแคปซูลจะมีฤทธิ์ในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น ซึ่งรายงานผลเป็นค่า % DPPH inhibition นอกจากนี้พบว่าไมโครแคปซูลของสารสกัดจากเปลือกส้มโอ MW-15 มีค่า % DPPH inhibition ที่สูงกว่าไมโครแคปซูลของสารสกัดจากเปลือกส้มโอตัวอย่างอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3

สำหรับการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ค่า FRAP ในการทดลองนี้แสดงค่าในรูป Trolox Equivalent โดยวิธี FRAP assay พบว่าไมโครแคปซูลของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ MD-10, MG-10, MH-10 และ MW-10 มีค่า FRAP เท่ากับ 0.477, 0.513, 0.506 และ 0.790 ตามลำดับ นอกจากนี้ไมโครแคปซูลของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ MD-15, MG-15, MH-15 และ MW-15 มีค่า FRAP เท่ากับ 0.581, 0.658, 0.544 และ 0.624 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP value) ของสารที่ใช้ในการเคลือบสารสกัดจากเปลือกส้มโอพบว่า MW-15 มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารที่ใช้ในการเคลือบสารสกัดจากเปลือกส้มโอชนิดอื่น ๆ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูลของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอที่ความเข้มข้น 100 mg/mL

ตัวอย่าง	ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ	
	DPPH inhibition (%)	FRAP Values (mgTE/g _{sample})
MD-10	14.49 ^d ± 5.26	0.477 ^s ± 0.005
MG-10	19.76 ^c ± 1.58	0.513 ^f ± 0.009
MH-10	16.49 ^c ± 4.10	0.506 ^f ± 0.031
MW-10	21.03 ^b ± 1.17	0.790 ^b ± 0.023
MD-15	22.05 ^b ± 3.21	0.581 ^d ± 0.008
MG-15	30.12 ^a ± 6.38	0.658 ^c ± 0.004
MH-15	29.98 ^a ± 3.35	0.544 ^e ± 0.002
MW-15	30.25 ^a ± 1.64	0.925 ^a ± 0.151

หมายเหตุ MD-10 = Maltodextrin กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10, MG-10 = Maltodextrin ผสมกับ Gum Arabic กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10, MH-10 คือ Maltodextrin ผสมกับ Hi-cap 100 กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10, MW-10 คือ Maltodextrin ผสมกับ Whey protein กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10, MD-15 = Maltodextrin กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 15, MG-15 = Maltodextrin ผสมกับ Gum Arabic กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 15, MH-15 คือ Maltodextrin ผสมกับ Hi-cap 100 กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 15, MW-15 คือ Maltodextrin ผสมกับ Whey protein กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 15

3.3 ผลของอัตราส่วนเริ่มต้นของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอและชนิดของสารเคลือบต่อสีของไมโครแคปซูล

คุณลักษณะด้านสีของผลิตภัณฑ์เป็นดัชนีบ่งชี้ทางด้านคุณภาพที่สำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค โดยการศึกษาครั้งนี้ได้นำไมโครแคปซูลของสารสกัดจากเปลือกส้มโอ มาวัดสีด้วยเครื่อง Hunter และรายงานค่าในระบบ CIE L* a* และ b* โดยค่า L* คือค่าความสว่าง, a* คือ ค่าสีเขียว-แดง โดยค่าติดลบให้เป็นค่าสีเขียว ค่าบวกให้เป็นค่าสีแดง ส่วน b* คือค่าสีน้ำเงิน-เหลือง โดยค่าติดลบให้เป็นค่าสีน้ำเงิน ค่าบวกให้เป็นค่าสีเหลือง และรายงานค่าสีความขาว (whiteness) ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบสารสกัดที่ใช้ในการห่อหุ้มสารสกัดจากเปลือกส้มโอพบว่า MD-10 มีค่า L* หรือค่าความสว่างมากกว่าสารที่ใช้ห่อหุ้มสารสกัดจากเปลือกส้มโอชนิดอื่น ๆ ส่วนค่า a* ที่พบมีค่าเป็นบวกและลบซึ่งแสดงถึงค่าสีเขียวและสีแดง และค่าของ b* เมื่อทำการเปรียบเทียบสารสกัดที่ใช้ในการห่อหุ้มสารสกัดจากเปลือกส้มโอพบว่าสารที่ใช้ในการห่อหุ้มมีค่าเป็นบวกทั้งหมดซึ่งแสดงถึงค่าสีเหลืองและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การวัดค่าสีของไมโครแคปซูล

ตัวอย่าง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
MD-10	81.606 ^a ± 0.495	-0.770 ^g ± 0.122	22.003 ^f ± 0.410
MG-10	78.450 ^c ± 0.145	-0.200 ^e ± 0.030	24.160 ^e ± 0.552
MH-10	80.066 ^b ± 0.232	-0.410 ^f ± 0.072	24.230 ^e ± 0.505
MW-10	75.126 ^f ± 0.364	3.903 ^b ± 0.040	29.463 ^b ± 0.295
MD-15	79.726 ^b ± 0.100	0.536 ^d ± 0.011	25.810 ^d ± 0.160
MG-15	75.960 ^e ± 0.321	1.266 ^c ± 0.115	29.280 ^b ± 0.245
MH-15	76.566 ^d ± 0.150	1.366 ^c ± 0.025	28.413 ^c ± 0.280
MW-15	73.513 ^g ± 0.128	4.166 ^a ± 0.138	30.886 ^a ± 0.574

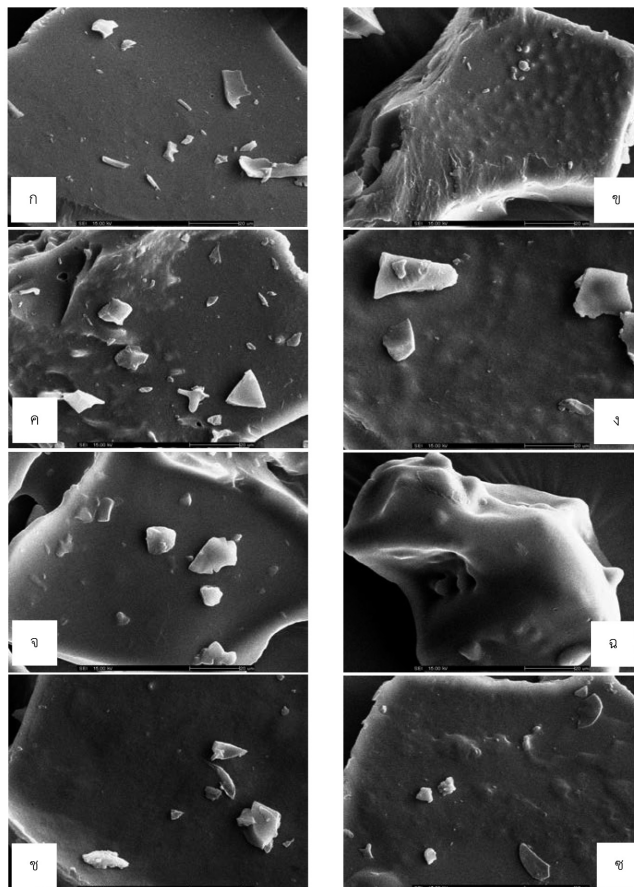
หมายเหตุ MD-10 = Maltodextrin กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10, MG-10 = Maltodextrin ผสมกับ Gum Arabic กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10, MH-10 คือ Maltodextrin ผสมกับ Hi-cap 100 กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10, MW-10 คือ Maltodextrin ผสมกับ Whey protein กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10, MD-15 = Maltodextrin กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 15, MG-15 = Maltodextrin ผสมกับ Gum Arabic กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 15, MH-15 คือ Maltodextrin ผสมกับ Hi-cap 100 กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 15, MW-15 คือ Maltodextrin ผสมกับ Whey protein กักเก็บสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 15 ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเล็กต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

3.4 ขนาด และลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมาใช้ในการสังเกตลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูล ซึ่งคุณสมบัติที่เหมาะสมของลักษณะภายนอกของไมโครแคปซูลควรมีพื้นผิวที่เรียบ ไม่ยุบ ไม่หดตัว สามารถเกิดฟิล์มได้ดี ไม่ควรมีรอยแตก รอยร้าว เพราะจะทำให้เกิดการกักเก็บสารสกัดได้ไม่ดี ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสารที่ใช้ในการเคลือบสารสกัดจากเปลือกส้มโอ ได้แก่ MD MG และ MW มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ ไม่ขรุขระ ไม่มีการยุบหรือหดตัว เหลี่ยมของมุมมีความแข็งแรง คมชัด มีลักษณะการเคลือบที่จับตัวกันไม่เกิดการไหลมารวมกัน ซึ่งสามารถทนต่อปัจจัยภายนอกได้ดี (ภาพที่ 1) แสดงให้เห็นว่าสารที่ใช้ในการเคลือบมีสามารถลดอัตราการปลดปล่อยสารสกัดในอัตราที่ช้าลงเป็นผลให้สามารถป้องกันสารสกัดหยาบทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอก ป้องกันสารสกัดจากแสงหรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยืดอายุการเก็บรักษาสารสกัดหรือควบคุมการปลดปล่อยสารสกัดและป้องกันรสชาติของสารสกัดหยาบที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหารโดยรวมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ในขณะที่สารที่ใช้ในการเคลือบสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอด้วย MH มีลักษณะเยิ้มไหลมารวมตัวกัน (ภาพที่ 1จ และ 1ข) ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะส่งผลให้สารสกัดทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอก

4. สรุป และข้อเสนอแนะ

การกักเก็บสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอ พบว่าประสิทธิภาพการกักเก็บของไมโครแคปซูลของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอที่ถูกรับกับเก็บด้วย Maltodextrin ผสมกับ Whey protein concentrate ที่อัตราส่วน 1:1 และมีปริมาณสารสกัดหยาบร้อยละ 10 (MW-10) และร้อยละ 15 (MW-15) มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารสกัดดีที่สุดที่สุด การตรวจสอบประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay และ FRAP assay ของตัวอย่างไมโครแคปซูลพบว่า MW-15 มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าตัวอย่างไมโครแคปซูลชนิดอื่น ๆ จากการส่องดูลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นว่า MW-15 มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ ไม่ขรุขระ ไม่มีการยุบหรือหดตัว เหลี่ยมของมุมมีความแข็งแรง คมชัด มีลักษณะการห่อหุ้มที่จับตัวกันไม่เกิดการไหลมารวมกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้ไมโครแคปซูลมีความคงตัวต่อปัจจัยภายนอกได้ดี จึงเป็นอีกทางเลือกในการป้องกันการสูญเสียประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากเปลือกส้มโอในระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษาอาหาร



ภาพที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของไมโครแคปซูลของสารสกัดจากเปลือกส้มโอร้อยละ 10 ที่กักเก็บด้วย Maltodextrin, Maltodextrin ผสม Gum Arabic, Maltodextrin ผสม Hicap 100, Maltodextrin ผสม Whey Protein Concentrate (ก ค จ และ ข) และไมโครแคปซูลของสารสกัดจากเปลือกส้มโอ ร้อยละ 15 ที่กักเก็บด้วย Maltodextrin, Maltodextrin ผสม Gum Arabic, Maltodextrin ผสม Hicap 100, Maltodextrin ผสม Whey Protein Concentrate (ข ง ฉ และ ฮ) ที่ตรวจด้วย กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด; กำลังขยาย 1000 เท่า

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ไฉ้ ณ โอกาสนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ นักศึกษา บุคลากร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่ช่วยให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- Barros, H. R. M., Ferreir, T. and M. I. Genovese. 2012. **Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil.** Food chem. 134: 1892-1898.
- Bhandari, B. R., B. R. D'Arcy. and L. L. Thi. 1998. **Lemon oil to β -cyclodextrin ratio effect on the inclusion efficiency of β -cyclodextrin and the retention of oil volatiles in the complex.** J Agri Food Chem. 46: 1494-1499.
- Gouin, S. 2004. **Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends.** Trends Food Sci Tech. 15: 330-347.
- Loypimai, P., Pasakul, T. and R. Mongkolthai. 2011. **Comparisons of antioxidant activities and total phenolic content of fruit peels.** J Agr Sci. 42: 385-388
- Nayak, B., Dahmoune, F., Remini, K., Dairi, H. S., Aoun, O. and M. Khodir. 2015. **Comparison of microwave, ultrasound and accelerated-assisted solvent extraction for recovery of polyphenols from *Citrus sinensis* peels.** Food chem. 187: 507-516.
- Ratanasiriwat, P., Worawattanamateekul, W. and W. Klaypradit. 2013. **Properties of encapsulated wasabi flavour and its application in canned food.** Int J Food Sci Tech. 48: 749-757.
- Saikia, S., Kumer, N. and C. L. Mahanta. 2015. **Optimisation of phenolic extraction from Averrhoa carambola pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying.** Food Chem. 171: 144-152.
- Suklampoo, L., Khongsirisatjatam, P., Ruangsiri, R. and Dechaprakron, S. 2010. **Antimicrobial activity of crude extracts from Pomelo peel of Khao-Yai.** Proceeding of 48th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry. (in Thai)
- Tantipaibulvut, S., Nuamsetti, T. and P. Dechayuenyong. 2012. **Antibacterial Activity of Some Fruit-Peel Extracts.** KKU Res. J. 2012; 17: 880-894.
- Swain, T. and W. E. Hills. 1959. **The phenolic constituents of *Prunus domestica*.** J. Sci. Food Agri. 10: 63-68.

ผลของการเสริมใบมะรุมต่อคุณลักษณะโพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ด

Effects of *Moringa oleifera* Leaf Enrichment on Characteristics of Probiotic Goat Tablet

มนตรี ยอดธงชัย และ วิสาขะ อนันต์วัช

Montree Yodtongchai and Visaka Anantawat

สาขาอุตสาหกรรมเกษตร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

Agro-Industry Program, School of Agricultural Technology, Walailak University

*E-mail: pvisaka@mail.wu.ac.th โทร. 06-3080-3690

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดเสริมใบมะรุม โดยใช้วัตถุดิบนมแพะจากกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงแพะนมจังหวัดนครศรีธรรมราช นำมาหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติก ABY-3 ที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4.5 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า/ขาออกที่ 160/70 องศาเซลเซียส จนได้โพรไบโอติกนมแพะผงที่มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 5 และมีอัตราการเหือดของเชื้อจุลินทรีย์โพรไบโอติกในระดับที่สูงกว่า 10^6 CFU/g เสริมคุณค่าด้วยใบมะรุมผง แล้วนำมาอัดเป็นเม็ดเพื่อความสะดวกในการบริโภค พบว่าผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดเสริมใบมะรุมที่ระดับ 1% w/w มีความเหมาะสมที่สุด ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ระดับเล็กน้อย-ปานกลาง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการและมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูง

คำสำคัญ : โพรไบโอติก นมแพะ มะรุม

Abstract

This research aimed to study the characteristics of probiotic goat tableted with *Moringa oleifera*. The goat milk was obtained from Nakhon Si Thammarat dairy farm. The ABY-3 Probiotic culture was used to ferment the goat milk at 43°C for 4.5 h. The probiotic goat yogurts was then spray dried at inlet/outlet temperature of 160/70 °C. The probiotic powder contained less than 5% moisture content and contained probiotic bacterial more than 10^6 CFU/g. The *Moringa oleifera* powder was then added at 1% w/w and the mixture was then made in tablet. The probiotic goat tablet enriched with *Moringa oleifera* was accepted by consumer in the level of slightly- moderate like. The product had high nutritional and anti-oxidation activity.

Keywords : Probiotic, goat milk, *Moringa oleifera*

1. บทนำ

โยเกิร์ต (Yogurt) เป็นผลิตภัณฑ์นม ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติทางฟังก์ชันนอล ระหว่างกระบวนการหมักจุลินทรีย์กรดแลคติกจะเปลี่ยนแปลงนํ้านมให้เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น κ -Casein และ Tyrosine ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Morell *et al.*, 2015) รวมทั้งได้ Exopolysaccharide ที่มีส่วนช่วยในการเจริญของจุลินทรีย์ที่ดีในลำไส้ (Patel *et al.*, 2012) การรับประทานโยเกิร์ตที่มีจุลินทรีย์โพรไบโอติกในปริมาณที่เหมาะสม 10^6 - 10^7 CFU/g จะช่วยให้ลำไส้เกิดความสมดุล เสริมสร้างภูมิคุ้มกันในร่างกาย ลดระดับไขมันชนิด LDL-cholesterol ในกระแสเลือด และยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรคบางชนิดในระบบ

ทางเดินอาหาร (Saad *et al.*, 2013) นมแพะ (Goat milk) เป็นน้ำนมประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาผลิตเป็นโยเกิร์ตได้ นมแพะมีปริมาณโปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็นและแร่ธาตุบางชนิด เช่น แคลเซียมและฟอสฟอรัส สูงกว่านมโค รวมทั้งมีปริมาณโปรตีนชนิด α_1 -Casein และน้ำตาลแลคโตสที่เป็นสารก่อภูมิแพ้ปริมาณต่ำ มีขนาดเม็ดไขมันเล็กกว่านมโค ทำให้ง่ายต่อการย่อยและดูดซึมของร่างกาย การนํานมแพะมาหมักโยเกิร์ต จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหลวและข้นหนืดน้อยกว่าโยเกิร์ตที่ได้จากนมโค นมแพะมีโปรตีนเคซีนที่ช่วยในการเกิดเคิร์ดของโยเกิร์ต น้อย จำเป็นต้องใช้สารเพิ่มความข้นหนืด (Thickening agent) ลงในโยเกิร์ตนมแพะ Wang *et al.* (2012) ศึกษาการใช้ Polymerized whey protein 0.04% และเจลาติน 0.3% เป็นสารทำให้โยเกิร์ตนมแพะขึ้น พบว่าโยเกิร์ตนมแพะที่ผลิตโดยใช้จุลินทรีย์ โพรไบโอติกจะมีจำนวนของ *Bifidobacterium* spp. และ *L. casei* มากกว่า 10^6 CFU/g ระหว่างการเก็บรักษา แต่ไม่มีจุลินทรีย์ *L. acidophilus* เหลือในผลิตภัณฑ์ในสัปดาห์ที่ 4 ของการเก็บรักษา โครงสร้างของโยเกิร์ตที่ได้จากกล้อง Scanning electron microscopy (SEM) แสดงให้เห็นว่า Polymerized whey protein ทำปฏิกิริยากับเคซีนไมเซลล์ ทำให้โครงสร้างเจลในโยเกิร์ตมีความแข็งแรงขึ้น อาจมีการเติมพืชผักผลไม้และสมุนไพร เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และปรับปรุงกลิ่นรสของโยเกิร์ต ใบมะรุม (*Moringa oleifera*) มีสารอาหารที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีน แคลเซียมและฟอสฟอรัส (Gopalakrishnan *et al.*, 2016) มีสารพฤกษเคมีที่สำคัญในกลุ่มของ Flavonoid, glucosinolates, phenolic, และ Isothiocyanates ที่มีความสามารถในการลดความดันโลหิต ลดการเกิดเบาหวานประเภทที่ 2 ยับยั้งการเจริญของเชื้อก่อโรค ดันอนุมูลอิสระ และลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งได้ (Anwar *et al.*, 2007) Hekmat *et al.* (2015) ศึกษาการผลิตโยเกิร์ตนมโคเสริมใบมะรุมผงโดยใช้ใบมะรุมผงแห้ง และน้ำตาลที่ระดับ 0.5 และ 5.0% w/w ตามลำดับ พบว่าการเสริมใบมะรุมผงที่ระดับมากกว่า 1% w/w อาจก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ Kuikman and O'Connor (2015) ศึกษากระบวนการผลิตโยเกิร์ตนมโคเสริมใบมะรุมผงที่ระดับ 1.7% w/w ประเมินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี 9-Point hedonic scale พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมเพียง 4.25 ± 2.6 คะแนน จากการค้นคว้าข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับโพรไบโอติกนมแพะพบว่ามีค่อนข้างจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำโยเกิร์ตจากนมแพะมาผ่านขั้นตอนการทำแห้ง การอัดเม็ดและเสริมสมุนไพรไทยไว้ในผลิตภัณฑ์ โครงการวิจัยนี้จึงต้องการศึกษากระบวนการผลิตโพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดเสริมใบมะรุม สร้างทางเลือกใหม่ให้กับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ

2. วิธีการทดลอง

วัตถุดิบ

น้ำนมแพะจากมณตรีฟาร์มแพะนม จังหวัดนครศรีธรรมราช หัวเชื้อโยเกิร์ตแบบเซลล์แห้ง (Yogurt dry culture) FD-DVS ABY-3 Probiotec® (Cr. Hansen, Hosholm, Denmark) ซึ่งประกอบด้วย *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Bifidobacterium lactis* หัวเชื้อจะถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะถูกนำมาใช้งาน

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ศึกษาคุณภาพวัตถุดิบน้ำนมแพะ

วิเคราะห์คุณภาพนมแพะดิบทางเคมีกายภาพและจุลินทรีย์ ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช. 6006-2551 ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ (Lactometer) ความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ปริมาณน้ำ (IDF Standard 026, 2004) โปรตีน (AOAC 2001.11, 2012) ไขมัน (AOAC 905.02, 2012) เกล็ด (AOAC 942.05, 2005) โยอาหาร (AOAC 985.29, 2012) คาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2012) น้ำอิสระ (Water activity meter) ปริมาณกรดทั้งหมด (SIO/TS 11869: 2012) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC 941.08, 2012) ปริมาณเนื้อมันรวมไขมัน (Kajak *et al.*, 2012) และคุณลักษณะทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (U.S. FDA, 2001) ปริมาณยีสต์และรา (U.S. FDA, 2001) ปริมาณจุลินทรีย์โคลิฟอร์มและอีโคไล (Compact dry plate)

2.2 การเตรียมหัวเชื้อโยเกิร์ต

เตรียมหัวเชื้อโยเกิร์ตเพื่อนำมาใช้งาน (Working solution) ตามวิธีการของ Montaseri *et al.* (2014) นำหางนมผงความเข้มข้น 12% w/v จำนวน 2 ลิตร นำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจนมีอุณหภูมิประมาณ 43 องศาเซลเซียส เติมหหัวเชื้อโยเกิร์ต ABY-3 จำนวน 1 ของ (น้ำหนัก 17 กรัม) ละลายให้เป็นเนื้อเดียว แบ่งใส่หลอดทดลอง หลอดละ 4 มิลลิลิตร นำไปเก็บที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส แบ่งมาวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ *L. bulgaricus* (Tharnaraj & Shah, 2003) *S. thermophilus* (Ashraf & Smith, 2015) *L. acidophilus* (ET ISO 20128, 2012) *B. lactis* (Shori & Baba, 2015)

2.3 การผลิตโยเกิร์ตโพรไบโอติกจากนมแพะ

การเตรียมโยเกิร์ตนมแพะดัดแปลงจากวิธีการของ Bezerra *et al.* (2015) นำนมแพะมาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เติมหางนมผงและน้ำตาลทรายในอัตราส่วน 6 และ 4% ตามลำดับ ผสมให้เข้ากัน แล้วให้ความร้อนต่อจนถึงอุณหภูมิพาสเจอร์ไรส์ที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ลดอุณหภูมิของนํ้านมให้เหลือ 43 องศาเซลเซียส เติมหหัวเชื้อโยเกิร์ตในอัตราส่วน 4 มิลลิลิตรต่อนมแพะ 1 ลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ค่า pH และปริมาณกรดทุก 30 นาที จนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีค่า pH 4.6 และปริมาณกรด 0.5% w/w จึงนำผลิตภัณฑ์ออกจากตู้บ่มและลดอุณหภูมิลงเหลือ 10 องศาเซลเซียส นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำโยเกิร์ตนมแพะมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ตามวิธีการข้อ 2.1 ยกเว้นการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ ปริมาณเนื้อมันรวมไขมันและจุลินทรีย์ทั้งหมด และเพิ่มการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์โพรไบโอติกทั้งหมดได้แก่ *L. bulgaricus* (Tharnaraj & Shan, 2003) *S. thermophile* (Ashraf & Smith, 2015) *L. acidophilus* (ET ISO 20128, 2012) และ *L. acidophilus* (ET ISO 20128, 2012)

2.4 การทำแห้งโยเกิร์ตโพรไบโอติกผงจากนมแพะ

นำโยเกิร์ตนมแพะที่เตรียมได้มาทำให้เป็นผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย ตามวิธีการของ Ratrin (2554) เติมห Maltodextrin 15% w/w ลงในโยเกิร์ต ปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย Homogenizer นาน 1 นาที นำเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย กำหนดให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 160 องศาเซลเซียส และแปรรูอุณหภูมิลมร้อนขาออกที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส วิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีกายภาพและจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตผงที่ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหาร

2.5 การทำแห้งใบมะรุม

การทำแห้งใบมะรุมทำตามวิธีของ Yi *et al.* (2017) นำใบมะรุมสดที่ไม่อ่อนและไม่แก่จนเกินไป โดยใช้ก้านที่ 3 - 8 นับจากยอดนำมาแยกก้าน ล้างน้ำสะอาด นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Tray drier) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง นำใบมะรุมอบแห้งมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดอาหาร และร่อนใบมะรุมผงด้วยตะแกรกร่อน No.16 วิเคราะห์คุณลักษณะของใบมะรุมผงทางเคมีกายภาพได้แก่ ความชื้น (ISO 5537 IDF 026, 2004) ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter) สี (Colorimeter) Bulk density และ Tapped density (Koc *et al.*, 2014) Huasner ratio, Compressibility index และ Flowability (Monton *et al.*, 2014)

2.6 การพัฒนาผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกอัดเม็ดจากนมแพะเสริมใบมะรุม

2.6.1 การเตรียมส่วนผสมสำหรับอัดเม็ด

สูตรของโพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดเสริมใบมะรุมดัดแปลงจากวิธีการของ Natvaratat *et al.* (2007) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเม็ดสมบูรณ์ไม่แตกหรือแยกเป็นชิ้น โดยใช้โยเกิร์ตนมแพะผง น้ำตาลไอซิ่ง Can-o-sil® และ Comprcel® M102 ในอัตราส่วนคงที่ แปรปริมาณแบ่งดัดแปร Era-Tab® และใบมะรุมผง แบ่งเป็น 3 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรการผลิตโยเกิร์ตโพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดเสริมไบโอมะรุม

ส่วนผสม (% w/w)	Control	สูตรที่ 1 (1% MOL)	สูตรที่ 2 (3% MOL)	สูตรที่ 3 (5% MOL)
ไบโอมะรุมผง	-	1	3	5
แป้งข้าวคั่วดัดแปร Era-Tab®	10	9	7	5
โยเกิร์ตนมแพะผง	70	70	70	70
น้ำตาลไอซิ่ง	15	15	15	15
Cab-o-sil®	0.4	0.4	0.4	0.4
Comprecel® M102	3.6	3.6	3.6	3.6

2.6.2 การตอกเม็ด

นำส่วนผสมที่ได้ในข้อ 2.6.1 มาผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมผงยาแบบลูกเต๋า เป็นเวลา 10 นาที บรรจุส่วนผสมลงในเครื่องตอกเม็ด ตอกเม็ดด้วยวิธีแบบตอกตรง (Direct compression) ตั้งค่าเครื่องให้แต่ละเม็ดมีน้ำหนักและความแข็งของเม็ดประมาณ 1.30 กรัม และ 6.00 kp ตามลำดับ

2.7 การวิเคราะห์คุณลักษณะโพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดเสริมไบโอมะรุม

นำผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดเสริมไบโอมะรุม มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีกายภาพและจุลินทรีย์เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เสริมไบโอมะรุม (Control) ด้านคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความชื้น (ISO 5537 | IDF 026, 2004) a_w (Water activity meter) โปรตีน (AOAC 2001.11, 2012) ไขมัน (AOAC 2003.05, 2012) เกล็ด (AOAC 942.05, 2005) โยอาหาร (AOAC 985.29, 2012) คาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2012) สี (Colorimeter) น้ำหนัก (Digital weighting scale) เส้นผ่านศูนย์กลาง (Vernier caliper) ความแข็งของเม็ด (Hardness tester) การกร่อนของเม็ด (Boongen, 2011) DPPH scavenging activity (Muniandy *et al.*, 2016) Rapid TLC-DPPH screening (Nia *et al.*, 2004) FRAP assay (Muniandy *et al.*, 2016) และคุณลักษณะทางจุลินทรีย์ ได้แก่ *L. bulgaricus* (Thamaraj & Shan, 2003), *S. thermophilus* (Ashraf & Smith, 2015), *L. acidophilus* (ET ISO 20128, 2012) และ *B. lactis* (Shori & Baba, 2015) Coliform และ *E.coli* (Compact dry EC plate)

2.8 การคัดเลือกสูตรการผลิตที่เหมาะสมของโยเกิร์ตโพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดเสริมไบโอมะรุม

คัดเลือกสูตรการผลิตที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดเสริมไบโอมะรุมโดยใช้วิธีการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) ของผู้บริโภคนที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (Untrained panels) จำนวน 30 คน ทดสอบด้วยวิธี 9-Points hedonic scale 1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉย ๆ และ 9 = ชอบมากที่สุด พิจารณาปัจจัยทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความแข็ง การละลายในปากและความชอบโดยรวม

2.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางด้านเคมีกายภาพและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ($n = 3$) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยวิธี One-way completely randomized design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.05$ รายงานผลการทดลองโดยใช้ค่า mean $\pm$ SD

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 คุณภาพนมแพะดิบ

การวิเคราะห์คุณสมบัติของนมแพะดิบ (ตารางที่ 2) พบว่า ค่า pH ความถ่วงจำเพาะและเนื้อมันไม่รวมมันเนย ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) 6006-2551 คุณลักษณะทางจุลินทรีย์จัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี-ดีมาก มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด $< 10^5$ CFU/ml ไขมัน $> 4\%$ ปริมาณของแข็งทั้งหมด $> 13\%$ และปริมาณโปรตีน 3.31% นมแพะดิบจึงเหมาะสำหรับผลิตโยเกิร์ต

3.2 กระบวนการผลิตโยเกิร์ตโพรไบโอติกนมแพะ

Working solution มีปริมาณจุลินทรีย์โพรไบโอติกทั้งหมด 7.48 log CFU/ml แยกเป็น *S. thermophilus*, *L. bulgaricus*, *L. acidophilus* และ *B. lactis* จำนวน 6.94, 6.09, 6.27 และ 7.26 log CFU/ml ตามลำดับ ระยะเวลากการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น ค่า pH ลดลง จุลินทรีย์โพรไบโอติกจะนำน้ำตาลแลคโตสไปใช้ในการเจริญเติบโตและผลิตกรดแลคติกออกมา เมื่อ pH เข้าใกล้ 4.6 โมเลกุลของเคซีนไมเซลล์จะเข้าสู่จุด Isoelectric point ส่งผลให้ประจุบนผิวหน้าของโปรตีนเป็นศูนย์ และสูญเสียสภาพตามธรรมชาติ เคซีนส่วนใหญ่เกิดการตกตะกอน น้ำนมมีลักษณะเป็นครีมมากขึ้น (Lee & Lucey, 2010) พบว่าต้องใช้ระยะเวลาในการหมักนมแพะ 4.5 ชั่วโมง จึงจะทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดไม่น้อยกว่า 0.6% w/w ตามเกณฑ์กระทรวงสาธารณสุข ระยะเวลากการหมักที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความข้นหนืดและการเกิดเคิร์ดของโยเกิร์ต จุลินทรีย์ LAB สามารถผลิต Exopolysaccharide ระหว่างการหมัก ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยป้องกันการแยกชั้นของน้ำ (Syneresis) Exopolysaccharide สามารถเชื่อมต่อกันเกิดเป็นโครงสร้างเจลร่างแห (Gle-like structure) ที่สามารถกักเก็บน้ำในโครงสร้างของเคิร์ดโยเกิร์ตได้ ช่วยปรับปรุงโยเกิร์ตให้มีลักษณะเนื้อเนียนมากขึ้น จากการเชื่อมประสานกันระหว่าง Exopolysaccharide และโปรตีนเคซีนในน้ำนม (Han *et al.*, 2016) โยเกิร์ตนมแพะที่ผลิตได้มีคุณลักษณะทางเคมีกายภาพและจุลินทรีย์ดังแสดงในตารางที่ 2

3.3 กระบวนการทำแห้งโยเกิร์ตโพรไบโอติกนมแพะ

คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของโยเกิร์ตนมแพะผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะแตกต่างกัน (ตารางที่ 3) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ปริมาณความชื้นและน้ำอิสระ (a_w) ที่ได้จากการทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกที่ 80 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำที่สุด ค่า a_w ทุกสภาวะการทดลองมีค่าน้อยกว่า 0.7 ดังนั้นโยเกิร์ตนมแพะผงจึงจัดอยู่ในอาหารประเภทปริมาณน้ำอิสระต่ำ (Low water activity) สามารถควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสียได้ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น (Gurtler *et al.*, 2014) เมื่อพิจารณาค่าความชื้นตามเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 351 พ.ศ.2556 ที่กำหนดให้นมปรุงแต่งชนิดแห้งต้องมีค่าความชื้นไม่เกิน 5% ดังนั้นกระบวนการทำแห้งโยเกิร์ตนมแพะผงที่ได้มาตรฐานคือ การทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออก 70 และ 80 องศาเซลเซียส

สีของโยเกิร์ตนมแพะผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การใช้อุณหภูมิลมร้อนขาออกที่ 80 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผงมีค่าสีเหลือง (b^*) มากที่สุด ค่าความสว่าง (L^*) น้อยที่สุด ระหว่างการทำแห้งจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) ซึ่งเกิดจากการรวมกันระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) กับกรดอะมิโนหรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ มีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเกิดพอลิเมอร์ของกลุ่มคาร์โบไฮเดรต กลายเป็นสารประกอบคาร์บอน เช่น อนุพันธ์ของ Hydroxymethylfurfural (HMF) ที่สามารถเปลี่ยนเป็นสารสีน้ำตาลได้อย่างรวดเร็ว เรียกปฏิกิริยาดังกล่าว “ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด (Maillard reaction)” ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ที่ใช้ในการทำแห้ง ปริมาณน้ำตาลซูโครส และค่า pH ของตัวอย่าง (Jaeger *et al.*, 2010) เมื่อพิจารณาสมบัติการไหล (Flowability) ของโยเกิร์ตนมแพะผงที่ได้จากสภาวะการทำแห้ง พบว่า

มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) การใช้อุณหภูมิร้อนขาออกที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส จะมีสมบัติการไหลตัวได้ดีกว่าที่ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ กระบวนการทำแห้งในทุกสภาวะจะให้โยเกิร์ตนมแพะผงที่มีสมบัติการไหลตัวต่ำมาก (Very poor - Very, very poor) สมบัติการไหลของผงตัวอย่างมีความสำคัญสำหรับขั้นตอนการตอกเม็ด เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความสม่ำเสมอของสารในระหว่างการผลิต (Monton *et al.*, 2014) ดังนั้นการเลือกใช้โยเกิร์ตนมแพะผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะต้องเติมสารเพิ่มสมบัติ การไหล (Flow agent) ลงในสูตรการผลิตสำหรับตอกเม็ดด้วย

การศึกษ้อัตราการเหลือรอดของจุลินทรีย์โปรไบโอติกหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอยในโยเกิร์ตนมแพะผง พบว่าอุณหภูมิร้อนขาออก (Outlet temperature) ส่งผลต่ออัตราการเหลือรอดของจุลินทรีย์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) การใช้อุณหภูมิร้อนขาออกที่ 80 องศาเซลเซียส ลดปริมาณจุลินทรีย์โปรไบโอติกได้มากกว่าที่ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Bielecka and Majkowska (2000) ที่ศึกษาการทำแห้งโยเกิร์ตชนิดผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย พิจารณาถึงปัจจัยของอุณหภูมิร้อนขาออกของเครื่อง Spray drier ต่อการเหลือรอดของจุลินทรีย์ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* ในโยเกิร์ตผง พบว่าการใช้อุณหภูมิร้อนที่ระดับ 60-65 องศาเซลเซียส มีการเหลือรอดของจุลินทรีย์มากกว่าที่อุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส แต่ยังคงมีอัตราการเหลือรอดของจุลินทรีย์ในระดับที่น่าพอใจ *L. bulgaricus* 13.7-15.8% และ *S. thermophilus* 51.6-54.7% Peighambaroust *et al.* (2011) ระบุว่าสาเหตุการลดลงของจำนวนจุลินทรีย์โปรไบโอติกมาจากการที่ตัวอย่างสัมผัสกับอุณหภูมิร้อนภายใน Spray drier พบว่าอัตราการเหลือรอดของ *S. thermophilus* มากกว่า *B. lactis*, *L. bulgaricus* และ *L. acidophilus* ตามลำดับ จุลินทรีย์ *S. thermophilus* อยู่ในกลุ่ม Thermotolerant bacteria ที่ทนต่อความร้อนได้ดี (Ratrin, 2011) จุลินทรีย์กลุ่ม *Lactobacillus* spp. มีอัตราการเหลือรอดน้อยที่สุด เพราะเป็นจุลินทรีย์ที่มีความไวต่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูง อุณหภูมิตั้งแต่ 65 องศาเซลเซียส สามารถทำให้โปรตีนภายในเซลล์ *Lactobacillus* spp. เกิดการเสียสภาพ ส่งผลให้ผนังเซลล์ (Cytoplasmic membrane) และไรโบโซม (Ribosome) ของจุลินทรีย์ถูกทำลายและตายลงในที่สุด (Wungrath, 2009) อัตราการเหลือรอดของจุลินทรีย์โปรไบโอติกทั้งหมดหลังจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยในทุกสภาวะมีจำนวนมากกว่า 10^6 CFU/g ซึ่งเป็นระดับที่มีประโยชน์ต่อผู้บริโภค และมีคุณสมบัติเป็น Functional food (FAO/WHO 2002, Lollo *et al.*, 2013) การใช้อุณหภูมิร้อนขาออกที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ทำให้โยเกิร์ตนมแพะผงที่ได้มีปริมาณจุลินทรีย์โปรไบโอติกทั้งหมดเท่ากับ 8.91 ± 0.23 , 8.64 ± 0.12 และ 8.06 ± 0.12 log CFU/g ตามลำดับ หากพิจารณาปัจจัยของความชื้นร่วมด้วย พบว่ากระบวนการทำแห้งโยเกิร์ตนมแพะผงแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนขาเข้า/ขาออกที่ 160/70 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมมากที่สุด มีการเหลือรอดของจุลินทรีย์โปรไบโอติกทั้งหมดสูงและมีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ($\leq 5\%$ w/w)

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางเคมีกายภาพและจุลินทรีย์ของนมแพะดิบและโยเกิร์ตนมแพะ

คุณลักษณะ	นมแพะดิบ	มาตรฐาน*	โยเกิร์ตนมแพะ	มาตรฐาน**
น้ำ (% w/w)	87.21 ± 0.16	-	67.46 ± 0.1624	-
โปรตีน (% w/w)	3.31 ± 0.03	≥ 3.1	4.49 ± 0.08	≥ 2.7
ไขมัน (% w/w)	5.31 ± 0.06	≥ 3.25	6.23 ± 0.09	≥ 15
เถ้า (% w/w)	0.84 ± 0.01	-	1.20 ± 0.01	-
เส้นใยอาหาร (% w/w)	0.00 ± 0.00	-	0.39 ± 0.06	-
คาร์โบไฮเดรต (% w/w)	3.51 ± 0.11	-	20.41 ± 0.29	-
ความถ่วงจำเพาะ (20C)	1.032 ± 0.00	≥ 1.028	-	-
น้ำอิสระ	1.00 ± 0.00	-	0.99 ± 0.01	-
ความเป็นกรด-ด่าง	6.51 ± 0.01	6.50 - 6.80	4.64	-
ของแข็งทั้งหมด (% w/w)	13.58 ± 0.18	≥ 11.7	32.54 ± 0.24	-

ตารางที่ 2 (ต่อ)

คุณลักษณะ	นมแพะดิบ	มาตรฐาน*	โยเกิร์ตนมแพะ	มาตรฐาน**
เนื้อมันรวมไขมันเนย (% w/w)	8.44 ± 0.17	≥ 8.25	-	-
จุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)	4.81 ± 0.07	5.30	9.38 ± 0.22	≥ 7.00
- <i>S. thermophiles</i>	-	-	9.12 ± 0.09	-
- <i>L. bulgaricus</i>	-	-	5.44 ± 0.02	-
- <i>L. acidophilus</i>	-	-	5.46 ± 0.07	-
- <i>B. lactis</i>	-	-	9.02 ± 0.05	-
ยีสต์และรา (log CFU/ml)	2.08 ± 0.05	-	< 1	2
E.coli ND	ND	ND	ND	
Coliform	ND	ND	ND	ND

* มาตรฐาน มกอช. 6006-2551 เรื่อง นำนมดิบ

** มาตรฐานกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง มาตรฐานนมเปรี้ยว ฉบับที่ 353 พ.ศ. 2556

ND ตรวจไม่พบในตัวอย่างวัตถุดิบนมแพะ 1 กรัม

ตารางที่ 3 คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของโยเกิร์ตนมแพะผงและใบมะรุผง

คุณลักษณะทางเคมีกายภาพ	สภาวะการทำแห้ง			
	SD-60	SD-70	SD-80	ใบมะรุผง
ความชื้น (wet basis)	5.38 ± 0.05 ^a	3.31 ± 0.01 ^b	2.42 ± 0.05 ^c	3.58 ± 0.02
น้ำอิสระ	0.40 ± 0.01 ^a	0.26 ± 0.01 ^b	0.20 ± 0.01 ^c	0.26 ± 0.02
สี L*	91.09 ± 0.24 ^b	91.93 ± 0.03 ^a	89.63 ± 0.08 ^c	44.23 ± 0.25
a*	-2.00 ± 0.13 ^b	-2.21 ± 0.01 ^c	-1.15 ± 0.03 ^a	-10.38 ± 0.05
b*	13.26 ± 0.27 ^b	12.94 ± 0.16 ^b	15.68 ± 0.20 ^a	31.07 ± 0.12
Bulk density (Kg/m ³)	637.08 ± 5.40 ^a	592.1 ± 3.00 ^b	532.0 ± 13.80 ^c	318.5 ± 5.10
Tapped density (Kg/m ³)	941.5 ± 24.5 ^a	908.3 ± 11.70 ^{ab}	892.0 ± 23.70 ^b	451.6 ± 3.3
Compressibility index (%)	32.29 ± 1.80 ^b	34.83 ± 0.88 ^b	40.32 ± 2.22 ^a	29.48 ± 1.11
Hausner ratio	1.48 ± 0.04 ^b	1.68 ± 0.06 ^b	1.71 ± 0.02 ^a	1.42 ± 0.02
Flowability ¹	Very poor	Very poor	Very, vary poor	Poor

^{a-c} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)¹ คำนวณจากสัดส่วนระหว่าง Compressibility index กับ Hausner ratio และนำค่าที่ได้ไปเทียบกับตารางสมบัติการไหลของสาร (Singh & Kumar, 2012)

SD-60, SD-70, SD-80 โยเกิร์ตนมแพะผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนชาเข้า 160 องศาเซลเซียส และขาออก 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.4 คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของใบมะรุผง

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีกายภาพของใบมะรุผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบถาด พบว่ามีปริมาณความชื้นและ a_w ค่อนข้างต่ำอยู่ที่ 3.58% w/w และ 0.26 ตามลำดับ (ตารางที่ 3) Muller and Heindl (2006) และ Gurtler *et al.* (2014) ระบุว่าค่าความชื้นและ a_w ที่ต่ำกว่า 12% wet basis และ 0.7 ตามลำดับ จะทำให้ปลอดภัยจากการเจริญของราและแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุทำให้สมุนไพรเน่าเสีย ผงใบมะรุที่ผลิตได้มีสมบัติการไหลตัวที่ต่ำ (Poor) ลักษณะอนุภาคผงที่ได้จะเป็นเกล็ดเล็ก ๆ ทำให้ยากในการไหลตัวของผงมะรุ

3.5 คุณลักษณะทางเคมีกายภาพและจุลินทรีย์ของโพรไบโอติกอัดเม็ดจากนมแพะเสริมโบรมัม

เมื่อนำโพรไบโอติกอัดเม็ดจากนมแพะที่ได้มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีกายภาพ (ตารางที่ 4) พบว่า น้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางของโพรไบโอติกอัดเม็ดทุกสูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) มีค่าเฉลี่ย 1.30 กรัม และ 17.13 mm/tablet ตามลำดับ การเสริมโบรมัมลงในสูตรการผลิตจะส่งผลต่อค่าความแข็ง ความร่อน สี ความชื้น และ a_w อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) การเสริมโบรมัมลงในสูตรการผลิตเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งลดลง และความร่อนของเม็ดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ Control เมื่อพิจารณาค่าความร่อนเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ United States Pharmacopeia (USP) <1216> Tablet Friability พบว่าโพรไบโอติกอัดเม็ดในสูตรมีอัตราการร่อนน้อยกว่า 1.0% เหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตและไม่ก่อให้เกิดการแตกหักของเม็ดในระหว่างการขนส่งผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์พบว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณของโบรมัมที่เสริมลงในสูตรการผลิต การเสริมโบรมัมลงในสูตรที่ระดับ 5% w/w ทำให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง แต่ทำให้ค่าสีแดง (a^*) และเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงกว่าที่ 3% และ 1% w/w ตามลำดับ เนื่องจากโบรมัมมีรงควัตถุของคลอโรฟิลล์ในปริมาณที่สูง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการเสริมโบรมัมเข้าไปในสูตรมีสีเขียวเข้มมากขึ้นตามไปด้วย (Karim *et al.*, 2013) ปริมาณของโบรมัมที่ใช้อย่างส่งผลต่อค่าความชื้นและ a_w การเสริมโบรมัมลงในสูตรที่ระดับ 5% w/w จะทำให้ค่าดังกล่าว น้อยกว่าที่ 3%, 1% และ Control ตามลำดับ เนื่องจากโบรมัมที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณความชื้นที่ค่อนข้างต่ำ ผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกอัดเม็ดทุกสูตรมีค่าความชื้นไม่เกิน 5% ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้

ตารางที่ 4 คุณลักษณะทางเคมีกายภาพและจุลินทรีย์ของโพรไบโอติกอัดเม็ดจากนมแพะเสริมโบรมัม

คุณลักษณะ	สูตรการผลิต			
	Control	1% MOL	3% MOL	5% MOL
น้ำหนัก ¹ (g/tablet)	1.30 ± 0.01a	1.30 ± 0.01a	1.30 ± 0.01a	1.30 ± 0.01a
เส้นผ่านศูนย์กลาง ¹ (mm)	17.13 ± 0.02a	17.13 ± 0.02a	17.14 ± 0.02a	17.13 ± 0.02a
ความแข็ง (kp)	6.17 ± 0.03a	6.17 ± 0.6a	6.08 ± 0.03b	6.05 ± 0.03b
ความร่อน (%)	0.26 ± 0.04a	0.28 ± 0.04a	0.23 ± 0.08a	0.51 ± 0.09b
ความชื้น (% wet basis)	3.74 ± 0.08a	3.31 ± 0.17b	3.17 ± 0.06bc	3.08 ± 0.04c
a_w	0.59 ± 0.01a	0.58 ± 0.01a	0.55 ± 0.01b	0.51 ± 0.01c
สี L^*	73.00 ± 0.16a	68.19 ± 0.39b	61.71 ± 0.37c	55.29 ± 1.42d
a^*	-0.53 ± 0.04a	-1.99 ± 0.05b	-3.65 ± 0.06c	-4.80 ± 0.12d
b^*	5.52 ± 0.13d	10.55 ± 0.27c	17.67 ± 0.18b	21.87 ± 0.68a
Total probiotic (log CFU/g)	7.23 ± 0.00a	7.22 ± 0.02a	7.25 ± 0.05a	7.21 ± 0.05a
ยีสต์และรา (log CFU/g)	< 1	< 1	< 1	< 1
E.coli	ND	ND	ND	ND
Coliform	ND	ND	ND	ND

¹ รายงานผลการทดสอบค่า Mean SD ของตัวอย่างโพรไบโอติกอัดเม็ด 20 เม็ด

^{a-b} ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

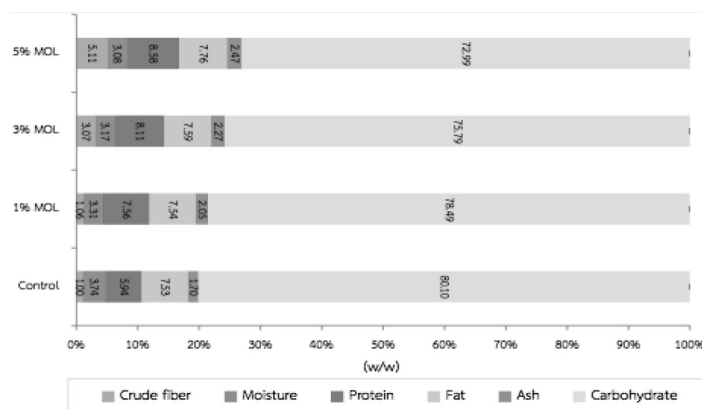
ND ตรวจไม่พบในตัวอย่างโพรไบโอติกนมแพะ 0.1 กรัม

Control โพรไบโอติกโพรไบโอติกอัดเม็ดจากนมแพะสูตรปกติ

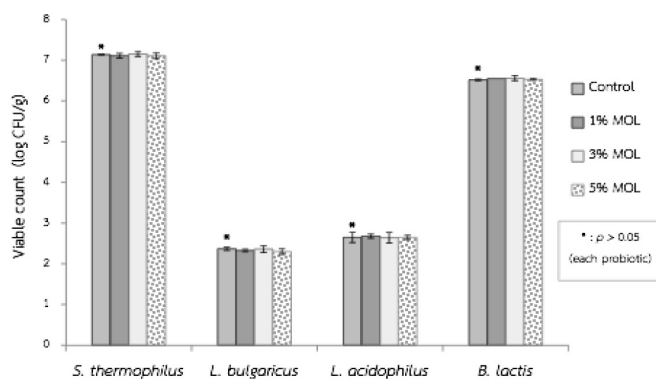
1, 3, 5% MOL โพรไบโอติกโพรไบโอติกอัดเม็ดจากนมแพะเสริมโบรมัม 1, 3 และ 5%

เมื่อพิจารณาสารประกอบหลักในโยเกิร์ตโพรไบโอติกอัดเม็ดจากนมแพะเสริมไบโหมรุม พบว่าการเสริมไบโหมรุมผงที่ระดับ 5% w/w ทำให้คุณค่าทางโภชนาการเพิ่มสูงกว่าที่ 3% และ 1% w/w และ Control ตามลำดับ (ภาพที่ 1) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณโปรตีน สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ *Seleem et al.* (2013) ที่ศึกษาผลของการเสริมไบโหมรุมผงในผลิตภัณฑ์นมต่อปริมาณสารอาหารในผลิตภัณฑ์ พบว่าการเสริมไบโหมรุมผงที่ระดับ 1%, 2% และ 3% w/w จะทำให้ผลิตภัณฑ์เนยแข็งที่ได้มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 3%, 5% และ 8% w/w ตามลำดับ ซึ่งโปรตีนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ปริมาณเส้นใยอาหาร รวมทั้งเส้นใยที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ (Inorganic constituents) หรือแร่ธาตุใน เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและเหล็ก เป็นต้น พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของไบโหมรุมผงที่เสริมลงไปในสูตร เนื่องจากไบโหมรุมผงจะมีปริมาณโปรตีนและใยอาหารสูงถึง 29.4 และ 12.5 กรัม/100 รวมทั้งแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียมและฟอสฟอรัส ที่มีมากกว่านมโคถึง 2 เท่า (*Gopalakrishnan et al.*, 2016)

คุณลักษณะทางจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตโพรไบโอติกอัดเม็ดจากนมแพะเสริมไบโหมรุมผงที่ระดับ 1%, 3% และ 5% ไม่แตกต่างกันกับตัวอย่าง Control อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 2 อัตราการเหลือรอดของจุลินทรีย์โพรไบโอติกในผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 7.21-7.25 log CFU/g เป็นระดับที่มีประโยชน์ต่อผู้บริโภคและมีคุณสมบัติเป็น Functional food สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ *Shokery et al.* (2017) ที่ศึกษาผลของการเสริมสารสกัดจากไบโหมรุมผงในการผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัวต่อ จุลินทรีย์โพรไบโอติก พบว่าการเสริมสารสกัดจากไบโหมรุมผง (ความเข้มข้น 10% w/w) ที่ระดับ 1% w/w ลงในสูตรการผลิต และเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้เป็นเวลา 15 วัน พบว่าจุลินทรีย์ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* มีปริมาณสูงถึง 8.0 log CFU/g มากกว่าตัวอย่างควบคุม (Plain yogurt) เนื่องจากสารสกัดจากไบโหมรุมผงไม่ได้มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์โพรไบโอติก และช่วยส่งเสริมอัตราการเหลือรอดของจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้



ภาพที่ 1 ปริมาณสารประกอบหลัก (Proximate analysis) ในโยเกิร์ตโพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดสูตรปกติ (Control) และเสริมไบโหมรุมที่ระดับ 1% (1% MOL) 3% (3% MOL) และ 5% w/w (5% MOL)

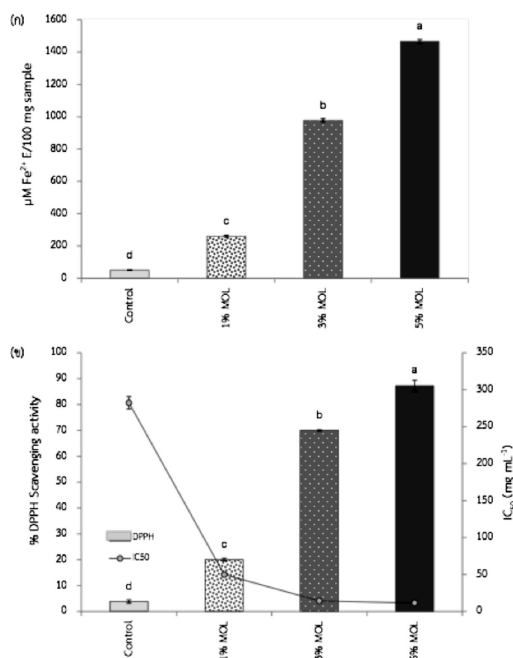


ภาพที่ 2 ปริมาณจุลินทรีย์โพรไบโอติกในโยเกิร์ตโพรไบโอติกอัดเม็ดจากนมแพะสูตรปกติ (Control) และเสริมใบมะรุมที่ระดับ 1% (1% MOL), 3% (3% MOL) และ 5% w/w (5% MOL)

การศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay และ DPPH scavenging activity (ภาพที่ 3) พบว่าโยเกิร์ตโพรไบโอติกอัดเม็ดสูตรปกติ (Control) มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ ระหว่างการหมักจุลินทรีย์ Lactic acid bacteria จะย่อยโปรตีนในโยเกิร์ตให้เป็น Peptides เช่น κ -Casein peptides และ Tyrosine รวมทั้งได้สารประกอบ Phenolics เพิ่มขึ้น สารดังกล่าวมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Muniandy *et al.*, 2016) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรการผลิตที่มีการเสริมใบมะรุม พบว่าคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) การเสริมใบมะรุมที่ระดับ 5% w/w จะมีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้สูงกว่าที่ 3%, 1% และ Control ตามลำดับ ใบมะรุมมีสารสำคัญที่มีคุณสมบัติเป็น Antioxidant ได้ Abdulkadir *et al.* (2015) พบว่าสารสกัดจากใบมะรุมมีปริมาณ Total phenolic และ Flavonoid สูงถึง 32.83 ± 1.19 mg GAE/g และ 98.67 ± 2.10 mg GAE/g ตามลำดับ และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH $58.62 \pm 1.13\%$ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Charoensin *et al.* (2014) ที่ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS assay ของสารสกัดใบมะรุม พบว่าการใช้ปริมาณสารเพียงเล็กน้อยที่ 1.60 ± 0.03 และ 1.02 ± 0.06 mg/mL สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ที่ระดับ IC50 ดังนั้นการเสริมใบมะรุมลงไปในโยเกิร์ตอัดเม็ดจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติ Antioxidant เพิ่มขึ้น

3.6 การคัดเลือกสูตรการผลิตที่เหมาะสมของโยเกิร์ตโพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดเสริมใบมะรุม

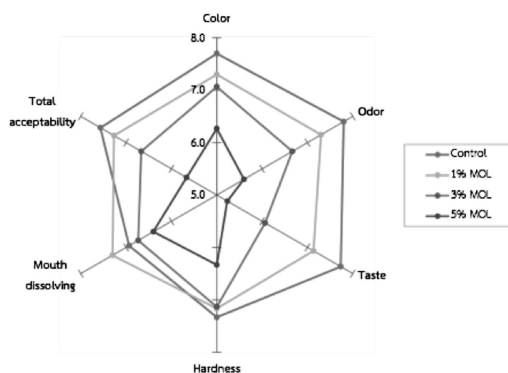
การคัดเลือกสูตรการผลิตที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดเสริมใบมะรุมทั้ง 3 สูตรเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมด้วยการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง การละลายในปากและความชอบโดยรวม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าสูตรการผลิตโยเกิร์ตอัดเม็ดเสริมใบมะรุมที่ 1% w/w ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุด และไม่แตกต่างจากตัวอย่าง Control ($P < 0.05$) ระดับคะแนนเฉลี่ยแต่ละคุณลักษณะอยู่ในช่วง 6.93-7.30 คะแนน (ผู้บริโภคมีความชอบต่อผลิตภัณฑ์เล็กน้อย-ปานกลาง) ข้อมูลที่ได้จากผู้บริโภคพบว่า การเสริมใบมะรุมในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ 5% w/w จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์คือ “กลิ่นเหม็นเขียว (Grassy smell)” ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตโพรไบโอติกอัดเม็ดจากนมแพะควรเสริมใบมะรุมที่ 1% w/w จึงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับมากที่สุด



ภาพที่ 3 คุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี FRAP assay (ก) และ DPPH scavenging activity (ข) ของโยเกิร์ตโพรไบโอติกอัดเม็ดจากนมแพะสูตรปกติ (Control) และเสริมไบโหมรุมที่ระดับ 1% (1% MOL), 3% (3% MOL) และ 5% (5% MOL)

4. สรุป

นมแพะดิบมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับผลิตโยเกิร์ตโพรไบโอติกด้วย ABY-3 Probiotic culture หมักที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4.5 ชั่วโมง การทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออกที่ 160/70 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการเหลือรอดของจุลินทรีย์โพรไบโอติกหลังการทำแห้งสูงกว่า 10^6 CFU/g การเสริมไบโหมรุมทำให้คุณค่าทางโภชนาการของโยเกิร์ตโพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดสูงขึ้น มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสูตรปกติ ปริมาณจุลินทรีย์โพรไบโอติกอยู่ในระดับที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค ค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และค่าความแข็งมีความเหมาะสมไม่ก่อให้เกิดความเสียหายของผลิตภัณฑ์ระหว่างการขนส่ง ผู้บริโภคให้การยอมรับโยเกิร์ตโพรไบโอติกนมแพะอัดเม็ดที่เสริมไบโหมรุมในระดับ 1% w/w



ภาพที่ 5 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตโพรไบโอติกอัดเม็ดจากนมแพะสูตรปกติ (Control) และเสริมไบโหมรุมที่ระดับ 1% (1% MOL), 3% (3% MOL) และ 5% (5% MOL)

5. เอกสารอ้างอิง

- Abdulkadir, A.R., D.D. Zawawi & M.S. Jahan. 2015. **DPPH antioxidant activity, total phenolic and total flavonoid content of different part of Drumstic tree (*Moringa oleifera* Lam.)**. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 7, 1423-1428.
- Anwar, F., S. Latif, M. Ashraf, and A.H. Gilani. 2007. *Moringa oleifera*: a food plant with multiple medicinal uses. Phytotherapy Research, 21, 17-25.
- Ashraf, R., and S.C. Smith. 2015. **Selective enumeration of dairy based strains of probiotic and lactic acid**. International Food Research Journal, 22, 2576-2586.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2012. **Official Methods of Analysis of the AOAC (19th ed.)**. Washington, D.C.: Washington, DC: Association of Official Analytical Chemistry.
- Bielecka, M., and A. Majkowska. 2000. **Effect of spray drying temperature of yoghurt on the survival of starter cultures, moisture content and sensoric properties of yoghurt powder**. Nahrung-Food, 44(4), 257-60.
- Bezerra, M., A. Araujo, K. Santos, and R. Correia, 2015. **Caprine frozen yoghurt produced with fresh and spray dried jambolan fruit pulp (*Eugenia jambolana* Lam) and Bifidobacterium animalis subsp. lactis BI-07**. LWT - Food Science and Technology, 62, 1099-1104.
- Boongen, M. 2011. **Study on formation and stability test of Prasapalai extract tablets and capsules for Dysmenorrhea**. Bangkok: Thammasat University.
- Ceballos, L.S., E.R. Morales, G.T. Adarve, J.D. Castro, L.P. Marti´nez, and M.R.S. Sampelayo. 2009. **Composition of goat and cow milk produced under similar conditions and analyzed by identical methodology**. Journal of Food Composition and Analysis, 22, 322-329.
- Charoensin, S. 2014. **Antioxidant and anticancer activities of Moringa oleifera leaves**. Journal of Medicinal Plant Research, 8, 318-325.
- Gopalakrishnan, L., K. Doriya, and D.S. Kumar. 2016. *Moringa oleifera*: a review on nutritive importance and its medicinal application. Food Science and Human Wellness, 5, 49-56.
- Gurtler, J.B., M.P. Doyle and J.L. Kornacki. 2014. **The microbiological safety of spices and low-water activity foods: Correcting historic misassumptions. The microbiological safety of low water activity foods and spices**. Advance online publication. doi: 10.1007/978-1-4939-2062-4_1
- Hekmat, S., K. Morgan, M. Soltani and R. Gough. 2015. **Sensory evaluation of locally- grown fruit purees and inulin fibre on probiotic yogurt in mwanza, Tanzania and the microbial analysis of probiotic yogurt fortified with Moringa oleifera**. Journal of Health, Population and Nutrition, 33, 60-67.
- International Dairy Federation (IDF). 2004. **Dried Milk-Determination of moisture content (also ISO Standard 5537)**. Brussels, Belgium.
- International Organization for Standardization. 2012. **Fermented milks - Determination of titratable acidity - Potentiometric method**. IDF/RM 150:2012.
- Jaeger, H., A. Janositz and D. Knorr. 2010. **The maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies**. Pathologie Biologie, 58, 207-213.

- Kajal, M. F. I., A. Wadud, M.N. Islam and P.K. Sarma. 2012. **Evaluation of some chemical parameters of powder milk available in Mymensingh town.** Journal of the Bangladesh Agricultural University, 10, 95-100.
- Karim, O.R., R.M.O. Kayode, S.A. Oyeyinka and A.T. Oyeyinka. 2013. **Proximate, mineral and sensory qualities of ‘amala’ prepared from yam flour fortified with moringa leaf powder.** Food Science and Quality Management, 12, 10-22.
- Kuikman, M., C.P. O’Connor. 2015. **Sensory evaluation of Moringa-probiotic yogurt containing banana, sweet potato or avocado.** Journal of Food Research, 4, 165-171.
- Lee, W.J. and J.A. Lucey. 2010. **Formation and physical properties of yogurt.** Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 23, 1127-1136.
- Lollo, P.C.B., C.S. Moura, P.N. Morato, A.G. Cruz, W.F. Castro, C.B. Betim, et al. 2013. **Probiotic yogurt offers higher immune-protection than probiotic whey beverage.** Food Research International, 54, 118-124.
- Montaseri, H., S. Arjmandtalab, G. Dehghanzadeh, S. Karami, M.M. Razmjoo, M. Sayadi, et al. 2014. **Effect of production and storage of probiotic yogurt on aflatoxin M1 residue.** Journal of Food Quality and Hazards Control, 1, 7-14.
- Monton, C., K. Kraisintu, J. Suksaeree and L. Charoenchat. 2014. **Flowability study of herbal powder for solid dosage from preparation.** Science and Technology Journal 22(5), 743-754.
- Morell, P., B. Piqueras-Fiszman, I. Hernando and S. Fiszman. 2015. **How is an ideal satiating yogurt described? a case study with added-protein yogurts.** Food Research International, 78, 141-147.
- Muller, J. and A. Heindl. 2006. **Drying of medicinal plants.** In R.J. Bogers, L.E. Craker, and D. Lange (eds.). Medicinal and Aromatic Plants. New York: Springer.
- Muniandy, P., A.B. Shori and A.S. Baba. 2016. **Influence of green, white and black tea addition on the antioxidant activity of probiotic yogurt during refrigerated storage.** Food packaging and Shelf Life, 8, 1-8.
- Natvaratat, M., P. Chompreeda, V. Haruthaithanasan and H. Rimkeeree. 2007. **Optimization of supplementary protein milk tablet formulation for rural school children under Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn’s Project.** Kasetsart Journal (Natural Science), 41, 733-739.
- Patel, S., A. Majumder and A. Goyal. 2012. **Potentials of exopolysaccharides from lactic acid bacteria.** Indian Journal of Microbiology, 52, 3-12.
- Rutrin, T. 2011. **Production of goat milk yogurt powder by spray drying.** Bangkok, Chulalongkorn University.
- Rockwood, J.L., B.G. Anderson and D.A. Casamatta. 2013. **Potential uses of Moringa oleifera and an examination of antibiotic efficacy conferred by M. oleifera seed and leaf extracts using crude extraction techniques available to under-served indigenous populations.** International Journal of Phytotherapy Research, 3, 61-71.

- Saad, N., C. Delattre, M. Urdaci, J.M. Schmitter and P. Bressollier. 2013. **An overview of the last advances in probiotic and prebiotic field.** LWT - Food Science and Technology. 50, 1-16.
- Salem, A.S., W.M. Salama, A. Hassanein and H. El-Ghandour. 2013. **Enhancement of nutritional and biological values of Labneh by adding dry leaves of *Moringa oleifera* as innovative dairy products.** World Applied Sciences Journal, 22, 1594-1602
- Shokery, E.S., M.G. El-Ziney, A.H. Yossef and R.I. Mashaly. 2017. **Effect of green tea and moringa leave extracts fortification on the physicochemical, rheological, sensory and antioxidant properties of set-type yoghurt.** Advances in Dairy Research, 5, 1-10.
- Shori, A.B., and A.S. Baba. 2015. **Survival of Bifidobacterium bifidum in cow and camel milk yogurts enriched with Cinnamomum verum and Allium sativum.** Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences, 18, 7-11.
- Tharmaraj, N., and N.P. Shah. 2003. **Selective enumeration of Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus, Streptococcus thermophilus, Lactobacillus acidophilus, Bifidobacteria, Lactobacillus casei, Lactobacillus rhamnosus and Propionibacteria.** Journal of Dairy Science, 86, 2288-2296.
- Wang, W., Y. Bao, G.M. Hendricks and M. Guo. 2012. **Consistency, microstructure and probiotic survivability of goats' milk yoghurt using polymerized whey protein as a co-thickening agent.** International Dairy Journal, 24(2), 113-119.
- Wungrath, P. 2009. **Production of goat-cow milk yogurt containing probiotic bacteria and its consumption effect on immunoglobulin a (IgA) production in healthy adolescents.** Chiang Mai University, Chiang Mai.
- Yi, Z., Z. Fan, L. Dan, W. Jun, Z. Yichao and M. Bohn. 2017. **Optimization of formulation and processing of Moringa oleifera and spirulina complex tablets.** Saudi Journal of Biological Sciences, 24, 122-126.

ผลของการใช้น้ำสารสกัดสาหร่ายน้ำจืดร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์ต่อการเจริญเติบโต
ของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์
Effect of Liquid Bio-Extracts from Freshwater Algae and Animal Manures
on Growth of Green Oak (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.)
Grown in Organic Agriculture

รัตนกร กฤษณชาญติ

Ratanakorn Kitsanachandee

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 20110

Department of Plant Production Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi

Email: ratanakorn_kit@hotmail.com โทร. 0818562245

บทคัดย่อ

การใช้น้ำสารสกัดจากสาหร่ายน้ำจืดจำนวน 4 ชนิด ร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์ เพื่อเป็นแหล่งของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 4 ซ้ำ 6 สิ่งทดลอง ดังนี้ สูตรที่ 1 น้ำ (ชุดควบคุม) สูตรที่ 2 น้ำสารสกัดสาหร่ายพวงชะโด สูตรที่ 3 น้ำสารสกัดสาหร่ายหางกระรอก สูตรที่ 4 น้ำสารสกัดสาหร่ายเตา สูตรที่ 5 น้ำสารสกัดสาหร่ายวุ้น และสูตรที่ 6 น้ำสารสกัดสาหร่ายรวม โดยสูตรที่ 2-6 ใช้อัตราส่วน 1:500 รดต้นกล้าผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่ปลูกในวัสดุปลูกเดียวกัน คือ ขุยมะพร้าว แกลบดิบ มูลวัว และมูลไก่ (อัตราส่วน 1:1:1:1) ผลการทดลองพบว่า น้ำสารสกัดสาหร่ายทุกสูตรให้ลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสูตรที่ 6 จะให้ค่าเฉลี่ยของลักษณะจำนวนใบ (28.94 ใบ) ความกว้างทรงพุ่ม (26.50 ซม.) ความสูง (15.51 ซม.) น้ำหนักสดต้นและราก (96.50 กรัม) น้ำหนักสดราก (21.19 กรัม) น้ำหนักแห้งต้นและราก (3.82 กรัม) และน้ำหนักแห้งราก (0.85 กรัม) สูงสุด รองลงมาคือ สูตรที่ 4 และสูตรที่ 5 ให้ค่าเฉลี่ยทุกลักษณะสูงกว่าชุดควบคุม ดังนั้น น้ำสารสกัดสาหร่ายเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในระบบการผลิตพืชอินทรีย์

คำสำคัญ: น้ำสารสกัดสาหร่ายน้ำจืด ปุ๋ยมูลสัตว์ ผักกาดหอม กรีนโอ๊ค

Abstract

The effect of using liquid bio-extracts freshwater algae and animal manures as a mineral source on growth of green oak was grown in organic agriculture system. The green oak seedlings were planted in coconut coir: rice husk: cow manure: chicken manure in the ration 1:1:1:1. The experimental design was CRD with six treatments and three replications. Each treatment contained viz. treatment 1 water (controller) treatment 2 *Ceratophyllum demersum*, treatment 3 *Hydrilla verticillata* (L.F.), treatment 4 *Spirogyra* sp., treatment 5 *Gracilaria* sp. and treatment 6 mixed 4 freshwater algae. Treatments 2-6 were used ratio 1:500 for spraying in seedling. The result showed that treatment 6 exhibited highly number of leaves (28.94), leaf width (26.50 cm.), plant height (15.51 cm.), fresh shoot+root weight (96.50 g.), fresh root weight (21.19 g.), dry shoot+root weight (3.82 g.) and dry root weight (0.85 g.). Treatment 4 (*Spirogyra* sp.) and treatment 5 (*Gracilaria* sp.) showed the average growth and yield more than treatment 1 (controller). The liquid-extract from freshwater algae can use to animal manure decomposition and support growth and yield in this

experiment. So, the liquid-extract from freshwater algae was suitable to decomposer in organic agriculture system.

Keywords: Liquid bio-extracts freshwater algae, Animal manures, Lettuce, Green oak

1. บทนำ

ผักกาดหอม หรือ ผักสลัด (*Lactuca sativa*) เป็นผักที่นิยมรับประทานสด มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วยวิตามินเอ วิตามินซี แคลเซียม เหล็ก โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต มีคุณสมบัติทางเภสัชกรรมในด้านระงับความกระวนกระวาย ขับปัสสาวะ และเสมหะ ในผักชนิดนี้ยังประกอบด้วยสาร antioxidant หลายชนิด เช่น folic acid, lutene, beta-carotene และสารประกอบที่มีบทบาททางพฤกษเคมี (Kitsanachandee, 2017a; Llorach *et al.*, 2008; Pinto *et al.*, 2014) เป็นต้น นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ รวมถึงสารอาหารอื่น ๆ ที่มีคุณค่าต่อผู้บริโภคและได้รับสมญานามว่าเป็น The king of salad plant (Racha and Junkasiraporn, 2015)

ในปัจจุบันผู้บริโภคนิยมการบริโภคผักอินทรีย์เพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพ ซึ่งการผลิตผักอินทรีย์เป็นวิธีการปลูกที่มีขั้นตอนละเอียดกว่าการปลูกผักทั่วไปและต้องเป็นสิ่งที่ต้องการของตลาด ผักกาดหอมเป็นพืชที่นิยมบริโภคและนำมาผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ เพราะการใช้ปุ๋ยเคมีโดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนปริมาณมากจะส่งผลให้สารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารประกอบฟีนอลิกมีค่าลดลง (Cartea *et al.*, 2011) สารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืชจัดอยู่ในกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ ที่เกิดจากอนุมูลอิสระได้ เช่น โรคมะเร็ง เบาหวาน ความดันโลหิตสูง เป็นต้น (Daduang *et al.*, 2011) อย่างไรก็ตาม พบว่า ผักกาดหอมที่ใช้ปุ๋ยมูลสัตว์อย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงได้มีการนำปุ๋ยน้ำสารสกัดชีวภาพจากพืชมาใช้ ซึ่งปุ๋ยน้ำสารสกัดชีวภาพอาจจะมาจากผักหรือผลไม้ เป็นต้น ในการวิจัยครั้งนี้ได้นำเอาสาหร่ายน้ำจืดที่พบในบ่อปลูกบัวภายในสถาบันบวรราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มาใช้ประโยชน์ด้านการผลิตปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพหรือน้ำสารสกัดจากพืช นอกจากการนำมาทำน้ำสารสกัดชีวภาพยังมีการนำมาใช้ในการผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพสำหรับเพิ่มผลผลิตข้าวและปรับปรุงดินให้ดีขึ้น เช่น สกุล เช่น *Anabena*, *Calothrix*, *Cylindrospermum*, *Nostoc*, *Scytonema* และ *Tolypothrix* (Antarikanonda and Amrit 1993.; Lzabela and Chojnacka, 2013) ส่วนด้านอื่น ๆ ที่นำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์มีดังนี้ ด้านอาหารมนุษย์ เช่น สาหร่ายเตา (*Spirogyra* spp.), สาหร่ายไก่อ (*Cladophora* sp.), สาหร่ายลอน (*Nostochopsis hansging* และ *N. lobatus*) อาหารสัตว์ เช่น สาหร่ายในสกุล *Spirulina* sp., *Haematococcus* sp., *Ascophyllum nodosum* และ *Chlorella* sp. รวมถึงใช้ในการวิเคราะห์สารและผลิตสารที่มีมูลค่าสูงต่าง ๆ (Stevenson *et al.*, 1996) เช่นการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย เป็นพลังงานทดแทน ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการรวบรวมสาหร่ายน้ำจืดที่พบภายในและบริเวณสถาบันบวรราชมงคลตะวันออก นำมาผลิตเป็นปุ๋ยน้ำสารสกัดชีวภาพใช้ร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์ (ปุ๋ยมูลไก่และมูลโค) เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คในระบบปลูกแบบอินทรีย์

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมน้ำสารสกัดชีวภาพจากสาหร่าย

สาหร่ายน้ำจืดจำนวน 4 ชนิดที่พบภายในบริเวณสถาบันบวรราชมงคลตะวันออก ได้แก่ สาหร่ายพวงขาดหางกระรอก เต่า และวุ้น ลำต้นทำความสะอาดเอาเศษตะกอน และวัสดุอื่น ๆ ออก จากนั้นนำสาหร่ายแต่ละชนิดบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น แล้วนำมาผสมกับกากน้ำตาลอัตราส่วน 3:1 (Noisopa *et al.*, 2010) หมักในถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร โดยจะผสมให้กากน้ำตาลเป็นเนื้อเดียวกับตัวอย่างสาหร่ายจนหมด เติมน้ำให้ได้ปริมาตร 15 ลิตร ปิดฝาให้สนิท หมักไว้ไม่ให้อากาศเข้าและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 เดือน จึงนำมาใช้ร่วมกับวัสดุปลูกที่เตรียมไว้ แต่ละสูตร

(สิ่งทดลอง) เป็นดังนี้ สูตรที่ 1 น้ำเปล่า (ควบคุม) สูตรที่ 2 น้ำสารสกัดสาหร่ายฟองชะโด สูตรที่ 3 น้ำสารสกัดสาหร่ายหางกระรอก สูตรที่ 4 น้ำสารสกัดสาหร่ายเตา สูตรที่ 5 น้ำสารสกัดสาหร่ายวุ้น และสูตรที่ 6 น้ำสารสกัดสาหร่ายรวม จะใช้น้ำสารสกัดของสาหร่ายน้ำจืดสูตรที่ 2, 3, 4 และ 5 ผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1:1 (Kitsanachandee, 2017b) ทุกสูตรจะใช้รดต้นกล้วยน้ำว้าทุก 7 วัน ที่อัตราน้ำสารสกัดสาหร่าย 1 ส่วนต่อน้ำ 500 ส่วน ปริมาตร 5 ลิตรต่อข้า (500 มิลลิลิตรต่อกระถาง)

2.2 การเตรียมวัสดุปลูก

วัสดุปลูกที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย ขุยมะพร้าว แกลบดิบ มูลไก่ และมูลวัว อัตราส่วน 1:1:1:1 ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันดีและรดน้ำให้ชุ่มทิ้งไว้ 7 วัน จากนั้นนำมาบรรจุลงกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 กระถาง โดยจะทำการย้ายต้นกล้าผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คลงกระถางที่อายุ 14 วันหลังเพาะเมล็ด

2.3 การบันทึกข้อมูล

ทำการบันทึกผลการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คที่อายุเก็บเกี่ยว 45 วันหลังปลูก โดยจะทำการบันทึกข้อมูลดังนี้ จำนวนใบ ความสูง (เซนติเมตร) ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร) น้ำหนักสดต้นและราก (กรัม) น้ำหนักสดราก (กรัม) น้ำหนักแห้งต้นและราก (กรัม) และน้ำหนักแห้งราก (กรัม) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการสำรวจสาหร่ายน้ำจืดที่เป็นวัชพืชต่อต้านวัชระดับบริเวณภายในบ่อบัวของสถาบันบวรราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก สามารถจำแนกสาหร่ายได้ 5 ชนิด คือ สาหร่ายฟองชะโด (*Ceratophyllum demersum* L.) สาหร่ายหางกระรอก (*Hydrilla verticillata* (L.F.)) สาหร่ายเตา (*Spirogyra* sp.) สาหร่ายไฟ (*Chara zeylanica* Kl.ex.willd) และ สาหร่ายวุ้น (*Gracilaria* sp.) เนื่องจากสาหร่ายไฟที่พบมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการนำมาทำน้ำสารสกัดชีวภาพจึงใช้สาหร่ายน้ำจืดจำนวน 4 ชนิด จากนั้นนำน้ำสารสกัดจากสาหร่ายฟองชะโด หางกระรอก เตา และวุ้น มาใช้ร่วมวัสดุปลูกที่ผสมปุ๋ยมูลไก่และมูลโค เพื่อทดสอบการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊ค พบว่า น้ำสารสกัดสาหร่ายทุกสูตรให้ลักษณะการเจริญเติบโตทุกลักษณะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ โดยสูตรที่ 6 น้ำสกัดสาหร่ายรวมจะให้ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตและผลผลิตเมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์สูงสุด คือค่าเฉลี่ยจำนวนใบต่อต้นเป็น 28.94 ใบ ความกว้างทรงพุ่มเป็น 26.50 ซม. ความสูงเป็น 15.51 ซม. น้ำหนักสดต้นต่อรากเป็น 96.50 กรัม น้ำหนักสดรากเป็น 21.19 กรัม น้ำหนักแห้งต้นต่อรากเป็น 3.82 กรัม และน้ำหนักแห้งรากเป็น 0.85 สูงสุด รองลงมาได้แก่ สูตรที่ 4 น้ำสารสกัดสาหร่ายเตา และสูตรที่ 5 น้ำสารสกัดสาหร่ายวุ้น แต่ลักษณะน้ำหนักแห้งรากนั้นทั้งสูตรที่ 4 และสูตรที่ 5 จะให้ค่าใกล้เคียงกันคือ 0.76 กรัม และ 0.72 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ส่วนสูตรที่ให้ค่าเฉลี่ยของลักษณะต่าง ๆ ต่ำสุด คือสูตรที่ 2 น้ำสารสกัดสาหร่ายฟองชะโด และสูตรที่ 3 น้ำสารสกัดสาหร่ายหางกระรอก เมื่อเทียบกับการใช้น้ำสารสกัดในแต่ละสูตร อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำสารสกัดสาหร่ายร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์ จะให้ค่าการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าไม่ใช้น้ำสารสกัด (สูตรที่ 1 ชุดควบคุม) ที่เป็นเช่นนี้ เพราะน้ำสารสกัดสาหร่ายที่เกิดจากการหมักจะมีค่าความเป็นกรดต่างที่วัดได้เท่ากับ 3.2-3.5 ซึ่งสามารถช่วยเร่งการย่อยสลายปุ๋ยมูลสัตว์ได้เป็นอย่างดีและช่วยปรับค่าความเป็นกรดต่างใกล้เคียงกับสภาพที่เหมาะสมต่อการปลูกผักสลัด จึงทำให้มีการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ได้สูงกว่าชุดควบคุม แต่การใช้น้ำสารสกัดเป็นแหล่งธาตุอาหารเพียงอย่างเดียวไม่เหมาะสม เพราะน้ำสารสกัดสาหร่ายมีปริมาณธาตุอาหารหลักน้อย คือไนโตรเจน 0.4% ฟอสฟอรัส 0.13% และโพแทสเซียม 1.47% ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3.9 (Department of Agriculture, 2003) Kitsanachandee (2017b) ได้ทำการทดสอบโดยใช้น้ำสารสกัดจากสาหร่ายเป็นแหล่งที่ให้ธาตุอาหารอย่างเดียวทำให้ผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คเจริญเติบโตและให้ผลผลิตต่ำ

ใกล้เคียงกับชุดควบคุม จึงจำเป็นต้องหาปุ๋ยชนิดอื่นเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารซึ่งในระบบการผลิตพืชแบบเกษตรอินทรีย์ ปุ๋ยมูลสัตว์เป็นทางเลือกที่เกษตรกรนิยมใช้ เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่ค่อนข้างสูง คือ ปุ๋ยมูลไก่และมูลโค มีค่าไนโตรเจน 2.09% และ 1.73% ฟอสฟอรัส 6.07% และ 0.49% โพแทสเซียม 0.42% และ 0.30% ตามลำดับ ส่วนค่าความเป็นกรดต่างเท่า 8.2 และ 8.7 (Department of Agricultural extensions, 2008) การใช้น้ำสารสกัดสาหร่ายร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์จึงช่วยให้การเจริญเติบโตและผลผลิตได้ดี นอกจากนี้ น้ำสารสกัดสาหร่ายยังสามารถช่วยกระตุ้นการออกของเมล็ดผักกาดหอมได้ด้วย Kitsanachandee (2017a) ได้นำน้ำสารสกัดสาหร่ายรวมทดสอบกระตุ้นการออกของเมล็ดพันธุ์ Iceberg Crispy Green Cos และ Red Cos พบว่าน้ำสารสกัดสาหร่ายให้เปอร์เซ็นต์การแทงรากหลังเพาะเมล็ดที่ 1 วันมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ในผักกาดหอมทั้ง 3 พันธุ์ รวมทั้งเปอร์เซ็นต์การแทงรากสูงสุดเช่นเดียวกับน้ำสารสกัดสูตรอื่น ๆ

4. สรุป

น้ำสารสกัดจากสาหร่ายน้ำจืดทั้ง 4 ชนิด คือ สาหร่ายพวงกะโหลก สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายเตา และสาหร่ายวุ้น เมื่อนำมาใช้ร่วมกับปุ๋ยมูลสัตว์ (มูลไก่และมูลโค) พบว่า สูตรที่ 6 น้ำสารสกัดสาหร่ายรวม ให้ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงสุด รองลงมาคือ สูตรที่ 4 น้ำสารสกัดสาหร่ายเตา และสูตรที่ 5 น้ำสารสกัดสาหร่ายวุ้น เมื่อเทียบกับสูตรที่ 1 ชุดควบคุม ดังนั้น น้ำสารสกัดสาหร่ายทั้ง 4 ชนิดสามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพหรือน้ำสารสกัดใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์อื่น ๆ หรือปุ๋ยมูลสัตว์ เพื่อช่วยการเจริญเติบโตและผลผลิตในระบบการผลิตพืชแบบอินทรีย์ได้ดี

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่ม (ซม.) ความยาวใบ (ซม.) จำนวนใบต่อดัน น้ำหนักสดต้นและรากต่อดัน (กรัม) น้ำหนักสดราก (กรัม) น้ำหนักแห้งต้นและรากต่อดัน (กรัม) และน้ำหนักแห้งราก (กรัม) ที่อายุ 45 วันหลังการเก็บเกี่ยว

สิ่งทดลอง ^{1/}	จำนวนใบต่อดัน	ความกว้างทรงพุ่ม (ซม.)	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักสดต้นและราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งต้นและราก (กรัม)	น้ำหนักสดราก (กรัม)	น้ำหนักแห้งราก (กรัม)
สูตรที่ 1	18.43 ^d	15.62 ^f	9.85 ^f	85.39 ^f	15.31 ^f	2.51 ^f	0.43 ^e
สูตรที่ 2	24.68 ^c	18.32 ^d	11.51 ^d	91.14 ^e	17.61 ^e	3.52 ^e	0.61 ^d
สูตรที่ 3	24.40 ^c	20.62 ^e	12.48 ^e	91.39 ^d	18.43 ^d	3.57 ^d	0.65 ^c
สูตรที่ 4	28.41 ^{ab}	24.95 ^b	14.75 ^b	95.43 ^b	19.55 ^b	3.74 ^c	0.76 ^b
สูตรที่ 5	28.22 ^b	23.47 ^c	13.44 ^c	93.11 ^c	19.12 ^c	3.61 ^b	0.72 ^b
สูตรที่ 6	28.94 ^a	26.50 ^a	15.51 ^a	96.50 ^a	21.19 ^a	3.82 ^a	0.85 ^a
F-test	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	1.39	1.19	1.81	0.14	0.38	0.28	1.49

** significantly different at P<0.01

^{1/} สูตรที่ 1 ชุดควบคุม (น้ำเปล่า); สูตรที่ 2 น้ำสารสกัดสาหร่ายพวงกะโหลก; สูตรที่ 3 น้ำสารสกัดสาหร่ายหางกระรอก; สูตรที่ 4 น้ำสารสกัดสาหร่ายเตา; สูตรที่ 5 น้ำสารสกัดสาหร่ายวุ้น และสูตรที่ 6 น้ำสารสกัดสาหร่ายพวงกะโหลก หางกระรอก เตา และวุ้น ที่อัตราส่วน 1:1:1:1

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและโรงเรือนที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- Antarikanonda P. and P. Amrit. 1993. **Progress of algal biofertilizer in Thailand**, pp.470-480. *in the proceedings of 31st Kasetsart university annual conference*. Bangkok. (In Thai)
- Cartea, M.E., Francisco, M. Soengas, P. and P. Velasco. 2011. **Phenolic compounds in Brassica vegetables**. *Molecules* 16:251-280.
- Daduang, J., Vichitphan, S., Daduang, S., Hongsprabhas, P. and P. Boonsiri. 2011. **High phenolics and antioxidants of some tropical vegetables related to antibacterial and anticancer activities**. *Afr. J. Pharm. Pharmacol* 5(5): 608-615
- Department of Agriculture. 2003. **Plant hormone and plant nutrition in liquid biofertilizers**. Ministry of agriculture and cooperatives. Bangkok, Thailand. (InThai)
- Department of Agricultural extensions. 2008. **Nutrient contents in animal manures**. <http://www2.doe.go.th/www/work/web/kannika/page1.htm>. Accessed 29 May 2017. (inThai)
- Kitsanachandee R. 2017a. **Effects of liquid bio-extracts from plants to release of dormancy in Lettuce seed**. *Khon Kaen AGR. J.* 45 Suppl. 1:1283-1288. (In Thai)
- Kitsanachandee R. 2017b. **Diversity and properties of freshwater algae in waterlily institute of Rajamangala Tawan-ok at Rajamangala University of Technology Tawan-ok**. Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok. 44 p. (In Thai)
- Izabela M. and K. Chojnacka. 2013. **Algal compost-toward sustainable fertilization**. DOI: <https://doi.org/10.1515/revic-2013-0006>
- Llorach, R., Martinez-Sanchez, A., Luna, M.C., Selma, M.V., Tudela, J.A., Abad, J. and M.I., Gil. 2008. **Characterization of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole**. *Food Chemistry* 108(3): 1028-1038.
- Noisopa, C., Prapagdee, B., Navanugraha, C., and Hutacharoen, R. 2010. **Effects of bio-extracts on the growth of Chinese kale**. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*. 44: 808-815. (In Thai)
- Pinto, E., Almeida, A.A., Aguiar, A.A.R. and I.M.P.L.O., Ferreira. 2014. **Changes in macrominerals, trace elements and pigments content during lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth: Influence of soil composition**. *Food Chemistry* 152: 603-611.
- Racha S. and S. Junkasiraporn. 2015. **Effect of bio-extract from fish and vegetable residues on growth and some physiological characteristics of green oak (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.) in hydroponic culture**. *Burapha science journal* 22 216-224. (in Thai)
- Stevenson R.J., M. L. Bothwell and R.L. Lowe. 1996. **Algal Ecology freshwater benthic ecosystems**. Academic press, USA.

องค์ประกอบทางเคมีจากส่วนสกัดหยาบเฮกเซนของราก *Artocarpus thailandicus*

Chemical Components from Hexane Extracts of

Artocarpus thailandicus Roots (Moraceae)

วันทนี นามมาลา และ วารี เนื่องจางค์

Wanthanee Nammala and Waree Naengchomnong

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี

Department Chemistry, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi

E-mail: wareenaeng@buu.ac.th โทร. 081-6274167

บทคัดย่อ

รากของ *Artocarpus thailandicus* ที่แห้งเป็นผงละเอียดถูกสกัดด้วยเฮกเซนที่อุณหภูมิห้อง ทำการแยกสารบริสุทธิ์จากส่วนสกัดหยาบเฮกเซนด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี โดยมีซิลิกาเจล 60 เป็นตัวดูดซับ ละด้วย 0% - 100% เอทิลอะซิเตตต่อเฮกเซน ได้ 11 ส่วนสกัดย่อย ทำการแยกส่วนสกัดที่ 3 ต่อด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟี ละด้วย 5% เอทิลอะซิเตตต่อเฮกเซน พบสารบริสุทธิ์ที่เป็นของแข็ง 1 ชนิด ทำการตกผลึกใหม่ด้วยเฮกเซนได้สารบริสุทธิ์ มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็มสีขาว มีจุดหลอมเหลว 239 - 242 °C นำสารบริสุทธิ์ที่ได้มาพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยวิธีนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี โดยใช้เทคนิค ^1H NMR ^{13}C NMR DEPT-90 และ DEPT-135 ทำการเปรียบเทียบข้อมูลสเปกตรัมกับสารอ้างอิงกลุ่ม triterpenoids พบว่าสารบริสุทธิ์ที่ได้คือ β -amyrin acetate

คำสำคัญ : *Artocarpus thailandicus*, β -amyrin acetate

Abstract

The dried powder roots of *Artocarpus thailandicus* was extracted with hexane at room temperature. The isolation of natural products from the crude hexane extracts were carried out by column chromatography over silica gel 60 and eluted with 0% - 100% ethyl acetate in hexane to give 11 fractions. Fractions 3 was further purified by column chromatography over silica gel 60 and eluted with 5% ethyl acetate in hexane to give one pure compound. The pure compound was recrystallized from hexane, giving white needle with melting point 239 - 242°C. The structure of this pure compound was identified by spectroscopic techniques including ^1H NMR ^{13}C NMR DEPT-90 and DEPT-135. The spectra of this compound were compared to those of triterpenoids found in the literatures. The result indicated that the pure compound was β -amyrin acetate.

Keywords : *Artocarpus thailandicus*, β -amyrin acetate

1. บทนำ

พืชสมุนไพรเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่หาง่าย ราคาถูก นำมาใช้ประโยชน์ทางด้านสุขภาพ ความงาม ยารักษาโรค และเป็นอาหารได้ เช่น ตำลึง (*Coccinia grandis* L.Voigt.) ช่วยป้องกันโรคหัวใจขาดเลือด ป้องกันการเกิดอัมพาต พริก (*Capsicum frutescens* L.) ช่วยรักษาโรคอักเสบปัสสาวะ หรือโรคเลือดออกตามไรฟัน ขิง (*Zingiber officinale* Roscoe.) ช่วยลดความอ้วน ลดระดับไขมันคอเลสเตอรอลด้วยการดูดซึมคอเลสเตอรอลจากลำไส้ แล้วร่างกายกำจัดออกทางอุจจาระ กระชาย (*Boesenbergia rotunda* L. Mansf.) ใบช่วยแก้โลหิตเป็นพิษ เหง้า ช่วยบำรุงหัวใจ (Temsirirukkul et al., 1999) สะอมนเทศ ใช้รักษาโรคเบาหวาน ฟ้าทะลายโจร ใช้เป็นยาแก้ไข้ กลัวย ช่วยบรรเทาอาการของริดสีดวงทวาร เปลือกมะละกอ แก้โรคเลือดออกตามไรฟัน ซึ่งในปัจจุบันความนิยมสมุนไพรไทยเป็นที่ยอมรับและ

เป็นที่ต้องการของธุรกิจทั้งในประเทศและต่างประเทศ (Sunthorncharoennon, 2001) จากการทดลองและค้นคว้าวิจัยพบว่า สมุนไพรมีผลข้างเคียงในการรักษาโรคน้อยมากเมื่อเทียบกับยารักษาโรคที่สังเคราะห์ขึ้นจากสารเคมี จึงเป็นสาเหตุทำให้สมุนไพรได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก การศึกษาวิจัยเพื่อนำสมุนไพรมาใช้เป็นยาแผนปัจจุบัน ได้มีการวิจัยอย่างกว้างขวางโดยนักวิทยาศาสตร์ได้นำเทคนิคต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์มาใช้ในการสกัด และการแยกสารบริสุทธิ์จากสมุนไพร เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีและฟิสิกส์ของสารบริสุทธิ์ เพื่อให้ทราบว่าเป็นสารชนิดใด ตรวจสอบฤทธิ์ด้านเภสัชวิทยา ศึกษาความเป็นพิษและผลข้างเคียง แล้วนำสารเหล่านั้นมาเตรียมเป็นยาในรูปแบบที่เหมาะสมต่อไป เพื่อนำไปสู่การส่งเสริม การอนุรักษ์ การรู้คุณค่าและประโยชน์ของสมุนไพรต่อไป (Intranapakorn, 2007)

สมุนไพรในวงศ์ Moraceae มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียใต้และตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งในที่ชุ่มชื้นและที่แห้งแล้ง โดยมีลักษณะลำต้นตั้งตรง ผิวเปลือกนอกค่อนข้างขรุขระสีน้ำตาลดำ หรือสีเทาแกมน้ำตาล บริเวณเปลือกของลำต้นมักมีรอยแตก และมียางสีขาวเหมือนน้ำมัน (Chot-anan, et al. 2007) นำมาใช้รักษาโรคได้ เช่น มะหาด (*Artocarpus lakoocha* Roxb.) แก่นใช้แก้จุดเสียดแน่น แก้ท้องอืดท้องเฟ้อ รากใช้ลดอาการไข้ แก้กระษัยเส้นเอ็น สาเก (*Artocarpus altilis* Parkinson Fosberg) เปลือกแก้ปวดท้อง ผลแก้ไอ อย่างแก้โรคบิด ขุนนูปา (*Artocarpus rigidus*) เปลือกหุ้มเมล็ดช่วยป้องกันโรคเบาหวาน ใบใช้พอกแก้โรคผิวหนัง กะอออก (*Artocarpus elasticus* Reinw. Ex Blume) ใบผสมกินกับข้าว ใช้เป็นยาแก้วัณโรค (Chayamarit and Poopattanapong, 2002) วงการแพทย์แผนปัจจุบันได้ทำการศึกษาวิจัยสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีของสาร และตรวจสอบฤทธิ์ด้านเภสัชวิทยา เช่น มะหาด เป็นพืชสมุนไพรที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบันมีสารสำคัญคือ Oxyresveratrol ซึ่งเป็น สารธรรมชาติในกลุ่ม Stilbene ที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส ทำให้สีผิวขาวมากขึ้น จึงนิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านเครื่องสำอาง (Ruengrangsri and Mongklakupt, 2004)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบสารบริสุทธิ์หลายชนิดที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากส่วนต่าง ๆ ของวงศ์ *Artocarpus* เช่นในส่วนของราก *Artocarpus champeden* พบสารบริสุทธิ์ 2 ชนิด artoidonesianin A และ artoidonesianin B จากส่วนสกัดเฮกเซน และเมทานอลซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว P388 (Hakima et al., 1999) รากของ *Artocarpus lakoocha*. พบสารบริสุทธิ์ 2 ชนิดคือ Lakoochin A และ Lakoochin B จากส่วนสกัดไดคลอโรมีเทน ซึ่งสาร Lakoochin A มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของมะเร็งเต้านม BC และสาร Lakoochin B มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของมะเร็งเต้านม BC และมะเร็งโพรงจมูก KB (Puntumchai et al., 2004) ส่วนสกัดคลอโรฟอร์มของราก *Artocarpus communis* พบสารบริสุทธิ์ 4 ชนิดคือ artomunisoanthone, dihydroartomunoxanthone, cyclocomunomethanol และ artomunoflavanone พบว่า dihydroartomunoxanthone สามารถห้ามเลือดได้ (Weng et al., 2006) ในส่วนสกัดเมทานอลของราก *Artocarpus xanthocarpus* พบสารบริสุทธิ์ 6 ชนิดที่มีฤทธิ์ยับยั้งการสร้างเม็ดสี (Jin et al., 2015) และส่วนสกัดเอทานอลของราก *Artocarpus xanthocarpus* พบฟลาโวนอยด์ชนิดใหม่ 4 ชนิดที่มีฤทธิ์ต้านเอนไซม์คาเทปซิน (Yuan et al., 2015) ในส่วนสกัดเอทานอลของลำต้น *Artocarpus nitidus* subsp. *Lingnanensis* พบ 2-hydroxy naringenin 4'-O- β -D-glucopyranoside ใช้ในการรักษาโรคมะเร็งปอด A549 (Ti et al., 2011) จากส่วนสกัดเอทิลอะซิเตทของใบ *Artocarpus thailandicus* พบ p-hydroxyphenyl-6-acetoxy- β -D-glucopyranoside และ phydroxyphenyl- β -D-glucopyranoside ที่มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย (Boonkla et al., 2011) จากส่วนสกัดเมทานอลของใบ *Artocarpus altilis* พบสารใหม่ทั้งหมด 3 ชนิด altilisin H, altilisin I, และ altilisin J สามารถใช้เป็นยารักษาและป้องกันโรคเบาหวาน และใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง (Mai et al., 2012) ส่วนสกัดเอทานอลของใบ *Artocarpus heterophyllus* พบสารบริสุทธิ์ชนิดใหม่ 2 ชนิดที่ยับยั้งเซลล์มะเร็ง (Wang et al., 2017) และส่วนสกัดเมทานอลของก้านใบ *Artocarpus heterophyllus* พบสารบริสุทธิ์ชนิดใหม่ 3 ชนิดที่มีฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็ง (Boonyaketgson et al., 2017) จากส่วนสกัดของผล *Artocarpus communis* พบสารใหม่ 2 ชนิด คือ arcommunol A และ arcommunol B สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งตับ SK-Hep-1 (Hsu et al., 2011)

พืชในสกุล *Artocarpus* มีสรรพคุณที่หลากหลายในการรักษาโรค และพบสารบริสุทธิ์ที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์ทางการแพทย์มากมาย จึงสนใจนำรากของ *Artocarpus thailandicus* ที่อยู่ในสกุล *Artocarpus* และวงศ์ Moraceae มาทำการสกัดแยกสารบริสุทธิ์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการแพทย์ต่อไป

2. วิธีทดลอง

นำส่วนรากของ *Artocarpus thailandicus* (BKF 162676) เก็บในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2557 จากจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากหอพรรณไม้กรมอุทยาน สัตว์ป่าและพันธุ์พืช กรุงเทพมหานคร (Royal Forest Department, 2014) มาทำให้แห้งแล้วบดให้เป็นผงละเอียดหนัก 4.00 กิโลกรัม ทำการสกัดแบบเย็นที่อุณหภูมิห้องด้วยตัวทำละลายเฮกเซนลงเป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นนำส่วนที่เป็นสารละลายออกมาไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน และทำให้แห้งด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ ทำการสกัดซ้ำ 2 ครั้ง ได้ส่วนสกัดหยาดเฮกเซนน้ำหนัก 19.00 กรัม

นำส่วนสกัดหยาดเฮกเซนของราก *Artocarpus thailandicus* มาทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟีโดยมีซิลิกาเจล 60 (0.063-0.200 mm, Merck) เป็นตัวดูดซับ เริ่มชะด้วยเฮกเซนจากนั้นทำการเพิ่มความเข้มข้นด้วยเอทิลอะซิเตท จนถึงเอทิลอะซิเตท (0% - 100% เอทิลอะซิเตทต่อเฮกเซน) แล้วชะด้วยเมทานอล เป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อชะสารที่อยู่ในคอลัมน์ออกมาให้หมด ในระหว่างการชะด้วยตัวทำละลาย เก็บสารละลายที่ออกมาจากคอลัมน์ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นนำไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนให้แห้ง และตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารแต่ละส่วนสกัดย่อยด้วยเทคนิค TLC (thin layer chromatography) แล้วตรวจสอบภายใต้หลอดกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลตและนำไปใส่ภาชนะที่บรรจุเกล็ดไอโอดีนเพื่อทำให้เกิดสี โดยส่วนสกัดย่อยที่มีลักษณะ TLC เหมือนกันจะรวมเป็นส่วนสกัดย่อยเดียวกัน หากส่วนสกัดย่อยใดยังไม่บริสุทธิ์จะทำการแยกต่อด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟีทำนองเดียวกันต่อไปจนได้สารบริสุทธิ์ ส่วนสกัดย่อยใดที่พบสารบริสุทธิ์จากการตรวจสอบด้วย TLC จะนำไปตกผลึกใหม่และพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยวิธีนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี โดยใช้เทคนิค ^1H NMR ^{13}C NMR DEPT-90 DEPT-135 และหาจุดหลอมเหลว

3. ผลการทดลองและอภิปราย

จากการนำรากของ *Artocarpus thailandicus* มาทำการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ได้ส่วนสกัดหยาดเฮกเซน 19.00 กรัม จากนั้นทำการแยกส่วนสกัดหยาดเฮกเซน ด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟีมีซิลิกาเจล 60 (0.063-0.200 mm, Merck) เป็นตัวดูดซับ โดยเริ่มชะด้วยเฮกเซนจากนั้นทำการเพิ่มความเข้มข้นด้วยเอทิลอะซิเตท จนถึงเอทิลอะซิเตท (0% - 100% เอทิลอะซิเตทต่อเฮกเซน) แล้วชะด้วยเมทานอล สามารถแยกสารได้ทั้งหมด 11 ส่วนสกัดย่อย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะและน้ำหนักของส่วนสกัดย่อยจากส่วนสกัดหยาดเฮกเซนของราก *Artocarpus thailandicus*

ส่วนสกัดย่อย	ลักษณะสาร	น้ำหนักสาร (g)	ส่วนสกัดย่อย	ลักษณะสาร	น้ำหนักสาร (g)
F1	ของเหลวหนืดสีเหลือง	0.1045	F7	ของเหลวสีเหลืองอ่อน	0.8328
F2	ของเหลวหนืดสีเหลืองอ่อน	0.6087	F8	ของเหลวหนืดสีขาวขุ่น	1.3936
F3	ของเหลวหนืดสีขาวขุ่น	1.6029	F9	ของเหลวหนืดสีเขียว	1.4812
F4	ของเหลวหนืดสีเหลืองอ่อน	1.0091	F10	ของเหลวหนืดสีเขียว	0.1174
F5	ของเหลวหนืดสีเหลืองอ่อน	2.8602	F11	ของเหลวหนืดสีเขียว	0.8387
F6	ของเหลวหนืดสีเหลืองอ่อน	0.2378			

จากการแยกสารจากส่วนสกัดหยาบเฮกเซนของราก *Artocarpus thailandicus* พบว่าสามารถแยกได้ทั้งหมด 11 ส่วนสกัดย่อย เมื่อนำมาทดสอบด้วยเทคนิค TLC พบว่าทุกส่วนสกัดย่อย ยังไม่บริสุทธิ์ จึงนำไปแยกต่อด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟี พบว่าเมื่อนำส่วนสกัดย่อยที่ 3 มาแยกต่อด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยมีซิลิกาเจล 60 (0.063-0.200 mm, Merck) เป็นตัวดูดซับ และใช้ 5% เอทิลอะซิเตตต่อเฮกเซน สามารถแยกสารได้ทั้งหมด 3 ส่วนสกัดย่อย

ตารางที่ 2 ลักษณะและน้ำหนักของส่วนสกัดย่อยที่แยกได้จากส่วนสกัดย่อยที่ 3 ของส่วนสกัดหยาบเฮกเซนของราก *Artocarpus thailandicus*

ส่วนสกัดย่อย	ลักษณะสาร	น้ำหนักสาร (g)
F3.1	ของเหลวหนืดสีเหลืองอ่อน	0.3510
F3.2	ของเหลวหนืดสีขาวขุ่น	0.6423
F3.3	ของเหลวหนืดสีขาวขุ่น	0.0570

จากการแยกส่วนสกัดย่อยที่ 3 ด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยมีซิลิกาเจล 60 (0.063-0.200 mm, Merck) เป็นตัวดูดซับ และใช้ 5% เอทิลอะซิเตตต่อเฮกเซน สามารถแยกสารได้ทั้งหมด 3 ส่วนสกัดย่อย (ส่วนสกัดย่อยที่ 3.1-3.3) นำส่วนสกัดย่อยทั้งหมดมาทดสอบด้วยเทคนิค TLC พบว่า ส่วนสกัดย่อยที่ได้ยังไม่บริสุทธิ์ จึงนำทุกส่วนสกัดย่อยไปแยกต่อด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟี เมื่อนำส่วนสกัดย่อยที่ 3.2 มาแยกต่อด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยมีซิลิกาเจล 60 (0.063-0.200 mm, Merck) เป็นตัวดูดซับ และใช้ 5% เอทิลอะซิเตตต่อเฮกเซน สามารถแยกสารได้ทั้งหมด 3 ส่วนสกัดย่อย

ตารางที่ 3 ลักษณะและน้ำหนักของส่วนสกัดย่อยที่แยกได้จากส่วนสกัดย่อยที่ 3.2 ของส่วนสกัดหยาบเฮกเซนของราก *Artocarpus thailandicus*

ส่วนสกัดย่อย	ลักษณะสาร	น้ำหนักสาร (g)
F3.2.1	ของเหลวหนืดสีขาว	0.0015
F3.2.2	ของแข็งสีขาว	0.3338
F3.2.3	ของเหลวหนืดสีขาว	0.1200

จากการแยกส่วนสกัดย่อยที่ 3.2 ด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยมีซิลิกาเจล 60 (0.063-0.200 mm, Merck) เป็นตัวดูดซับ และใช้ 5% เอทิลอะซิเตตต่อเฮกเซน สามารถแยกสารได้ทั้งหมด 3 ส่วนสกัดย่อย จากการทดสอบด้วยเทคนิค TLC พบว่าส่วนสกัดย่อยที่ 3.2.2 เป็นสารบริสุทธิ์ที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว จึงนำไปตกผลึกใหม่ด้วยเฮกเซน ได้ผลึกรูปเข็มสีขาวหนัก 0.1823 กรัม นำผลึกที่ได้นำมาทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยวิธีนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี โดยใช้เทคนิค ^1H NMR ^{13}C NMR DEPT-90 และ DEPT-135 ให้ข้อมูลดังตารางที่ 4 และจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์มีค่า 239 - 242 °C

จากข้อมูล ^{13}C NMR ของสารบริสุทธิ์ (ส่วนสกัดย่อยที่ 3.2.2) แสดงจำนวนคาร์บอนประมาณ 30 คาร์บอน ซึ่งเป็นสารกลุ่ม triterpenoids และเมื่อทำการสืบค้นและเปรียบเทียบข้อมูล NMR ของสารบริสุทธิ์กับสารกลุ่ม triterpenoids จากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่าข้อมูลทาง NMR ของสารบริสุทธิ์ที่ได้มีข้อมูลเหมือนกับ β -amyrin acetate (Jiao *et al.*, 2010 และ Thuy *et al.*, 2008) ดังตารางที่ 4 และมีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 1

จากตารางที่ 5 ข้อมูล ^{13}C NMR ของสารบริสุทธิ์ พบว่ามี ค่าสัญญาณ ที่ 31.26, 32.61, 36.84, 37.69, 39.81, 41.69, 145.14 และ 170.74 ppm เป็นลักษณะของ quaternary carbon (-C-) 8 ลักษณะที่ตำแหน่ง 20, 17, 10, 4, 8, 14, 13 และ 31 ตามลำดับ ค่าสัญญาณที่ 47.56, 47.65, 55.27, 80.84 และ 121.65 ppm เป็นลักษณะของ methine

carbon (-CH) 5 ลักษณะที่ตำแหน่ง 18, 9, 5, 3 และ 12 ตามลำดับ ค่าสัญญาณที่ 18.28, 23.53, 23.57, 26.62, 26.95, 32.89, 34.75, 37.17, 38.49 และ 46.79 ppm เป็นลักษณะของ methylene carbon (-CH₂) 10 ลักษณะที่ตำแหน่ง 6, 2, 11, 15, 16, 7, 21, 22, 1 และ 19 ตามลำดับ ค่าสัญญาณ ที่ 15.73, 16.83, 16.88, 21.41, 23.71, 26.15, 28.11, 28.40 และ 33.34 ppm เป็นลักษณะของ methyl carbon (-CH₃) ทั้งหมด 9 ลักษณะที่ตำแหน่ง 25, 26, 24, 32, 30, 27, 23, 28 และ 29 ตามลำดับ

จากตารางที่ 5 ข้อมูล ¹H NMR ของสารบริสุทธิ์ พบว่า ค่าสัญญาณ ที่ 0.82, 1.03, 1.35, 4.50 และ 5.14 ppm เป็นลักษณะของ methine proton (-CH) 5 ลักษณะที่ตำแหน่ง 5, 18, 9, 3 และ 12 ตามลำดับ ค่าสัญญาณที่ (0.93-1.34), (1.27, 1.63), (1.31-1.42), (1.31-1.42), (1.38, 1.92), (1.42- 1.47), (1.44, 1.47), (1.44, 2.02), (1.60, 2.01) และ (1.68, 2.02) เป็นลักษณะของ methylene proton (-CH₂) 10 ลักษณะ ที่ตำแหน่ง 15, 7, 22, 21, 1, 11, 6, 19, 16 และ 2 ตามลำดับ ค่าสัญญาณที่ 0.82, 0.82, 0.84, 0.89, 0.89, 0.93, 0.99, 1.15 และ 2.07 ppm เป็นลักษณะของ methyl carbon (-CH₃) 9 ลักษณะที่ตำแหน่งที่ 29, 30, 28, 23, 24, 26, 25, 27 และ 32 ตามลำดับ

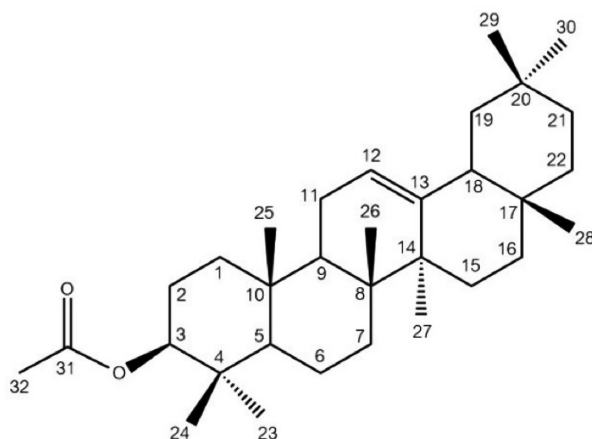
ตารางที่ 4 ค่าสัญญาณ ¹H NMR, ¹³C NMR, DEPT-90 และ DEPT-135 ของสารบริสุทธิ์และ β-amyrinacetate

ตำแหน่ง	ค่าสัญญาณของสารบริสุทธิ์				ค่าสัญญาณของ β-amyrin acetate	
	δH(ppm, J in Hz)	δC(ppm)	DEPT - 90 (ppm)	DEPT - 135 (ppm)	δH(ppm, J in Hz)	δC(ppm)
1	1.38(m), 1.92(m)	38.49	-	38.20	1.39(m), 1.92(m)	38.40
2	1.68(m), 2.02(m)	23.53	-	23.20	1.66(m), 2.02(m)	23.70
3	4.50(t, J=8Hz)	80.84	80.10	80.10	4.50(t, J=8Hz)	81.00
4	-	37.69	-	-	-	37.90
5	0.82(s)	55.27	55.22	55.22	0.83(s)	55.40
6	1.44(m), 1.47(m)	18.28	-	18.40	1.43(m), 1.46(m)	18.40
7	1.27(m), 1.63(m)	32.89	-	33.30	1.29(m), 1.62(m)	32.70
8	-	39.81	-	-	-	39.90
9	1.35	47.65	47.22	47.22	1.35	47.70
10	-	36.84	-	-	-	37.00
11	1.42-1.47	23.57	-	23.50	1.42-1.46(m)	23.70
12	5.14(s)	121.65	121.64	121.64	5.18(s)	121.80
13	-	145.14	-	-	-	145.30
14	-	41.69	-	-	-	41.80
15	0.93-1.34(m)	26.62	-	26.10	0.93-1.3 (m)	26.30
16	1.60(m), 2.01(m)	26.95	-	27.10	1.65(m), 2.01(m)	27.10
17	-	32.61	-	-	-	32.60
18	1.03	47.56	47.58	47.58	1.03(m)	47.40
19	1.44(m), 2.02(m)	46.79	-	46.80	1.43(m), 2.05(m)	46.90
20	-	31.26	-	-	-	31.20
21	1.31-1.42(m)	34.75	-	34.70	1.32-1.42(m)	34.90
22	1.31-1.42(m)	37.17	-	37.17	1.32-1.42(m)	37.30
23	0.89(s)	28.11	-	28.02	0.87(s)	28.20

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ตำแหน่ง	ค่าสัญญาณของสารบริสุทธิ์				ค่าสัญญาณของ β -amyrin acetate	
	$\delta H(\text{ppm, J in Hz})$	$\delta C(\text{ppm})$	DEPT - 90 (ppm)	DEPT - 135 (ppm)	$\delta H(\text{ppm, J in Hz})$	$\delta C(\text{ppm})$
24	0.89(s)	16.88	-	16.87	0.87(s)	16.90
25	0.99(s)	15.73	-	15.76	0.96(s)	15.70
26	0.93(s)	16.83	-	16.81	0.96(s)	16.90
27	1.15(s)	26.15	-	26.24	1.12(s)	26.10
28	0.84(s)	28.40	-	28.41	0.84(s)	28.50
29	0.82(s)	33.34	-	32.88	0.82(s)	33.50
30	0.82(s)	23.71	-	23.70	0.82(s)	23.80
31	-	170.74	-	-	-	171.10
32	2.07(s)	21.41	-	21.44	1.95(s)	21.40

จากการเปรียบเทียบข้อมูลของ ^1H NMR และ ^{13}C NMR ของสารบริสุทธิ์ที่ได้จากส่วนสกัดย่อยที่ 3.2.2 กับข้อมูล ^1H NMR และ ^{13}C NMR ของเอกสารอ้างอิงของ β -amyrin acetate (ตารางที่ 4) พบว่า มีค่าสัญญาณ และจุดหลอมเหลว (จุดหลอมเหลวอ้างอิง 238 - 241 $^{\circ}\text{C}$) เหมือนกันกับ β -amyrin acetate (Jiao, X. *et al.*, 2010 และ Thuy, T.-T. *et al.*, 2008) จึงสรุปได้ว่าสารบริสุทธิ์ที่ได้นี้ คือ β -amyrin acetate ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 โครงสร้างของ β -amyrin acetate

จากนั้นทำการยืนยันชนิดของคาร์บอนของสารบริสุทธิ์ด้วยเทคนิค DEPT-90 และ DEPT-135 โดยข้อมูล DEPT-90 พบค่าสัญญาณ 47.58, 47.22, 55.22, 80.10 และ 121.64 ppm เป็นลักษณะของ methine carbon ($-\text{CH}-$) 5 ลักษณะ จากข้อมูล DEPT-135 พบค่าสัญญาณ ที่ 18.40, 23.20, 23.50, 26.10, 27.10, 33.30, 34.70, 37.17, 38.20 และ 46.80 ppm เป็นลักษณะของ methylene carbon ($-\text{CH}_2-$) มีทั้งหมด 10 ลักษณะ พบค่าสัญญาณ 47.58, 47.22, 55.22, 80.10 และ 121.64 ppm เป็นลักษณะของ methine carbon ($-\text{CH}-$) 5 ลักษณะ และค่าสัญญาณ 15.76, 16.81, 16.87, 21.44, 23.70, 26.24, 28.02, 28.41 และ 32.88 ppm เป็นลักษณะของ methyl carbon ($-\text{CH}_3$) ทั้งหมด 9 ลักษณะ

เมื่อนำข้อมูลของ DEPT-90 และ DEPT-135 มาเปรียบเทียบกับพบว่ามีลักษณะ methine carbon ($-\text{CH}-$) จำนวน 5 ลักษณะ ลักษณะของ methyl carbon ($-\text{CH}_3$) จำนวน 9 ลักษณะ ลักษณะของ methylene carbon ($-\text{CH}_2-$) มีทั้งหมด 10 ลักษณะ เมื่อนำข้อมูลของ DEPT-90 และ DEPT-135 มาเปรียบเทียบกับ ^{13}C NMR จะพบว่าลักษณะที่เหลือ

ไม่ตรงกับ DEPT-90 และ DEPT-135 ซึ่งเป็นลักษณะของ quaternary carbon (-C-) ทั้งหมด 8 ลักษณะ ที่ตำแหน่ง 4, 8, 10, 13, 14, 17, 20 และ 31

จากการศึกษาข้อมูล ^1H NMR, ^{13}C NMR ของสารบริสุทธิ์แล้วทำการยืนยันชนิดของคาร์บอนด้วย DEPT-90 DEPT-135 และค่าจุดหลอมเหลว 239 - 242 °C (จุดหลอมเหลวอ้างอิง 238-241 °C) จากการเปรียบเทียบข้อมูลกับเอกสารอ้างอิงพบว่าสารบริสุทธิ์มีข้อมูลเหมือนสารอ้างอิงทุกประการ (Jiao *et al.*, 2010 และ Thuy *et al.*, 2008) ดังนั้นสารบริสุทธิ์ที่ได้จากส่วนสกัดหยาบเฮกเซนของราก *Artocarpus thailandicus* คือ β -amyrin acetate

4. สรุป

การแยกผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่บริสุทธิ์จากส่วนสกัดหยาบเฮกเซนของราก *Artocarpus thailandicus* พบสารบริสุทธิ์ มีลักษณะเป็นรูปเข็มสีขาว หลังจากตกผลึกใหม่ด้วยเฮกเซน แล้วนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยวิธีนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี และเปรียบเทียบข้อมูลกับเอกสารอ้างอิงพบว่าข้อมูลเหมือนกับ β -amyrin acetate ทุกประการดังนั้นสารบริสุทธิ์ชนิดนี้คือ β -amyrin acetate ที่ยังไม่เคยมีรายงานในงานวิจัยจากพืชชนิดนี้จากการทบทวนงานวิจัย และ β -amyrin acetate ที่ได้จากพืชชนิดอื่น ๆ มีฤทธิ์ด้านการอักเสบ (Gupta *et al.*, 1971) ดังนั้นสารบริสุทธิ์นี้จึงควรมีฤทธิ์ด้านการอักเสบในทำนองเดียวกัน และควรนำไปทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้การอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ สารเคมี เครื่องมือต่าง ๆ ในการทดลอง และหอพรรณไม้กรมอุทยาน สัตว์ป่าและพันธุ์พืช กรุงเทพมหานครที่อนุเคราะห์ตัวอย่างต้นไม้

6. เอกสารอ้างอิง

- Boonyaketgason, S., V. Rukachaisirikul, S. Phongpaichit and K. Trisuwan. 2017. **Cytotoxic arylbenzofuran and stilbene derivatives from the twigs of *Artocarpus heterophyllus***. Tetrahedron Letters 58(16) : 1585–1589.
- Boonkla, W., S. Pitchuanom, P. Meepowpan, H. Thaisuchat, N. Nuntasaeen, S. Punyanitya and W. Pompimon. 2011. **Aromatic Compound Glucopyranoside from New Species *Artocarpus thailandicus***. American Journal of Applied Sciences 8(11): 1093-1097.
- Chayamarit, G. and L. Poopattanaong. 2002. **Thai Herbs, Part 7**. Bangkok: Prachachon (in Thai).
- Chot-anan, et al. 2007. **Healing with herbs**. Bangkok: the knowage center (in Thai)
- Royal Forest Department. 2014. **Name of Tree of Thailand**, Tem Smittinun, revised BE 2557. Bangkok: The National Buddhist Printing Office (in Thai).
- Gupta, M. B., T.N. Bhalla, K.K. Tangri and K.P. Bhargava. 1971. **Biochemical study of the anti-inflammatory activity of β -amyrin acetate**. Biochemical Pharmacology 20 (2) : 401-405
- Hakima, E.H., Asnizar., Yurnawilis., N. Aimi and H. Takayama. 2002. **Artoindonesianin P, a new prenylated flavones with cytotoxic activity from *Artocarpus lanceifolius***. Fitoterapia 73 : 668-673.
- Hsu, C.L., M.H. Shyu, J.A. Lin, G.C. Yen and S.C. Fang. 2011. **Cytotoxic effects of geranyl flavonoid derivatives from the fruit of *Artocarpus communis* in SK-Hep-1 human hepatocellular carcinoma cells**. Food Chemistry 127 : 127–134.

- Intranapakorn, R. 2007. **Examination and extraction of essential substances from herbs**. 2nd Edition. Bangkok: Active Print (in Thai)
- Jiao, X., X. Li, L. Bao-Rui and Y. Li-Xia. 2010. **Triterpenoids from the Fruits of *Forsythia suspense***. Chinese Journal of Natural Medicines 8(6) : 414-418.
- Jin, Y. J., C.C. Lin, T.M. Lu, J.H. Li, I.S. Chen, Y.H. Kuo and H.H. Ko. 2015. **Chemical constituents derived from *Artocarpus xanthocarpus* as inhibitors of melanin biosynthesis**. Phytochemistry 117: 424-435.
- Mai, N. T. T., N.X. Hai, D.H. Phu, P.N.H. Trong and N.T. Nhan. 2012. **Three new geranyl aurones from the leaves of *Artocarpus altilis***. Phytochemistry Letters 5 : 647-650.
- Puntumchai, A., P. Kittakoop, S. Rajviroongit, S. Vimutipong, K. Likhitwitayawuid and Y. Thebtaranonth. 2004. **Lakoochins A and B, New Antimicrobial Stilbene Derivatives from *Artocarpus lakoocha***. Journal of Natural Products 67 : 485-486.
- Ruengrangsri, N. and T. Mongklakupt. 2004. **Thai Herbs Book 1**. Bangkok: Than Printing. (in Thai)
- Sunthorncharoenon, N. 2001. **Medicines and natural products**. 3rd Edition Bangkok: Sangtian Printing (in Thai)
- Temsirirukkul, R. et al. 1999. **Thai herbal medicine should know**. Bangkok: Siam Books & Publications. (in Thai)
- Thuy,T.T., T.V. Sung, K. Frank and L. Wessjohann. 2008. **Triterpenes from roots of *Codonopsis pilosula***. Journal of Chemistry 46 : 515 – 520.
- Ti, H., P. Wu, L. Lin and X. Wei. 2011. **Stilbenes and flavonoids from *Artocarpus nitidus* subsp. *lingnanensis***. Fitoterapia 82 : 662-665.
- Wang, X. L., X.X. Di, T. Shen, S.Q. Wang and X.N. Wang. 2017. **New phenolic compounds from the leaves of *Artocarpus heterophyllus***. Chinese Chemical Letters 28(1) : 37-40.
- Weng, J.R., Chan, S.C. Lu, H. Yi, H.C. Lin, H.H. Ko and C.N. Lin. 2006. **Antiplatelet prenylflavonoids from *Artocarpus communis***. Phytochemistry 67 : 824-829
- Yuan, W. J., J. Yuan, J. Bin, J.B. Peng, Y.Q. Ding, J.X. Zhu and G. Ren. 2017. **Flavonoids from the roots of *Artocarpus heterophyllus***. Fitoterapia 117 : 133-137.

การเพิ่มผลผลิตโคเนื้อโดยใช้พืชสมุนไพรตระกูลถั่วทดแทนอาหารชั้นสำเร็จรูป

Production Increasing of Beef Cattle by Using Legume Herb

Replacement to Commercial Feed

วิระพล แจ่มสวัสดิ์^{1*} ชงโค แซ่ตั้ง¹ วรพล แจ่มสวัสดิ์² สุรศักดิ์ สาสีพัชรารณ³

และ จิรัฏฐ์ เหมือนวิหาร⁴

Virapol Jamsawat¹ Chongko Saetang¹ Vorapol Jamsawat²

Surasak Saleepatcharaporn³ and Jirat Muenwihan⁴

¹ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ² คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีชลบุรี ⁴ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

¹ Faculty of Agriculture and Natural Resources

² Faculty of Humanities and Social Sciences, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

³ Chonburi College of Agriculture and Technology

⁴ Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

*E-mail: virapolj@yahoo.com

บทคัดย่อ

การวิจัยการเพิ่มผลผลิตโคเนื้อโดยใช้พืชสมุนไพรตระกูลถั่วทดแทนอาหารชั้นสำเร็จรูป เป็นการทดลองเพื่อหาพืชอาหารสัตว์ที่เหมาะสมใช้เป็นอาหารโปรตีนทดแทนอาหารชั้นสำเร็จรูป ในการเลี้ยงโคเนื้อ ใช้แผนการทดลองแบบ Completely Random Design (CRD) มี 4 กลุ่มการทดลอง (treatment) โดยใช้โคเนื้อเพศเมียอายุระหว่าง 14-16 เดือน เป็นโคเนื้อลูกผสม บราห์มัน (Brahman) สายเลือด 50.00 - 62.50 เปอร์เซนต์ จำนวน 16 ตัว ใช้ระยะเวลาทดลอง 168 วัน โดยให้แต่ละกลุ่มการทดลองได้รับอาหารทดลองดังนี้ กลุ่มการทดลองที่ 1 (T1) หญ้าขนสด + อาหารสำเร็จรูป (control), กลุ่มการทดลองที่ 2 (T2) หญ้าขนสด + ใบขี้เหล็ก, กลุ่มการทดลองที่ 3 (T3) หญ้าขนสด + ใบจามจุรี, กลุ่มการทดลองที่ 4 (T4) หญ้าขนสด + ใบกระถิน จากผลการทดลองพบว่า น้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนน้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 1 เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ 230.50 กิโลกรัม รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 4 (209.75 กิโลกรัม) และกลุ่มการทดลองที่ 2 (206.75 กิโลกรัม) น้ำหนักสิ้นสุดการทดลองน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 3 (206.00 กิโลกรัม) โดย กลุ่มการทดลองที่ 1 แตกต่างจากกลุ่มที่ 2, 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $P < 0.01$ ส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลองและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวันพบว่า กลุ่มการทดลองที่ 1 เพิ่มขึ้นมากที่สุด 88.25 และ 0.52 กิโลกรัม รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ 66.50 และ 0.39 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ 64.00 และ 0.38 กิโลกรัม และน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 3 คือ 63.75 และ 0.38 กิโลกรัม ตามลำดับ โดย กลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่แตกต่างกันแต่ต่างจากกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $P < 0.01$

คำสำคัญ : การเพิ่มผลผลิตโคเนื้อ พืชสมุนไพรตระกูลถั่ว อาหารสำเร็จรูป โคเนื้อ

Abstract

Research on production increasing of beef cattle by using legume herb replacement to commercial feed was aimed to study effect of local legume that can developing for replacement to commercial feed. The experiment (CRD) lasted for 168 days. The subjects of the study were female 50.00-62.50 Brahman, and age between 14-16 months. Those 16 beef cattle were divided into 4 treatments and 4 replications, every treatments received concentrate 1% BW (CP.16%) and each

groups were received local legume in different treatments as follows: Treatment 1 (TI) Para grass + commercial feed (control), Treatment 2 (TII) Para grass + cassod leaf, Treatment 3 (TIII) Para grass + saman leaf, Treatment 4 (TV) Para grass + leucaena leaf. The results revealed that initial weights of beef cattle were not significant, but final weights were significantly different. T1 was the highest of 230.50 kg, the second was T4 at 209.75 kg, and the third was T2 at 206.75 kg. The lowest final weight was T3 at 206.00 kg, respectively. There were no significant difference among T2, T3 and T4 but those were highly significant different from T1 at $P<0.01$. For total weight increases and weight increase per day, T1 was the highest as 88.25 and 0.52 kg, respectively, the second and the third highest were T4 (66.50 and 0.39 kg) and (T2 64.00 and 0.38 kg), respectively. T3 gave the lowest weight increase and weight increase per day (63.75 and 0.29 kg, respectively). There were no significant difference among T2, T3 and T4 but those were highly significant different from T1 at $P<0.01$.

Keywords : Production increasing of Beef, Legume herb, Commercial feed, Beef cattle

1. บทนำ

ปัจจุบันรัฐบาลได้มีการส่งเสริมให้ประชาชนทำการเลี้ยงโคเนื้อเพื่อบริโภคเองภายในประเทศและเหลือส่งจำหน่ายต่างประเทศตามโครงการการเพิ่มศักยภาพการเลี้ยงโคเนื้อ แต่เนื่องจากปัจจุบันปัญหาของกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อคือค่าใช้จ่ายค่าอาหารสูงและผลผลิตตกต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนพื้นที่ทำการเกษตรของผู้เลี้ยงโคเนื้อลดลง จนอาจทำให้การเลี้ยงโคขาดแคลนพืชอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพดีและปริมาณเพียงพอต่อความต้องการซึ่งจะเป็นผลเสียทำให้โคมีอัตราการเจริญเติบโต การเพิ่มของน้ำหนักตัว และผลผลิตต่ำลงไปด้วย Jamsawat (2015) เมื่อคิดค่าใช้จ่ายในการเลี้ยงโคเนื้อมากกว่าร้อยละ 70 คือค่าอาหารที่ใช้เลี้ยงโคเนื้อ โดยเฉพาะปัจจุบันเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อมานิยมใช้อาหารข้นที่มีโปรตีนสูงจากอาหารสำเร็จรูปที่มีขายในท้องตลาดทั่วไป ซึ่งค่อนข้างมีราคาแพงจึงทำให้มีต้นทุนการผลิตสูงตามไปด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาเหล่านี้จึงมีการศึกษานำเอาวัสดุไร่จากการเกษตรหรือพืชสมุนไพรตระกูลถั่วที่มีคุณค่าทางอาหารและสามารถป้องกันโรค แก้อาการอักเสบพร้อมทั้งมีปริมาณคุณค่าทางอาหารด้านโปรตีนสูง เข้ามาใช้เป็นอาหารโปรตีนในการเลี้ยงโคเนื้อ เช่น ใบขี้เหล็ก, ใบจามจุรี, ใบกระถินและอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นอาหารข้นทดแทนแหล่งอาหารโปรตีนที่มีราคาแพงที่จำหน่ายในท้องตลาดในรูปอาหารบรรจุสำเร็จรูป ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตโคเนื้อ พร้อมทั้งช่วยเพิ่มขีดความสามารถและประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของโคเนื้อด้วย (Jamsawat *et al.*, 2015)

ปัจจุบันปัญหาของชุมชนกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงโค หลักใหญ่คืออาหารทั้งอาหารข้นและอาหารหยาบหรือพืชอาหารสัตว์ที่เป็นอาหารหลักสำหรับโค ที่เป็นสัตว์กระเพาะรวม (ruminant) ซึ่งจำนวนทุ่งหญ้าพืชอาหารสัตว์จะมีจำนวนลดน้อยลงทุกที พร้อมทั้งคุณภาพของอาหารก็ด้อยคุณภาพตามไปด้วยและนอกจากนี้ปัญหาด้านเศรษฐกิจ ทำให้สินค้าโดยเฉพาะวัตถุดิบอาหารสัตว์มีราคาแพงมากขึ้นทำให้ต้นทุนในการผลิตอาหารสำหรับใช้ในการเลี้ยงสัตว์มีต้นทุนสูงตามไปด้วย ดังนั้นการวิจัยการเพิ่มผลผลิตของโคเนื้อโดยใช้พืชสมุนไพรตระกูลถั่วที่มีหลากหลายในท้องถิ่น เป็นอาหารโปรตีนในการเลี้ยงโคเนื้อทดแทนอาหารสำเร็จรูป จึงเป็นแนวทางในการหาอาหารที่มีอยู่ในธรรมชาติหรือเหลือใช้จากไร่ นา การเกษตร นำมาพัฒนาปรับปรุงใช้สำหรับใช้ทำอาหารเลี้ยงโคเนื้อนอกจากนั้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับโคนม กระบือ และสัตว์เคี้ยวเอื้องชนิดอื่น ๆ ได้ต่อไป โดยนำใบขี้เหล็ก ใบจามจุรีและใบกระถินสด นำมาทดลองศึกษาใช้เลี้ยงโคเนื้อเปรียบเทียบกับเลี้ยงด้วยหญ้าขนสดโดยใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด เพื่อศึกษาผลของอาหารต่ออัตราการเจริญเติบโตและเก็บวิเคราะห์ข้อมูลคุณค่าทางอาหารของอาหารแต่ละชนิด ดังนั้นการวิจัยการเพิ่มผลผลิตของโคเนื้อโดยใช้พืชสมุนไพรตระกูลถั่วที่มีหลากหลายในท้องถิ่น เป็นอาหารโปรตีนในการเลี้ยงโคเนื้อทดแทนอาหารสำเร็จรูป จึงเป็นแนวทางในการหาอาหารที่มีอยู่ในธรรมชาติหรือเหลือใช้จาก ไร่ นา การเกษตร นำมาพัฒนาปรับปรุงสำหรับใช้เป็นอาหารเลี้ยงโคเนื้อนอกจากนั้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับโคนม กระบือ และสัตว์เคี้ยวเอื้อง

ชนิดอื่น ๆ ได้ต่อไป โดยนำไปใช้หลัก ใบจามจุรีและใบกระถินสด นำมาทดลองศึกษาใช้เลี้ยงโคเนื้อเปรียบเทียบกับ การเลี้ยงด้วยหญ้าขนสดโดยใช้อาหารสำเร็จรูปที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด เพื่อศึกษาผลของอาหารต่ออัตราการเจริญเติบโต Jamsawat (2010) ได้ทดลองเลี้ยงโคนมเพศผู้ตอน โดยใช้ใบกระถินและต้นถั่วลิสงแห้งอัดฟ่อนเป็นอาหารเสริม โดย กลุ่มการทดลองที่ 1 ให้เฉพาะหญ้าขนสด (control) กลุ่มการทดลองที่ 2 ให้หญ้าขนสดและเสริมด้วยใบกระถิน กลุ่ม การทดลองที่ 3 ให้หญ้าขนสดและเสริมด้วยต้นถั่วลิสงแห้งอัดฟ่อน พบว่า โคทดลองมีอัตราการเจริญเติบโต ดังนี้ กลุ่มที่ 1 0.56 กก./วัน กลุ่มที่ 2 0.62 กก./วัน และกลุ่มที่ 3 0.72 กก./วัน โดยแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

Cheva-Isarakul (2001) ได้แนะนำในการให้อาหารโคว่า อัตราส่วนของอาหารที่ประกอบด้วยฟางข้าว ใบกระถิน และอาหารข้นในอัตรา 30:30:40 จะมีการเจริญเติบโตที่ 755 กรัมต่อวัน ซึ่งสูงกว่าการทดลองให้ในอัตราส่วน 40:30:30 และ 30:40:30 จะมีอัตราการเจริญเติบโตที่ 588 และ 684 กรัมต่อวันตามลำดับ

Champavadee (2003) ได้ทำการทดลองการเสริมใบกระถินแห้งในโคที่ได้รับการเลี้ยงเป็นอาหารหลักพบว่า โคที่ได้รับการเสริมใบกระถินแห้งจะได้รับปริมาณโปรตีนที่ย่อยได้สูงกว่าการเสริมรำเพียงอย่างเดียว แต่ถ้ามีการเสริม ใบกระถินแห้งร่วมกับรำอ่อนจะทำให้โคมีแนวโน้มการย่อยได้ของโภชนะสูงขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น สอดคล้อง กับการทดลอง

Promma *et al.* (1994) ได้ทำการทดลองการเสริมอาหารข้นที่มีโปรตีน 12.5 เปอร์เซ็นต์โภชนะที่ย่อยได้ ทั้งหมด 76 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราร้อยละ 1 เปรียบเทียบกับการปล่อยโคแทะเล็มหญ้าเพียงอย่างเดียว ผลการทดลอง พบว่า โคที่ได้รับการเสริมอาหารข้นจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมอาหารข้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ทางสถิติ ($P<0.01$) คือ 0.55 และ 0.24 กิโลกรัมต่อตัวต่อวันตามลำดับ

ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาเหล่านี้จึงมีการศึกษานำเอาวัสดุรีนา จากการเกษตรหรือพืชสมุนไพรตระกูลถั่วที่มี คุณค่าทางอาหารและสามารถป้องกันโรค แก้อาการเสีย รักษาอาการอักเสบพร้อมทั้งมีปริมาณคุณค่าทางอาหารด้านโปรตีน สูง เข้ามาใช้เป็นอาหารโปรตีนในการเลี้ยงโคเนื้อ เช่น ใบขี้เหล็ก, ใบจามจุรี, ใบกระถินและอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นอาหารข้น ทดแทนแหล่งอาหารโปรตีนที่มีราคาแพงที่จำหน่ายในท้องตลาดในรูปอาหารบรรจุถุงสำเร็จรูป โดยมีวัตถุประสงค์ ของการวิจัยดังนี้ 1. ศึกษาผลของการใช้ใบขี้เหล็ก ใบจามจุรีและใบกระถินเป็นแหล่งอาหารโปรตีนทดแทนอาหารสำเร็จรูป สำหรับเลี้ยงโคเนื้อ 2. ศึกษาลักษณะและอัตราการเจริญเติบโตและรูปร่างลักษณะของโคเนื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองนี้ 3. ศึกษาวิธีการเลี้ยงโคเนื้อโดยการนำพืชตระกูลถั่วสมุนไพรใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีนทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูป สำหรับเลี้ยงสัตว์กระเพาะรวม (ruminant animal) 4. ศึกษาผลตอบแทนทางด้านเศรษฐกิจเพื่อการลดต้นทุนการผลิต โดยการใช้พืชสมุนไพรตระกูลถั่วท้องถิ่น เลี้ยงโคเนื้อ

2. วิธีการทดลอง

การทดลองวิจัยการใช้พืชสมุนไพรตระกูลถั่วโดยใช้ใบขี้เหล็ก ใบจามจุรีและใบกระถินเป็นแหล่งอาหารโปรตีน ในการเลี้ยงโคเนื้อ เป็นการทดลองเปรียบเทียบเพื่อหาชนิดอาหารที่เหมาะสมทดแทนอาหารข้นสำเร็จรูปใช้เลี้ยงโคเนื้อ คัดเลือกโคให้มีอายุ ขนาด น้ำหนักใกล้เคียงกัน โดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Random Design (CRD) โดย แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง (treatments) แต่ละกลุ่มการทดลองประกอบด้วยโค 4 ตัว โดยใช้โคเนื้อเพศเมีย อายุระหว่าง 14-16 เดือนเป็นโคเนื้อลูกผสมบราห์มัน (Brahman) สายเลือด 50.00 - 62.50 เปอร์เซ็นต์จำนวน 16 ตัว ใช้ระยะเวลาทดลอง 168 วัน โดยให้แต่ละกลุ่มการทดลองได้รับอาหารทดลองดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 (T1)	หญ้าขนสด + อาหารสำเร็จรูป (control)
กลุ่มการทดลองที่ 2 (T2)	หญ้าขนสด + ใบขี้เหล็ก
กลุ่มการทดลองที่ 3 (T3)	หญ้าขนสด + ใบจามจุรี
กลุ่มการทดลองที่ 4 (T4)	หญ้าขนสด + ใบกระถิน

โดยในแต่ละวันที่ทำการทดลองโคทุกตัวจะได้รับอาหารสำเร็จรูปเพื่อการค้ำมี โปรตีนรวม (CP) 16% จำนวน 1 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว และให้หญ้าขนสดหรืออาหารหยาบ (roughage) ให้กินอย่างเต็มที่ (ad libitum) ส่วนพืชสมุนไพรตระกูลถั่วทองถั่วทั้ง 3 ชนิดจะเสริมในปริมาณ 1% ต่อน้ำหนักตัว ส่วนโคทุกตัวจะอยู่ในคอกทดลองเฉพาะตัว (confinement) มีน้ำ แร่ธาตุก้อน ให้กินตลอดเวลา และได้รับอาหารทดลองช่วงเช้า (7.00 น.) ครึ่งหนึ่งและช่วงเย็น (17.00 น.) อีกครึ่งหนึ่ง ทำการทดลองเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 10 เดือน การศึกษาการกินอาหารของโค โดยการชั่งปริมาณอาหารที่ให้โคกินทุกชนิดและส่วนที่เหลือในแต่ละวัน เพื่อคำนวณเป็นข้อมูลปริมาณการกินอาหารของโคตลอดการทดลอง การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของอาหารแต่ละชนิด โดยวิธี Proximate analysis (DM, CF, CP, NFE, EE, Ash) ค่าพลังงานที่ย่อยได้ และ Total Digestible Nutrient (TDN) แล้วคำนวณหาประสิทธิภาพในการย่อยอาหารได้ของโค (NRC, 2000) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงอาหารเป็นน้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้นรวมทั้งผลตอบแทนด้านเศรษฐกิจต้นทุน กำไรขาดทุนและสภาพทางเศรษฐกิจที่สำคัญอื่น ๆ แล้วนำข้อมูลที่ได้นำวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Gomez and Gomez, 1984) ทำการทดลองที่แผนกโคนม โคเนื้อ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ชลบุรี

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

คุณค่าทางอาหาร จากการวิเคราะห์อาหารชนิดต่าง ๆ (air dry basis) โดยวิธี Proximate Analysis โดยส่วนประกอบคุณค่าทางอาหารต่าง ๆ ของหญ้าขน ใบชี้เหล็ก ใบจามจุรี ใบกระถิน และอาหารข้น แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณค่าทางอาหาร จากการวิเคราะห์อาหารแต่ละชนิด

ชนิดอาหาร	DM	CP	CF	NFE	EE	Ash
หญ้าขน	69.79	5.93	13.55	39.75	3.87	6.69
ใบชี้เหล็ก	79.89	13.23	15.87	39.35	5.02	6.42
ใบจามจุรี	80.58	13.35	16.84	38.27	5.21	6.79
ใบกระถิน	80.55	15.89	15.03	39.16	5.87	6.60
อาหารข้น	87.10	16.00	1.68	46.76	6.64	4.95

ตารางที่ 2 น้ำหนักโค และปริมาณอาหารที่เปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม

รายการ	Treatments			
	I	II	III	IV
ระยะเวลาทดลอง (วัน)	168	168	168	168
จำนวนสัตว์ทดลอง (ตัว)	4	4	4	4
น้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง (กก.)	142.25	142.75	142.25	143.25
น้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง (กก.)	230.50 ^๐	206.75 ^๑	206.00 ^๑	209.75 ^๑
น้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง (กก.)	88.25 ^๐	64.00 ^๑	63.75 ^๑	66.50 ^๑
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (กก.)	0.52 ^๐	0.38 ^๑	0.38 ^๑	0.39 ^๑
ปริมาณอาหารที่เปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม	36.70 ^๐	46.15 ^๑	51.39 ^๑	49.21 ^๑

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญยิ่งที่ $P < 0.01$

ผลการทดลองจากตารางที่ 2 แสดงน้ำหนักโค ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่เพิ่มขึ้นและปริมาณที่เปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองจำนวน 168 วัน โดยน้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนน้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 1 เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ 230.50 กิโลกรัม รองลงมาคือ กลุ่มการทดลอง

ที่ 4 (209.75 กิโลกรัม) กลุ่มการทดลองที่ 2 (206.75 กิโลกรัม) น้ำหนักสิ้นสุดการทดลองน้อยที่สุดคือกลุ่ม ที่ 3 (206.00 กิโลกรัม) โดยน้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 1 แตกต่างจากกลุ่มที่ 2, 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P < 0.01$

ส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลองและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวันพบว่า กลุ่มการทดลองที่ 1 เพิ่มขึ้นมากที่สุด 88.25 และ 0.52 กิโลกรัม รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ 66.50 และ 0.39 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ 64.00 และ 0.38 กิโลกรัม และน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 3 คือ 63.75 และ 0.38 กิโลกรัม ตามลำดับ โดย กลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่แตกต่างกันแต่ต่างจากกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P < 0.01$ สอดคล้องกับงานวิจัยการพัฒนอาหารเสริมโปรตีนโดยใช้พืชตระกูลถั่ว ของ Jamsawat (2012) พบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของวัวที่กินอาหารสำเร็จรูปยังมากกว่าใช้พืชตระกูลถั่ว

ปริมาณอาหารที่เปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 3 ใช้อาหารมากที่สุดเท่ากันคือ 51.39 กิโลกรัม รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 4 49.21 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 2 46.15 กิโลกรัม และกลุ่มการทดลองที่ใช้อาหารน้อยที่สุดคือกลุ่ม ที่ 1 36.70 กิโลกรัม โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ต่างจากกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P < 0.01$

ตารางที่ 3 ปริมาณการกินอาหารชนิดต่าง ๆ

ชนิดอาหาร	Treatment			
	I	II	III	IV
ปริมาณการกินอาหารหยาบ (หญ้าขน) ตลอดการทดลอง (กก.)	2,918.00	2,930.75	2,923.50	2,925.50
ปริมาณการกินอาหารข้นและพืชสมุนไพรตระกูลถั่วตลอดทดลอง (กก.)	320.75 ^a	336.25 ^b	336.75 ^b	344.75 ^b
ปริมาณการกินอาหารทั้งหมดตลอดการทดลอง (กก.)	3,238.75	3,267.00	3,262.50	3,270.25
ปริมาณการกินอาหารทั้งหมดต่อวัน (กก.)	19.28	19.41	19.41	19.46

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญยิ่งที่ $P < 0.01$

ผลการทดลองจากตารางที่ 3 แสดงปริมาณการกินอาหารชนิดต่าง ๆ โดยปริมาณการกินอาหารหยาบ (หญ้าขน) ตลอดการทดลอง (กก.) กลุ่มการทดลองที่ 2 กินมากที่สุด 2,930.75 กิโลกรัม รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 4 คือ 2,925.50 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ 2,923.50 และปริมาณการกินอาหารหยาบตลอดการทดลองน้อยที่สุดคือ การทดลองที่ 1 คือ 2,918.00 กิโลกรัม โดยปริมาณการกินอาหารหยาบตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณการกินอาหารข้นและพืชสมุนไพรตระกูลถั่วตลอดทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 4 กินมากที่สุด 344.75 กิโลกรัม รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ 336.75 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ 336.25 กิโลกรัม และปริมาณ การกินอาหารน้อยที่สุดคือการทดลองที่ 1 คือ 320.75 กิโลกรัม โดยปริมาณการกินอาหารข้นและพืชสมุนไพรตระกูลถั่ว ตลอดทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ต่างจากกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ $P < 0.01$

เมื่อคิดเป็นปริมาณการกินอาหารทั้งหมดตลอดการทดลองหรือต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 4 กินมากที่สุด 3,270.25 กิโลกรัมหรือ 19.46 กิโลกรัมต่อวัน รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ 3,267.00 กิโลกรัมหรือ 19.41 กิโลกรัมต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ 3,262.50 กิโลกรัมหรือ 19.41 กิโลกรัมต่อวัน ปริมาณการกินอาหารทั้งหมด ตลอดการทดลองน้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 คือ 3,238.75 กิโลกรัมหรือ 19.28 กิโลกรัมต่อวัน ปริมาณการกิน อาหารทั้งหมดตลอดการทดลองหรือต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4 ต้นทุนค่าอาหารและค่าอาหารเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (บาท)

ชนิดอาหาร (บาท/กก.)	Treatment			
	I	II	III	IV
ค่าอาหารหยาบ (หญ้าขน) ตลอดการทดลอง (บาท)	5,836.00 ⁿ	5,861.50 ⁿ	5,847.00 ⁿ	5,851.00 ⁿ
ค่าอาหารชั้นตลอดการทดลอง (บาท)	3,367.75 ⁿ	2,185.50 ⁿ	2,203.25 ⁿ	2,240.75 ⁿ
ค่าอาหารทั้งหมดตลอดการทดลอง (บาท)	9,203.75 ⁿ	8,047.00 ⁿ	8,050.25 ⁿ	8,091.75 ⁿ
ค่าอาหารทั้งหมดต่อวัน (บาท)	54.78 ⁿ	47.90 ⁿ	47.92 ⁿ	48.16 ⁿ
ค่าอาหารเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (บาท)	104.32 ⁿ	125.98 ⁿ	126.80 ⁿ	121.75 ⁿ

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ $P < 0.01$

ผลการทดลองจากตารางที่ 4 แสดงต้นทุนค่าอาหารและค่าอาหารเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม โดยค่าอาหารหยาบ (หญ้าขน) ตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 2 ใช้งามากที่สุด 5,861.50 บาท รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ 5,851.00 บาท กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ 5,847.00 บาท และน้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 คือ 5,836.00 บาท โดยค่าอาหารหยาบ (หญ้าขน) ตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ต่างจากกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $P < 0.01$

ค่าอาหารชั้นตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 1 ใช้งาที่สุด 3,367.75 บาท รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ 2,240.75 บาท กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ 2,203.25 บาท และน้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 2 คือ 2,185.50 บาท โดยค่าอาหารชั้นตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่ต่างจากกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $P < 0.01$

ค่าอาหารทั้งหมดตลอดการทดลองหรือต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 1 ใช้งาที่สุด 9,203.75 บาท หรือ 54.78 บาทต่อวัน รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ 8,091.75 บาท หรือ 48.16 บาทต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 3 คือ 8,050.25 บาท หรือ 47.92 บาทต่อวัน และค่าอาหารทั้งหมดตลอดการทดลองที่ใช้น้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 2 คือ 8,047.00 บาท หรือ 47.90 บาทต่อวัน โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 แตกต่างจากกลุ่มที่ 2, 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $P < 0.01$

เมื่อคิดเป็นค่าอาหารเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 3 ใช้งาอาหารมากที่สุด 126.80 บาท รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ 125.98 บาท กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ 121.75 บาท และค่าอาหารเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมที่น้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 1 คือ 104.32 บาท โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 แตกต่างจากกลุ่มที่ 2, 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $P < 0.01$ สอดคล้องกับ Jamsawat (2012) ศึกษาต้นทุนการใช้อาหารขุนโคเนื้อ พบว่า การใช้อาหารชั้นสำเร็จรูปใช้ปริมาณน้อยกว่าพืชตระกูลถั่ว

4. สรุป

ผลการทดลองพบว่าน้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนน้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 1 เพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ 230.50 กิโลกรัม รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 4 (209.75 กิโลกรัม) และกลุ่มการทดลองที่ 2 (206.75 กิโลกรัม) น้ำหนักสิ้นสุดการทดลองน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 3 (206.00 กิโลกรัม) โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 แตกต่างจากกลุ่มที่ 2, 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $P < 0.01$ ส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลองและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวันพบว่า กลุ่มการทดลองที่ 1 เพิ่มขึ้นมากที่สุด 88.25 และ 0.52 กิโลกรัม รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 4 คือ 66.50 และ 0.39 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 2 คือ 64.00 และ 0.38 กิโลกรัม และน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 3 คือ 63.75 และ 0.38 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยกลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่แตกต่างกันแต่ต่างจากกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $P < 0.01$

5. เอกสารอ้างอิง

- Champavadee, S. 2003. **Effects of dried leucaena leaf and cassava hay supplementation on growth performance of Kamphaeng Saen beef cattle.** Livestock Inside Magazine 11 (123): 141-198. (in Thai).
- Cheva-Isarakul, B. 2001. **Research on the use of waste material in dairy farming in Thailand from the past to present.** In the 25th Anniversary Commemoration Book. The Animal Husbandry Association of Thailand. Aksorn-siam Publishing, Bangkok. 208 pp. (in Thai).
- Gomez, A.K. and A.A. Gomez. 1984. **Statistical Producers for Agricultural Research.** 2nd ed. John Wiley and sons, New York.
- Jamsawat, V. 2010. **Using of leucaena leaf and soybean straw as protein feed supplement for dairy steer.** Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal 3 (1): 31-38. (in Thai).
- Jamsawat, V., Innuruk, P. and S. Laouwattanakul. 2011. **Research for improvement of dry roughage for feeding replacement heifer.** Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal 4 (2): 75-86. (in Thai).
- Jamsawat, V. 2012. **Supplementary feed development for beef cattle by using local legumes. Faculty of Agriculture and Natural Resources.** Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi. 49 pp. (in Thai).
- Jamsawat, V. 2015. **Forage Crop Teaching Document.** Animal Science Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources. Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi. 166 pp. (in Thai).
- NRC. 2000. **Nutrient Requirement for Beef Cattle.** 7th Ed. National Academic Press. Washington, DC.
- Promma, S., Tasaki, I., Cheva-Isarakul, B. and T. Indratula. 1994. **Stabilization of crude protein content in urea-treated rice straw by neutralization with sulfuric acid.** Proceedings of the 32nd Kasetsart University Annual Conference: Animal Science, Veterinary Science and Fisheries. Kasetsart University, Bangkok. p. 134-142. (in Thai).

การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง

The Development of Automatic Control Systems for Tapioca Starch Drying Process

พิทักษ์ คล้ายชม* อภิศักดิ์ พรหมฝาย และ ไพโรจน์ นะเที่ยง

Pitak Khlaichom* Apisak Phromfaiy and Pairote Nathiang

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ เลขที่ 27 ตำบลท่าอิฐ อำเภอเมืองอุดรดิตถ์ จังหวัดอุดรดิตถ์

Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University 27 Tha It, Mueang Uttaradit, Uttaradit

*Email: pitakkh@hotmail.com โทร. 0966675951

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ตัวควบคุมหลัก โหนดถังพักแป้งหมาด โหนดถังน้ำมันเตา และโหนดตรวจจับสัญญาณ แต่ละส่วนสื่อสารข้อมูลกันด้วยสายสัญญาณ RS485 โดยใช้ตัวควบคุมหลักอ่านค่าจากโพรบวัดอุณหภูมิของลมร้อนต้นทางและปลายทาง ทำการประมวลผลเพื่อควบคุมหัวฉีดน้ำมันและความเร็วของมอเตอร์ป้อนแป้งหมาดเข้าสู่ท่อลมร้อนด้วยตัวควบคุมแบบ PID เพื่อให้แป้งมีความชื้นตามที่กำหนด เป็นงานวิจัยประยุกต์ที่มุ่งนำผลงานวิจัยไปใช้ในทางปฏิบัติ จากการทดลองเปรียบเทียบระบบควบคุมหัวฉีดน้ำมันเตาในการผลิตลมร้อนต้นทางของระบบใหม่ที่เกิดขึ้นกับระบบเดิมของโรงงาน ในกรณีที่ตั้งค่า set point สูงขึ้นจาก 215°C เป็น 218°C พบว่า ใช้เวลาในการเข้าสู่ set point น้อยลง 138.66 วินาที แต่มีการเปิดหัวฉีดน้ำมันเตามากขึ้น 115.34 วินาที และกรณีตั้งค่า set point ต่ำลง จาก 218°C เป็น 215°C พบว่า ใช้เวลาในการเข้าสู่ set point น้อยลง 398 วินาที และมีการเปิดหัวฉีดน้ำมันเตาน้อยลง 102 วินาที ส่วนการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบควบคุมกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง โดยตั้งค่า set point อุณหภูมิลมร้อนต้นทางเท่ากับ 215°C และอุณหภูมิลมร้อนปลายทางเท่ากับ 53°C ทำการทดลองเป็นเวลา 90 นาที พบว่า ระบบใหม่ที่เกิดขึ้นมีการเปิดหัวฉีดมากขึ้น 109 % ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ลดลง 0.02 ความชื้นแป้งขาออกเฉลี่ยมากขึ้น 0.17 % มีอัตราการผลิตแป้งจากเดิม 3.29 ตัน/ชั่วโมง เป็น 3.64 ตัน/ชั่วโมง สูงขึ้น 10.64 % แสดงให้เห็นว่าระบบใหม่ที่เกิดขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิลมร้อนปลายทางให้เข้าสู่ set point ได้แม่นยำกว่าระบบเดิม มีอัตราการผลิตสูงกว่า มีความชื้นแป้งขาออกไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ระบบใหม่ที่เกิดขึ้นมีการใช้น้ำมันเตาสูงกว่าระบบเดิม

คำสำคัญ : กระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง ระบบควบคุมลมร้อน ตัวควบคุมแบบ PID

Abstract

The purpose of this research was to develop and define the efficiency of automatic control system for tapioca starch drying process. Researchers have developed the control system by dividing the processes into 4 main steps as follows - main controller, wet cake resting tank node, fuel oil tank, and signal detection node. Each of these parts are communicated with RS485 signal cable. The main controller used to get the temperature of the hot air from start and end point then processed the data to control the fuel injector and speed of the motor, which feed wet cakes into hot air tube, by using PID controller in order to keep moisture content in the starch under control. This applied research tended to get the results into practical way. The results of the study about the efficiency of fuel oil injection control to produce hot air in the start point compared between recently developed system

and current system showed that if the temperature of the set point increase from 215 °C to 218 °C, recently developed system will take 138.66 second faster to reach the set point for the first time but it will also take 115.34 second longer for fuel oil injection time at injector. If the temperature of the set point decrease from 218 °C to 215 °C, recently developed system will take 398 second faster to reach the set point for the first time but it will also take 102 second shorter for fuel oil injection time at injector. Then, the study about the efficiency of tapioca starch drying process controller showed that if the set point temperature of hot air at the start point is 215 °C and the set point temperature of hot air at the end point is 53 °C then make an experiment for 90 minutes, recently developed system will take 109 % longer for fuel oil injection time at injector. The root mean square error was decreased by 0.02 %. The moisture content in the starch was increased by 0.17 % and starch production was increased from 3.29 tons per hour to 3.64 tons per hour, or 10.64 %. These results demonstrated that recently developed system was able to reach the set point more precise than the current one with higher production rate while the moisture content was nearly the same; however, recently developed system had higher fuel oil usage.

Keywords : Tapioca starch air drying process, Hot air control system, PID controller

1. บทนำ

ผลผลิตมันสำปะหลัง ปี 2560 มีพื้นที่เก็บเกี่ยว 8.64 ล้านไร่ ผลผลิต 31.19 ล้านตัน ผลผลิตสูงขึ้นร้อยละ 2.06 มูลค่าการส่งออก 35,041 ล้านบาท (Office of Agricultural Economics, 2017) ในปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานที่ผลิตแป้งมันสำปะหลังทั้งหมด 90 โรงงาน (Food Intelligence Center, 2016) แสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรมมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ กระบวนการการผลิตของโรงงานแป้งมันสำปะหลังมีหลายขั้นตอน เริ่มจากการรับหัวมัน การเตรียมและทำความสะอาดหัวมัน การบดหัวมัน การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้ง การทำให้แป้งแห้ง (อบแห้ง) และการบรรจุภัณฑ์ โดยกระบวนการอบแห้งใช้เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ซึ่งใช้อากาศร้อนจากเตาเผา (Burner) อุณหภูมิประมาณ 180 - 220 °C เป่าเข้ามาด้วยความดันสูงโดยแรงลมจะพัดพาแป้งลอยขึ้นสูง 25-30 เมตร แป้งที่แห้งจะเบาและถูกดูดออก ส่วนแป้งที่ขึ้นจะไม่สามารถลอยข้ามปล่องลงสู่ไซโคลนร้อนได้ จนกระทั่งน้ำถูกระเหยออกและมีน้ำหนักลดลง จึงออกจากเครื่องอบแห้งไปสู่ไซโคลนร้อน แป้งมันที่ได้จากไซโคลนจะเป็นแป้งที่แห้งและละเอียดแต่ยังร้อนอยู่ ซึ่งจะต้องทำให้เย็นโดยทันทีด้วยการใช้ไซโคลนเย็น หลังจากนั้นแป้งจะถูกปล่อยลงสู่เครื่องร่อนแป้ง (Sieve) และทำการบรรจุต่อไป ซึ่งความชื้นแป้งขาออกประมาณ 12.5 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง ลมร้อนที่ใช้ในการทำให้แป้งแห้งเกิดจากการเผาน้ำมันเตา และผ่านการกรองก่อนที่จะถูกเป่าเข้าสู่เครื่องอบแห้งเพื่อป้องกันแป้งถูกปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรก (Lerdlattaporn, 2010)

จากการไปศึกษาดูงานโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันกาญจนชัย ในจังหวัดอุดรธานี พบว่าการควบคุมกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลังเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) โดยแบ่งออกเป็น 2 ระบบแยกจากกัน คือ ระบบควบคุมต้นทางซึ่งควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนต้นทางด้วยการเปิด/ปิดหัวฉีด และระบบควบคุมปลายทางซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนปลายทางด้วยการปรับค่าความเร็วรอบมอเตอร์ป้อนแป้ง โดยระบบควบคุมต้นทางใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ 2 ตัว ทำงานอิสระจากกัน เกิดความยุ่งยากในการตั้งค่าอุณหภูมิ ต้องตั้งค่าอุณหภูมิให้ตัวที่สองต่ำกว่าตัวที่หนึ่งประมาณ 5 องศาเซลเซียสเสมอ ทำให้ระบบใช้เวลาในการควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้มากขึ้น ระบบขาดความรวดเร็ว แม่นยำ และสิ้นเปลืองน้ำมันเตา การควบคุมกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลังต้องมีพนักงาน 2 คน คอยดูแลระบบ เพื่อเฝ้าดูค่าอุณหภูมิและระดับแป้งในถังพักแป้ง หากปริมาณแป้งในถังอยู่ในระดับสูงพนักงานจะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 180 - 220 °C แต่ถ้าปริมาณแป้งในถังอยู่ในระดับต่ำพนักงานจะควบคุม

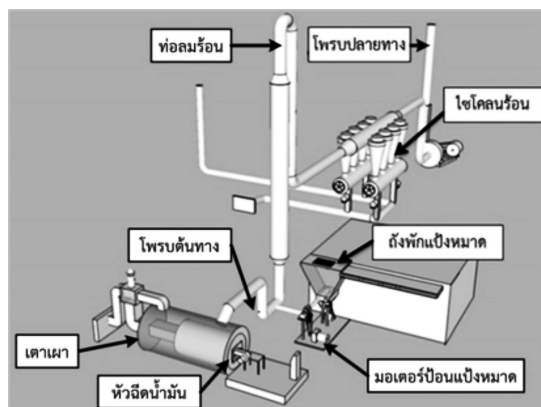
อุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 150 - 170 °C ทั้งนี้พนักงานจะต้องคอยสังเกตอุณหภูมิและระดับปริมาณแ่งหมาดตลอดเวลา เพราะหากเกิดความผิดพลาดขึ้น เช่น พนักงานปล่อยให้อุณหภูมิของลมร้อนต่ำเกินไป ก็จะทำให้แ่งมีค่าความชื้นเกินค่ามาตรฐานได้ หรือหากไม่มีแ่งหมาดป้อนเข้าระบบอบแห้งแล้วพนักงานไม่ปิดหัวฉีด จะทำให้ความร้อนในท่อลมร้อนเกิดความร้อนสูงขึ้นมาก จนอาจก่อให้เกิดการอันตรายถึงขั้นระเบิดขึ้นได้ (Tanadolthanakiat, 2017)

จากปัญหาดังกล่าว ทีมผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติซึ่งเป็นระบบที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องด้วยตนเองเมื่อให้สัญญาณเริ่มต้น สามารถเปลี่ยนแปลงโปรแกรมการทำงานจากการเปรียบเทียบปริมาณของสัญญาณที่เข้ากับปริมาณสัญญาณที่ออกได้ (Automatic Control Systems, 2008) มาใช้สำหรับควบคุมการอบแห้งในกระบวนการผลิตแ่งมันสำปะหลัง โดยใช้ระบบควบคุมการอบแห้งแบบป้อนกลับ (Feedback Dryer Control) ในการควบคุมการปิดเปิดหัวฉีดน้ำมัน และใช้ระบบควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า (Feedforward Control) ในการควบคุมความเร็วของการป้อนแ่ง (Phattaravichien, 1998) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแ่งมันสำปะหลัง มุ่งเน้นในการเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนและความชื้นของแ่งขาออก เพิ่มความปลอดภัยในการทำงานในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตแ่งมันสำปะหลัง รวมถึงลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานลงด้วย สอดคล้องกับยุทธศาสตร์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมมันสำปะหลังประเทศไทย พ.ศ. 2555 - 2559 (National Science and Technology Development Agency, 2012)

2. วิธีการศึกษา

2.1 การลงพื้นที่สำรวจกระบวนการผลิตในโรงงานผลิตแ่งมันสำปะหลัง

ดำเนินการสำรวจกระบวนการผลิตโรงงานผลิตแ่งมันสำปะหลัง บริษัทอุตสาหกรรมแ่งมันกาญจนาชัย จำกัด ณ บ้านเลขที่ 23/6 หมู่ที่ 6 บ้านท่าดินขาว ถนนบ้านแก่ง-น้ำอ่าง ตำบลน้ำอ่าง อำเภอตรอน จังหวัดอุดรดิตถ์ เพื่อศึกษากระบวนการผลิตแ่งมันสำปะหลังของโรงงานทั้งระบบ และทราบถึงวิธีการทำงานของเครื่องจักรในแต่ละขั้นตอน โดยเน้นในขั้นตอนการอบแห้งแ่งมันสำปะหลัง ซึ่งโรงงานนี้ใช้เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Pneumatic Conveying Dryer) ชนิดที่ป้อนวัสดุเปียกหรือแ่งหมาดเข้าเครื่องอบแห้งโดยตรง ซึ่งกระบวนการอบแห้งแ่งมันสำปะหลัง เริ่มจากการให้แ่งหมาดถูกนำไปลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 130-220 °C การไหลของลมร้อนจะพัดเอาแ่งขึ้นไปตามปล่องสูง ลมร้อนและแ่งจะไหลตามกันไปจนถึงไซโคลน ใช้เวลาในการอบแห้งสั้น ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมร้อนแสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วยท่อลมร้อนสูง 30 เมตร มีตัวป้อนแ่งหมาดเข้าไปในท่อลมร้อน แ่งที่ขึ้นจะไม่สามารถลอยข้ามปล่อง ส่วนแ่งที่แห้งจะเบาและถูกพาไปยังไซโคลนเพื่อแยกแ่งออกจากลมร้อน แ่งมันสำปะหลังที่ได้จากไซโคลนจะเป็นแ่งที่แห้งและละเอียด โดยลมร้อนจะถูกดูดออกจากปล่องโดยพัดลม



ภาพที่ 1 แผนผังระบบอบแห้งแ่งมันสำปะหลัง

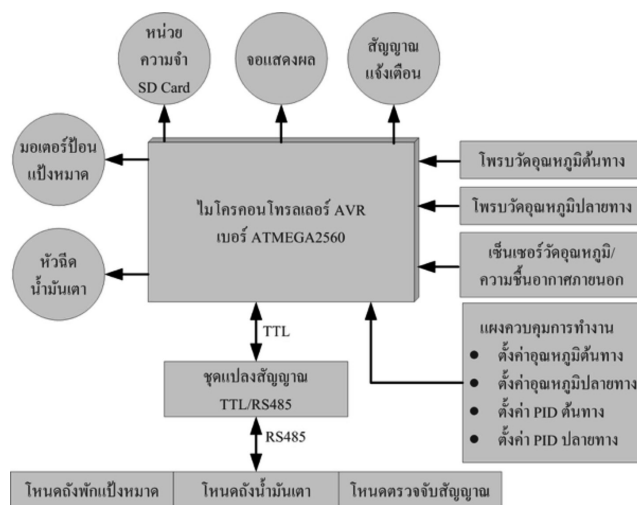
จากการศึกษาระบบควบคุมกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลังระบบเดิม ประกอบด้วยระบบควบคุมต้นทางและระบบควบคุมปลายทาง ซึ่งระบบควบคุมต้นทางมีหน้าที่สร้างลมร้อนจากการเผาไหม้น้ำมันเตา ใช้หัวฉีดน้ำมันจำนวน 3 หัวฉีด โดยหัวฉีดที่ 1 จะทำงานตลอดเวลา ส่วนหัวฉีดที่ 2 และ 3 ถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ 2 ชุด ซึ่งอ่านค่าจากโพรมิเตอร์โมดูลเปิดวัดอุณหภูมิลมร้อนต้นทาง โดยค่าอัตราเร็วการอบแห้งจะแปรผันตามค่าอุณหภูมิของลมร้อน ส่วนระบบควบคุมปลายทางเป็นระบบควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนขาออกปลายทางบริเวณหลังจากไซโคลนร้อน ให้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 52 - 55 °C หากอุณหภูมิของลมร้อนปลายทางต่ำกว่า set point จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นของแป้งสูง เครื่องควบคุมจะปรับให้มีอัตราการป้อนของแป้งให้น้อยลง ในทางกลับกัน หากอุณหภูมิของลมร้อนปลายทางสูงกว่า set point จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นของแป้งมีค่าเกินไป ส่งผลให้ได้ผลผลิตน้อยเพราะแป้งมีน้ำหนักเบา ไซโคลนไม่สามารถตกแป้งได้ เครื่องควบคุมจะปรับให้มีอัตราการป้อนของแป้งให้มากขึ้น

จากการศึกษาระบบควบคุมเดิมสามารถสรุปประเด็นปัญหาได้แก่ (1) ระบบควบคุมต้นทางทำงานอิสระจากกัน โดยตั้งค่า set point ที่เครื่องควบคุมตัวที่สอง (หัวฉีด 3) ส่วนเครื่องควบคุมตัวที่หนึ่ง (หัวฉีด 2) ตั้งค่าให้ต่ำกว่า 5 °C ทำให้ใช้เวลาในการเข้าสู่ set point มากขึ้น ระบบขาดความรวดเร็ว แม่นยำ และสิ้นเปลืองน้ำมันเตา (2) แป้งหมัดมีค่าความชื้นไม่คงที่ ทำให้ความชื้นของแป้งขาออกไม่คงที่ด้วย เนื่องจากขั้นตอนการเหวี่ยงแป้งใช้พนักงานตัดสินใจการปล่อยแป้งหมัด จึงทำให้เกิดความไม่แน่นอน ซึ่งระบบต้องรอจนกว่าอุณหภูมิของลมร้อนปลายทางลดต่ำลงก่อน ตัวควบคุมจึงจะลดอัตราเร็วในการป้อนแป้งลง ซึ่งอาจจะควบคุมความชื้นของแป้งขาออกไม่ทันต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว (3) ต้องมีพนักงานถึง 2 คนในการควบคุมกระบวนการอบแห้งเพื่อเฝ้าดูค่าอุณหภูมิและระดับปริมาณแป้งหมัดในถังพัก หากมีปริมาณอยู่ในระดับสูง พนักงานจะเร่งความเร็วในการอบแห้งโดยควบคุมอุณหภูมิลมร้อนต้นทางให้อยู่ระหว่าง 200 - 220 °C แต่ถ้าปริมาณอยู่ในระดับต่ำพนักงานจะลดความเร็วลงโดยควบคุมอุณหภูมิลมร้อนต้นทางให้อยู่ระหว่าง 150 - 180 °C ทั้งนี้หากไม่มีแป้งหมัดป้อนเข้าท่อลมอบแห้งและพนักงานไม่ลดอุณหภูมิลงหรือปิดหัวฉีด จะทำให้ความร้อนในท่อลมร้อนเกิดความร้อนสูงขึ้นมาก จนอาจก่อให้เกิดการอันตรายถึงขั้นระเบิดขึ้นได้

2.2 การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง

2.2.1 ภาพรวมของระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง

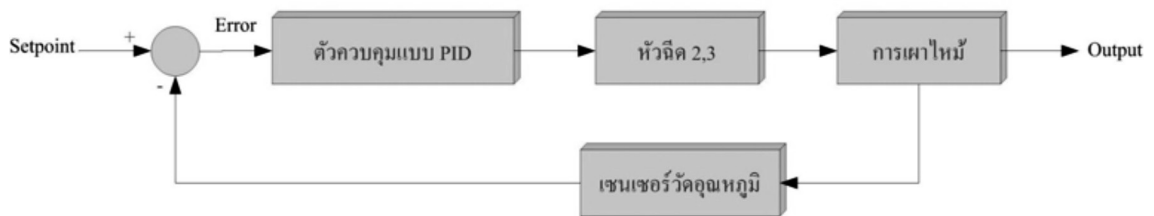
ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่พัฒนาขึ้น แบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ตัวควบคุมหลัก โหนดถังพักแป้งหมัด โหนดถังน้ำมันเตา และโหนดตรวจจับสัญญาณ แต่ละส่วนสื่อสารข้อมูลกันด้วยสายสัญญาณ RS485 โดยมีตัวควบคุมหลักเป็นตัวควบคุมการสื่อสารสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมภาพรวมของระบบได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมอัตโนมัติ

2.2.2 การพัฒนาการควบคุมของระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง

2.2.2.1 การควบคุมของระบบต้นทาง



ภาพที่ 3 การควบคุมของระบบต้นทาง

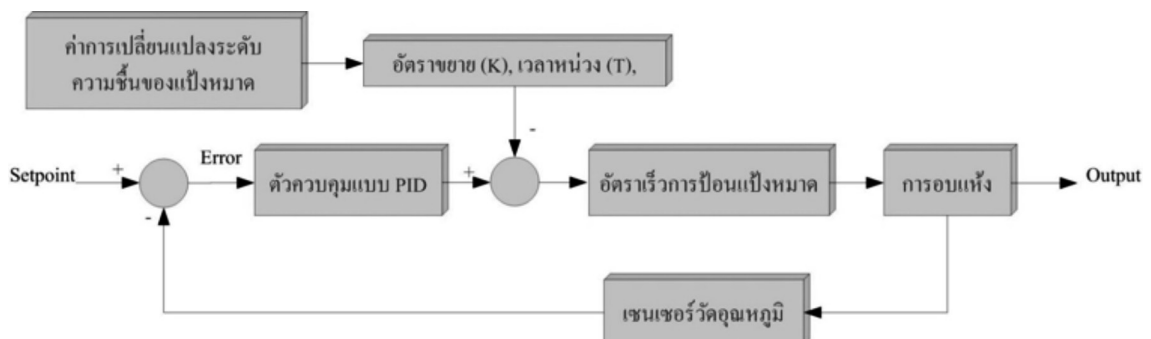
การควบคุมของระบบต้นทาง เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อควบคุมการเปิด/ปิดของหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 (หัวฉีด 1 เปิดตลอดเวลา) โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID ดังภาพที่ 3 ในการควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนต้นทางให้เท่ากับค่าที่พนักงานกำหนด set point ไว้ตลอดเวลาการทำงาน ซึ่งการเปิด/ปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 จะแบ่งออกเป็น 3 เงื่อนไข ได้แก่ (1) ปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 (2) เปิดหัวฉีด 2 ปิดหัวฉีด 3 และ (3) เปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 ขึ้นอยู่กับค่าที่ส่งออกมาจากตัวควบคุมแบบ PID ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 ตามตารางที่ 1 ใช้วิธีหาค่าพารามิเตอร์ Kp Ki และ Kd ตามทฤษฎีของ Ziegler-Nichols (Ogata, 1997)

ตารางที่ 1 การเปิด/ปิดหัวฉีด 2,3 ด้วยตัวควบคุมแบบ PID

ค่าจากตัวควบคุม PID [0-255]	หัวฉีด 2	หัวฉีด 3
น้อยกว่า 128	OFF	OFF
128 ถึง 254	ON	OFF
255	ON	ON

2.2.2.2 การควบคุมของระบบปลายทาง

การควบคุมของระบบปลายทางดังภาพที่ 4 เป็นการควบคุมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ป้อนแป้งหมัด ในการควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนปลายทางให้เท่ากับค่าที่พนักงานตั้งค่า set point ไว้ตลอดเวลาการทำงาน โดยการควบคุมของระบบปลายทางใหม่เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ ร่วมกับการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า



ภาพที่ 4 การควบคุมของระบบปลายทาง

การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าเป็นระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นมาโดยใช้ค่าการเปลี่ยนแปลงระดับความชื้นของแป้งหมัดตามสมการที่ (1) คูณกับอัตราขยาย (K) แล้วนำค่าที่ได้ไปลบกับค่าที่ส่งออกมาจากตัวควบคุม PID ก่อนส่งค่าไปควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์ป้อนแป้งหมัด โดยให้ค่าดังกล่าวเป็นเวลานานเท่ากับเวลาหน่วง (T) ทำให้ระบบ

สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าระดับความชื้นได้รวดเร็วขึ้น สามารถแก้ปัญหาผลผลิตเสียหายจากความชื้นของแป้งหมาดไม่คงที่ได้

$$\begin{aligned} \text{ค่าการเปลี่ยนแปลงระดับความชื้น} &= H_N - H_{N-1} \\ \text{โดยที่ } H_N &= \text{ค่าระดับความชื้นของแป้งหมาดปัจจุบัน (\%)} \\ H_{N-1} &= \text{ค่าระดับความชื้นของแป้งหมาดอดีต (\%)} \end{aligned} \quad (1)$$

2.3 การติดตั้งและทดสอบการทำงานของระบบควบคุม

การนำระบบไปติดตั้งที่โรงงานจริง โดยการติดตั้งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ตัวควบคุมหลัก ตู้โหนดถึงพักแป้งหมาด ตู้โหนดตรวจจับสัญญาณและตู้โหนดถึงน้ำมันเตา แต่ละส่วนสื่อสารข้อมูลกันด้วยสายสัญญาณ RS485 โดยควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าของแต่ละส่วนจากตัวควบคุมหลัก ติดตั้งเบรกเกอร์ทุกตู้เพื่อความปลอดภัย ดังภาพที่ 5 และทำการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของระบบควบคุมต่าง ๆ ได้แก่ การสลับสัญญาณควบคุมจากระบบเดิมของโรงงานเป็นระบบใหม่ที่พัฒนา การอ่านค่าโพรวัดอุณหภูมิต้นทาง โพรวัดอุณหภูมิปลายทาง การเปิด/ปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 อัตราการป้อนแป้งหมาด ระดับปริมาณแป้งหมาดในถังพัก ระดับความชื้นของแป้งหมาด และทดสอบการควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนที่ต้นทางและที่ปลายทาง



ตัวควบคุมหลัก โหนดถึงพักแป้งหมาด โหนดตรวจจับสัญญาณ โหนดถึงน้ำมันเตา

ภาพที่ 5 การติดตั้งและทดสอบการทำงานของระบบควบคุม

2.4 การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมต้นทาง

กำหนดขั้นตอนการทดลองดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตั้งค่า set point อุณหภูมิลมร้อนต้นทางให้เท่ากับ 215 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 2 ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิลมร้อนต้นทาง และสถานะการเปิด/ปิด ของหัวฉีด ความเร็วของมอเตอร์ป้อนแป้ง ในทุก ๆ 2 วินาที และเมื่ออุณหภูมิลมร้อนต้นทางเข้าสู่ set point แล้ว ให้ทำการบันทึกค่าต่อไปอีกเป็นเวลา 240 วินาที

ขั้นตอนที่ 3 ตั้งค่า set point อุณหภูมิลมร้อนต้นทางให้เท่ากับ 218 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 4 ทำการบันทึกค่าเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 5 ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4 จำนวน 3 ซ้ำ

2.5 การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง

กำหนดขั้นตอนการทดลองดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตั้งค่า set point อุณหภูมิลมร้อนปลายทางให้เท่ากับ 53 องศาเซลเซียส

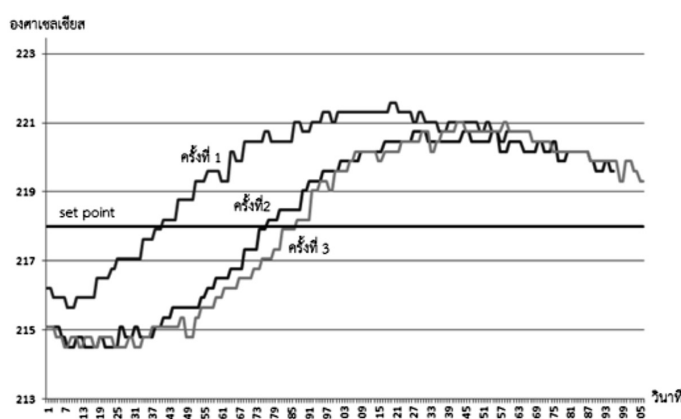
ขั้นตอนที่ 2 ตั้งค่า set point อุณหภูมิลมร้อนต้นทางให้เท่ากับ 215 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 3 ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิลมร้อนต้นทาง อุณหภูมิลมร้อนปลายทาง ความเร็วของมอเตอร์ป้อนแป้ง และสถานะการเปิด/ปิด ของหัวฉีด ทุก ๆ 2 วินาที เป็นเวลา 90 นาที

ขั้นตอนที่ 4 ทำการวัดค่าความชื้นแบ่งขาออก โดยใช้เครื่องวัดความชื้นแบ่งมันสำปะหลัง ตรวจวัดด้วยกระบวนการด้านทานกระแสไฟฟ้า อ่านค่าช่วงความชื้น 8.5-23.5 % ความผิดพลาดไม่เกิน 0.5 % อ่านค่าทุก ๆ 15 นาที และบันทึกผลจำนวน 6 ครั้ง และวัดอัตราการผลิต โดยทำการวัดปริมาณแบ่งมันสำปะหลังขาออก ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก แบ่งมันสำปะหลัง ขนาด 1 ตันของโรงงานผลิตแบ่งมันสำปะหลัง บริษัทอุตสาหกรรมแบ่งมันสำปะหลัง จำกัด

3. ผลการการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมต้นทาง



ภาพที่ 6 การตอบสนองของระบบใหม่กรณีตั้งค่า set point เท่ากับ 218 องศาเซลเซียส

จากการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมต้นทางของระบบเดิมในโรงงานเปรียบเทียบกับระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น พบว่าในกรณีที่ตั้งค่า set point สูงขึ้น จากเดิม 215 °C เป็น 218 °C ระบบใหม่ที่ใช้เวลาในการเข้าสู่ set point ครั้งแรก น้อยลง 138.66 วินาที ดังภาพที่ 6 มีความเร็วในการป้อนแบ่งหมาดมากขึ้น 13.55 % แต่มีการเปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 รวมกันมากขึ้น 115.34 วินาที ในกรณีที่ตั้งค่า set point ต่ำลง จากเดิม 218 °C เป็น 215 °C ระบบใหม่ที่ใช้เวลาในการเข้าสู่ set point ครั้งแรก น้อยลง 398 วินาที มีการเปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 รวมกันน้อยลง 102 วินาที มีความเร็วในการป้อนแบ่งหมาดมากขึ้น 1.27 %

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบควบคุมต้นทางของระบบเดิมและระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น

รายการข้อมูล	ระบบเดิม	ระบบใหม่	การเปลี่ยนแปลง
ช่วงก่อนเข้าสู่ set point กรณี 218 (°C)			
• เวลาที่เข้าสู่ set point ครั้งแรก (วินาที)	275.33	136.67	น้อยลง 138.66
• การเปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 (วินาที)	149.33	264.67	มากขึ้น 115.34
• ความเร็วในการป้อนแบ่งหมาดเฉลี่ย (%)	68.12	81.67	มากขึ้น 13.55
ช่วงก่อนเข้าสู่ set point กรณี 215 (°C)			
• เวลาที่เข้าสู่ set point ครั้งแรก (วินาที)	537	139.00	น้อยลง 398
• การเปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 (วินาที)	102	0	น้อยลง 102
• ความเร็วในการป้อนแบ่งหมาดเฉลี่ย (%)	69.62	70.89	มากขึ้น 1.27
ช่วงหลังเข้าสู่ set point แล้วเป็นเวลา 240 วินาที			
• ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	0.71	1.83	มากขึ้น 2.00
• การเปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 (วินาที)	79.67	105	มากขึ้น 25.33
• ความเร็วในการป้อนแบ่งหมาดเฉลี่ย (%)	72.79	77.54	มากขึ้น 4.75

สำหรับช่วงหลังเข้าสู่ set point แล้ว เป็นระยะเวลา 240 วินาที พบว่าระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นมีความเร็วในการป้อนแบ่งหามาตรมากขึ้น 4.75 % แต่มีค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) สูงกว่าระบบเดิมในโรงงาน 2.00 มีการเปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 รวมกันมากขึ้น 25.33 วินาที ตามผลในตารางที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากระบบใหม่ซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบ PID มีการตั้งค่าพารามิเตอร์ Kp Ki และ Kd ที่อาจยังไม่เหมาะสม มีค่า Kp และ Ki สูงเกินไป ทำให้ระบบตอบสนองไว แต่มีพฤติกรรมการสั่นและโอเวอร์ชูตที่สูง (Kuntanapreeda, 2009) สำหรับการทดลองที่ลดค่า set point ลง ระบบใหม่มีประสิทธิภาพมากกว่า เพราะเมื่อค่าผิดพลาด (Error) ติดลบ ตัวควบคุมแบบ PID จะปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 จนกว่าค่าผิดพลาดจะเป็นค่าบวก ส่วนระบบเดิมยังมีการเปิดหัวฉีด 3 เป็นระยะ ๆ ทำให้ระบบตอบสนองได้ช้า

3.2 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลังของระบบเดิมในโรงงานและระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น

จากการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมสำหรับกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลังของระบบเดิมในโรงงานเปรียบเทียบกับระบบที่พัฒนาขึ้น โดยตั้งค่า set point อุณหภูมิลมร้อนปลายทางให้เท่ากับ 53 °C ตั้งค่า set point อุณหภูมิลมร้อนต้นทางให้เท่ากับ 215 °C เป็นเวลา 90 นาที พบว่าระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น มีการเปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 เป็นเวลา 315 วินาที เพิ่มขึ้นจากระบบเดิม 164.33 วินาที ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) 0.93 ลดลงจากระบบเดิม 0.02 ความชื้นแป้งขาออกเฉลี่ย 13.37 % เพิ่มขึ้นจากระบบเดิม 0.17 % ดังตารางที่ 3 ทั้งนี้เกิดจากระบบควบคุมต้นทางมีการตอบสนองไว แต่มีพฤติกรรมการสั่นและโอเวอร์ชูตที่สูง ส่วนระบบควบคุมปลายทางมีประสิทธิภาพสูงจึงสามารถควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนปลายทางได้ดีขึ้น สำหรับค่าความชื้นแป้งขาออกมีค่าระหว่าง 11.80 - 14.06 % สอดคล้องกับงานวิจัยของ Phattaravichien (1998) ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่ของโรงงานแป้งมันสำปะหลังเกิดจากการควบคุมการผลิตที่ไม่ดีพอ การป้อนแบ่งไม่ต่อเนื่อง พนักงานควบคุมต้องพยายามปรับเพื่อให้ความชื้นแป้งได้มาตรฐาน โดยค่าความชื้นแป้งจะแกว่งตัว ในช่วง 9 - 18 %

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบควบคุมกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลัง

รายการข้อมูล	ระบบเดิม	ระบบใหม่	การเปลี่ยนแปลง
การเปิดหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 (วินาที)	150.67	315	มากขึ้น 164.33
ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	0.95	0.93	ลดลง 0.02
S.D. ค่าผิดพลาดอุณหภูมิปลายทาง (°C)	0.71	0.89	มากขึ้น 0.18
ความชื้นแป้งขาออก (%)	13.20	13.37	มากขึ้น 0.17

3.3 อัตราการผลิตแป้งมันสำปะหลังระบบเดิมของโรงงานกับระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น

จากการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการบรรจุผลผลิตแป้งใส่กระสอบขนาด 850 กิโลกรัม จำนวน 6 ครั้ง ขณะที่ใช้ระบบควบคุมเดิมของโรงงานเปรียบเทียบกับระบบควบคุมใหม่ที่พัฒนาขึ้น คำนวณเป็นอัตราการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ได้ พบว่าระบบเดิมของโรงงานมีอัตราการผลิตแป้ง เฉลี่ย 3.43 ตัน/ชั่วโมง ส่วนระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นมีอัตราการผลิตแป้ง เฉลี่ย 3.69 ตัน/ชั่วโมง สูงขึ้น 0.26 ตัน/ชั่วโมง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อัตราการผลิตแ่งมันสำปะหลังระบบเดิมของโรงงานกับระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น

ระบบที่ใช้ควบคุม	อัตราการผลิตแ่งมันสำปะหลัง (ตัน/ชั่วโมง)						เฉลี่ย (ตัน/ชั่วโมง)
	1	2	3	4	5	6	
ระบบเดิม	3.92	3.00	2.83	2.55	4.64	3.64	3.43
ระบบใหม่	3.64	3.92	3.40	3.00	4.25	3.92	3.69

ผลการทดสอบความแตกต่างของอัตราการผลิตแ่งมันสำปะหลังในระบบเดิมของโรงงานกับระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น พบว่าอัตราการผลิตแ่งมันสำปะหลังของระบบเดิมในโรงงานมีค่าเฉลี่ย 3.43 ตัน/ชั่วโมง ส่วนระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ย 3.69 ตัน/ชั่วโมง ซึ่งมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับระบบเดิมของโรงงาน 0.26 ตัน/ชั่วโมง และจากการทดสอบด้วยสถิติทดสอบ t-test พบว่า กระบวนการผลิตแ่งมันสำปะหลังระบบเดิมของโรงงานกับระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นให้อัตราการผลิตแ่งมันสำปะหลังที่ไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความแตกต่างอัตราการผลิตแ่งมันสำปะหลังของระบบเดิมของโรงงานกับระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น

ระบบควบคุมการผลิตแ่งมันสำปะหลัง	n	Mean	SD.	Mean difference	t	p
ระบบเดิมในโรงงาน	6	3.43	0.78	0.29	.703	.498
ระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น	6	3.69	0.44			

3.4 การวิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์

จากข้อมูลการใช้ น้ำมันเตาของโรงงาน ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2560 ถึงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2560 ซึ่งใช้ระบบควบคุมกระบวนการอบแห้งในกระบวนการผลิตแ่งมันสำปะหลังระบบเดิม พบว่าโรงงานมีอัตราการใช้ น้ำมันเตาเท่ากับ 41.69 ลิตร/ตันแ่ง น้ำมันเตาราคาเฉลี่ย 14 บาท คิดเป็นต้นทุนน้ำมันเตาเท่ากับ 583.70 บาท/ตันแ่ง

การใช้ น้ำมันเตาเพื่อผลิตลมร้อนป้อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้งใช้หัวฉีดน้ำมันเตาจำนวน 3 หัวฉีด โดยหัวฉีด 1 จะเปิดทำงานตลอดเวลา ส่วนหัวฉีด 2 และหัวฉีด 3 ถูกควบคุมการเปิด/ปิด ซึ่งจากการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแ่งมันสำปะหลังเป็นเวลา 90 นาทีหรือ 5400 วินาที ระบบเดิมในโรงงานมีการเปิดหัวฉีดทั้ง 3 รวมกันเท่ากับ 5,550.67 วินาที ระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นมีการเปิดหัวฉีดทั้ง 3 หัวรวมกัน 5,715 วินาทีเพิ่มขึ้น 2.96 % และระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นมีอัตราการผลิต 3.69 ตัน/ชั่วโมง คิดเป็น 88.56 ตัน/วัน ซึ่งมีอัตราการผลิตสูงขึ้น 0.26 ตัน/ชั่วโมง คิดเป็น 6.24 % ค่าต้นทุนน้ำมันเตาได้เท่ากับ 558.63 บาท/ตันแ่ง ลดลง 4.29 % สามารถลดต้นทุนน้ำมันเตาได้วันละ 2,220.20 บาท

ระบบควบคุมอัตโนมัติมีต้นทุนเป็นเงิน 170,000 บาท สามารถลดต้นทุนค่าแรงงานได้ 1 คน คิดอัตราค่าจ้างขั้นต่ำ 300 บาทต่อ 8 ชั่วโมงทำการ ซึ่งโรงงานทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ค่าต้นทุนการลดต้นทุนค่าแรงงานได้ 900 ต่อวัน เมื่อรวมกับการลดต้นทุนน้ำมันเตาแล้ว สามารถคำนวณจุดคุ้มทุนเบื้องต้นได้เท่ากับ 170,000/3,120.20 หรือประมาณ 55 วัน พิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจจากกล่าวได้ว่า การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแ่งมันสำปะหลัง มีความคุ้มค่าในการลงทุน

4. สรุปผล

ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับกระบวนการอบแห้งแ่งมันสำปะหลังที่พัฒนาขึ้น แบ่งการออกทำงานออกเป็น 4 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ตัวควบคุมหลัก โหนดถังพักแ่งมันสำปะหลัง โหนดถังน้ำมันเตา และโหนดตรวจจับสัญญาณ แต่ละส่วนสื่อสารข้อมูลกันด้วยสายสัญญาณ RS485 โดยมีตัวควบคุมหลักเป็นตัวควบคุมการสื่อสาร เมื่อทำการประสิทธิภาพของ

ระบบควบคุมต้นทุนของระบบเดิมในโรงงานเปรียบเทียบกับระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น พบว่าระบบควบคุมต้นทุนที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนต้นทางให้เข้าสู่ set point ทั้งกรณีเพิ่มและลดอุณหภูมิได้รวดเร็วกว่าระบบเดิมเป็นอย่างมาก สามารถป้องกันแรงแผดด้วยความเร็วที่มากกว่า ในกรณีตั้งค่า set point ให้ต่ำลงจะไม่มีเปิดหัวฉีดน้ำมันเตา 2 และหัวฉีด 3 เลย ทำให้ระบบสามารถเข้าสู่ set point ได้รวดเร็วและประหยัดน้ำมันเตา แต่ในกรณีตั้ง set point ให้สูงขึ้น และกรณีหลังเข้าสู่ set point ไปแล้ว จะมีการเปิดหัวฉีดน้ำมันเตา 2 และหัวฉีด 3 มากกว่าระบบเดิม

ระบบควบคุมสำหรับกระบวนการอบแห้งแป้งมันสำปะหลังระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิลมร้อนปลายทางให้เข้าสู่ set point ได้แม่นยำกว่าระบบเดิม มีอัตราการผลิตสูงกว่า มีความชื้นแป้งใกล้เคียงกัน สามารถลดต้นทุนค่าน้ำมันเตาและค่าแรงงานได้มาก มีความคุ้มค่าในการลงทุน อย่างไรก็ตาม ระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นมีการใช้น้ำมันเตาสูงกว่าระบบเดิม ส่วนผลการเปรียบเทียบความชื้นแป้งขาออก (%) และอัตราการผลิตแป้งมันสำปะหลังระบบเดิมของโรงงานกับระบบที่พัฒนาขึ้น ให้ความชื้นแป้งขาออก และผลผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ไม่แตกต่างกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เงินทุนวิจัยในครั้งนี้ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันกาญจนชัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยทดลอง และขอขอบคุณนายอลงกรณ์ ดั่งสา และนายสุทธิพันธ์ ละวรรณ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้จนประสบความสำเร็จ

6. เอกสารอ้างอิง

- Automatic Control Systems. 2008. **Automatic Control System**. <http://www.men.neu.ac.th/web%20%20control/control1.html>. Accessed 15 June 2017.
- Food Intelligence Center. 2016. **Thai Food Industry Report May 2016**. http://fic.nfi.or.th/food_industry_monthly_Situation_detail.php?smid=1328. Accessed 20 June 2017.
- Kuntanapreeda, S. 2009. **Automatic Control Engineering**. Technology Promotion Association Thaiand-Japan), Bangkok. (in Thai)
- Lerdlattaporn, R. 2010. **Tapioca Starch Manufacturing**. <http://www.thailandtapiocastarch.net/technology-detail/4/2/>. Accessed 22 July 2017.
- National Science and Technology Development Agency. 2012. **Thailand Tapioca Industry Research and Development Strategy 2012-2016**. 2nd ed. National Science and Technology Development Agency Ministry of Science and Technology, Bangkok. (in Thai),
- Office of Agricultural Economics. 2017. **Agricultural Economic Information 2017**. Office of Agricultural Economics Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai)
- Ogata, K. 1997. **Modern Control Engineering**. 3rd ed. New Jersey, Prentice-Hall.
- Phattaravichien, S. 1998. **Improvement of the Tapioca Starch Drying Process**. Master of Engineering Thesis. Faculty of Engineering, Chemical Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok. (in Thai)
- Tanadolthanakiat, N. 2017. **Process and production system of tapioca starch in starch factories Kanchanachai Company Limited**. Interviewed on 22 June 2017. (in Thai)

อิทธิพลของสัดส่วนชีวมวลผสมและอุณหภูมิไพโรไลซิสที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของถ่านที่ผลิตได้ในกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า เพื่อประยุกต์ไปใช้เชิงธุรกิจชุมชน

Effect of Biomass ratio and pyrolysis temperature on the quantity and quality of Bio-char produced through Slow Pyrolysis applied in the business community

พิมพ์โสภณ สดเยี่ยม¹ ฉัตรชัย เบญจปิยะพร¹ และ ณัฐดนัย พรรณเจริญวงศ์^{2*}

Pimsopit Sod-ium¹, Chatchai Benjapiyaporn¹ and Nattadon Pannucharoenwong^{2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Pathum Thani

*E-mail: pnattado@engr.tu.ac.th โทร. 038-259050-55

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการไพโรไลซิสร่วมแบบช้าของชีวมวล 3 ชนิด คือ ชานอ้อย ใบอ้อย และผักตบชวา โดยใช้เตาปฏิกรณ์เบดนิ่งขนาดห้องปฏิบัติการในการทดสอบเพื่อศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนชีวมวลผสมและอุณหภูมิไพโรไลซิสที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของถ่านที่ผลิตได้ โดยมีเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบ คืออุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าที่ 300, 550 และ 700 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของไนโตรเจน 50 มิลลิลิตรต่อนาที อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และ สัดส่วนของชานอ้อยต่อใบอ้อยต่อผักตบชวา คือ 0:1:2, 0:2:1, 1:2:0, 1:0:2, 2:1:0, 2:0:1 และ 1:1:1 จากการทดลองพบว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์ของถ่านชีวภาพเฉลี่ยเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 300, 550 และ 700 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 39.3, 29.40 และ 25.12 ตามลำดับ ถ่านชีวภาพที่มีค่าความร้อนผ่านเกณฑ์ค่าความร้อนขั้นต่ำของมาตรฐานชุมชน คือ ถ่านที่มีสัดส่วน 0:2:1, 1:2:0, 2:1:0, 2:0:1 และ 1:1:1 โดยถ่านที่ให้ค่าความร้อนสูงที่สุดคือ ถ่านที่มีสัดส่วน 1:2:0 ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสได้ค่าความร้อน 6,148 แคลอรีต่อกรัม ถ่านชีวภาพที่สามารถนำไปใช้ในเชิงพลังงานมีสัดส่วนของชีวมวล ชานอ้อยต่อใบอ้อยต่อผักตบชวา คือ 1:0:2 และ 0:1:2 ใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 300 องศาเซลเซียส มีค่า Energy Recovery ร้อยละ 57

คำสำคัญ : ชานอ้อย ใบอ้อย ผักตบชวา ถ่านชีวภาพ อุณหภูมิไพโรไลซิส

Abstract

The aim of this work was to investigate co-pyrolysis of 3 types of biomass; sugarcane bagasse, sugarcane leaves and water hyacinth, carried out in a laboratory-scale fix-bed reactor unit. The parametric study of the effect of the ratio of biomass for testing condition to pyrolysis temperature at 300, 550 and 700 °C, Nitrogen flow rate 50 mL/min, heating rate 10°C/min. The ratios of 3 components (sugarcane bagasse: sugarcane leave: water hyacinth) were 0:1:2, 0:2:1, 1:2:0, 1:0:2, 2:1:0, 2:0:1 and 1:1:1. The results showed that the average bio-char yield burned at 300, 550 and 700 °C was 39.3%, 29.40%, and 25.12% respectively. The heating values of bio-char produced at the ratio of 0:2:1, 1:2:0, 2:1:0, 2:0:1 and 1:1:1 were higher than the community standard. The highest heating value of bio-char with the composite ratio of 1:2:0 was 6,148 cal/g. Qualified bio-char produced from biomass with the ratio of 1:0:2 and 0:1:2 at pyrolysis temperature of 300°C yielded an energy

recovery of 57 %.

Keywords : sugarcane bagasse, sugarcane leaves, water hyacinth, bio-char, pyrolysis temperature

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานหลักที่ใช้มาจากพลังงานฟอสซิลถึง 90% อาทิเช่น ถ่านหิน น้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูงแต่ก็มีข้อเสียที่ราคาแพง ในอนาคตแนวทางการใช้พลังงานมุ่งเน้นไปในการใช้พลังงานทางเลือกและพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น พลังงานที่มาจากวัสดุชีวภาพเป็นพลังงานที่เหลือใช้ สะอาดและถือว่าเป็นกระบวนการที่ไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพราะมีการดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ตลอดการเจริญเติบโตของพืช วัสดุชีวามวลสามารถนำมาเป็นแหล่งพลังงานเช่นเดียวกับพลังงานฟอสซิลที่มีข้อได้เปรียบคือ มีส่วนประกอบของเซลล์เพอร์ดำและมีปริมาณของไนโตรเจนที่มากกว่าพลังงานชนิดอื่น (Yu *et al.*, 2014) แหล่งกำเนิดของพลังงานชีวมวลทั่วโลกมีประมาณ 2.2×10^{11} เมกกะกรัม ในปี ค.ศ. 2050 คาดว่าจะมีการใช้พลังงานชีวมวลโดยตรงที่ 38% และใช้เพื่อผลิตไฟฟ้า 17% ทำให้พลังงานชีวมวลกลายเป็นแหล่งของพลังงานทดแทนหลักแทนการใช้พลังงานฟอสซิล (Yorgun *et al.*, 2015) วัสดุชีวมวลได้แก่ ไม้ เศษไม้ เศษพืชจากการเก็บเกี่ยว เป็นต้น

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมอันดับต้น ๆ ของโลก ซึ่งประชากรกว่าครึ่งของประเทศมีอาชีพเป็นเกษตรกร รัฐบาลได้ผลักดันให้พื้นที่ที่ไม่เหมาะกับการปลูกข้าวหันไปปลูกอ้อยโรงงาน มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมันและข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ที่ทนต่อสภาพอากาศ ซึ่งพืชเหล่านี้เมื่อถึงกระบวนการเก็บเกี่ยวมักมีเศษเหลือทิ้งที่เกษตรกรไม่นำไปใช้ประโยชน์ อาทิเช่น ข้าวจะมีฟางข้าว อ้อยจะมีใบอ้อย เป็นต้น (Office of the Cane and Sugar Board, 2560) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกอ้อยปริมาณมากที่สุดถึง 4,566,133 ไร่ ก่อนกระบวนการเก็บเกี่ยวต้นอ้อย เกษตรกรจำนวนมากนิยมใช้วิธีการเผาเพื่อลดขั้นตอนในการตัดอ้อยส่งขายให้กับโรงงานน้ำตาลทำให้เกิดมลพิษทางอากาศแก่ชุมชนใกล้เคียงปริมาณใบอ้อยที่ทิ้งไว้ในไร่ประมาณ 1.4 ตันต่อไร่ (Sarakhun, 2553) ถือว่าเป็นกำไรที่หายไปจากโรงงาน ในช่วงเริ่มฤดูฝนหลายจังหวัดในประเทศไทยประสบปัญหาเกี่ยวกับการระบายน้ำที่ไม่ดีเนื่องจากมีวัชพืชน้ำที่ขวางทางการไหลของน้ำอยู่จำนวนมาก ส่งผลต่อการเดินเรือขนถ่ายสินค้ารวมทั้งเกิดกลิ่นเหม็นจากการเน่าเสียของวัชพืช ทางราชการได้มีการขุดลอกคลองชลประทานและกำจัดผักตบชวาที่ขึ้นอย่างหนาแน่นทั้งในคลอง หนองน้ำ หรือแม้กระทั่งภายในบ่อบำบัดน้ำเสียของทางราชการ ผักตบชวาที่ถูกกำจัดส่วนหนึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในด้านหัตถกรรมและบางส่วนนำไปทิ้งเพื่อรอการย่อยสลาย จากข้างต้นจะเห็นได้ว่าวัสดุเหลือใช้ไม่ว่าจะเป็นขานอ้อย ใบอ้อยจากอุตสาหกรรมน้ำตาลและผักตบชวาในแต่ละท้องถิ่น ยังเป็นวัสดุทางการเกษตรที่ยังไม่ได้ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้แก่ชุมชนเท่าที่ควร

เทคโนโลยีของการเปลี่ยนแปลงพลังงานชีวมวลมักใช้กระบวนการทางอุณหภูมิ-เคมี (Thermal-chemical process) ที่เรียกว่า กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็น (carbon negative property) ที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนแก่ชีวมวลโดยปราศจากก๊าซออกซิเจนซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของน้ำมันชีวภาพ (bio-oil) ก๊าซชีวภาพ (bio-gas) และถ่านชีวภาพ (biochar) (Lehmann *et al.*, 2006) กระบวนการทางอุณหภูมิ-เคมีมีหลายกระบวนการแตกต่างกัน เช่น แก๊สซิฟิเคชัน (gasification) ไพโรไลซิส (pyrolysis) ทอริแฟคชัน (torrefaction) และการเผาไหม้โดยตรง (combustion) จะให้ลักษณะและสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันตามเงื่อนไขของแต่ละกระบวนการ ไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast pyrolysis) จะให้ปริมาณของเหลวมาก แก๊สซิฟิเคชันให้แก๊สสูงสุด ไพโรไลซิสแบบช้าและทอริแฟคชันมีถ่านเป็นผลิตภัณฑ์หลัก และการเผาไหม้ให้ผลิตภัณฑ์ในรูปของความร้อน (A.V. Bridgewater, 2003) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการไพโรไลซิสมีหลายตัวแปรเช่น อุณหภูมิ (temperature) อัตราการให้ความร้อน (heating rate) ความดัน (pressure) ก๊าซเฉื่อย (purge gas) และขนาดของวัสดุ (particle size) (Lee *et al.*, 2013) กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าเป็นวิธีที่ใช้น้ำไปในการเปลี่ยนวัสดุชีวมวลเหลือใช้ตัวอย่างเช่น เศษวัสดุทางการเกษตรไม่ว่าจะเป็นฟางข้าว หญ้า ต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด ใบอ้อย มูลสุกร มูลสัตว์ปีกและมูลวัว ให้กลายมาเป็นถ่านชีวภาพ

การผลิตถ่านชีวภาพที่มีเงื่อนไขที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณสมบัติของถ่านที่ได้เช่น ปริมาณ (yield) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (carbon content) พื้นที่ผิว (surface area) ปริมาตรรูพรุน (pore volume) และคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เป็นตัวกำหนดความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ถ่านชีวภาพสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับดินเพื่อให้เป็นวัสดุปรับปรุงสภาพดิน (soil conditioner) ช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนในดินที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ (soil organic carbon) (Yue *et al.*, 2017) ช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำและสารอาหาร ทำให้ลดปริมาณปุ๋ย (Jeffery *et al.*, 2011) และยังช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากดิน เช่น ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และมีเทน (CH_4) (Van Zweiten *et al.*, 2009) และนำไปใช้กับน้ำเสียเพื่อเป็นตัวดูดซับสารโลหะหนักเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนการบำบัดและลดความเสี่ยงของการเจือปนไปสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (Higashikawa *et al.*, 2016)

มีงานวิจัยหลากหลายงานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไม่ว่าจะเป็น ชังข้าวโพด ไม้ไผ่ กะลา กาแฟ มะพร้าว ชานอ้อย ซึ่งถ่านแต่ละชนิดให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันและมีนักวิจัยบางท่านได้ศึกษาเกี่ยวกับการผสมวัสดุเหลือใช้ (Co-pyrolysis) เช่น ชานอ้อยและกากตะกอนน้ำเสีย กากตะกอนน้ำเสียกับไม้สน (Lin *et al.*, 2017) ฟางข้าวกับกากตะกอนน้ำเสีย (Huang *et al.*, 2015) กากตะกอนเยื่อกระดาษกับขยะมูลฝอย (Fang *et al.*, 2015) (Fang *et al.*, 2017) ชานอ้อยกับโพลีเอทิลีน (Dewangan *et al.*, 2016) ชานอ้อยกับสาหร่าย (Hua *et al.*, 2016) เป็นต้น การผสมวัสดุเหลือใช้หรือขยะเข้าด้วยกันเพื่อลดปริมาณของขยะหรือชีวมวลในแต่ละพื้นที่และที่สำคัญยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มปริมาณของผลิตภัณฑ์เป้าหมายเพื่อให้ถ่านหรือของแข็งที่ได้สูงขึ้น (Dewangan *et al.*, 2016)

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยเห็นจุดเด่นของการผสมรวมกันระหว่างวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิดเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจากคุณสมบัติพื้นฐานเฉพาะตัวของแต่ละชีวมวล ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการนำชีวมวลที่เหลือใช้มาผสมกันเป็นวัสดุตั้งต้นของการผลิตถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า (Slow pyrolysis) ซึ่งมีวัสดุชีวมวลตั้งต้น 3 ชนิดคือ ชานอ้อย ใบอ้อยและผักตบชวา โดยมีสัดส่วนที่แตกต่างกันคือ 0:1:2, 0:2:1, 1:2:0, 1:0:2, 2:1:0, 2:0:1 และ 1:1:1 อุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis temperature) แตกต่างกัน 3 อุณหภูมิคือ 300, 550 และ 700 องศาเซลเซียส ระยะเวลาคงอุณหภูมิ (Holding Time) 1 ชั่วโมง เพื่อดูอิทธิพลของสัดส่วนชีวมวลและอุณหภูมิไพโรไลซิสที่ส่งผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์โดยรวมถึงค่าความร้อนของถ่าน และความเป็นไปได้ในการนำถ่านที่ผลิตได้ไปใช้ในด้านพลังงานเชิงธุรกิจของชุมชน

2. วิธีการทดลอง

2.1 เตรียมชีวมวล

ชีวมวลที่นำมาใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสมี 3 ชนิดคือ ชานอ้อย ใบอ้อย และผักตบชวา นำมาลดความชื้นด้วยกระบวนการตากแห้ง 5 วัน นำไปลดขนาดของวัสดุด้วยเครื่องสับหยาบ ต่อด้วยกระบวนการอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, UF55) ที่อุณหภูมิ 105 องศา 2 ชั่วโมง (Ghorbannezhad *et al.*, 2018) จากนั้นชั่งน้ำหนักดูความชื้นของชีวมวลให้มีค่าไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (Alvarez *et al.*, 2015)

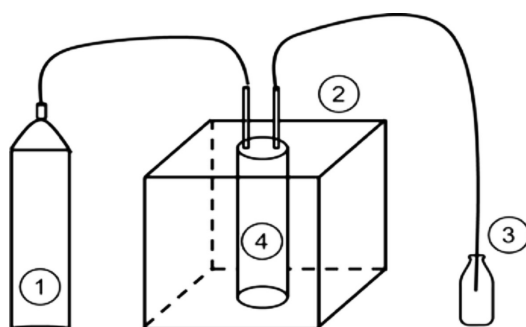
2.2 กระบวนการผลิตถ่าน

การผลิตถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor) ที่มีการติดตั้งตัวให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องด้วยขดลวดไฟฟ้า ภายในเตาเผาจะมีแท่งโลหะทรงกระบอกตรงกลางเพื่อบรรจุชีวมวลที่มีขนาดประมาณ 0.5-1.5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 1 เตาปฏิกรณ์มีอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เพื่อให้ชีวมวลเกิดกระบวนการย่อยสลายทางความร้อนอย่างช้า ๆ ในการทดลองแต่ละครั้งจะกำหนดให้มีวัสดุชีวมวลปริมาณเท่ากันที่ 120 กรัม มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไพโรไลซิส 3 อุณหภูมิ เปลี่ยนแปลงสัดส่วนของวัสดุชีวมวลเริ่มต้นโดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 เมื่อบรรจุชีวมวลลงในเตาปฏิกรณ์เรียบร้อยแล้ว จะมีการเปิดก๊าซไนโตรเจนเพื่อไล่อากาศและ

ออกซิเจนที่อยู่ภายใต้แรงดันบรรยากาศใช้เวลา 5 นาที โดยที่ก๊าซไนโตรเจนมีอัตราการไหลที่ 50 มิลลิลิตรต่อนาที (Morali *et al.*, 2016) จากนั้นถึงเปิดเตาเผาเพื่อให้อุปกรณ์กำเนิดความร้อนทำงาน เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดในการคงอุณหภูมิที่ 1 ชั่วโมง เครื่องกำเนิดความร้อนจะหยุดทำงานจึงทำการปิดวาล์วไนโตรเจน รอจนถ่านเย็นตัวภายในเตาปฏิกรณ์ถึงทำการทดสอบเงื่อนไขถัดไป น้ำหนักของถ่านชีวภาพหาได้จากสมการที่ (1)

$$\% \text{yield Biochar} = \frac{\text{มวลของถ่านชีวภาพ (กรัม)}}{\text{มวลทั้งหมดของวัสดุชีวภาพเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100 \quad (1)$$

จากนั้นนำถ่านที่ผลิตได้ไปทดสอบหาค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter (IKA, C5003) ใช้หลักการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D240 ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ถ่านชีวภาพปลดปล่อยออกมาเมื่อมีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ภายใต้บรรยากาศออกซิเจนที่มีความดันสูง ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังน้ำที่อยู่บริเวณรอบ ๆ ลูกบอมบ์ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำจะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อนที่ถ่านชีวภาพปลดปล่อยออกมาในหน่วยแคลอรีต่อกรัม (Chaiwong and Siripornakrachai, 2016)



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของเตาปฏิกรณ์

1. ถังไนโตรเจน 2. เตาปฏิกรณ์ 3. ชุดควบแน่น 4. แท่งบรรจุชีวมวล

ตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขการผลิตถ่าน

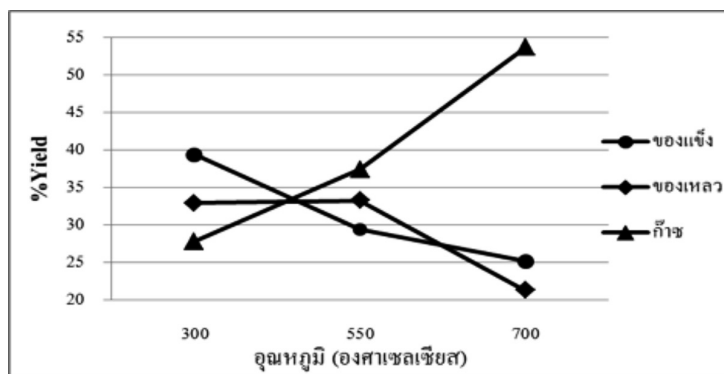
การทดลอง	ชีวมวล (กรัม)			อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ระยะเวลาคงอุณหภูมิ (ชั่วโมง)
	ชานอ้อย	ใบอ้อย	ผักตบชวา		
B2CL1	80	40	-	300/550/700	1
B2WH1	80	-	40	300/550/700	1
B1CL2	40	80	-	300/550/700	1
CL2WH1	-	80	40	300/550/700	1
B1WH2	40	-	80	300/550/700	1
CL1WH2	-	40	80	300/550/700	1
B1CL1WH1	40	40	40	300/550/700	1

คำอธิบายตัวย่อ B2CL1 คือ ชีวมวลตั้งต้นที่ประกอบด้วย ชานอ้อย 80 กรัม ใบอ้อย 40 กรัม
 B2WH1 คือ ชีวมวลตั้งต้นที่ประกอบด้วย ชานอ้อย 80 กรัม ผักตบชวา 40 กรัม
 B1CL2 คือ ชีวมวลตั้งต้นที่ประกอบด้วย ชานอ้อย 40 กรัม ใบอ้อย 80 กรัม
 CL2WH1 คือ ชีวมวลตั้งต้นที่ประกอบด้วย ใบอ้อย 80 กรัม ผักตบชวา 40 กรัม
 B1WH2 คือ ชีวมวลตั้งต้นที่ประกอบด้วย ชานอ้อย 40 กรัม ผักตบชวา 80 กรัม
 CL1WH2 คือ ชีวมวลตั้งต้นที่ประกอบด้วย ใบอ้อย 40 กรัม ผักตบชวา 80 กรัม
 B1CL1WH1 คือ ชีวมวลตั้งต้นที่ประกอบด้วย ชานอ้อย 40 กรัม ใบอ้อย 40 กรัม ผักตบชวา 40 กรัม

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 อุณหภูมิต่อปริมาณผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 2 แสดงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของของเหลว (Bio-oil yields) เท่ากับ 32.92%, 33.21%, 21.25% ที่อุณหภูมิ 300, 550 และ 700 องศาเซลเซียสตามลำดับ อธิบายได้ว่าสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงไปกับไอน้ำที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ก่อนเปลี่ยนไปสู่ปฏิกิริยาขั้นถัดไปทำให้ผลิตภัณฑ์ในรูปก๊าซมากขึ้น (Morali *et al.*, 2016) ผลิตภัณฑ์ในรูปของถ่าน (Char yields) ที่ 39.35%, 29.40% และ 25.12% ที่อุณหภูมิ 300, 550 และ 700 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ปริมาณถ่านลดลงเพราะการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของถ่านทำให้เกิดก๊าซที่ไม่สามารถควบแน่นได้ (Morali *et al.*, 2016) และผลิตภัณฑ์ในรูปของก๊าซที่ 27.74%, 37.38% และ 53.63% ที่อุณหภูมิ 300, 550 และ 700 องศาเซลเซียสตามลำดับ ปริมาณก๊าซที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาขั้นที่สองของไฮโดรคาร์บอนอุณหภูมิสูง (Yorgun and Yildiz, 2015)



ภาพที่ 2 แสดงปริมาณของแข็ง ของเหลว และก๊าซเฉลี่ยเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า

3.2 สัดส่วนชีวมวลต่อปริมาณถ่าน

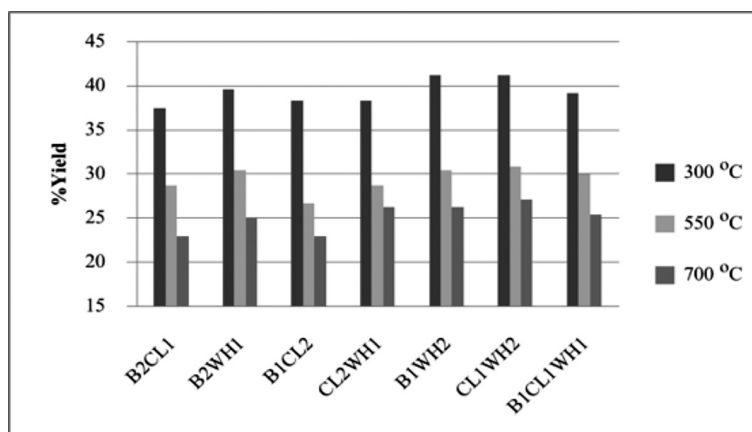
วัสดุชีวมวลแต่ละชนิดจะมีค่าขององค์ประกอบที่แตกต่างกันเมื่อผ่านการเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิและระยะเวลาเดียวกันจะส่งผลต่อปริมาณของถ่านที่จะเกิดขึ้น เมื่อสัดส่วนของชีวมวลมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณถ่านที่เกิดขึ้นย่อมเปลี่ยนแปลงเช่นกัน จากการทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็น 300 องศาเซลเซียส เมื่อวัสดุเริ่มต้นมีสัดส่วน 2:1:0 และ 1:2:0 ให้ %yield ของถ่านที่ 37.50 และ 38.33 และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของผักตบชวาเป็น 2:0:1 และ 0:2:1 ให้ %yield ของถ่านที่ 39.58 และ 38.33 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มสัดส่วนของผักตบชวาเป็น 1:0:2 และ 0:1:2 ให้ %yield ของถ่านเท่ากับ 41.25 หากผสมวัสดุตั้งต้นอย่างละเท่า ๆ กันที่สัดส่วน 1:1:1 จะให้ %yield เท่ากับ 39.17

อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส วัสดุที่มีสัดส่วน 2:1:0 และ 1:2:0 %yield ของถ่านเท่ากับ 28.75 และ 26.67 เมื่อเพิ่มสัดส่วนของผักตบชวาเป็น 2:0:1 และ 0:2:1 %yield ของถ่านที่ 30.42 และ 28.75 และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของผักตบชวาเป็น 1:0:2 และ 0:1:2 %yield ของถ่านคือ 30.42 และ 30.83 และหากผสมในสัดส่วนเท่า ๆ กันที่ 1:1:1 จะได้ %yield เท่ากับ 30

อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส วัสดุที่มีสัดส่วน 2:1:0 และ 1:2:0 %yield ของถ่านเท่ากับ 22.92 เมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนของผักตบชวาเป็น 2:0:1 และ 0:2:1 %yield ของถ่านที่ 25 และ 26.25 และเพิ่มสัดส่วนของผักตบชวาเป็น 1:0:2 และ 0:1:2 %yield ของถ่านคือ 26.25 และ 27.08 และหากผสมในสัดส่วนเท่า ๆ กันที่ 1:1:1 จะได้ %yield เท่ากับ 25.42 ดังภาพที่ 3 จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทั้ง 3 อุณหภูมิข้างต้นจะเห็นได้ว่า สัดส่วนของผักตบชวาส่งผลโดยตรงต่อปริมาณของถ่านที่เกิดขึ้น

3.3 สัดส่วนของชีวมวลต่อค่าความร้อนของถ่าน

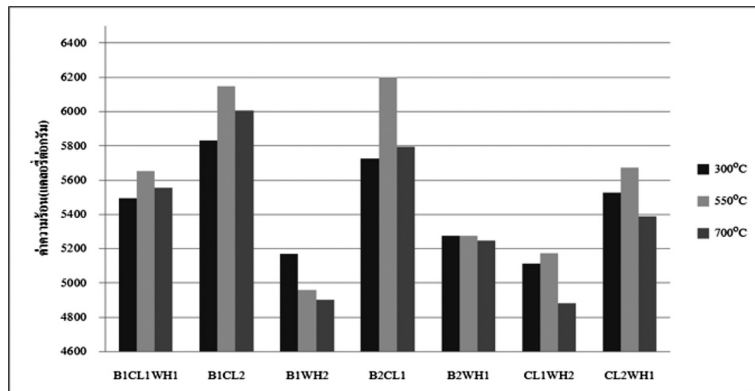
อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสนอกจากจะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณถ่านที่ผลิตได้แล้วยังส่งผลต่อคุณสมบัติของถ่านอีกด้วย คุณสมบัติที่ว้าคือค่าความร้อนของถ่าน (Heating Value) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้วัดความสามารถในการนำถ่านที่ผลิตได้ไปใช้งานในด้านพลังงาน จากผลการทดลองเห็นว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 300 องศาเซลเซียส เป็น 550 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนของถ่านมีค่าสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 550 เป็น 700 องศาเซลเซียส ค่าความร้อนที่ได้มีค่าลดลง ดังภาพที่ 5 และเมื่อมาวิเคราะห์ถึงสัดส่วนที่แตกต่างกันของถ่านแต่ละตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ถ่านที่ให้ค่าความร้อนสูงที่สุดที่ 5831 แคลอรีต่อกรัม คือถ่านที่มีสัดส่วน 1:2:0 จากนั้นเมื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของชีวมวลโดยการเพิ่มสัดส่วนของผักตบชวามากขึ้น เห็นได้ว่าเมื่อมีสัดส่วน 2:0:1 และ 0:2:1 ได้ค่าความร้อนที่ 5527 แคลอรีต่อกรัม และ 5273.5 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อมีสัดส่วน 1:1:1 ได้ค่าความร้อนที่ 5495 แคลอรีต่อกรัม และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของผักตบชวากับใบอ้อยและผักตบชวากับชานอ้อยเป็น 0:1:2 และ 1:0:2 ได้ค่าความร้อน 5113 แคลอรีต่อกรัม และ 5168 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็น 550 และ 700 องศาเซลเซียส ผลที่ได้ไปในทำนองเดียวกันกับผลจากอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4 จากผลการทดลองข้างต้นทำให้เห็นว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของชีวมวลโดยให้มีปริมาณของผักตบชวาเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าความร้อนของถ่านที่ผลิตได้มีค่าลดลง เนื่องจากกระบวนการไพโรไลซิสที่ 550 องศาเซลเซียส เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิสเป็น 700 องศาเซลเซียส ปริมาณคาร์บอนของถ่านลดลง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณของไฮโดรเจนที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 550 องศาเซลเซียสปริมาณจะเพิ่มขึ้นและจะลดลงเมื่อเพิ่มถึง 700 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าความร้อนของถ่านที่ได้นั้นลดลง



ภาพที่ 3 %yield เฉลี่ยของถ่านที่ผลิตได้ที่อุณหภูมิ 300, 550 และ 700 องศาเซลเซียส

3.4 การพิจารณาพารามิเตอร์ในการนำไปใช้ประโยชน์

การนำถ่านที่ผลิตได้นิยมนำไปใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานไม่ว่าจะเป็นการใช้ในระดับครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมย่อมต้องมีมาตรฐานวัดระดับความเหมาะสมในการนำไปใช้ สำหรับมาตรฐานที่นิยมนำมาเป็นตัวชี้วัดคือ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2547 ก:1-3) โดยนำมาวัดสมรรถนะทางความร้อนของถ่านที่ผลิตได้ คือ ต้องมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ถ่านที่ผลิตได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานชุมชน 5 ตัวอย่าง คือ ถ่านที่มีสัดส่วนของ ชานอ้อยต่อใบอ้อยต่อผักตบชวาที่ 1:1:1, 1:2:0, 2:1:0, 2:0:1 และ 0:2:1 ถ่านที่ให้ค่าความร้อนมากที่สุดคือ 6148 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งเป็นถ่านที่มีสัดส่วนที่ 1:2:0 เผาด้วยอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ค่าความร้อนของถ่านแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 300, 500 และ 700 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองเบื้องต้นโดยการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของชีวมวลและอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิส จะให้ผลในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่แตกต่างกัน จึงนำมาวิเคราะห์หาความเหมาะสมของการนำไปใช้ ซึ่งพิจารณาความเหมาะสมเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพลังงานของถ่านที่ผลิตได้เทียบกับพลังงานของวัสดุชีวมวล (Babich *et al.*, 2011) ดังสมการที่ (2)

$$\text{energy recovery} = \frac{(HV_{\text{Char}} \cdot m_{\text{Char}})}{(HV_{\text{Biomass}} \cdot m_{\text{Biomass}})} \times 100 \quad (2)$$

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่า energy recovery

ชนิดของตัวอย่าง	Energy recovery		
	300	550	700
B2CL1	51%	39%	39%
B2WH1	52%	40%	40%
B1CL2	54%	39%	39%
CL2WH1	54%	42%	42%
B1WH2	57%	40%	40%
CL1WH2	57%	43%	43%
B1CL1WH1	55%	43%	43%

จากการเปรียบเทียบของ energy recovery ในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าถ่านที่มี energy recovery สูงที่สุดคือ ถ่านที่มีสัดส่วนของขาน้อยต่อใบน้อยต่อผักตบชวาที่ 1:0:2 และ 0:1:2 ใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 300 องศาเซลเซียส

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสและสัดส่วนของชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ ขาน้อย ใบน้อยและผักตบชวา ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าที่มีผลต่อถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสและสัดส่วนของชีวมวลเริ่มต้น พบว่าที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณของถ่านมากที่สุดและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณถ่านที่ได้ลดลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงปริมาณของสารระเหยที่เป็นส่วนประกอบของชีวมวลสามารถระเหยออกมาได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ลดลง และเมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของชีวมวลเริ่มต้นหากมีปริมาณผักตบชวามาก ถ่านที่ผลิตได้ก็จะมีปริมาณมากตามไปด้วยแต่ส่งผลในทางกลับกันต่อค่าความร้อนที่ได้ของถ่านเพราะเมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวาส่งผลให้ค่าความร้อนของถ่านที่ได้ลดลง การเปลี่ยนแปลง

สัดส่วนของชีวมวลเริ่มต้นช่วยปรับปรุงค่าความร้อนของถ่านที่ผลิตได้ให้สามารถผ่านมาตรฐานค่าความร้อนขั้นต่ำของผลิตภัณฑ์ชุมชนซึ่งจะสามารถผลิตเป็นพลังงานทดแทนและยังช่วยปรับปรุงสิ่งแวดล้อม ถ่านที่เหมาะสมกับการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนควรใช้สัดส่วนผสมของขาน้อยต่อใบน้อยต่อผักตบชวาที่ 1:1:1 และใช้อุณหภูมิไพโรไลซิสที่ 300 องศาเซลเซียส

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ บุคลากรและอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

- Bridgewater, A.V. 2003. **Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass.** Chemical Engineering Journal 91: 87-102.
- Alvarez, J., M. Amutio, G. Lopez, J. Bilbao and M. Olazar. 2015. **Fast co-pyrolysis of sewage sludge and lignocellulosic biomass in a conical spouted bed reactor.** Fuel 159: 810-818.
- Babich, I., M.V. Hulst, L. Lefferts, J. Moulijn, P. O'Connor and K. Seshan. 2011. **Catalytic pyrolysis of microalgae to high-quality liquid bio-fuels.** Biomass and Bioenergy 35(7): 3199-3207.
- Chaiwong K. and S. Siripornakarachai. 2016. **Parametric Analysis of Biochar Production from Corn cob under Slow Pyrolysis.** Engng.J.CMU. 23(1): 85-92.
- Dewangan, A., D. Pradhan and R. Singh. 2016. **Co-pyrolysis of sugarcane bagasse and low-density polyethylene: Influence of plastic on pyrolysis product yield.** Fuel 185: 508-516.
- Fang, S., Z. Yu, Y. Lin, S. Hu, Y. Liao and X. Ma. 2015. **Thermogravimetric analysis of the co-pyrolysis of paper sludge and municipal solid waste.** Energy Conversion and Management 101: 626-631.
- Fang, S., Z. Yu, X. Ma, Y. Lin, Y. Lin, L. Chen and Y. Liao. 2017. **Co-pyrolysis characters between combustible solid waste and paper mill sludge by TG-FTIR and Py-GC/MS.** Energy Conversion and Management 144: 114-122.
- Ghorbannezhad, P., M.D. Firouzabadi, A. Ghasemian, P.J. Wild and H. Heeres. 2018. **Sugarcane bagasse ex-situ catalytic fast pyrolysis for the production of Benzene, Toluene and Xylenes (BTX).** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. doi:10.1016/j.jaap.2018.02.019
- Higashikawa, F. S., R.F. Conz, M. Colzato, C.E. Cerri and L.R. Alleoni. 2016. **Effects of feedstock type and slow pyrolysis temperature in the production of biochars on the removal of cadmium and nickel from water.** Journal of Cleaner Production 137: 965-972.
- Hua, M. and B. Li. 2016. **Co-pyrolysis characteristics of the sugarcane bagasse and Enteromorpha prolifera.** Energy Conversion and Management 120: 238-246.
- Huang, Y., C. Shih, P. Chiueh and S. Lo. 2015. **Microwave co-pyrolysis of sewage sludge and rice straw.** Energy 87: 638-644.

- Jeffery, S., F. Verheijen, M.V. Velde and A. Bastos. 2011. **A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis.** Agriculture, Ecosystems & Environment 144(1): 175-187.
- Lee, Y., J. Park, C. Ryu, K.S. Gang, W. Yang, Y. Park and S. Hyun. 2013. **Comparison of biochar properties from biomass residues produced by slow pyrolysis at 500°C.** Bioresource Technology 148: 196-201.
- Lehmann, J., J. Gaunt and M. Rondon. 2006. **Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems - A Review.** Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11(2): 403-427.
- Lin, Y., Y. Liao, Z. Yu, S. Fang and X. Ma. 2017. **A study on co-pyrolysis of bagasse and sewage sludge using TG-FTIR and Py-GC/MS.** Energy Conversion and Management 151: 190-198.
- Moralı, U., N. Yavuzel and S. Sensöz. 2016. **Pyrolysis of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) sawdust: Characterization of bio-oil and bio-char.** Bioresource Technology 221: 682-685.
- Office of the Cane and Sugar Board. 2560. **Annual report 2559/60.** Ministry of Industry. Website www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-9999.pdf, Retrieved 4 February 2561.
- Sarakhun S. 2553. **Suitable study for production and utilization of bio-fuel from sugar cane leaves.** Unpublished master degree, Khonkaen University, Khonkaen.
- Van Zwiiten, L., B. Singh, S. Joseph, S. Kimber, A. Cowie and K.Y. Chan. 2009. **Biochar and emissions of non- CO₂ greenhouse gases from soil (Ch.13).** pp. 227-249. In: Lehmann, J., Joseph, S. eds. Biochar for Environmental Management. Gateshead, UK, Earthscan.
- Yorgun, S. and D. Yildiz. 2015. **Slow pyrolysis of paulownia wood: Effects of pyrolysis parameters on product yields and bio-oil characterization.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 114: 68-78.
- Yu, J., Y. Zhao and Y. Li. 2014. **Utilization of corn cob biochar in a direct carbon fuel cell.** Journal of Power Sources 270: 312-317.
- Yue, Y., Q. Lin, Y. Xu, G. Li and X. Zhao. 2017. **Slow pyrolysis as a measure for rapidly treating cow manure and the biochar characteristics.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 124: 355-361.

ประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชสมุนไพรต่อการควบคุมเพลี้ยแป้งมะละกอ

Efficacy of Herbal Plant Extracts in Control of Papaya Mealybugs

อมรรัตน์ ชุมทอง^{1*} และ สุภรัตน์ สังข์ทอง²

Amornrat Chumthong^{1*} and Suparat Sungtong²

¹สาขาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา

²สาขาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา

¹Agricultural Technology Program, Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla

²Department of Earth Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkhla University, Songkhla

*E-mail: amornrat.chu@sku.ac.th โทร. 087-3907887

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชสมุนไพร 5 ชนิด ได้แก่ สารสกัดจากใบสะเดา ใบสบาดเสือ ใบดาวเรือง ใบขี้เหล็ก และใบตติลี ต่อการควบคุมเพลี้ยแป้งในมะละกอ โดยทำการสกัดสารออกฤทธิ์จากพืชด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำสารสกัดที่ได้มาทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยแป้งวัย 2-3 โดยวิธีการสัมผัสโดยตรงกับตัวของแมลง ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) พบว่า สารสกัดจากใบขี้เหล็กมีประสิทธิภาพในการฆ่าเพลี้ยแป้งได้ดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยแป้งที่เวลา 6 ชั่วโมง เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ และมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P<0.05$ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) ซึ่งไม่พบการตายของเพลี้ยแป้ง จากนั้นได้ทำการทดลองควบคุมเพลี้ยแป้งด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 8, 10, 13 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) พบว่า เปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยแป้งเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากใบขี้เหล็ก โดยสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 13 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถฆ่าเพลี้ยแป้งได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 2 ชั่วโมง และมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ $P<0.01$ เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์ (น้ำกลั่น) ซึ่งไม่พบการตายของเพลี้ยแป้ง จากผลการทดลองอาจสรุปได้ว่า สารสกัดจากใบขี้เหล็กมีศักยภาพในการใช้เป็นทางเลือกเพื่อควบคุมเพลี้ยแป้งในมะละกอ

คำสำคัญ : สารสกัดพืชสมุนไพร เพลี้ยแป้ง มะละกอ

Abstract

Laboratory studies were carried out to compare the efficacy of 5 herbal plant extracts from leaf of neem (*Azadirachta indica*), bitter bush (*Eupatorium odoratum*), marigolds (*Tagetes erecta*), cassod tree (*Senna siamea*), and long pepper (*Piper retrofractum*) against mealybugs (*Pseudococcus* sp.) on papaya. The tested plant were extracts with 95% ethanol. All plant extracts at concentration of 10% (w/v) were applied to the 2nd - 3rd instar larvae of mealybugs by direct contact with 5 ml/30 insects. Among 5 extracts, the leaf extract of *S. siamea* was the most effective to control mealybugs with mortality of 100% after exposure of 6 hours, and was significant difference at $P<0.05$ from the distilled water (control) that showed no mortality of mealybugs. Based on the results, the leaf extract of *S. siamea* was further evaluated at concentrations of 0, 5, 8, 10, 13 and 15 % (w/v). The results showed that the mortality of mealybugs increased with the increasing the concentration of the plant extract. The leaf extract of *S. siamea* at concentrations of 13 and 15 % (w/v) were the most effective with insect mortality of 100% after exposure of 2 hours, and were significant difference at $P<0.01$ from the concentration of 0% (distilled water) that showed no mortality of mealybugs.

These results suggest that the leaf extract of *S. siamea* is a potential candidate for use as a natural insecticide for mealybugs control on papaya.

Keywords : herbal plant extracts, mealybugs, papaya

1. บทนำ

มะละกอ (papaya: *Carica papaya* L.) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่คนทั่วไปนิยมรับประทาน ผลดิบนำมาปรุงอาหาร ผลสุกรับประทานสด มีรสชาติหวานหอม มีวิตามินเอ และแคลเซียมสูง แต่ผลผลิตส่วนใหญ่ใช้บริโภคภายในประเทศ การส่งเป็นสินค้าออกมีปริมาณน้อย เนื่องจากผลผลิตส่วนใหญ่จะตรวจพบเพลี้ยแป้งติดไปกับผล (Saengyot, 2011) ซึ่งเพลี้ยแป้ง (mealybugs: *Pseudococcus* sp.) เป็นแมลงที่มีลักษณะรูปร่างรูปไข่ มีขาขาวปกคลุม มักอาศัยอยู่ตามใบ ยอดอ่อน ดอก และผล เข้าทำลายพืชปลูกโดยดูดกินน้ำเลี้ยงทำให้การเจริญเติบโตของพืชชะงักงัน มีอาการผิดปกติ ใบบิดเบี้ยว หักงอ แคระแกร็น ถ้าพืชถูกแมลงเข้าทำลายมากอาจทำให้พืชตายได้ ส่งผลให้พืชผลของเกษตรกรเสียหาย ผลผลิตลดน้อยลง ไม่สวยงาม และไม่เป็นที่ต้องการของตลาด (Ek-Amnuay, 2008; Laosinchai and Aunhawut, 2000; Sahaya, 2015) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกษตรกรใช้สารเคมีในการป้องกันกำจัดเพลี้ยแป้ง ซึ่งเป็นวิธีที่อันตราย ทำให้เกิดปัญหาสารพิษตกค้างในอาหาร ในดิน ในน้ำ และในอากาศ ทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อลดปัญหาดังกล่าว การใช้สารสกัดธรรมชาติจากพืชเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อทดแทนการใช้สารเคมีได้ (Hutaphat, 2007) ซึ่งพืชที่นำมาสกัดนั้นส่วนใหญ่เป็นพืชที่หาได้ตามท้องถิ่น โดยสารสกัดจากพืชมีข้อดี คือ มีการสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว มีความเป็นพิษต่อสภาพแวดล้อมน้อยกว่าสารเคมี และไม่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์หรือถ้ามีก็อาจจะน้อย (Indranupakorn, 2004) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทดลองใช้สารสกัดหยาบจากใบพืช 5 ชนิด ได้แก่ สะเดา ดาวเรือง สาบเสือ ขี้เหล็ก และติปลี ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลแล้วนำไปทดสอบกับเพลี้ยแป้ง เพื่อหาชนิดของสารสกัดที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการควบคุมเพลี้ยแป้ง และหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสกัดจากพืชที่ดีที่สุดสำหรับใช้เป็นทางเลือกในการควบคุมเพลี้ยแป้งอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมเพลี้ยแป้งเพื่อใช้ในการทดลอง

เก็บรวบรวมเพลี้ยแป้งระยะวัยที่ 2-3 จากต้นมะละกอ มาใส่ในกล่องพลาสติก ทำการปรับสภาพของเพลี้ยแป้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

2.2 การเตรียมสารสกัดจากพืชสมุนไพร

เก็บรวบรวมใบสะเดา สาบเสือ ดาวเรือง ขี้เหล็ก และติปลี ระยะใบเพสลาด ล้างน้ำให้สะอาดและเช็ดให้แห้ง หั่นให้มีขนาดเล็กระมาณ 1 เซนติเมตร แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปบดให้ละเอียดด้วยโกร่ง แล้วสกัดสารออกฤทธิ์ด้วยวิธีแช่เย็น (maceration) โดยแช่ตัวอย่างใบพืชแต่ละชนิดในตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยอัตราส่วน ตัวอย่างพืช : เอทานอล เท่ากับ 1:4 (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นเวลา 3 วัน เมื่อครบกำหนด กรองสารละลายที่ได้ใส่ในขวดรูปชมพู่ นำกระดาษฟอยด์มาปิดหุ้มทั้งขวดให้มิดชิด แล้วใช้เข็มจิ้มลงไปบนกระดาษฟอยด์ตรงบริเวณปากขวด เพื่อให้เอทานอลระเหยออกไป

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชสมุนไพร

ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชในการควบคุมเพลี้ยแป้ง ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 7 สิ่งทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 30 ตัว ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 น้ำกลั่น

สิ่งทดลองที่ 2 เอทานอล

สิ่งทดลองที่ 3 สารสกัดจากใบสะเดา

สิ่งทดลองที่ 4 สารสกัดจากใบดาวเรือง

สิ่งทดลองที่ 5 สารสกัดจากใบสาบเสือ

สิ่งทดลองที่ 6 สารสกัดจากใบขี้เหล็ก

สิ่งทดลองที่ 7 สารสกัดจากใบติปลี

การทดสอบทำโดยหยดสารสกัดจากพืชทั้ง 5 ชนิด ในแต่ละสิ่งทดลอง ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) โดยใช้กระบอกฉีดยาหยดสารสกัดจากใบพืชให้โดนตัวเพลี้ยแบ่งให้มากที่สุด ในปริมาตร 5 มิลลิลิตรต่อเพลี้ยแบ่ง 30 ตัว แล้วนับจำนวนเพลี้ยแบ่งที่ตายด้วยแว่นขยาย หลังการทดสอบที่เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และคำนวณเปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยแบ่ง ทำการคัดเลือกสารสกัดจากพืชที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด เพื่อนำไปหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการควบคุมเพลี้ยแบ่งต่อไป

2.4 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสกัดจากใบขี้เหล็ก

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชสมุนไพรทั้ง 5 ชนิดต่อการควบคุมเพลี้ยแบ่ง พบว่า สารสกัดจากใบขี้เหล็กมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงทำการทดสอบเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสกัดจากใบขี้เหล็ก ในการควบคุมเพลี้ยแบ่ง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 6 สิ่งทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 30 ตัว โดยใช้ความเข้มข้นของสารสกัดจากใบขี้เหล็ก 6 ระดับ คือ 0, 5, 8, 10, 13 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ทำการหยดสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในปริมาตร 5 มิลลิลิตรต่อเพลี้ยแบ่ง 30 ตัว โดยใช้กระบอกฉีดยาหยดสารสกัดให้โดนตัวเพลี้ยแบ่งให้มากที่สุด นับจำนวนเพลี้ยแบ่งที่ตายด้วยแว่นขยาย หลังทำการทดสอบทุก ๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยแบ่ง

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลเปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยแบ่งมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบพืช 5 ชนิด ได้แก่ สะเดา สาบเสือ ดาวเรือง ขี้เหล็ก และติปลี ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ในการควบคุมเพลี้ยแบ่ง โดยใช้กระบอกฉีดยาหยดสารสกัดจากใบพืชแต่ละชนิดให้โดนตัวเพลี้ยแบ่งให้มากที่สุด ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) พบว่า ที่เวลา 2 ชั่วโมง เพลี้ยแบ่งที่ถูกหยดด้วยเอทานอล มีเปอร์เซ็นต์การตายสูงสุด คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติกับเพลี้ยแบ่งที่ถูกหยดด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็ก ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การตาย 66.67 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเพลี้ยแบ่งที่ถูกหยดด้วยน้ำกลั่น ไม่พบการตายของเพลี้ยแบ่ง และที่เวลา 4 ชั่วโมง พบว่า เพลี้ยแบ่งที่ถูกหยดด้วยเอทานอล มีเปอร์เซ็นต์การตายสูงสุด คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติกับเพลี้ยแบ่งที่ถูกหยดด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็ก ที่มีเปอร์เซ็นต์การตาย 88.89 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเพลี้ยแบ่งที่ถูกหยดด้วยน้ำกลั่น ไม่พบการตายของเพลี้ยแบ่ง เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ผลปรากฏว่า เพลี้ยแบ่งที่ถูกหยดด้วยเอทานอลและสารสกัดจากใบขี้เหล็กมีเปอร์เซ็นต์การตายสูงสุด คือ 100 เปอร์เซ็นต์ และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติกับเพลี้ยแบ่งที่ถูกหยดด้วยสารสกัดจากใบสะเดาและใบดาวเรือง ที่มีเปอร์เซ็นต์การตาย 88.89 และ 66.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนเพลี้ยแบ่งที่ถูกหยดด้วยน้ำกลั่นยังคงไม่พบการตายของเพลี้ยแบ่ง (ตารางที่ 1)

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่า เปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยแบ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารสกัดและระยะเวลาที่ใช้ทดสอบ เพลี้ยแบ่งที่ได้รับการหยดด้วยน้ำกลั่นจะไม่มีผลต่อการตายของเพลี้ยแบ่ง (ไม่มีเพลี้ยแบ่งตายภายใน

24 ชั่วโมง) ลักษณะตัวของเพลี้ยแป้งยังคงปกติ คือ มีไขขาวปกคลุมทั่วทั้งตัว ลำตัวนุ่ม ท้องมีสีส้มอมแดง ขายังคงเคลื่อนไหวไปมา ส่วนเพลี้ยแป้งที่ได้รับการหยดด้วยเอทานอล เพลี้ยแป้งตายทั้งหมดอย่างรวดเร็วภายในเวลา 2 ชั่วโมง ลักษณะการตายก็คือ ขาไม่เคลื่อนไหว บริเวณลำตัวไม่มีไขขาวปกคลุม ลำตัวแข็งและซีดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนเพลี้ยแป้งที่ได้รับการหยดด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็ก ตายทั้งหมดภายในเวลา 6 ชั่วโมง รองลงมาจากเอทานอล หลังจากได้รับสารสกัดใบขี้เหล็กเพลี้ยแป้งแสดงอาการเคลื่อนไหวช้าลงอย่างเห็นได้ชัด ลักษณะการตายก็คือ ท้องมีสีแดงอมส้ม ขาไม่มีการเคลื่อนไหว ลำตัวค่อนข้างแข็ง และไม่มีไขขาวปกคลุม ในขณะที่เพลี้ยแป้งที่ได้รับการหยดด้วยสารสกัดจากใบสะเดา ใบดาวเรือง ใบติปลี และใบสาบเสือ เพลี้ยแป้งตายทั้งหมดภายในเวลา 12, 16, 20 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีลักษณะการตายเหมือนกันคือ ขาไม่เคลื่อนไหว ท้องมีสีแดงอมส้ม และไม่มีไขขาวปกคลุมรอบลำตัว

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยแป้ง หลังจากได้รับสารสกัดจากพืชแต่ละชนิด ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง

สารสกัด	การตายของเพลี้ยแป้ง (เปอร์เซ็นต์)		
	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
น้ำ (ชุดควบคุม)	0.00 ^e ± 0.00	0.00 ^e ± 0.00	0.00 ^e ± 0.00
เอทานอล	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00
สะเดา	11.11 ^d ± 1.92	44.44 ^c ± 1.92	88.89 ^{ab} ± 1.92
สาบเสือ	22.22 ^{cd} ± 1.92	33.33 ^{cd} ± 0.00	33.33 ^c ± 0.00
ดาวเรือง	33.33 ^c ± 3.33	44.44 ^c ± 1.92	66.67 ^b ± 3.33
ขี้เหล็ก	66.67 ^{ab} ± 0.00	88.89 ^{ab} ± 1.92	100.00 ^a ± 0.00
ติปลี	22.22 ^{cd} ± 1.92	33.33 ^{cd} ± 3.33	44.44 ^{bc} ± 3.84
F-test	**	**	*
C.V. (%)	4.88	3.62	3.32

** หมายถึง มีความแตกต่างระหว่างกันทางสถิติที่ $p < 0.01$

* หมายถึง มีความแตกต่างระหว่างกันทางสถิติที่ $p < 0.05$

อักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างระหว่างกันทางสถิติจากการตรวจสอบโดยวิธี DMRT

จากการทดสอบชี้ให้เห็นว่า เอทานอลมีประสิทธิภาพทำให้เพลี้ยแป้งตายได้เร็วที่สุดภายในเวลา 2 ชั่วโมง เนื่องจากเอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง ซึ่งจัดเป็นตัวทำละลายที่ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ เมื่อนำเอทานอลมาหยดลงบนตัวของเพลี้ยแป้ง จึงทำให้ไขขาวที่ติดกับตัวของเพลี้ยแป้งหลุดออกมาอย่างเห็นได้ชัด และทำให้เพลี้ยแป้งตายในที่สุด โดยลักษณะการตายของเพลี้ยแป้งคือ ขาไม่เคลื่อนไหว และลำตัวแข็งและซีดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ถ้านำเอทานอลมาใช้ในการควบคุมเพลี้ยแป้งในแปลงเกษตรจริง ๆ ถือว่าไม่เหมาะสม เพราะเอทานอลมีราคาแพงและระเหยได้ง่าย จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการควบคุมเพลี้ยแป้ง ส่วนการนำสารสกัดจากใบพืชทั้ง 5 ชนิด มาใช้ในการควบคุมเพลี้ยแป้งนั้น พบว่า มีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยแป้งได้ดีในเวลาที่แตกต่างกัน เนื่องจากสารสำคัญที่มีในแต่ละพืชไม่เหมือนกันและมีปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งสารสำคัญเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดสรรพคุณของพืช โดยปริมาณของสารสำคัญขึ้นอยู่กับพันธุ์พืช สภาวะแวดล้อมที่ปลูก และช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวพืช (Kritsanapan, 1994) จึงทำให้เพลี้ยแป้งตายในเวลาที่แตกต่างกัน เพลี้ยแป้งที่ได้รับสารสกัดจากใบขี้เหล็กตายเร็วสุดเมื่อเทียบกับสารสกัดที่เหลืออีก 4 ชนิด เนื่องจากในใบขี้เหล็กมีสารกลุ่ม anthraquinones เช่น rhein, sennoside, chrysophanol และ aloe-emodin รวมทั้งมีสารขมที่ชื่อว่า cassiamin ซึ่งเป็นสารที่มีกลิ่นเหม็น (Singhabutra, 1992) จากการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาพบว่า ใบขี้เหล็กที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ จะมีฤทธิ์กดประสาทส่วนกลางของสัตว์ จึงทำให้สัตว์ทดลองมีอาการซึม เคลื่อนไหวช้า และชอบซุกตัวแต่ไม่หลับ (Wamanon and Sapjaroen, 1994) จึงอาจเป็นเหตุให้เพลี้ยแป้งตายในที่สุด ส่วนสารสกัด

จากใบสะเดา ซึ่งมีสาร azadirachtin เป็นสารสำคัญ พบว่าที่ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ลูกน้ำยุบตายบ้าน ระยะที่ 4 ตายมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 36 ชั่วโมง (Keanjoom *et al.*, 2012) ในขณะที่ Jaisamak and Khoomsab (2014) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชในการกำจัดเพลี้ยแป้งแจ๊คเบียดเลย์ (*P. jackbeardsleyi*) วัย 2-3 โดยวิธีการสัมผัสโดยตรงกับตัวของแมลง พบว่า สารสกัดจากใบสะเดา ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) สามารถทำให้เพลี้ยแป้งแจ๊คเบียดเลย์ตายได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 24 ชั่วโมง ส่วนสารสกัดจากใบสบเสียมมีสารสำคัญ คือ limonene มีความระคายต่อผิวหนัง (Harbone, 1995) นอกจากนี้ยังมี pinene และ naphthoquinone ซึ่งละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ มีความเป็นพิษเฉียบพลันทางปากกับหนู สารเหล่านี้ออกฤทธิ์ฆ่าแมลง และสอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศฟินแลนด์ที่พบว่าสารสกัดจากใบสบเสียมมีฤทธิ์ในการกำจัดด้วงวงข้าว (*Sitophilus oryzae* L.) และสารสกัด ใบสบเสียมความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีฤทธิ์ในการฆ่าด้วงวงข้าวสูงถึง 78.6 เปอร์เซ็นต์ (Niber, 1994) ในขณะที่ Phiancharoen (1996) พบว่าสารสกัดจากใบสบเสียมที่สกัดโดยวิธีการหมักซึ่งมีน้ำเป็นตัวทำละลายและสกัดโดยวิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ มีผลต่อการตายของหนอนใยผักน้อยมาก สำหรับสารสกัดจากใบสบเสียมที่สกัดโดยวิธีการสกัด ด้วยซอกซ์เลตซึ่งมีเอทานอลและเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย มีผลต่อการตายของหนอนใยผัก 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับ ความเข้มข้น 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) สำหรับใบดาวเรืองที่สกัดด้วยเมทานอล พบว่ามีสารสำคัญ เช่น limonene, ocimene, caryophyllene, farnesene และ neophytadiene ซึ่งสารบางชนิดมีคุณสมบัติ เป็นสารไล่แมลง (Promsattha *et al.*, 2001) ส่วนสารสกัดจากใบดาวเรืองที่สกัดด้วยเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ มีคุณสมบัติเป็นสารไล่เพลี้ยอ่อน (*Aphis craccivora* Koch.) (Morallo-Rejesus and Decena, 1982) นอกจากนี้ น้ำมันหอมระเหยจากดาวเรืองสามารถยับยั้งการกินของหนอนกระทู้ผัก (*Spodoptera litura*) ได้ โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 680 พีพีเอ็ม (Ray *et al.*, 2008) ส่วน Pumnuan and Teerarak (2012) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัด จากใบดาวเรืองที่สกัดด้วยเอทานอล พบว่าสารสกัดจากใบดาวเรืองความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพในการฆ่าหนอนใยผักได้ โดยมีค่า LC_{50} ที่ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 8.13 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่ความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) สามารถยับยั้งการกินของหนอนใยผักได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพยับยั้งการเข้าดักแด้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และ ที่ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) มีประสิทธิภาพยับยั้งการเป็นตัวเต็มวัยได้ 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับบีบลิ เป็นพืชสมุนไพรที่มีน้ำมันหอมระเหย และแอลคาลอยด์ ได้แก่ p-methoxy acetophenone, dihydrocarveol, piperine, pipelatin, piperlongumine, sylvatine และ pyridine alkaloids (Singhabutra, 1992) เมื่อนำ ผลบีบลิแห้งหนักประมาณ 0.5 กิโลกรัม ไปอบในอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วนำไปแช่ในแอลกอฮอล์ 1.5 ลิตร จากนั้นนำไปปั่นให้ละเอียด แล้วหมักค้างคืนไว้ 1 คืน ก่อนนำไปใช้ให้รองกากออก แล้วนำน้ำที่ได้ไปผสมกับสารจับใบ ก่อนฉีดพ่นในแปลงปลูกเพื่อป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช (Bunnag, 2011)

เมื่อนำสารสกัดจากใบขี้เหล็กซึ่งมีประสิทธิภาพในการฆ่าเพลี้ยแป้งได้ดีที่สุด มาทดสอบหาความเข้มข้น ที่เหมาะสม โดยใช้กระบอกฉีดยาหยดสารสกัดจากใบขี้เหล็กให้โดนตัวเพลี้ยแป้งให้มากที่สุด ในปริมาตร 5 มิลลิลิตรต่อ เพลี้ยแป้ง 30 ตัว ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 8, 10, 13 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) พบว่า ที่เวลา 1 ชั่วโมง เพลี้ยแป้งที่ถูกหยดด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 13 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) มีเปอร์เซ็นต์การตาย สูงที่สุด คือ 88.89 เปอร์เซ็นต์ และไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับเพลี้ยแป้งที่ถูกหยดด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็ก ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่มีการตาย 66.67 และ 77.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เพลี้ยแป้งที่ถูกหยดด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) มีการตาย 11.11 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเพลี้ยแป้งที่ถูกหยดด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 0 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ ปริมาตร) ไม่มีการตายของเพลี้ยแป้ง ที่เวลา 2 และ 3 ชั่วโมงหลังการทดสอบ พบว่า เพลี้ยแป้งที่ถูกหยดด้วยสารสกัดจาก ใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 13 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) มีเปอร์เซ็นต์การตายสูงที่สุด คือ 100 เปอร์เซ็นต์

และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติกับเพลี้ยแป้งที่ถูกหดยด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ส่วนเพลี้ยแป้งที่ถูกหดยด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ไม่มีการตายของเพลี้ยแป้ง และเมื่อเวลาผ่านไป 4, 5 และ 6 ชั่วโมงหลังการทดสอบ พบว่า เปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยแป้งเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาที่ทดสอบ เพลี้ยแป้งที่ถูกหดยด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 5 และ 8 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ตายทั้ง 100 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 6 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ และไม่พบความแตกต่างทางสถิติระหว่างสารสกัดจากใบขี้เหล็กความเข้มข้น 5-15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเพลี้ยแป้งที่ถูกหดยด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ซึ่งไม่มีการตายของเพลี้ยแป้ง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยแป้ง หลังจากได้รับสารสกัดจากใบขี้เหล็ก ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 8, 10, 13 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)	การตายของเพลี้ยแป้ง (เปอร์เซ็นต์)					
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
0	0.00 ^c ± 0.00	0.00 ^c ± 0.00	0.00 ^c ± 0.00	0.00 ^b ± 0.00	0.00 ^b ± 0.00	0.00 ^b ± 0.00
5	0.00 ^c ± 0.00	55.56 ^b ± 1.92	55.56 ^b ± 1.92	88.89 ^a ± 1.92	88.89 ^a ± 1.92	100.00 ^a ± 0.00
8	11.11 ^b ± 1.92	77.78 ^{ab} ± 1.92	88.89 ^{ab} ± 1.92	88.89 ^a ± 1.92	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00
10	66.67 ^a ± 0.00	88.89 ^{ab} ± 1.92	88.89 ^{ab} ± 1.92	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00
13	88.89 ^a ± 1.92	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00
15	77.78 ^a ± 1.92	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00	100.00 ^a ± 0.00
F-test	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	3.34	1.93	1.88	4.88	3.62	3.34

** หมายถึง มีความแตกต่างระหว่างกันทางสถิติที่ $p < 0.01$

อักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างระหว่างกันทางสถิติจากการตรวจสอบ โดยวิธี DMRT

อย่างไรก็ตามจากการทดลองจะเห็นได้ว่า ที่เวลาต่างกัน เปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยแป้งที่ได้รับสารสกัดในแต่ละความเข้มข้นก็จะแตกต่างกันออกไป โดยเพลี้ยแป้งที่ได้รับการหดยด้วยน้ำกลั่นจะไม่มีผลต่อการตายของเพลี้ยแป้ง (ไม่มีเพลี้ยแป้งตาย) ส่วนเพลี้ยแป้งที่ได้รับการหดยด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ตายทั้งหมดภายในเวลา 6 ชั่วโมง ในขณะที่เพลี้ยแป้งที่ได้รับการหดยด้วยสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) เพลี้ยแป้งตายทั้งหมดภายในเวลา 5 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ทำให้เพลี้ยแป้งตายทั้งหมดภายในเวลา 4 ชั่วโมง ส่วนที่ความเข้มข้น 13 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) พบว่า เพลี้ยแป้งตายเร็วที่สุดทั้ง 100 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 2 ชั่วโมง สำหรับลักษณะการตายของเพลี้ยแป้งที่ได้รับสารสกัดใบขี้เหล็กความเข้มข้น 5, 8, 10, 13 และ 15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) เพลี้ยแป้งตายโดยท้องมีสีแดงอมส้ม ขาไม่เคลื่อนไหว และไม่มีไขขาวปกคลุม ส่วนความเข้มข้น 0 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) เพลี้ยแป้งไม่ตายยังคงปกติ คือ มีไขขาวปกคลุมทั่วทั้งตัว ลำตัวนิ่ม ท้องมีสีส้มอมแดง ขายังคงเคลื่อนไหวไปมา

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า สารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยแป้งได้ดีในเวลาที่แตกต่างกัน คือ ยิ่งความเข้มข้นสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยแป้งก็จะยิ่งสูงขึ้น ถ้าเพลี้ยแป้งมีการระบาดมาก สามารถควบคุมโดยใช้สารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ขึ้นไป เนื่องจากความเข้มข้นดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพในการฆ่าเพลี้ยแป้งได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 1-2 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่เร็วมาก แต่ถ้าเพลี้ยแป้งมีการระบาดน้อย ก็สามารถนำสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ในการควบคุม เพราะความเข้มข้นนี้สามารถทำให้เพลี้ยแป้งตายได้ดีที่เวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งจะช่วยให้

ประหยัดในเรื่องของสารสกัดที่นำมาใช้ และเวลาที่ใช้ได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boonkusol (2017) ที่ได้ทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ระดับความเข้มข้นที่ 0, 1, 10, 20 และ 40 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ต่อการตายของตัวอ่อนของพยาธิในกลุ่ม strongyles โดยวิธีสัมผัสสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่เวลา 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และเวลาในการสัมผัสมากขึ้น ทำให้การตายของตัวอ่อนพยาธิเพิ่มขึ้น โดยที่เวลา 24 ชั่วโมง มีการตายของตัวอ่อนพยาธิเท่ากับ 0, 80, 87, 93 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ดังนั้นจากการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่า ประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชในการควบคุมเพลี้ยแป้ง ขึ้นอยู่กับ ชนิดพืชและความเข้มข้นของสารสกัด หากมีการศึกษาและพัฒนาสารสกัดจากพืชในการนำไปใช้ประโยชน์ในการควบคุมเพลี้ยแป้งนั้น ก็จะเป็นแนวทางที่อีกแนวทางหนึ่ง ที่จะช่วยลดปัญหาต่าง ๆ เช่น ต้นทุนการผลิต ปัญหาสารเคมีตกค้าง ในสภาพแวดล้อม เป็นต้น โดยผลที่ได้จากการทดลองนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาสารสกัด ให้มีประสิทธิภาพเพื่อทดแทนการใช้สารเคมีในการควบคุมเพลี้ยแป้งต่อไปได้

4. สรุป

การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบพืช 5 ชนิด คือ สะเดา สาบเสือ ดาวเรือง ขี้เหล็ก และดีปลี ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่มีต่อเพลี้ยแป้ง พบว่า สารสกัดแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยแป้งได้ดีในเวลาที่แตกต่างกัน โดยสารสกัดจากใบขี้เหล็กมีประสิทธิภาพในการฆ่าเพลี้ยแป้งได้ดีที่สุดและเร็วที่สุด สามารถฆ่าเพลี้ยแป้งได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 6 ชั่วโมง รองลงมาคือ สารสกัดจากใบสะเดา ใบดาวเรือง และใบดีปลี สามารถฆ่าเพลี้ยแป้งได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 12 18 และ 20 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนสารสกัดจากใบสาบเสือ มีประสิทธิภาพในการฆ่าเพลี้ยแป้งได้ช้าที่สุด ต้องใช้เวลา 24 ชั่วโมง จึงสามารถฆ่าเพลี้ยแป้งได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงทำการคัดเลือกสารสกัดจากใบขี้เหล็ก เพื่อทดสอบหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยแป้ง พบว่า สารสกัดจากใบขี้เหล็กความเข้มข้น 5-15 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) สามารถฆ่าเพลี้ยแป้งได้ดีในเวลาที่แตกต่างกัน ยิ่งความเข้มข้นสูง ก็สามารถฆ่าเพลี้ยแป้งได้สูงและเร็วขึ้น โดยสารสกัดจากใบขี้เหล็กที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ขึ้นไป มีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยแป้งได้ดีในเวลาอันสั้น ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดปัญหาการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้ผลิต ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อมได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์งบประมาณและสถานที่ในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณนายอนิรุทธ บังคม ที่ช่วยในการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการสกัดสารสำคัญจากพืช

6. เอกสารอ้างอิง

- Boonkusol, D. 2017. Effects of Herb Extracts on Mortality of Goat Strongyles Larva. Prawarun Agr. J. 14(2): 208-216. (in Thai)
- Bunnag, C. 2011. The use of herbs to prevent and eliminate pests. <http://www.ndoae.doae.go.th>. Accessed 23 Dec. 2017. (in Thai)
- Ek-Amnuay, P. 2008. Plant diseases and insect pests of economic importance. Amarin Printing & Publishing Public Company Limited, Bangkok. (in Thai)
- Harborne, J.B. 1995. Phytochemical Dictionary, A Handbook of Bioactive Compounds from Plants. Taylor & Francis, England.
- Hutaphat, K. 2007. Herbal extract insecticide. Natural Agriculture. Bangkok. (in Thai)
- Indranupakorn, R. 2004. Detection and extraction of essential substances from herbs. Chulalongkorn University, Bangkok. (in Thai)

- Jaisamak, I. and K. Khoomsab. 2014. **Effectiveness of ethanolic herbal plants extraction to eliminate jack-beardsley mealybug (*Pseudococcus jackbeardsleyi*)**. Khon Kaen Agr. J. 42(Suppl.1): 524-529. (in Thai)
- Keanjoom, R., pandii, W., Boonchuen, S., Silapanuntakul, S. and K. Sombatsiri. 2012. **Effect of Thai neem seed and leaf extracts on mortality of *Aedes aegypti* (L.) larvae**. Proceedings of the 9th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus Conference: Humanities and Social Sciences, Agricultural Extension and Health and Sports Science, 6-7 Dec. 2012. 568-575. (in Thai)
- Kritsanapan, W. 1994. **Herbs to know**. <http://www.lib.kps.ku.ac.th>. Accessed 2 Aug. 2017. (in Thai)
- Laosinchai, B. and C. Aunhawut. 2000. **Mealybug and Oriental scale: Important pests**. Academic papers on entomology and zoology. Department of Agriculture. (in Thai)
- Morallo-Rejesus, B. and A. Decena. 1982. **The activity, isolation, purification and identification of insecticidal principles from *Tagetes***. Philippine J. Crop Science. 7: 31-36.
- Niber, B.T. 1994. **The ability of powers and slurries from ten plants species grain from attack by *Prostephanus truncatus* Horn (Coleoptera: Bostrichidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae)**. J. Stored Products Research. 30(4): 297-301.
- Phiancharoen, M. 1996. **Effect of leaf extracts from siam weed *Chromolaena odorata* (L.) on detoxification enzymes level in diamondback moth *Plutella xylostella* L.** Master, Science (Zoology), Chulalongkorn University, Bangkok. (in Thai)
- Promsattha, R., Milne, M. and A. Sangwanich. 2001. **Study on chemical compositions of marigold (*Tagetes erecta*)**. Proceedings of the 39th Kasetsart University Annual Conference: Plants, Agricultural Extension and Communication, 5-7 Feb. 2001. 404-409. (in Thai)
- Pumnuan, J. and M. Teerarak. 2012. **Efficiency of Marigold Extract (*Tagetes erecta* L.) in controlling the Diamondback Moth Larvae (*Plutella xylostella* L.)**. King Mongkut's Agr. J. 30 (2): 1-7. (in Thai)
- Ray, D.P., D. Prem, and S. Walia. 2008. **Evaluation of marigold (*Tagetes erecta* L.) flower essential oil for antifeedant activity against *Spodoptera litura* F.** Pesticide Research J. 20(1): 10-12.
- Saengyot, S. 2011. **Mealybugs on Papaya flour New species of invasive alien species in Thailand**. BRT Magazine. 29: 16-17. (in Thai)
- Sahaya, S. 2015. **Mealybugs on Papaya**. Kehakaset Magazine. 39(8): 169-172. (in Thai)
- Singhabutra, S. 1992. **200 Herbal properties**. Kun 39 Company Limited, Bangkok. (in Thai)
- Wamanon, M. and P. Sapjaroen. 1994. **Herbal medicine in basic public health**. The War Veterans Organization of Thailand, Bangkok. (in Thai)

การตรวจวินิจฉัยพยาธิเม็ดเลือดในสุนัขชนิดเอริเชีย เคนิส และบาปีเซีย สปีชีส์
โดยใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอร์สำหรับศูนย์ชันสูตรโรคสัตว์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

The Detection of Canine Blood Parasite (*Ehrlichia canis* and *Babesia spp.*)
Using Polymerase Chain Reaction for Veterinary Diagnostic Center,
Rajamangala University of Technology Tawan-OK

ธนิดา สนั่นเมือง* ภาวนา บุณะกิจ วรณิชา นาพูน และ กาจ โชคชัยอุสาหา
Thanida Sananmuang*, Pawana Buranakit, Wannisa Napoon and
Kaj Chokeshaiusaha

คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ ศรีราชา ชลบุรี 20110
Faculty of Veterinary Medicine, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra Campus, Chonburi
*E-mail: t.sananmuang@gmail.com โทร. 038-358137

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการพัฒนาการประยุกต์ใช้เทคนิคปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอร์ร่วมกับการตรวจวินิจฉัยทางกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงสว่างในการวินิจฉัยพยาธิเม็ดเลือดในสุนัขชนิดเอริเชีย เคนิส และบาปีเซีย สปีชีส์สำหรับศูนย์ชันสูตรโรคสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ผลจากการศึกษาตัวอย่างจากสุนัขจำนวน 52 ตัวที่มีสงสัยการติดพยาธิเม็ดเลือดพบว่าเทคนิคการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงสว่างให้ผลการตรวจเป็นบวก (ร้อยละ 61.54 สำหรับพยาธิเม็ดเลือดชนิดเอริเชีย เคนิส และร้อยละ 11.54 สำหรับพยาธิเม็ดเลือดบาปีเซีย สปีชีส์) มากกว่าเทคนิคปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอร์ (ร้อยละ 51.92 สำหรับพยาธิเม็ดเลือดชนิดเอริเชียเคนิสและร้อยละ 19.23 สำหรับพยาธิเม็ดเลือดบาปีเซีย สปีชีส์) อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอร์สามารถตรวจพบสารพันธุกรรมของพยาธิเม็ดเลือดชนิดเอริเชีย เคนิสและบาปีเซีย สปีชีส์ในตัวอย่างที่ตรวจไม่พบพยาธิเม็ดเลือดด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์ถึงร้อยละ 30 และร้อยละ 8.70 ตามลำดับ ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการตรวจวินิจฉัยพยาธิเม็ดเลือดในสุนัขด้วยเทคนิคปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอร์นั้นมีความไวและความน่าเชื่อถือมากกว่าการส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวมีความจำเพาะต่อชนิดของเชื้อและไม่ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ข้ามชนิดของเชื้อ (Cross reaction) ด้วยเหตุนี้เทคนิคปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอร์จึงควรนำมาใช้เป็นเทคนิคการตรวจเพื่อยืนยันการพบพยาธิเม็ดเลือดในสุนัขเพื่อให้ได้ผลการวินิจฉัยที่ถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด

คำสำคัญ : ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอร์, เอริเชีย เคนิส, บาปีเซีย สปีชีส์, สุนัข

Abstract

This study aimed to determine and compare the efficiency of polymerase chain reaction (PCR) and the light microscopic examination techniques for detection of two important canine blood parasites; *Ehrlichia canis* and *Babesia spp.* in routine veterinary diagnosis of Rajamangala University of Technology Tawan-ok. Blood samples of fifty-two dogs suspected of blood parasite infection were collected. Microscopic examination technique gave larger numbers of positive samples (61.54% for *Ehrlichia canis* and 11.54% for *Babesia spp.*) when compared to those acquired from PCR reaction (51.92% for *Ehrlichia canis* and 19.23% for *Babesia spp.*). However, PCR techniques could

successfully detect DNA of blood parasites in negative samples acquired from microscopic examination (30% for *Ehrlichia canis* and 8.70% for *Babesia spp.*). Since the detection of blood parasites by PCR technique was outstanding for its high specificity and sensitivity, the study's results thus indicated the superiority of PCR technique in detection of blood parasites. To acquire the most accurate and reliable results, such technique thus should be applied as the definitive diagnostic technique for canine blood parasite detection.

Keywords : Polymerase chain reaction, *Ehrlichia canis*, *Babesia spp.*, Canine

1. บทนำ

พยาธิเม็ดเลือดชนิดเอริเชีย เคนิส (*Ehrlichia canis*) และบาบีเซีย สปีชีส์ (*Babesia spp.*) เป็นแบคทีเรียในกลุ่มริเก็ตเซีย ก่อโรคสำคัญในสุนัขและมีพาหะสำคัญร่วมกันคือเห็บ (Shaw *et al.*, 2001) พยาธิเม็ดเลือดเอริเชีย เคนิสจะอาศัยอยู่ในเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์และแกรนูโลไซต์ สุนัขที่ติดเชื้อจะพบอาการไข้สูงร่วมกับมีภาวะซีดจากของเยื่อเมือก การติดเชื้อในระยะเรื้อรังจะพบการทำลายของไขกระดูกทำให้เกิดภาวะเกร็ดเลือดลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดจุดเลือดออกตามร่างกายและภาวะเลือดไหลไม่หยุดในสุนัข (Skotarczak, 2003) ส่วนพยาธิเม็ดเลือดชนิดบาบีเซีย สปีชีส์จะเพิ่มจำนวนในเม็ดเลือดแดงของสุนัขและทำให้เกิดการแตกของเม็ดเลือดแดงในที่สุด สุนัขที่ติดเชื้อจะพบภาวะโลหิตจางและตับโต ม้ามโต และอาจพบภาวะตัวเหลืองจากการแตกของเม็ดเลือดแดงร่วมด้วย (Boozer and Macintire, 2003)

ปัจจุบันเทคนิคการวินิจฉัยพยาธิเม็ดเลือดที่ใช้ในศูนย์ชันสูตรโรคสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก คือการย้อมสีตัวอย่างเลือดและส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีประโยชน์กรณีการติดเชื้อในระยะเริ่มแรกแต่ไม่สามารถใช้ได้กรณีการติดเชื้อระยะเรื้อรังหรือระยะที่สัตว์ไม่แสดงอาการ เนื่องจากเป็นระยะที่สามารถพบพยาธิเม็ดเลือดในเลือดได้ในปริมาณต่ำมาก (Shaw *et al.*, 2001) นอกจากนี้ความไวของเทคนิคดังกล่าวขึ้นกับความชำนาญของผู้ตรวจเป็นหลัก ทำให้มีโอกาสตรวจไม่พบเชื้อได้หากผู้ตรวจไม่มีความชำนาญในเทคนิค การวินิจฉัยทางซีรัมวิทยาเป็นอีกเทคนิคหนึ่งในการวินิจฉัยโรคโดยการตรวจแอนติบอดีต่อเชื้อซึ่งเป็นเทคนิคที่มีความไวสูงแต่มีข้อจำกัดสำคัญคือการติดเชื้อในระยะแรกอาจตรวจไม่พบแอนติบอดีต่อเชื้อได้ ในขณะเดียวกันภูมิคุ้มกันที่สร้างขึ้นนั้นอาจเป็นภูมิคุ้มกันข้ามสายพันธุ์ของเชื้อทำให้เทคนิคนี้มีความจำเพาะต่ำ นอกจากนี้ในสุนัขที่ได้รับการรักษายังไม่พบเชื้อในร่างกายแล้วยังอาจสามารถพบแอนติบอดีต่อพยาธิเม็ดเลือดได้นานถึง 6 เดือน (Mylonakis *et al.*, 2003; Waner *et al.*, 2001)

เทคนิคในการวินิจฉัยโรคด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสได้ถูกพัฒนามากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีความจำเพาะและความไวสูง ปัจจุบันมีหน่วยงานหลายหน่วยงานที่ให้บริการด้านวิชาการได้มีการนำเทคนิคดังกล่าวมาช่วยในการวินิจฉัยโรค (Laummaunwai *et al.*, 2014; Pattaradilokrat *et al.*, 2015; Piratae *et al.*, 2015) หลักการของเทคนิคดังกล่าวคือการตรวจหาสารพันธุกรรมของเชื้อโดยตรงในกระแสเลือดของสุนัข ซึ่งนอกจากจะมีความจำเพาะและความไวในการตรวจสูงแล้ว ยังสามารถแยกสุนัขที่กำลังติดเชื้อออกจากสุนัขที่รักษาหายแล้วได้อีกด้วย ทั้งนี้ทางศูนย์ชันสูตรโรคสัตว์ยังไม่มีบริการนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ในการวินิจฉัยโรค งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจวินิจฉัยพยาธิเม็ดเลือดในสุนัขด้วยการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสสำหรับศูนย์ชันสูตรโรคสัตว์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

2. วิธีการศึกษา

2.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ทำการเก็บตัวอย่างเลือดสุนัขจำนวน 52 ตัวอย่าง จากสุนัขที่สงสัยว่ามีการติดพยาธิเม็ดเลือดชนิดเอริเชีย เคนิสและ/หรือ บาบีเซีย สปีชีส์ โดยสุนัขจะมีประวัติและอาการไข้สูง และ/หรือโลหิตจางและมีเกล็ดเลือดต่ำ และ/หรือ

มีจุดเลือดออกตามเยื่อเมือก และ/หรือตอม้ำเหลืองบวม จากโรงพยาบาลสัตว์ มทร.ตะวันออก และโรงพยาบาลสัตว์ ในเขตภาคตะวันออก โดยเก็บตัวอย่างเลือดปริมาณ 3 มิลลิลิตรใส่ในหลอดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดชนิด EDTA ส่วนหนึ่งจะนำไปตรวจวิเคราะห์หาพยาธิเม็ดเลือดด้วยการส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ ส่วนที่เหลือจะนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยการทำปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรส โดยเก็บตัวอย่างแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสไม่เกิน 3 วันก่อนนำไปสกัดดีเอ็นเอ หากนานกว่า 3 วันจะเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

2.2 การวิเคราะห์หาพยาธิเม็ดเลือดจากตัวอย่างด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์

การตรวจหาพยาธิเม็ดเลือดชนิดเอริเทร เซลล์และบาซิลลียา สปีชีส์จะทำการตรวจจากแผ่นฟิล์มเลือดบางของเม็ดเลือดขาว (Buffy coat) และเลือดทั้งหมด (Whole blood) ตามลำดับ โดยนำมาสเมียร์เป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ บนกระจกสไลด์และย้อมด้วยสี Wright-Giemsa นาน 3 นาที จากนั้นย้อมด้วยสารละลาย Wright Buffer Solution : Wright Giemsa Stain (1 : 1) นาน 8 นาที จนเห็นคราบเงาบนผิวหน้าของสารละลายที่ย้อม ทำการล้างออกด้วยน้ำเปล่า รอจนแห้งแล้วจึงนำไปส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงสว่างที่กำลังขยาย $\times 1000$ เท่า เซ็ทเอริเทร เซลล์จะมีลักษณะของการอาศัยอยู่เป็นกลุ่มก้อน (morulae) ในไซโตพลาสซึมของเม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์ นิวโทรฟิลล์ อีโอซิโนฟิลล์ และลิมโฟไซต์ ส่วนเชื้อบาซิลลียา สปีชีส์จะอยู่ในไซโตพลาสซึมของเม็ดเลือดแดง ในระยะที่เป็นเมโรโซยต์มักพบอยู่กันเป็นคู่ รูปร่างคล้ายหยดน้ำ (pyriform shape)

2.3 การวิเคราะห์หาพยาธิเม็ดเลือดจากตัวอย่างด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรส

2.3.1 การสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างเลือดสุนัข

ทำการสกัดดีเอ็นเอจากตัวอย่างเลือดด้วยชุดสกัด Perfect Pure DNA Blood Kit (5 PRIME GmbH, PicoGreen®) จากนั้นนำตัวอย่างดีเอ็นเอที่สกัดได้ไปวิเคราะห์คุณภาพด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (NanoDropTM 2000c, MA, USA) โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของดีเอ็นเอที่จะนำไปใช้ในการทำปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสมีสัดส่วนของค่าการดูดกลืนแสง A260/A280 ratio อยู่ระหว่าง 1.5 - 2.0 และมีปริมาณดีเอ็นเอที่สกัดได้มากกว่า 1,000 นาโนกรัมขึ้นไป

2.3.2 การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของพยาธิเม็ดเลือด

นำตัวอย่างดีเอ็นเอที่สกัดได้มาทำการเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอโดยปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสด้วยเครื่องเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ (NyxTechnix, USA) ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสจำนวน 1 ตัวอย่าง (ปริมาตรทั้งหมด 25 มิลลิลิตร) ประกอบด้วยสารละลายดีเอ็นเอจำนวน 5 ไมโครลิตร สารละลาย GoTaq® Green master mix (Promega, WI, USA) จำนวน 12.5 ไมโครลิตร forward primer และ reverse primer (10 μ M) ที่จำเพาะต่อพยาธิเม็ดเลือดแต่ละชนิด (ตารางที่ 1) จำนวนอย่างละ 2 ไมโครลิตร และน้ำกลั่นจำนวน 3.5 ไมโครลิตร อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสสำหรับการตรวจพยาธิเม็ดเลือดชนิด เอริเทร เซลล์ ได้แก่ การเตรียมการทำงานของเอนไซม์ Taq DNA polymerase (Initial denaturation) ที่ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที ตามด้วยขั้นตอนการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเออันประกอบด้วย 1) การแยกสายดีเอ็นเอเกลียวคู่ออกจากกัน (Denaturation) ที่ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วินาที 2) การจับของไพรเมอร์กับสายดีเอ็นเอ (Annealing) ที่ 60-62 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 วินาที 3) การสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่ต่อจากไพรเมอร์ (Extension) ที่ 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1.3 นาที โดยทำทั้งหมด 40 รอบ และขั้นตอนสุดท้าย (Final extension) ที่ 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้การสังเคราะห์สายดีเอ็นเอเกิดอย่างสมบูรณ์ (Nazari *et al.*, 2013) ส่วนอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสสำหรับการตรวจพยาธิเม็ดเลือดชนิดบาซิลลียา สปีชีส์ ได้แก่ การเตรียมการทำงานของเอนไซม์ Taq DNA polymerase (Initial denaturation) ที่ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที ตามด้วยขั้นตอนการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเออันประกอบด้วย 1) การแยกสายดีเอ็นเอเกลียวคู่ออกจากกัน (Denaturation) ที่ 94 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 45 วินาที 2) การจับของไพรเมอร์กับสายดีเอ็นเอ (Annealing) ที่

65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 45 วินาที 3) การสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่ต่อจากไพรเมอร์ (Extension) ที่ 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 90 วินาที โดยทำทั้งหมด 30 รอบ และขั้นตอนสุดท้าย (Final extension) ที่ 72 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้การสังเคราะห์สายดีเอ็นเอเกิดอย่างสมบูรณ์ (Kledmanee *et al.*, 2009)

2.3.3 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ดีเอ็นเอที่ได้จากปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรส

นำผลิตภัณฑ์ดีเอ็นเอที่ได้จากการทำปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสมาตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี gel electrophoresis โดยใช้ผลิตภัณฑ์ดีเอ็นเอจำนวน 20 ไมโครลิตร ใน 2% (wt/vol) agarose gel (Invitrogen, CA, USA) ที่เตรียมใน 1 × TBE buffer (90 mM Tris, 90 mM boric acid and 2 mM EDTA, pH 8) แล้วนำไปผ่านกระแสไฟฟ้าที่ 100 โวลต์เป็นเวลา 50 นาที จากนั้นนำเจลไปแช่ในสารละลาย 5% (vol/vol) เอทีเดียมโบรไมด์ (Promega, WI, USA) นาน 15 นาที แล้วแช่ต่อน้ำกลั่นสะอาดนาน 10 นาที ทำการอ่านผลด้วย Gel Documentation System (Witeg, Wertheim, Germany) และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผล ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ดีเอ็นเอที่วิเคราะห์ได้จะถูกส่งตรวจลำดับคู่เบส (sequencing) เพื่อยืนยันชนิดของพยาธิเม็ดเลือดที่ตรวจได้จากการทำปฏิกิริยาลูกโซ่ โพลิเมอเรสกับฐานข้อมูลของ National Center for Biotechnology Information (NCBI) ผลบวกจริง (false positive) และผลลบจริง (false negative) จากการทดสอบ ประเมินจากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการตรวจจากแผ่นฟิล์มเลือดบางของเม็ดเลือดขาว (Buffy coat) และเลือด ทั้งหมด (Whole blood)

ตารางที่ 1 แสดงลำดับเบสของไพรเมอร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสและขนาดผลิตภัณฑ์ดีเอ็นเอที่ได้จากการทำปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรส (คู่เบส)

พยาธิเม็ดเลือด	ไพรเมอร์	ลำดับเบส (5' - 3')	จำนวนเบส	ผลิตภัณฑ์ดีเอ็นเอ
เออร์เลีย สปีชีส์	EHR16SD	GGTACCYACAGAAGAAGTCC	20	NE
	EHR16SR	TAGCACTCATCGTTTACAGC	20	
เออร์เลีย เคนิส	CANIS	CAATTATTTATAGCCTCTGGCTATAGGA	28	409
	GA1UR	GAGTTTGCCGGGACTTCTTCT	21	
บาบีเซีย สปีชีส์	Ba103F	CCAATCCTGACACAGGGAGGTAGTGACA	28	619
	Ba721R	CCCCAGAACCCAAAGACTTTGATTCTCTCAAG	33	

NE = ไม่ได้ทำการตรวจวิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างเทคนิคการวินิจฉัยด้วยการย้อมสีส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์และการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรส ใช้วิธี McNemar's Chi-square test โดยหากได้ค่า p-value < 0.05 แสดงว่าการตรวจวินิจฉัยด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์และการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสให้ผลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลการวิเคราะห์หาพยาธิเม็ดเลือดจากตัวอย่างด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์

จากตัวอย่างเลือดสุนัขที่มีประวัติและ/หรือแสดงอาการที่บ่งชี้ถึงการติดพยาธิเม็ดเลือดทั้งหมด 52 ตัวอย่าง พบเชื้อเออร์เลีย เคนิสจำนวน 32 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 61.54 และบาบีเซีย สปีชีส์จำนวน 6 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 11.54 ด้วยการย้อมสีและส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงสว่าง (ภาพที่ 1)

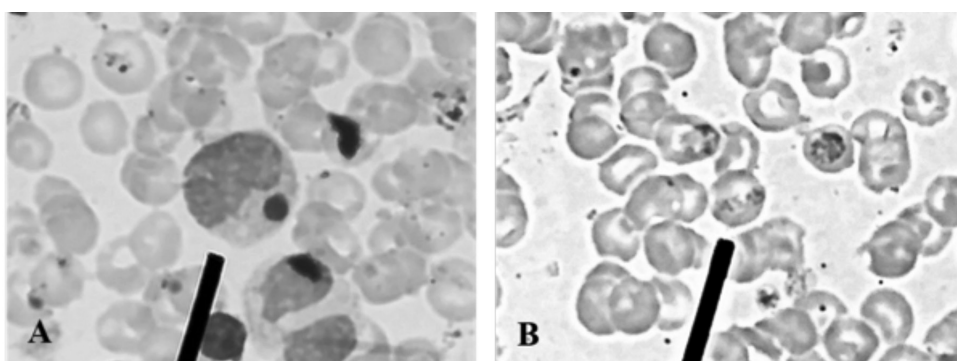
3.2 ผลการวิเคราะห์หาพยาธิเม็ดเลือดจากตัวอย่างด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรส

ไพรเมอร์ที่เลือกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีความจำเพาะต่อพยาธิเม็ดเลือดทั้งสองชนิด และไม่ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ข้ามชนิดของพยาธิเม็ดเลือด (Cross reaction) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ดีเอ็นเอที่ได้จากการทำปฏิกิริยาลูกโซ่

ในครั้งนี้อยู่มีความเหมือนกันกับลำดับเบสของเชื้อทั้งสองชนิดในฐานข้อมูลของ National Center for Biotechnology Information (NCBI) มากถึงร้อยละ 98-99 จากผลการวิเคราะห์หาพยาธิเม็ดเลือดจากตัวอย่างด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสพบว่าตัวอย่างเลือดสุนัขที่มีประวัติและ/หรือแสดงอาการที่บ่งชี้ถึงการติดพยาธิเม็ดเลือดทั้งหมด 52 ตัวอย่าง พบเชื้อเอริเชีย เคนิสจำนวน 27 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 51.92 และเชื้อบาปีเซีย สปีชีส์จำนวน 10 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 19.23 จากการทำปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส

3.3 ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบการส่องกล้องจุลทรรศน์และปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการตรวจวินิจฉัยพยาธิเม็ดเลือดชนิดเอริเชีย เคนิส ระหว่างการส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์และการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสพบว่า จากตัวอย่างที่พบพยาธิเม็ดเลือดจำนวน 32 ตัวอย่าง จากการส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ มีเพียง 21 ตัวอย่างเท่านั้นที่ตรวจพบพยาธิเม็ดเลือดด้วยการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส (ร้อยละ 65.62) ในขณะที่จากตัวอย่างที่ส่องกล้องจุลทรรศน์ตรวจไม่พบพยาธิเม็ดเลือดจำนวน 20 ตัวอย่าง มีตัวอย่างที่ตรวจพบเชื้อด้วยการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสมากถึง 6 ตัวอย่าง (ร้อยละ 30) ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าการตรวจวินิจฉัยด้วยการส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์และการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสให้ผลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 2) ทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลจากการที่ตัวอย่างเลือดสุนัขที่ติดเชื้อพยาธิเม็ดเลือดชนิดเอริเชียสปีชีส์อื่นที่มีเชื้อเอริเชียส เคนิส ซึ่งไม่สามารถตรวจได้จากเทคนิคปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส ส่งผลให้เกิดผลบวกน้อยกว่าผลการตรวจวิเคราะห์ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์



ภาพที่ 1 เชื้อเอริเชีย สปีชีส์ลักษณะเป็นกลุ่มก้อนอยู่ภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์ (A, เข็มชี้สีดำ) และเชื้อบาปีเซีย สปีชีส์ ลักษณะคล้ายหยดน้ำอยู่ในไซโตพลาสซึมของเม็ดเลือดแดง (B, เข็มชี้สีดำ) จากการย้อมสี Wright-Giemsa และส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงสว่างที่กำลังขยาย $\times 1000$ เท่า

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการตรวจวินิจฉัยพยาธิเม็ดเลือดชนิดบาปีเซีย สปีชีส์ ระหว่างการส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์และการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสพบว่า ตัวอย่างทั้งหมดที่ตรวจพบพยาธิเม็ดเลือดด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์สามารถตรวจพบพยาธิเม็ดเลือดด้วยการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรส (ร้อยละ 100) ในทางตรงกันข้ามตัวอย่างที่ส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ไม่พบพยาธิเม็ดเลือดจำนวน 46 ตัวอย่าง มีตัวอย่างที่ตรวจพบพยาธิเม็ดเลือดด้วยการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลีเมอเรสมากถึง 4 ตัวอย่าง (ร้อยละ 8.7) อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์จากวินิจฉัยทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบผลการตรวจวิเคราะห์พยาธิเม็ดเลือดชนิดเอริเชีย เคนิส (morulae) ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Buffy coat smear) และการทำปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรส (Nested PCR)

Nested PCR Buffy coat smear	(+) morulae, n = 32	(-) morulae, n = 20
(+) เอริเชีย เคนิส	21 * (65.62%)	6 * (30%)
(-) เอริเชีย เคนิส	11 * (34.38%)	14 * (70%)

* แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างการตรวจพบพยาธิเม็ดเลือดจากการส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ และการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรส

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบผลการตรวจวิเคราะห์พยาธิเม็ดเลือดชนิดบาบีเซีย สปีชีส์ (merozoite) ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์ (Blood smear) และการทำปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรส (PCR)

PCR Blood smear	(+) merozoite, n = 6	(-) merozoite, n = 46
(+) <i>Babesia</i> spp.	6 (100%)	4 (8.70%)
(-) <i>Babesia</i> spp.	0 (0%)	42 (91.30%)

4. สรุปผล

การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสุนัขที่มีประวัติหรืออาการไข้สูง และ/หรือโลหิตจางและมีเกล็ดเลือดต่ำ และ/หรือมีจุดเลือดออกตามเยื่อเมือก และ/หรือต่อน้ำเหลืองบวม สามารถพบการติดเชื้อพยาธิเม็ดเลือดชนิดเอริเชีย เคนิสมากถึงร้อยละ 61.54 และชนิดบาบีเซีย สปีชีส์ร้อยละ 11.54 จากการส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการตรวจด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์และการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสพบว่า มีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะการตรวจวินิจฉัยพยาธิเม็ดเลือดชนิดเอริเชีย เคนิส ที่การตรวจวินิจฉัยด้วยเทคนิคปฏิกิริยา ลูกโซ่โพลิเมอเรสให้ผลการตรวจที่เป็นบวกน้อยกว่าเทคนิคกล้องจุลทรรศน์ แต่สามารถตรวจพบสารพันธุกรรมในตัวอย่าง จำนวน 6 ตัวอย่าง (ร้อยละ 30) จากตัวอย่างที่ไม่สามารถตรวจพบเชื้อด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์จำนวน 20 ตัวอย่าง ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ariyawutthiphan *et al.* (2008) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตรวจวินิจฉัย ด้วยการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสนั้นมีความไวว่าการส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์และสามารถลดปริมาณผลลบเทียม (false negative) จากเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อันเกิดจากข้อจำกัดด้านความชำนาญและความพร้อมของผู้ตรวจ วินิจฉัยเป็นหลัก เช่นเดียวกันกับผลการเปรียบเทียบการตรวจวินิจฉัยพยาธิเม็ดเลือดชนิดบาบีเซีย สปีชีส์ ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่าเทคนิคปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสสามารถตรวจพบสารพันธุกรรมของพยาธิเม็ดเลือดบาร์บีเซีย สปีชีส์จำนวน 4 ตัวอย่าง (ร้อยละ 8.7) จากตัวอย่างที่ไม่สามารถตรวจพบเชื้อโดยตรงได้ด้วยเทคนิคการส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ จำนวน 46 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสนั้นมีความไวในการตรวจหาพยาธิเม็ดเลือด บาร์บีเซีย สปีชีส์มากกว่าเทคนิคการส่องตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ ดังนั้นเทคนิคการใช้ปฏิกิริยาลูกโซ่โพลิเมอเรสจึงควร นำมาใช้เป็นเทคนิคสำหรับยืนยันผลการตรวจวินิจฉัยพยาธิเม็ดเลือดควบคู่ไปกับการการส่องตรวจทางกล้องจุลทรรศน์ สำหรับศูนย์ชันสูตรโรคสัตว์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อให้ผลการตรวจวินิจฉัยมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงพยาบาลสัตว์มทร.ตะวันออกที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างเลือดสุนัขสำหรับการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก สำหรับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยงบประมาณรายจ่าย (เงินรายได้) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

6. เอกสารอ้างอิง

- Ariyawutthiphan, O., K. Chokshai-utsaha, T. Sananmuang, S. Chungpivat, M. Sarikaputi and N. Viseshakul. 2008. **The Microscopic and Molecular Detections of Canine Ehrlichiosis**. Thai J Vet Med 38(2) : 29-36.
- Boozer, A.L. and D.K. Macintire. 2003. **Canine babesiosis**. Vet Clin North Am Small Anim Pract 33(4) : 885-904.
- Kledmanee, K., S. Suwanpakdee, S. Krajangwong, J. Chatsiriwech, P. Suksai, P. Suwannachat, L. Sariya, R. Buddhirongawatr, P. Charoonrut and K. Chaichoun. 2009. **Development of multiplex polymerase chain reaction for detection of *Ehrlichia canis*, *Babesia spp.* and *Hepatozoon canis* in canine blood**. Southeast Asian J Trop Med Public Health 40(1) : 35-39.
- Laummaunwai, P., P. Sriraj, R. Aukkanimart, T. Boonmars, S. Boonjaraspinyo, S. Sangmaneedet, P. Potchimplee, P. Khianman and W. Maleewong. 2014. **Molecular detection and treatment of tick-borne pathogens in domestic dogs in Khon Kaen, northeastern Thailand**. Southeast Asian J Trop Med Public Health 45(5): 1157-1166.
- Mylonakis, M.E., A.F. Koutinas, C. Billinis, et al. 2003. **Evaluation of cytology in the diagnosis of acute canine monocytic ehrlichiosis (*Ehrlichia canis*): a comparison between five methods**. Vet Microbiol 91 : 197-204.
- Nazari, M., S.Y. Lim, M. Watanabe, R.S. Sharma, N.A. Cheng and M. Watanabe. 2013. **Molecular Detection of *Ehrlichia canis* in Dogs in Malaysia**. PLoS Negl Trop Dis 7(1) : e1982.
- Pattaradilokrat, S., W. Tiyananee, P. Simpalipan, M. Kaewthamasorn, T. Saiwichai, J. Li and P. Harnyuttanakorn. 2015. **Molecular detection of the avian malaria parasite *Plasmodium gallinaceum* in Thailand**. Vet Parasitol 210(1-2): 1-9.
- Piratae, S., K. Pimpjong, K. Vaisusuk and W. Chatan. 2015. **Molecular detection of *hrlichia canis*, *Hepatozoon canis* and *Babesia canis vogeli* in stray dogs in Mahasarakham province, Thailand**. Ann Parasitol. 61(3): 183-7.
- Shaw, E.S., J.D. Michael, R.J. Birtles and B.B. Edward. 2001. **Tickborne infectious diseases of dogs**. Trends Parasitol 1 : 74-80.
- Skotarczak, B. 2003. **Canine ehrlichiosis**. Ann Agric Environ Med 10(2) : 137-41.
- Waner, T., S. Harrus, F. Jongejan, H. Bark, A. Keysary and A.W.C.A. Cornelis. 2001. **Significance of serological testing for ehrlichial diseases in dogs with special emphasis on the diagnosis of canine monocytic ehrlichiosis caused by *Ehrlichia canis***. Vet Parasitol 95 : 1-15.

การศึกษาโรคเน่าดำของกล้วยไม้สกุลมอศคาร่าและการควบคุม Study on Black Rot Disease in Mokara Orchids and Control

สุภาภรณ์ เอี่ยมเข่ง* และ ชญานนท์ บริบูรณ์

Ieamkheng, S* and Boriboon, C

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี 20110

Division of Plant Production Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi, 20110

*E-mail: ieamkheng@hotmail.com โทร. 081-3387231

บทคัดย่อ

โรคเน่าดำที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora palmivora* (Butl.) ก่อให้เกิดความเสียหายต่อการเพาะปลูกกล้วยไม้สกุลมอศคาร่า ในตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี งานวิจัยนี้ได้สำรวจและจัดจำแนกเชื้อรา *P. palmivora* สาเหตุโรคเน่าดำได้ 5 ไอโซเลต ศึกษาวิธีการควบคุมเชื้อรา *P. palmivora* ด้วยสารเคมีและการใช้ชีววิธีในห้องปฏิบัติการ พบว่า แมนโคเซบ และเมตาแลคซิล มีฤทธิ์ค่อนข้างต่ำ โดยความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งเชื้อราได้ 49.10 และ 28.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการใช้ชีววิธี ได้แก่ เชื้อรา *Trichoderma hazianum* พบว่า สามารถยับยั้งเชื้อรา *P. palmivora* ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ไคโตซาน ความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยได้ 37.13 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดจากประยงค์ (30% W.S.) ที่ความเข้มข้น 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ยับยั้งการเจริญของเส้นใย 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ สารสกัดจากพุทธรักษาตีนแดง (30% W.P.) ที่ความเข้มข้น 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ : โรคเน่าดำ กล้วยไม้สกุลมอศคาร่า การควบคุมโดยชีววิธี *Phytophthora palmivora*

Abstract

Black rot disease caused by *Phytophthora palmivora* (Butl.) is the important disease for Mokara orchid's cultivation in Bangpra, Sriracha district, Chonburi province. Five isolates of *P. palmivora* were collected and identified. To control *P. palmivora*, fungicide and biological controls were studied. Mancocep and Metalaxyl (10-2,000 mg/l) were tested. These results showed that both fungicides have proved low effective in suppression of *P. palmivora* for 49.10 and 28.00% at 2,000 mg/l. In biological treatments, the ability of *Trichoderma hazianum* to control *P. palmivora* has proved 100 percentages. Chitosan at 100-3,000 mg/l showed low effective in suppression of mycelium growth and development (37.13% at 3,000 mg/l). *Aglaia odorata* Lour extracted (30% W.S.) at the concentration of 20,000 mg/l showed suppression on the mycelium growth at 100% while, *Jusminum officinale* L. (30% W.P) at the concentration of 20,000 mg/l showed suppression on the mycelium growth at 80%, respectively.

Keywords : Black rot disease, Mokara, Biological control, *Phytophthora palmivora* (Butl.)

1. บทนำ

โรคเน่าดำ (Black rot) หรือโรคยอดเน่า หรือโรคเน่าเข้าไส้ มีสาเหตุเกิดจากเชื้อรา *Phytophthora palmivora* (Butl.) สามารถเข้าทำลายกล้วยไม้ได้ทุกระยะการเจริญเติบโตของกล้วยไม้โดยเฉพาะในระยะที่กล้วยไม้

มีขนาดเล็ก ในประเทศไทยมีรายงานว่าพบว่ามีผลเสียหายต่อพืชได้หลายสกุล พบการระบาดของโรครุนแรงในช่วงฤดูที่มีฝนตกชุก ช่วงปลายฝนต้นหนาว หรือในสภาพที่โรงเรือนมีความชื้นสูง สำหรับกล้วยไม้สกุลมอคาร่า สามารถพบอาการของโรคได้ทุกระยะการเจริญเติบโต และทุกส่วนของกล้วยไม้ เช่น ลำต้น ยอด ดอก และลักษณะอาการจะแตกต่างกันตามบริเวณที่เชื้อเข้าทำลาย โดยเฉพาะอาการที่พบที่ตอก ซึ่งจะเกิดเป็นจุดฉ่ำน้ำ ก้านดอกเหี่ยวเป็นสีน้ำตาล แล้วเปลี่ยนเป็นสีดำ ทำให้ดอกหลุดร่วงจากช่อดอก (Trisri, 2000) ทำความเสียหายต่อเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้อย่างมาก ปัจจุบัน เกษตรกรใช้สารเคมีประเภทดูดซึม เช่น Fostetyl-Al และ Metalaxyl ซึ่งหากมีการใช้สารเคมีต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน จะทำให้เชื้อที่เป็นสาเหตุโรคเกิดการต้านทานสารเคมีได้ ทำให้การป้องกันกำจัดไม่ได้ผลเท่าที่ควร เกษตรกรจำเป็นต้องใช้สารเคมีในปริมาณมากขึ้น ทำให้การผลิตมีต้นทุนสูงขึ้น และส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมโดยตรง (Thammasiri, 2004) การค้นคว้าวิธีการควบคุมโรคพืชใหม่ ๆ เพื่อลดปัญหาอันตรายจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่เพิ่มขึ้น โดยให้เกษตรกรหันมาใช้ในการควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี (biological control) โดยการใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ เช่น เชื้อรา *Trichoderma* spp. (Chamswang, 2003) หรือการใช้ *Bacillus* spp. (Udomsak and Kositcharoenkul, 2010) นอกจากนี้ ยังมีการใช้ไคโตซาน (Chitosan) เป็นสารโพลีเมอร์และเป็นอนุพันธ์ของไคติน (Chitin) ที่สกัดได้จากเปลือกแข็งของสัตว์จำพวกกุ้งและปู และเชื้อราบางชนิด (Suvathi, 2012) หรือสารสกัดจากพืชสมุนไพรหลายชนิด ซึ่งการควบคุมโรคพืชโดยชีววิธีเป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับว่าใช้ได้ผลดี เพื่อเป็นการหาวิธีการป้องกันความเสียหายจากการเกิดโรคเน่าดำในกล้วยไม้สกุลมอคาร่าให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้ในตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาเชื้อสาเหตุของโรคเน่าดำในกล้วยไม้สกุลมอคาร่าและวิธีการควบคุมเชื้อสาเหตุโรค เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการจัดการโรคของกล้วยไม้ต่อไปในอนาคต

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเก็บตัวอย่างกล้วยไม้มอคาร่า

สำรวจและเก็บตัวอย่างกล้วยไม้มอคาร่าที่แสดงอาการโรคเน่าดำจากสวนกล้วยไม้ของเกษตรกรในพื้นที่ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ที่ประสบปัญหาโรคเน่าดำระบาดในแปลงปลูก โดยการเก็บตัวอย่างกล้วยไม้แสดงอาการลำต้นเน่า ใบจุดชุ่มน้ำ ใบเน่าสีน้ำตาล บันทึกข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศและพื้นที่ปลูก เป็นองค์ประกอบ จากนั้นนำชิ้นส่วนของใบ ลำต้น และดอก มาแยกเชื้อสาเหตุโรคด้วยวิธี Tissue transplanting technique (Agrios, 1978) ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา สาเหตุโรคที่เจริญบนอาหารแข็ง PDA ตรวจดูลักษณะสปอร์และเส้นใยภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จากนั้น นำไปทดสอบความสามารถในการเกิดโรคเบื้องต้นบนใบ ก้านดอก และดอกกล้วยไม้มอคาร่า โดยวิธี Detached leaf และทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคในระดับห้องปฏิบัติการต่อไป

2.2 การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมี ไคโตซาน และสารสกัดจากสมุนไพรการควบคุมเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ในระดับห้องปฏิบัติการ

ทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมี ไคโตซาน และ สารสกัดจากสมุนไพร โดยวิธี Poisoned food technique (Agrios, 1978) ด้วยการทดสอบกับสารเคมี 2 ชนิด ได้แก่ แมนโคเซบ และเมทาแลกซิล ที่ความเข้มข้น 0, 10, 100, 1,000 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ไคโตซาน ที่ความเข้มข้น 0, 100, 500, 1,000, 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สารสกัดจากสมุนไพร 2 ชนิด ได้แก่ ประยงค์ (30% W.P.) และพุทราชาติก้านแดง (30% W.P.) ที่ความเข้มข้น 0, 1,000, 5,000, 10,000 และ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทดสอบโดยตัดชิ้นวัชบริเวณสันใบเชื้อราที่เลี้ยงบนอาหาร PDA อายุ 10 วัน ขนาด 0.5 ตารางเซนติเมตร วางตรงกลางของจานเลี้ยงเชื้อที่มีสารเคมี ไคโตซาน และสารสกัดจากสมุนไพร ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ทำการทดลองความเข้มข้นละ 5 ซ้ำ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน บันทึกผลการทดลองโดยวัดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดโคโลนีของเส้นใยที่เจริญเติบโตแล้วนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง

การเจริญของเชื้อรา *P. palmivora* จากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = [(A-B) / A] \times 100$$

เมื่อ A คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อรา *P. palmivora* ที่เจริญบนอาหารชุดควบคุม

B คือ ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อรา *P. palmivora* ที่เจริญบนอาหารที่ผสมสาร

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma harzianum* ในการควบคุมเชื้อรา *Phytophthora palmivora* ในระดับห้องปฏิบัติการ

ทำการทดสอบโดยวิธี Dual culture test โดยวางชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยของเชื้อรา *P. palmivora* ขนาด 0.5 ตารางเซนติเมตร ที่มุมห่างจากขอบจานเลี้ยง 1 เซนติเมตร แล้ววางชิ้นวุ้นที่มีเส้นใยเชื้อรา *T. harzianum* ที่มุมด้านหนึ่งของจานเลี้ยงห่างจากขอบจานเลี้ยง 1 เซนติเมตร ทำการทดลอง 5 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน คำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเชื้อรา จากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = [(R1-R2) / R1] \times 100$$

เมื่อ R1 คือ ค่าเฉลี่ยของรัศมีของโคโลนีเชื้อรา *P. palmivora* ที่เจริญบนอาหารชุดควบคุม

R2 คือ ค่าเฉลี่ยของรัศมีของโคโลนีเชื้อรา *P. palmivora* ที่เจริญบนอาหารร่วมกับเชื้อรา *T. harzianum*

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT (Duncan's new Multiple-Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการเก็บตัวอย่างกล้วยไม้มอคคาร่าที่แสดงที่แสดงอาการที่แสดงอาการเน่าดำ ฉ่ำน้ำ ที่บริเวณใบ ก้านใบ และช่อดอก เมื่อนำมาแยกเชื้อราให้บริสุทธิ์ และศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยการตรวจดูลักษณะของลักษณะโคโลนีของเชื้อราที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA และตรวจดูลักษณะเส้นใยและสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นเชื้อรา *P. palmivora* ซึ่งมีจำนวน 5 ไอโซเลท (Table1, Figure 1) เมื่อนำเชื้อรา *P. palmivora* บริสุทธิ์ ทั้ง 5 ไอโซเลท มาทดสอบความสามารถในการเกิดโรคเบื้องต้นบนใบ ก้านดอก และดอกกล้วยไม้มอคคาร่า พบว่า ทุกไอโซเลทสามารถทำให้เกิดอาการเน่าดำ ฉ่ำน้ำ เช่นเดียวกับอาการเริ่มแรกที่เก็บตัวอย่างมา เมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมี 2 ชนิด ได้แก่ แมนโคเซบ และเมทาแลกซิล ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า สารเคมีทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *P. palmivora* ได้น้อย โดยเมทาแลกซิล และแมนโคเซบ ที่ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 49.1 และ 28.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 2A) เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Poonpolgul and Sae-Oung (2010) ในการศึกษาประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดโรคพืชในการควบคุมโรคลำต้นไหม้ของพริกที่เกิดจากเชื้อรา *P. capsici* ซึ่งจากรายงานพบว่า สารเคมีกำจัดโรคพืช Metalaxyl-mancozeb ที่ความเข้มข้น 50-100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *P. capsici* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ Poopaiboon et al. (2012) ที่ได้ศึกษาผลของสารเคมี metalaxyl ต่อการเจริญของรา *P. palmivora* สาเหตุของโรครากเน่าโคนเน่าทุเรียน พบว่า เชื้อรา *P. palmivora* ยังสามารถเจริญเติบโตได้บนอาหาร PDA ที่เติม metalaxyl ที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่า เชื้อรา *P. palmivora* มีความต้านทานต่อสารเคมี 2 ชนิดนี้มากขึ้น

Table 1 Isolation sources of *Phytophthora palmivora* (Butl.)

Isolates	Sources of isolation	Location
BP-L1	Leaf	Orchid farm, Bangpra, Chonburi
BP-L2	Leaf	Orchid farm, Bangpra, Chonburi
BP-P1	Peduncle	Orchid farm, Bangpra, Chonburi
BP-P2	Peduncle	Orchid farm, Bangpra, Chonburi
BP-F1	Flower	Orchid farm, Bangpra, Chonburi

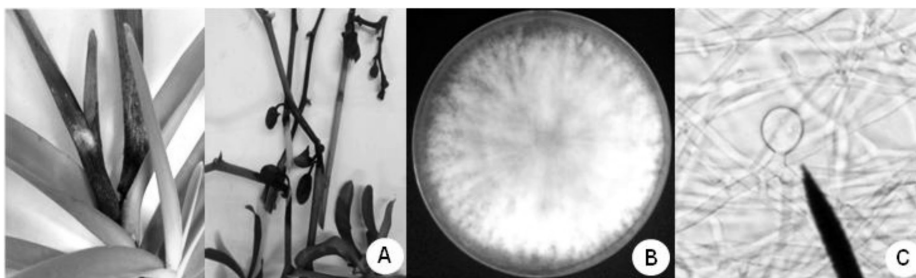


Figure 1 Symptoms of Black rot on stem and peduncle of Mockara orchid (A), colony of *Phytophthora palmivora* incubated on PDA for 10 days (B) and oospore of *Phytophthora palmivora*

การศึกษาประสิทธิภาพของโคโตซานที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *P. palmivora* พบว่า โคโตซานทุกความเข้มข้นประสิทธิภาพในยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *P. palmivora* ในระดับต่ำ (3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 37.13 เปอร์เซ็นต์) (Figure 2C) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ leamkheng and Chetthaphong (2015) ในการศึกษาการควบคุมเชื้อรา *Pyricularia grisea* Sacc. สาเหตุโรคไหม้ของข้าว พบว่า โคโตซาน ที่ความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อราได้เพียง 10.73 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่รายงานการวิจัยของ leamkheng and Harong (2014) แสดงให้เห็นว่าโคโตซานที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Rigidoporus lignosus* สาเหตุโรครากขาวในยางพาราได้ดีที่สุดโดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใย ระหว่าง 81.67-98.33 เปอร์เซ็นต์ จากรายงานที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า ความสามารถของโคโตซานในการยับยั้งการเจริญของเชื้อสาเหตุโรคขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดและสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ น้ำหนักโมเลกุลของโคโตซาน ตัวทำละลายที่ใช้เตรียมสารละลายโคโตซาน ลักษณะของอาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อ และอุณหภูมิ เป็นต้น (Suvathi, 2012)

การทดสอบสารสกัดจากสมุนไพร 2 ชนิด ได้แก่ ประยงค์ (30% W.P.) และพุทราชาก้านแดง (30% W.P.) ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0-20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า สารสกัดจากพืชสมุนไพรทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *P. palmivora* ได้ดีที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 10,000-20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสารสกัดจากประยงค์ (30% W.S.) ที่ความเข้มข้น 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งดีที่สุด เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2C) ในขณะที่สารสกัดจากพุทราชาก้านแดงที่ความเข้มข้น 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ (Figure 1C) จากรายงานที่ผ่านมา พบว่า ประยงค์ เป็นพืชที่มีสาร flavaglines ซึ่งเป็นสารประเภท bioactive สะสมอยู่ที่รากและเปลือกลำต้น ซึ่งมีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดเชื้อสาเหตุโรคได้หลายชนิด (Khewkhom and Sangsiri, 2011) ในขณะที่ พุทราชาก้านแดง ก็มีรายงานการทดสอบการใช้สารสกัดเมทานอลที่ได้จากพุทราชาก้านแดง พบว่า สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Colletorichum musae*, *C. nicotianae* และ *C. gloeosporioides* ได้ (Thongsri et al., 2005)

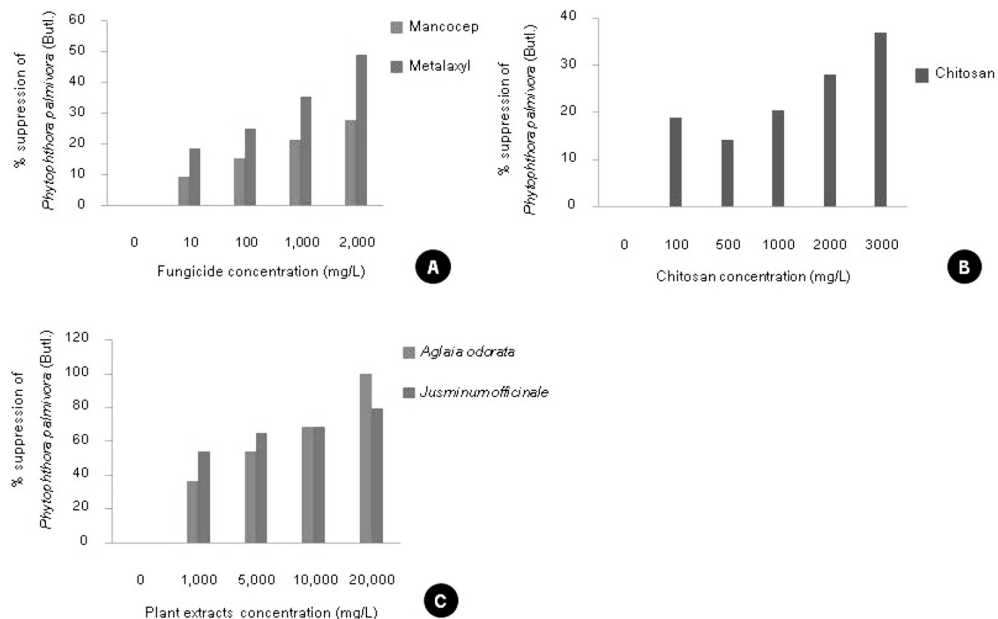


Figure 2 The efficiency of fungicide (A), Chitosan (B) and Plant extracts (C) to suppression of growth and development of *Phytophthora palmivora* on PDA at 10 days after test.

การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อ *T. harzianum* ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยเชื้อรา *P. palmivora* พบว่า เชื้อ *T. harzianum* มีประสิทธิภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ (Figure 3) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า เชื้อรา *T. harzianum* สามารถสร้างเส้นใยที่เจริญได้อย่างรวดเร็วและสามารถสร้างสปอร์ได้ในปริมาณสูงมากซึ่งทำให้เชื้อรา *P. palmivora* ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ทัน (Chamswarn et al., 2001; Kaewchai, 2012) จากการทดลองแสดงว่า เชื้อรา *T. harzianum* โดยมีลักษณะมีกลไกเป็นแบบการแข่งขัน (competition) โดยการแย่งสารอาหาร พื้นที่การเจริญของเส้นใย และขัดขวางการเจริญของเส้นใยของเชื้อรา และกลไก antibiosis ที่พบมีลักษณะเป็น clear zone เกิดขึ้นระหว่างเชื้อรา *P. palmivora* (Butl.) และเชื้อรา *T. harzianum* (Chamswarn, 2003) (Figure 3)

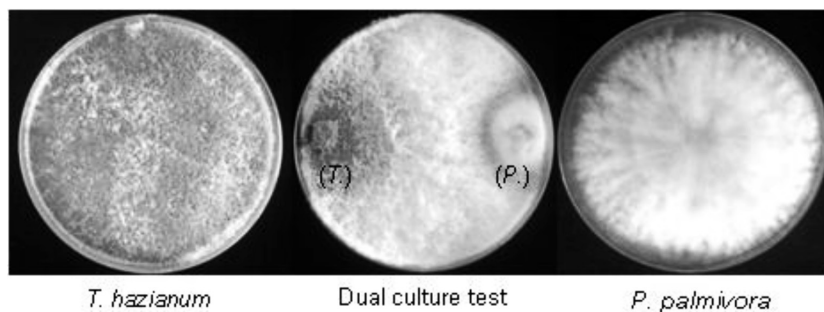


Figure 3 Dual culture test of *Trichoderma harzianum* against to *Phytophthora palmivora* (Butl.) at 7 days after inoculation.

4. สรุป

จากการเก็บตัวอย่างกล้วยไม้สกุลมอศคาร่าที่แสดงอาการของโรคเน่าดำ มาคัดแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ พบเป็นเชื้อรา *P. palmivora* ทั้ง 5 ไอโซเลท การศึกษาวิธีการควบคุมเชื้อรา *P. palmivora* โดยการใช้สารเคมี และชีววิธี พบว่า แมนโคเซบ และเมตาแลคซิล (10-2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีฤทธิ์ค่อนข้างต่ำ ที่ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถควบคุมได้ 49.10 และ 28.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การควบคุมโดยชีววิธี โดยใช้ ไคโตซาน พบว่า ไคโตซาน ทุกความเข้มข้นไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *P. palmivora* การใช้สารสกัดจากประยงค์ (30% W.S.) และพุทธรักษาถิ่นแดง (30% W.P.) ที่ความเข้มข้น 1,000-20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า สารสกัดจากประยงค์ที่ความเข้มข้น 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *P. palmivora* ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ สารสกัดจากพุทธรักษาถิ่นแดงที่ความเข้มข้น 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *P. palmivora* ได้ 80 เปอร์เซ็นต์ และเชื้อรา *T. hazianum* สามารถยับยั้งเชื้อรา *P. palmivora* ได้ 100 เปอร์เซ็นต์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณมนัส สุธาสี เกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้สกุลมอศคาร่า ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ในการอนุเคราะห์ให้เก็บตัวอย่างกล้วยไม้ที่แสดงอาการโรคเน่าดำเพื่อนำมาศึกษา ขอขอบคุณ รศ. ดร. จำรูญ เล้าสินวัฒนา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การอนุเคราะห์ สารสกัดจากสมุนไพรสำหรับการทำวิจัย ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- Agrios, G.N. 1978. **Plant Pathology**. Academic Press., New York.
- Chamswang, C. 2003. **Biological control of plant disease and insect pests**. Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom. (in Thai)
- Chamswang, C., W. Intanoo and T. Kumchang. 2001. Efficacy of various formulation of *Trichoderma hazianum* for controlling stem rot of yard long bean caused by *Sclerotium rolfsii*, p. 236-242. In Proceeding of the 39th Kasetsart University Annual Conference: Plant, Agricultural Extension and Communication, February 5-7, 2001, Bangkok. (in Thai)
- leamkheng, S. and M. Harong. 2014. Control of *Rigidoporus lignosus* causing of white root disease in rubber tree (*Havea brasiliensis* Muell. Arg). Khon Kaen Agr. 42 Suppl. 3: 686-692.
- leamkheng, S. and P. Chetthaphong. 2015. Control of *Pyricularia grisea* Sacc. causing of rice blast disease, p. 647-654. In The 12th National Plant Protection Conference, October 20-22, 2015. Dusit Island Resort, Chiang Rai. (in Thai)
- Khewkhom, N. and T. Sangsiri. 2011. Effect of Extracts from the Bark of *Aglaia* spp. on the Growth of *Colletotrichum gloeosporioides* and *C. capsici* Isolated from Papaya Fruit. Agricultural Sci. J. 42 Suppl. 1: 283-286.
- Kaewchai, S. 2012. Application of *Trichoderma* spp. for Plant Disease Control. Prince of Naradhiwas University J. 4(3): 108-123.
- Poonpolgul, S. and V. Sae-Oung. 2010. Efficacy of fungicide to control *Phytophthora* blight in chilli pepper, p. 160-165. In Annual Report in 2015. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)

- Poopaiboon, A., P. Patthanawipas and Y. Chieamchaisri. 2012. **Effect of metalaxyl on growth of *Phytophthora palmivora***, p. 1163-1174. *In* Annual Report in 2012. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok.
- Suvathi, Y. 2012. **Chitosan and inhibition of microorganism**. R&D Newsletter 19(4): 4-5.
- Thammasiri, K. 2004. **Orchid production technology**. Aksorn Siam Printing, Bangkok. (in Thai)
- Trisri, N. 2000. **Efficacy of fungicides for controlling of black rot disease in Mokara orchid**. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)
- Thongsri, W., W. Phuwiwat and J. Laosinwattana. 2005. **Controlling of *Colletotrichum* by methanol extract from *Jusminum officinale* L. leaves**, p. 94. *In* the 5th National Horticultural Congress, Welcome Jomtien Beach Hotel, Pattaya, Chonburi. (in Thai)
- Udomsak, B. and N. Kositcharoenkul. 2010. **Study on potential of Bacillus genus for controlling fungi causal agent of economic plant disease**. Plant Protection Research and Development Office, Department of Agriculture, Bangkok. (in Thai)

การพัฒนาวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายปริมาณน้อยเพื่อวิเคราะห์

กรดเบนโซอิกในขนมจีน

The Development of Liquid/Liquid Extraction with Small Amount of Solvent for Determination of Benzoic Acid in Rice Vermicelli

วรพรรณ พรหมศิลา* ธาวิดา จาดเชื้อ และ ลลิตา สุว่างเวียง

Worapan Pormsila Thawida Chatchuea and Lalita Suwangwiang

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep

*E-mail: worapan.p@mail.rmutk.ac.th โทร. 02-287-9600 ต่อ 7014

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ เพื่อวิเคราะห์กรดเบนโซอิกในเส้นขนมจีน โดยทำการสกัด ด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลายปริมาณน้อย (0.25 มิลลิลิตร) ร่วมกับการหมุนเหวี่ยง (Relative centrifuge force, RCF 1000xg) เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณกรดเบนโซอิกด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ด้วยเฟสเคลื่อนที่เป็นอะซิโตนไตรลกับอะซิเตทบัฟเฟอร์ (อัตราส่วน 60 ต่อ 40) ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความใช้ได้ของวิธี พบสัญญาณที่วัดได้ตอบสนองต่อความเข้มข้นโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9999 ค่าความแม่นยำในการวิเคราะห์ (Repeatability) ที่แสดงในรูปร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของเวลาหน่วงสารและพื้นที่ใต้พีค เท่ากับ 0.02 และ 1.82 ตามลำดับ ขีดจำกัดในการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดการวิเคราะห์ปริมาณ (LOQ) มีค่าเท่ากับ 56.96 และ 189.86 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จากผลการศึกษาการพัฒนาวิธีพบว่า การสกัดด้วยตัวทำละลายปริมาณน้อยร่วมกับการหมุนเหวี่ยง สามารถวิเคราะห์กรดเบนโซอิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นวิธีการที่ง่าย รวดเร็ว โดยปริมาณของกรดเบนโซอิกที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (น้อยกว่า 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

คำสำคัญ : การสกัดด้วยตัวทำละลาย กรดเบนโซอิก ขนมจีน โครมาโทกราฟี

Abstract

The work was for development of the solvent extraction using a mixture of methanol and water for determination of benzoic acid in rice vermicelli. A small volume (0.25 mL) of solvent, coupled with centrifuge (Relative centrifuge force, RCF 1000xg) for 5 min was addressed. Benzoic acid was determined by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) method using acetonitrile and acetate buffer (60:40) as a mobile phase. The validation of the method was investigated. The coefficient of determination (R^2) was 0.9999. The repeatability, presented as a percentage of relative standard deviation (%RSD) of retention time and peak area were 0.02 and 1.82, respectively. The limit of detection (LOD) and limit of quantitation (LOQ) were 56.96 and 189.86 $\mu\text{g/L}$, respectively. The developed method using a small amount of solvent coupled with centrifuge shows good efficiency, easy and fast for determination of benzoic acid. The amount of benzoic acid in Rice vermicelli was lower than the limitation ($< 1000 \text{ mg/kg}$).

Keywords : Liquid/Liquid extraction, Benzoic acid, Rice Vermicelli, Chromatography

1. บทนำ

สารกันบูด (Preservatives) คือ วัตถุเจือปนอาหาร เป็นสารเคมีที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ช่วยถนอมอาหาร ชะลอหรือยับยั้งการเจริญ และทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุการเน่าเสียของอาหารได้ ชนิดของสารกันบูดที่นิยมเติมลงในอาหารในปัจจุบัน ได้แก่ สารกันบูดในกลุ่มกรดเบนโซอิก (Benzoic acid) กรดซอร์บิก (Sorbic acid) และโพรปิโอนิก (Propionic acid) โดยสารกันบูดกลุ่มกรดเบนโซอิกและกรดซอร์บิกทั้งสองกลุ่มนี้ มีลักษณะทางกายภาพเป็นผลึกสีขาว สามารถละลายน้ำได้ดี มีความเป็นพิษต่ำ จึงเป็นที่นิยมใช้ในการถนอมอาหารหลายประเภท จนอาจทำให้ผู้ผลิตบางราย ละเลยในเรื่องของปริมาณที่เหมาะสมในการเติมลงในอาหาร อาหารบางชนิดจึงอาจมีการใส่สารกันบูดกลุ่มนี้เกินมาตรฐาน ที่หน่วยงานของรัฐกำหนด โดยทั่วไปเกณฑ์ของกรดเบนโซอิกในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 พ.ศ. 2527 เรื่อง วัตถุเจือปนอาหารบัญชีการตรวจสอบวิเคราะห์วัตถุเจือปนอาหาร อนุญาตให้ใส่กรดเบนโซอิกในปริมาณ 1000 มิลลิกรัม ต่อ 1 กิโลกรัมของอาหาร (Bureau of Food, 1997)

ขนมจีน (Rice Vermicelli หรือ Thai Rice Noodle) อาหารชนิดหนึ่งที่คนไทยมีความคุ้นเคยและนิยมบริโภค ตามบทนิยามความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 500/2547) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวเจ้า หรือข้าวเจ้ากลึงที่ผ่านการหมักหรือไม่ก็ได้ นำมาโม้และทับน้ำ หรือทำจากแป้งขนมจีน อาจผสมส่วนประกอบอื่น เช่น ใบเตย ดอกอัญชัน นำไปนวด โรยเป็นเส้นในน้ำเดือด ซ้อนเส้นที่สุกแล้วใส่ในน้ำเย็น นำขึ้นแล้วจับเรียงหรือทำเป็นรูปร่าง ตามต้องการ (Thai Industrial Standard Institute, 2004) ในขนมจีนอาจมีการเติมวัตถุเจือปนอาหาร ซึ่งการใช้ วัตถุกันเสียนั้นให้ใช้ได้ตามชนิดและตามปริมาณที่กฎหมายกำหนด ซึ่งกระทรวงสาธารณสุขโดยสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร และสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ได้มีการสุ่มตรวจตัวอย่างขนมจีนจากแหล่งต่าง ๆ เพื่อเฝ้าระวังการใช้วัตถุกันเสียในอาหาร ซึ่งมีรายงานการตรวจพบปริมาณกรดเบนโซอิกอยู่ในช่วง 1,079 ถึง 17,250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม [Thongpo *et al.*, 2016] โดยวิธีการตรวจสอบหาปริมาณกรดเบนโซอิกและโซเดียมเบนโซเอท ในอาหารจะใช้วิธีมาตรฐานของ Association of Official Analytical Chemists (AOAC) ปี ค.ศ. 1995 ข้อที่ 47.3.03 (Praditwiangkham and Mitkosum, 2011) ซึ่งข้อด้อยของวิธีมาตรฐาน คือเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มีขั้นตอนการวิเคราะห์ หลายขั้นตอน ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษ และใช้ในปริมาณมากเพื่อทำการสกัด แยกกรดเบนโซอิกและโซเดียมเบนโซเอทออกจากตัวอย่าง จึงทำให้มีงานวิจัยหลายงานที่พัฒนาวิธีการวิเคราะห์โดยลด ขั้นตอนการวิเคราะห์ หรือลดการใช้ปริมาณตัวทำละลายอินทรีย์ลง เช่น วิธีทางสเปกโทรโฟโตเมทรี (Praditwiangkham and Mitkosum, 2011) วิธีทางโครมาโทกราฟี (Maneerat and Thongpoon, 2017; Burana-osot *et al.*, 2014; Mota *et al.*, 2003)

ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจวิเคราะห์สารกันบูด คือ กรดเบนโซอิกจากตัวอย่างขนมจีน โดยการสกัด ด้วยตัวทำละลายที่มีความเป็นพิษต่ำ และใช้ตัวทำละลายในปริมาณน้อย ทำการสกัดด้วยตัวทำละลายร่วมกับการหมุนเหวี่ยง เพื่อแยกเฟส ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดการใช้และทั้งตัวทำละลายอินทรีย์ที่มักเป็นพิษทางสิ่งแวดล้อม ยังเป็นการเพิ่ม ประสิทธิภาพการสกัดแยกกรดเบนโซอิกในขนมจีนตัวอย่าง จากนั้นจะวิเคราะห์หาปริมาณของกรดเบนโซอิกด้วยเครื่อง โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวอย่างขนมจีน

นำตัวอย่างขนมจีนจากตลาดล่าง อำเภอเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี จำนวน 1 ถาด น้ำหนัก 1 กิโลกรัม มาหั่นครึ่ง แล้วนำไปผึ่งตากแดดประมาณ 18 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส (°C) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นที่เหลือ นำมาบดด้วยโกร่งบดสารให้มีขนาดเล็ก จากนั้นนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นจนละเอียดได้ผงตัวอย่าง ขนมจีน ร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อคัดขนาด ชั่งน้ำหนักแห้งที่ได้หลังจากการร่อน คำนวณหาร้อยละ ผลผลิตของน้ำหนักแห้งที่ได้

2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดด้วยตัวทำละลายปริมาณน้อย

2.2.1 ศึกษาชนิดตัวทำละลายที่เหมาะสม

ศึกษาชนิดตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการสกัด จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ เมทานอล อะซิโตน ไตรคลอโรเอทิล-อีเทอร์ และ สารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ (อัตราส่วน 60:40 โดยปริมาตร) โดยชั่งนำตัวอย่างผงขมจีนจากข้อที่ 1 จำนวน 0.25 กรัม ใส่ในหลอดเซนตริฟิวจ์ เติมตัวทำละลายที่ศึกษาปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำมาเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (RCF 1000×g) เพื่อทำการสกัด เป็นเวลา 5 นาที ดูดสารละลายส่วนใสเพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดเบนโซอิกด้วยเครื่อง HPLC ต่อไป พิจารณาเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมจากโครมาโทแกรม

2.2.2 ศึกษาปริมาณตัวอย่างผงขมจีนที่เหมาะสม

ชั่งตัวอย่างผงขมจีน ที่น้ำหนักต่าง ๆ ได้แก่ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 กรัม ใส่ในหลอดเซนตริฟิวจ์ จำนวน 4 หลอด ตามลำดับ จากนั้นเติมตัวทำละลายที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2.1 ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำมาเข้าเครื่องเซนตริฟิวจ์ (RCF 1000×g) เป็นเวลา 5 นาที ดูดสารละลายส่วนใสเพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดเบนโซอิกด้วยเครื่อง HPLC ต่อไป พิจารณาเลือกตัวอย่างผงขมจีนที่เหมาะสมจากโครมาโทแกรม

2.2.3 ศึกษาเวลาในการสกัดที่เหมาะสม

ชั่งตัวอย่างผงขมจีน จำนวน 0.25 กรัม ใส่ในหลอดเซนตริฟิวจ์ เติมตัวทำละลายที่เหมาะสมจากข้อ 2.1 ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร เขย่าให้ตัวอย่างและตัวทำละลายเข้ากัน นำตัวอย่างมาทำการหมุนเหวี่ยงโดยเข้าเครื่องเซนตริฟิวจ์ (RCF 1000×g) เพื่อทำการสกัดเหวี่ยง ที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 3, 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ ดูดสารละลายส่วนใสของตัวอย่างแต่ละช่วงเวลาเพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดเบนโซอิกด้วยเครื่อง HPLC พิจารณาเลือกเวลาที่เหมาะสมจากโครมาโทแกรม

2.3 ศึกษาความใช้ได้ของวิธีและวิเคราะห์ปริมาณสารกรดเบนโซอิกด้วยเทคนิค HPLC

นำสารละลายส่วนใสที่ได้จากการสกัด มารองเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนขนาดเล็กออกจากชั้นสารสกัดอินทรีย์ด้วยเมมเบรนฟิวเตอร์ (Membrane filter) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดเบนโซอิกด้วยเทคนิค HPLC ฉีดสารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างเข้าสู่ระบบ HPLC โดยกำหนดสภาวะการวิเคราะห์ตามวิธีที่ใช้อ้างอิง (Burana-osot *et al.*, 2014) ด้วยอัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่ฉีด 20 ไมโครลิตร เครื่องตรวจวัดที่ใช้ UV-detector ที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร ใช้เฟสเคลื่อนที่ระหว่างบัฟเฟอร์แอมโมเนียมอะซิเตท (pH 4) กับอะซิโตน ไตรคลอโรเอทิล-อีเทอร์ ในอัตราส่วน 60:40

2.3.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

สร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดเบนโซอิก ที่มีความเข้มข้น 1.0-100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ หาค่าสมการเส้นตรง โดยต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, r^2) ไม่น้อยกว่า 0.99 จึงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2.3.2 ขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีการวิเคราะห์ (Limit of detection, LOD) และ ขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Limit of quantitation, LOQ)

การศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ โดยวิธีการทดสอบ Spiked sample blank โดยเติมสารมาตรฐานให้มีค่าใกล้เคียงกับค่า LOD ทำการวิเคราะห์ซ้ำ 5 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่า Standard deviation (SD) โดย $LOD = y_{intercept} + 3 SD$ และ $LOQ = y_{intercept} + 10 SD$

2.3.3 การทดสอบค่าความแม่นยำ (Precision)

ศึกษาค่าความแม่นยำรายงานในรูปร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Percent of relative standard deviation, %RSD) โดยเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 5 ขวด จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วย HPLC แล้วอ่านค่าของเวลาและพื้นที่เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่พีก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation,

SD) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation, RSD) ค่าที่ยอมรับได้ควรอยู่ในเกณฑ์ $\%RSD \leq 10.0$

2.3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างและการหาร้อยละการกลับคืน (% Recovery)

ชั่งตัวอย่างผงขมจีนจำนวน 0.25 กรัม ใส่ในหลอดเซนตริฟิวจ์ เติมน้ำที่ละลายเมทานอลกับน้ำ (อัตราส่วน 60:40 โดยปริมาตร) จำนวน 2.50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำตัวอย่างมาทำการสกัดโดยการหมุนเหวี่ยงโดยเข้าเครื่องเซนตริฟิวจ์ (RCF 1000×g) เพื่อทำการสกัดเหวี่ยงเป็นเวลา 5 นาที ตามลำดับ ดูดสารละลายส่วนใสเพื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดเบนโซอิกด้วยเครื่อง HPLC และศึกษาร้อยละการกลับคืน (% Recovery) โดยทำวิธีการ Spiked sample โดยการเติมสารละลายมาตรฐานกรดเบนโซอิก (Added standard) ความเข้มข้น 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในสารละลายตัวอย่าง (Original sample) ตามวิธีการสกัด และคำนวณร้อยละการกลับคืน เพื่อแสดงค่าความถูกต้องของวิธีการทดสอบตามสมการ

$$\text{ร้อยละการกลับคืน} = \frac{(\text{ค่าความเข้มข้นตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน} - \text{ค่าตัวอย่างตัวอย่าง})}{\text{ค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติม}} \times 100$$

3. ผลการลองและวิจารณ์ผล

3.1 การเตรียมตัวอย่างขมจีน

วิเคราะห์ตัวอย่างขมจีนจากตลาดวัง จังหวัดสระบุรี จำนวน 1 กิโลกรัม ลักษณะตัวอย่างเป็นเส้นสีขาวนวลตามภาพที่ 1ก) หลังจากผ่านการตากแดด 18 ชั่วโมงและอบไล่ความชื้นที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 3 ชั่วโมง มีลักษณะเส้นขุ่น กรอบและแห้ง ตามภาพที่ 1ข) จากนั้นนำตัวอย่างขมจีนมาบดและบั่น ลักษณะที่ได้เป็นผงหยาบไม่ละเอียดมาก น้ำหนักตัวอย่างที่ได้มีจำนวน 268.50 กรัม ตามภาพที่ 1ค) จากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อน ลักษณะตัวอย่างขมจีนที่ได้เป็นผงละเอียดสีขาว ชั่งน้ำหนักแห้งได้จำนวน 175.52 กรัม ตามภาพที่ 1ง) คิดเป็นร้อยละน้ำหนักแห้ง (175.52 กรัม) ต่อน้ำหนักสด (1 กิโลกรัม) เท่ากับร้อยละ 0.18



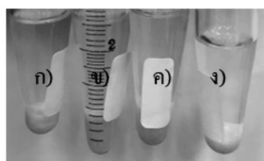
ภาพที่ 1 ตัวอย่างขมจีนที่ใช้ในการทดลอง ก) เส้นขมจีน ข) เส้นขมจีนที่ผ่านการตากแดดและอบ ค) ตัวอย่างที่ก่อนการร่อน ง) ตัวอย่างหลังจากการร่อน

3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดด้วยตัวทำละลายปริมาณน้อย

3.2.1 ศึกษาชนิดตัวทำละลายที่เหมาะสม

ชนิดตัวทำละลายที่ใช้ศึกษา ได้แก่ เมทานอล อะซิโตน ไตรคลอโรเอทิลีน และสารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ (อัตราส่วน 60:40 โดยปริมาตร) ใช้ตัวทำละลายปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักตัวอย่างขมจีนจำนวน 0.25 กรัม ผสมตัวอย่างและตัวทำละลายรวมกับการหมุนเหวี่ยง พบว่า สารละลายที่ได้หลังจากการปั่นเหวี่ยงมีลักษณะใส มีส่วนของแข็งของตัวอย่างเหลือบางส่วน ดังภาพที่ 2 นำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์กรดเบนโซอิกด้วยเครื่อง HPLC พบว่า ภายใต้สภาวะการวิเคราะห์เวลาหนึ่งสสาร (Retention time) ของกรดเบนโซอิกแสดงที่เวลา 2.4 นาที โดยพื้นที่ใต้พีกของแต่ละตัวทำละลายเรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ สารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ > เมทานอล > อะซิโตน ไตรคลอโรเอทิลีน สำหรับไตรคลอโรเอทิลีนผู้วิจัยได้พิจารณาแล้วพบว่า เป็นตัวทำละลายที่ระเหยเร็ว มีกลิ่นฉุน และมีความเป็นพิษมากกว่าตัวอื่น ไม่เหมาะต่อการนำไปวิเคราะห์ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลาย 3 ชนิด โดยพิจารณา

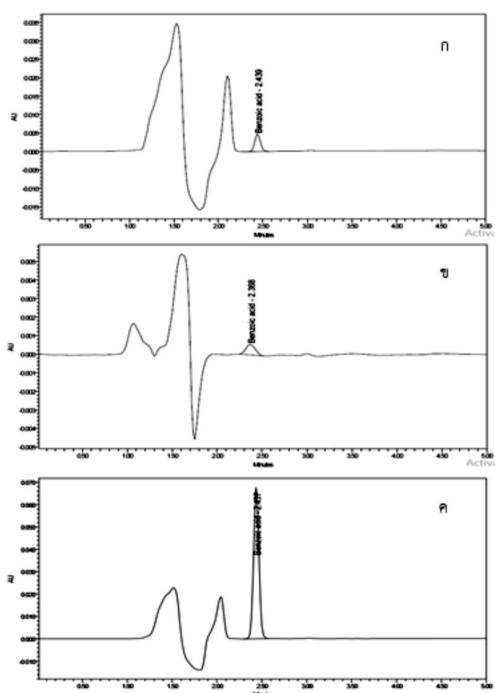
จากลักษณะฟีกและพื้นที่ใต้ฟีก พบว่า สารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำเป็นตัวทำละลายเหมาะสมที่สุด ได้รับความสูงและพื้นที่ใต้ฟีกมากที่สุด (ผลการทดลองตามตารางที่ 1) ลักษณะฟีกสมมาตร (โครมาโทแกรม ตามภาพที่ 3 ค) อีกทั้งเป็นตัวทำละลายที่มีความเป็นพิษน้อย จึงเลือกสารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำในการทดลองขั้นต่อไป



ภาพที่ 2 ลักษณะของสารละลายที่ได้ในตัวทำละลายสกัดแต่ละชนิด ก) อะซิโตนไตรล์
ข) ไดเอทิลอีเทอร์ ค) สารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ ง) เมทานอล

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์กรดเบนโซอิกในตัวทำละลายแต่ละชนิด

ชนิดของตัวทำละลาย	เวลาหน่วงสาร (นาท)	กรดเบนโซอิก (มิลลิกรัมต่อกรัม)
เมทานอล	2.439	116.0
อะซิโตนไตรล์	2.368	34.2
สารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ	2.437	707.1



ภาพที่ 3 โครมาโทแกรมของสารสกัดในตัวทำละลาย
(ก) เมทานอล (ข) อะซิโตนไตรล์ (ค) สารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ

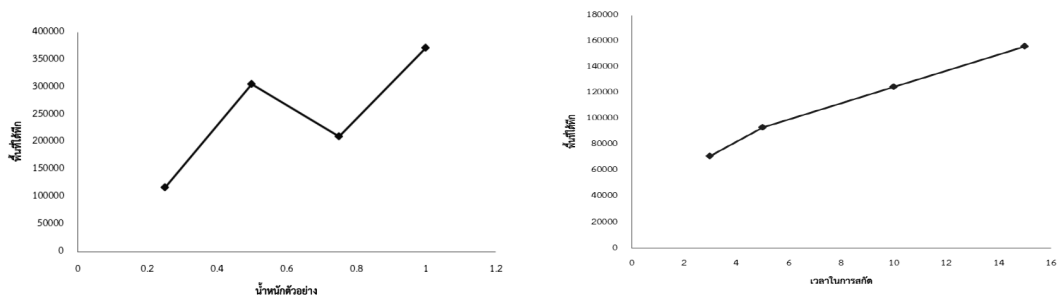
3.2.2 ศึกษาปริมาณตัวอย่างขมิ้นที่เหมาะสม

น้ำหนักตัวอย่างขมิ้นที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 กรัม โดยการศึกษาใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ สารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และทำการสกัดโดยการเติมตัวทำละลายร่วมกับการหมุนเหวี่ยง (RCF 1000×g) เป็นเวลา 5 นาที พบว่า สารละลายที่ได้หลังจากการปั่นเหวี่ยงมีลักษณะใส และมีส่วนของแข็งของตัวอย่างเหลือในทุกสภาวะ และจำนวนที่เหลือแปรตามจำนวนตัวอย่างเริ่มต้น จากนั้นนำสารละลาย

ส่วนไฮโดรไลซิสด้วย HPLC พบว่า ลักษณะพีคมีความสมมาตร พื้นที่ใต้พีคที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับสารตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามผู้วิจัยเลือกปริมาณตัวอย่างที่ 0.25 กรัม เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากค่าพื้นที่ใต้พีค กราฟแสดงพื้นที่ที่พิกeton้ำหนักตัวอย่าง ดังภาพที่ 4 (ซ้ายมือ) แล้วค่าที่ได้สูงพอต่อการนำไปเทียบปริมาณกรดเบนโซอิกในขนมจีน อีกทั้งจำนวนตัวอย่างที่เหลือน้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำหนักอื่น

3.2.3 ศึกษาเวลาในการสกัดที่เหมาะสม

การศึกษาเวลาที่ใช้สกัดในการสกัดตัวอย่างขนมจีนที่เวลาต่าง ๆ ได้แก่ 3, 5, 10 และ 15 นาที โดยใช้ตัวทำละลายปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักตัวอย่างขนมจีนจำนวน 0.25 กรัม ทำการสกัดโดยการเติมตัวทำละลายร่วมกับการหมุนเหวี่ยง พบว่า สารละลายที่ได้หลังจากการปั่นเหวี่ยงมีลักษณะใส มีส่วนของแข็งของตัวอย่างเหลือในทุกสถานะ ผลการวิเคราะห์ด้วย HPLC พบว่า พื้นที่ใต้พีคแปรตามเวลาที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยง กราฟแสดงพื้นที่ที่พิกeton้ำหนักตัวอย่าง ดังภาพที่ 4 (ขวามือ) แต่ค่าที่ได้ไม่ได้มีความแตกต่างกันมากอย่างชัดเจนในช่วงเวลาที่ศึกษา จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่าเวลาการสกัดโดยการปั่นเหวี่ยงที่ 5 นาที เพียงพอต่อการนำไปเทียบปริมาณกรดเบนโซอิกในขนมจีน



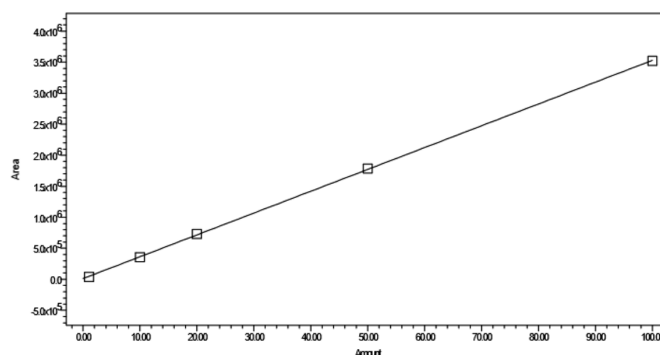
ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับน้ำหนักตัวอย่าง (ซ้ายมือ)

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับเวลาในการสกัด (ขวามือ)

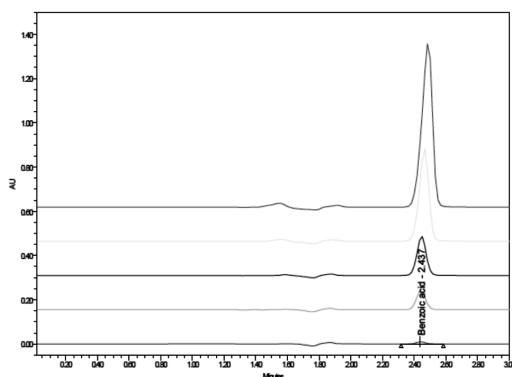
3.2.4 การทดสอบความใช้ได้ของวิธีและวิเคราะห์ปริมาณสารกรดเบนโซอิกด้วยเทคนิค HPLC

3.2.4.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

นำสารละลายกรดเบนโซอิกที่มีความเข้มข้น 1.0 - 100.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) มาทำการวิเคราะห์ และนำพื้นที่ใต้พีคมาสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) พบว่าสัญญาณที่วัดได้แปรตามความเข้มข้นในช่วงที่ศึกษานำค่าที่วัดได้มาสร้างกราฟมาตรฐานได้สมการเส้นตรงเท่ากับ $y = (3.52 \times 10^4)x + (1.31 \times 10^4)$ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, r^2) เท่ากับ 0.9999 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ($r^2 > 0.99$) สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นกับสัญญาณที่วัดได้ดังภาพ 5 และโครมาโทแกรมของสารละลายกรดเบนโซอิกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ดังภาพ 6



ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของกรดเบนโซอิก



ภาพที่ 6 โครมาโทแกรมของสารละลายกรดเบนโซอิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

3.2.4.2 ขีดจำกัดต่ำสุดของวิธีการวิเคราะห์ (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (LOQ)

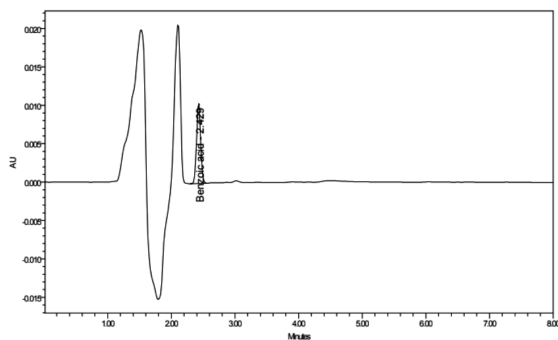
การศึกษาความเข้มข้นต่ำสุดของวิธีการวิเคราะห์ Spiked sample blank โดยการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่ำสุดที่เตรียมได้ (ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของสัญญาณ แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหา LOD มีค่าเท่ากับ 56.96 ไมโครกรัมต่อลิตร และ LOQ มีค่าเท่ากับ 189.86 ไมโครกรัมต่อลิตร

3.2.4.3 การทดสอบค่าความแม่นยำ

ศึกษาค่าความแม่นยำ (Repeatability) โดยวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานกรดเบนโซอิกที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันเดียวกัน จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำค่าจากการวิเคราะห์มาคำนวณหาร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation, %RSD) รายงานค่าความแม่นยำในรูป %RSD ได้ค่าความแม่นยำของเวลาและของพื้นที่ใต้พีกมีค่า 0.02 และ 1.82 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Panchon, 2015)

3.2.4.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างและหาค่าร้อยละการกลับคืน

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดเบนโซอิกในขนมจินตตาลดั่ง พบว่า พีกของกรดเบนโซอิกที่เวลา 2.429 นาที แสดงโครมาโทแกรมของตัวอย่างขนมจินตดังภาพที่ 7 คำนวณปริมาณกรดเบนโซอิกในขนมจินตมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน และจากนั้นศึกษาหาค่าร้อยละการกลับคืน (% Recovery) โดยทำวิธีการเติมสารมาตรฐานลงในตัวอย่าง (Spiked sample) สารละลายมาตรฐานกรดเบนโซอิกที่เติมลงไปคิดเป็นความเข้มข้น 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในสารละลายตัวอย่างที่ผ่านการสกัดแล้ว และคำนวณหาค่าร้อยละการกลับคืน จากการคำนวณพบว่าค่าร้อยละการกลับคืนมีค่าร้อยละ 80



ภาพที่ 7 โครมาโทแกรมของตัวอย่างขนมจิน

4. สรุปผล

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดกรดเบนโซอิกที่ใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อยร่วมกับการหมุนเหวี่ยง พบสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเกิดขึ้นโดยการใช้ตัวทำละลายเป็น สารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ โดยการศึกษาใช้ตัวทำละลาย คือ สารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตรและใช้ปริมาณตัวอย่างที่ 0.25 เวลาการสกัดโดยการปั่นเหวี่ยง (RCF 1000×g) ที่ 5 นาที สภาวะที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ปริมาณกรดเบนโซอิกด้วย HPLC โดยใช้สภาวะเฟสเคลื่อนที่คือสารละลายผสมระหว่าง อะซิโตนไตรีกกับอะซิเตทบัฟเฟอร์ อัตราส่วน 60 ต่อ 40 และเฟสอยู่กับที่คือคอลัมน์ชนิด C18 ความยาว 15 เซนติเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมให้ค่าความเป็นเส้นตรงของกรดเบนโซอิกในช่วงความเข้มข้น 1-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเส้นตรง ($y = mx + c$) มีค่า $y = (3.52 \times 10^4)x + (1.31 \times 10^4)$ ค่า r^2 เท่ากับ 0.9999 ค่าความแม่นยำ (Repeatability) ที่แสดงในรูป %RSD ได้ค่าความแม่นยำของเวลาและของพื้นที่ได้พิกมีค่า 0.02 และ 1.82 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ชัดจำกัดในการตรวจวัด (LOD) มีค่าเท่ากับ 56.96 ไมโครกรัมต่อลิตร และชัดเจนในการวิเคราะห์ปริมาณ (LOQ) มีค่าเท่ากับเท่ากับ 189.86 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาณกรดเบนโซอิกที่วิเคราะห์ได้ไม่เกินเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการสนับสนุนงบประมาณ เครื่องมือ สถานที่ และความช่วยเหลือของบุคลากรในการทำงานวิจัย จากสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

6. เอกสารอ้างอิง

- Burana-osot, J., L. Arunsingkharat, M. Naksuk, S. Naungnamjai and T. Saetun. 2014. **Validation of a HPLC Method for the Determination of Benzoic and Sorbic Acid in Noodles**. Chiang Mai J.Sci. 41(2): 370-382. (in Thai)
- Bureau of Food, Food and Drug Administration, Department of Public Health. 1997. **Food Act, B.E. 1997**. <http://203.157.72.106/fulltext2/word/17654/2.pdf>: Accessed 5 Apr. 2018.
- Maneerat, S. and C. Thongpoon. 2017. **Determination of Salicylic Acid and Sorbic Acid in Fruit Juices by High Performance Liquid Chromatography**. Proceedings of The 17th Graduate Studies of Northern Rajabhat University Network Conference. 21 July 2017. 2715-2726. (in Thai)
- Mota, F.J.M., Isabel M.P.L.V.O. Ferreira, Sara C. Cunha, M. Beatriz and P.P. Oliverira. 2003. **Optimisation of extraction procedures for analysis of benzoic and sorbic acids in foodstuffs**. Food Chem. 82: 469-473.
- Panchon, N. 2015. **Validation and Verification of Analytical Procedure for Impurity**. GPO R&D newsletter. 22(2): 19-22. (in Thai)
- Praditwiangkham, W. and S. Mitkosum. 2011. **Aqueous Two-phase Extraction for Determination of Benzoate in Rice Noodle by Spectrophotometry**. J. of Science Ladkrabang. 20(1): 1-23. (in Thai)
- Thai Industrial Standard Institute (TISI). 2004. **Thai Community Product Standards: Thai Rice Noodle / TCPS Number.500/2547**. <http://service.ifrpd.ku.ac.th>. Accessed 5 Apr. 2018.
- Thongpo, S, W. Jansri, Y. Uetrongchit, C. Towiyant and P. Phormprasit. 2016. **Quality of Noodles available in Bangkok and Circumferences during 2012-2016**. The 25th Annual Medical Sciences Conference. <http://e-library.dmsc.moph.go.th/ebooks/files>. Accessed 5 Apr. 2018.

การเปรียบเทียบการให้คำแนะนำหาคำแบบทีเอฟและแบบทีเอฟไอดีเอฟในการหาความคล้ายคลึงแบบโคซายน์สำหรับระบบแนะนำการดูแลตนเองของผู้ป่วยเบาหวาน

Comparison of TF and TF-IDF Weighting on a Cosine Similarity Method for Self-care Recommendations of Diabetics

ณิชนันท์ กิตติพัฒน์บวร สุวิสา คงวัดใหม่ และ สูดฝัน สุวรรณมณี

Nichnan Kittiphatanabawon, Suwisa Kongwatmai and Soodfun Suwanmanee

สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

E-mail: knichcha@wu.ac.th โทร. 66-7567-2281

บทคัดย่อ

ผู้ที่เป็นเบาหวานส่วนใหญ่มักอ่านคำแนะนำในการดูแลตนเองจากเอกสารหรือเว็บไซต์ต่าง ๆ ที่ให้บริการข้อมูลเกี่ยวกับโรคเบาหวาน แต่คำแนะนำที่ได้มักอยู่ในลักษณะข้อมูลทั่วไปที่ไม่ตรงกับความต้องการ งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการในการให้คำแนะนำด้วยเทคนิคการหาความคล้ายคลึงแบบโคซายน์ร่วมกับการให้คำแนะนำคำโดยเปรียบเทียบการให้น้ำหนักคำแบบใช้ความถี่ของคำเพียงอย่างเดียวและแบบใช้ความถี่ของคำร่วมกับส่วนกลับของความถี่เอกสาร ผู้วิจัยใช้ข้อมูลคำแนะนำ 300 ข้อ และคำถาม 30 ข้อ ที่ได้รวบรวมจากแหล่งข้อมูลทางการแพทย์ที่น่าเชื่อถือเพื่อใช้ในการทดลองวิธีการดำเนินการประกอบด้วยการเลือกคำถามและ คำแนะนำ การตัดคำ การตัดคำหยุด การแปลงข้อมูลการให้น้ำหนักคำ และการจัดอันดับคำแนะนำ ผลการวิจัยสรุปได้ว่าการใช้เทคนิคการหาความคล้ายคลึงแบบโคซายน์ร่วมกับการให้น้ำหนักคำด้วยความถี่ของคำร่วมกับส่วนกลับของความถี่ของเอกสารมีความถูกต้องในการให้คำแนะนำ 76.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าการใช้ร่วมกับการให้น้ำหนักคำแบบใช้ความถี่ของคำเพียงอย่างเดียวถึง 17.40 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : คำแนะนำ น้ำหนักคำ เบาหวาน TF TF-IDF

Abstract

Most diabetics always read self-care instructions from documents or websites that provide information about diabetes. However, the advices are often in the form of general information that does not meet users' needs. This paper proposed a method of giving recommendations by a cosine similarity technique and term weighting by comparing TF (Term Frequency) and TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) weightings. In our experiment, there are 300 suggestions and 30 questions that have been gathered from reliable medical sources. The operations consist of questions and recommendations selection, word segmentation, stop-word elimination, data transformation, term weighting, cosine similarity calculation, and recommendation ranking. The results showed that the use of this technique in combination with the TF-IDF weighting got 76.67 percent accuracy, which is more accurate than the use with TF weighting of 17.40 percent.

Keywords : Recommendation, Term Weighting, Diabetes, TF, TF-IDF

1. บทนำ

โรคเบาหวานไม่ใช่โรคติดต่อแต่เป็นโรคเรื้อรังที่รักษาไม่หายขาด ผู้ป่วยต้องควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดโรคแทรกซ้อน โดยทั่วไปแล้วผู้ป่วยเบาหวานสามารถดูแลตนเองได้ด้วยการรับประทานอาหารที่รับประทาน ออกกำลังกาย และใช้ยาตามคำแนะนำของแพทย์ผู้ให้การรักษาอย่างสม่ำเสมอ ระบบแนะนำผู้ป่วยเบาหวาน

ในการดูแลตนเองจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ป่วยหรือผู้ดูแลผู้ป่วยในการดูแลตนเองให้ถูกวิธีในภาวะที่ยังไม่จำเป็นต้องไปพบแพทย์

ในหลายปีที่ผ่านมา มีระบบหลายระบบที่นำเสนอการแนะนำผู้ป่วยในการดูแลตนเอง ไม่ว่าจะเป็นระบบผู้เชี่ยวชาญช่วยแนะนำโภชนาการและการทำกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยเรื้อรังสูงวัยบนอุปกรณ์พกพาเคลื่อนที่ (เทวิน, 2558) ระบบนี้ใช้เทคนิค Simple K-Means ในการจัดกลุ่มโรค และใช้เทคนิค Apriori ในการสร้างกฎความสัมพันธ์ระหว่างท่ากายภาพบำบัดและการจัดโภชนาการ โดยนำผลที่ได้ไปพัฒนาโปรแกรมบนอุปกรณ์มือถือ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวินิจฉัยและให้คำแนะนำผู้ป่วยไตวายเรื้อรังโดยใช้ฐานข้อมูลออนไลน์ (จุฑามาศ และ อรรณพ, 2555) แนะนำการใช้ออนโทโลยีในการสร้างฐานความรู้ในรูปของกฎ IF-THEN เพื่อใช้ในการวินิจฉัยปัญหาและให้คำแนะนำผู้ป่วย โดยมีการเตรียมฐานความรู้จากตำราวิชาการและจากพยาบาลผู้เชี่ยวชาญ (เสกสรรค์ และ จักรกฤษณ์, 2556) ซึ่งได้พัฒนาระบบคำถาม-คำตอบในการแนะนำอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยโดยเน้นการแปลงประโยคภาษาไทยจากคำถามที่เป็นภาษาธรรมชาติไปเป็นภาษาที่ใช้ในการสอบถามในฐานความรู้ออนโทโลยีเพื่อแนะนำอาหารที่ถูกต้องและเหมาะสมให้กับผู้ป่วย งานวิจัยอีกชิ้นหนึ่งนำเสนอเกี่ยวกับกรอบแนวคิดสำหรับการแนะนำการสั่งยาโดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากประวัติผู้ป่วย โดยใช้เทคนิคการจำแนกประเภท (classification) นักวิจัยได้ดำเนินการทดลองเปรียบเทียบโมเดล 3 แบบด้วยกัน คือ SVM (Support Vector Machine), BP neural network, และ ID3 decision tree ผลการทดลองพบว่าเทคนิค SVM มีประสิทธิภาพดีที่สุด (Bao and Jiang, 2016)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวมาข้างต้น พบว่างานวิจัยเกี่ยวกับระบบแนะนำด้านสุขภาพส่วนใหญ่จะใช้เทคนิคเกี่ยวกับการจัดกลุ่มรวมกับการหาความสัมพันธ์ และการค้นหาข้อมูลจากฐานความรู้ออนโทโลยีที่จำเป็นต้องมีการออกแบบกฎจากความรู้ที่รวบรวมไว้ก่อน สำหรับงานวิจัยนี้เสนอวิธีการในการให้คำแนะนำที่ไม่ได้มีการสร้างกฎไว้ล่วงหน้า แต่เน้นการหาความคล้ายคลึงระหว่างคำถามที่ผู้ป่วยต้องการถามและคำแนะนำในคลังคำแนะนำ โดยผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการหาความคล้ายคลึงแบบโคไซน์ (Cosine Similarity) ร่วมกับการให้ค่าน้ำหนักคำที่ปรากฏในคำถามและคำแนะนำ

งานวิจัยเรื่องการให้คำแนะนำในการดูแลตนเองสำหรับผู้ป่วยเบาหวานด้วยเทคนิคความคล้ายคลึงแบบโคไซน์ ร่วมกับการให้ค่าน้ำหนักคำขึ้นนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาโมเดลที่เหมาะสมสำหรับการให้คำแนะนำผู้ป่วยเบาหวานในการดูแลตนเองด้วยเทคนิคความคล้ายคลึงแบบโคไซน์ร่วมกับการให้ค่าน้ำหนักคำ โดยมีการเปรียบเทียบวิธีการให้น้ำหนักคำแบบใช้ความถี่ของคำ (TF: Term Frequency) และแบบใช้ความถี่ของคำร่วมกับส่วนกลับของความถี่เอกสาร (TF-IDF: Term Frequency-Inverse Document Frequency) ว่าส่งผลต่อความถูกต้องของโมเดลอย่างไร และศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความคล้ายคลึงแบบโคไซน์ระหว่างการให้คำแนะนำที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องอีกด้วย สำหรับเนื้อหาที่จะนำเสนอในลำดับถัดไปประกอบด้วยขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนผลการวิจัยที่ได้รับ พร้อมทั้งการอภิปรายผลการวิจัย และสรุปผลการวิจัย

2. วิธีการทดลอง

วิธีการการดำเนินการวิจัยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อความ (text mining) ร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่องจักร (machine learning) การทำเหมืองข้อความเป็นการวิเคราะห์ข้อความซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง เช่น ข้อความในจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (email) เนื้อหาในเอกสารฉบับเต็ม (full-text document) หรือความคิดเห็นในเว็บไซต์ต่าง ๆ เป็นต้น ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะขุดค้นความรู้และดึงข้อมูลที่มีประโยชน์ น่าสนใจ หรือมีความหมายต่องานนั้น ๆ ออกมา กระบวนการในการทำเหมืองข้อความนั้นไม่ใช่เป็นเพียงการค้นหารูปแบบคำที่ต้องการในข้อความ แต่จำเป็นต้องใช้วิธีการในเชิงความหมายเพื่อให้ได้ความรู้ที่แอบแฝงอยู่ในข้อความออกมา (Kumar and Bhatia, 2013), (Kao and Poteet, 2007) ส่วนการเรียนรู้ของเครื่องจักรเป็นวิธีการที่ทำให้ระบบเรียนรู้ข้อมูลด้วยตนเองเพื่อสร้างโมเดลที่สามารถใช้ในการอธิบายความหมายของข้อมูลหรือคาดการณ์ข้อมูลที่จะเกิดขึ้นได้ (Hurwitz and Kirsch, 2018)

ยกตัวอย่างเช่น เราสามารถสร้างโมเดลเพื่อให้เครื่องจักรเรียนรู้ความสัมพันธ์ของสินค้าที่ถูกซื้อร่วมกันบ่อย ๆ ได้ หรือสร้างโมเดลในการคาดการณ์ราคาน้ำมันในเดือนหน้าได้ เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อความ และการเรียนรู้ของเครื่องจักรร่วมกัน ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอต้องการให้ผู้ใช้งานสามารถตั้งคำถามที่เป็นข้อความ ซึ่งมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับคำถามที่ใช้ในการปรึกษาแพทย์ และให้ระบบสร้างโมเดลในการวิเคราะห์คำถามเพื่อค้นหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับการตอบของผู้เชี่ยวชาญมากที่สุด เพื่อให้คำแนะนำต่อผู้ที่เป็นเบาหวานต่อไป สำหรับขั้นตอนและรายละเอียดในการดำเนินการ เป็นดังนี้

2.1 การเลือกคำถามและคำแนะนำ (Questions and Recommendations Selection)

เป็นการรวบรวมคำถามและคำแนะนำจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ โดยในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยใช้ข้อมูลคำถามและคำแนะนำในการดูแลตนเองสำหรับผู้ป่วยเบาหวานจากหนังสือและเอกสารของหน่วยงานทางการแพทย์ที่น่าเชื่อถือ เช่น วารสารเบาหวาน รามาธิบดีพยาบาลสาร และวารสารใกล้เคียง ร่วมกับคำถามคำตอบที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ในการดูแลรักษาผู้ที่เป็นเบาหวาน ไม่ว่าจะเป็นแพทย์ พยาบาล หรือผู้ที่ดูแลผู้ป่วย รวมถึงได้สัมภาษณ์คนที่เป็นเบาหวาน โดยได้ดำเนินการสัมภาษณ์ที่โรงพยาบาลท่าศาลา อำเภوتاศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช และสถานอนามัยเฉลิมพระเกียรติฯ บ้านควนป้อม จังหวัดพัทลุง โดยคำถามและคำแนะนำทั้งหมดอยู่ในรูปแบบของข้อความที่เป็นภาษาธรรมชาติ ผู้วิจัยได้นำคำถามและคำแนะนำทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกให้เป็นชุดคำถามและชุดคำแนะนำที่จะใช้ในการทดลอง โดยได้คัดเลือกคำแนะนำทั้งหมด 300 คำแนะนำ (คำแนะนำ 1 ข้อ ถือเป็น 1 เอกสาร) เพื่อใช้สร้างคลังเอกสารคำแนะนำ และได้คัดเลือกคำถาม 30 ข้อ (คำถาม 1 ข้อ ถือเป็น 1 เอกสาร) เพื่อใช้ในการตั้งคำถาม โดยในการเลือกคำถามเน้นความครอบคลุมหลากหลายหมวดหมู่ ทั้งด้านอาหาร การออกกำลังกาย การปรับเปลี่ยนพฤติกรรม การติดตามระดับน้ำตาล ยารักษา และการแก้ปัญหาเวลาเจ็บป่วย โดยคำถามเหล่านี้จะนำไปใช้ในการสร้างโมเดล

ตัวอย่างคำถาม: “ผู้ป่วยเบาหวานกินทุเรียนได้มั้ย”

ตัวอย่างคำแนะนำ: “หากจะกินทุเรียนต้องพิจารณาว่าผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานมีระดับน้ำตาลมากหรือน้อย หากมีน้อยกินทุเรียนได้ 1 เม็ดเล็ก”

2.2 การตัดคำ (Word Segmentation)

เป็นขั้นตอนในการนำคำถามและคำแนะนำซึ่งอยู่ในรูปแบบข้อความมาตัดเป็นคำโดยในการตัดคำนั้นอ้างอิงจากพจนานุกรมคำศัพท์ทั่วไป (16,450 คำ) และพจนานุกรมคำศัพท์เฉพาะโรคเบาหวาน (1,099 คำ) ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ปรับปรุงโปรแกรมในการตัดคำจากโปรแกรม PhlongTalam เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้ ตัวอย่างการตัดคำต่อไปนี้ เครื่องหมาย | แสดงถึงการตัดคำในประโยค

ตัวอย่างการตัดคำในคำถาม: “ผู้ป่วย|เบาหวาน|กิน|ทุเรียน|ได้|มั้ย|”

ตัวอย่างการตัดคำในคำแนะนำ: “หาก|จะ|กิน|ทุเรียน|ต้อง|พิจารณา|ว่า|ผู้ป่วย|ที่|เป็น|โรค|เบาหวาน|มี|ระดับ|น้ำตาล|มาก|หรือ|น้อย|หาก|มี|น้อย|กิน|ทุเรียน|ได้|1|เม็ด|เล็ก|”

2.3 การกำจัดคำหยุด (Stop-word Elimination)

เป็นขั้นตอนในการตัดคำที่ไม่มีความสำคัญต่อความหมายของประโยคออกไป กล่าวคือเมื่อตัดคำเหล่านี้ออกไปแล้วไม่ได้ทำให้ความหมายของประโยคเปลี่ยนแปลงไป นั่นคือเป็นคำที่ไม่มีความหมายต่อการแนะนำคำตอบ ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์คำตอบมีความถูกต้องและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ในการกำจัดคำหยุด ผู้วิจัยได้ใช้พจนานุกรมคำหยุดที่รวบรวมไว้จำนวน 971 คำ เพื่อใช้เป็นตัวอ้างอิงในการตัดคำหยุดออกจากประโยค ซึ่งคำหยุดประกอบด้วย คำบุพบท (ตัวอย่างเช่น “ที่” “ซึ่ง” “อัน”) คำสันธาน (ตัวอย่างเช่น “และ” “หรือ” “ดังนั้น”) และคำที่ใช้ประกอบคำอื่น ๆ (ตัวอย่างเช่น “การ” “ความ” “หาก” “จะ” “ต้อง” “หรือไม่” “ได้มั้ย”) ในตัวอย่างต่อไปนี้ คำที่มีขีดกลาง (เช่น “หาก”) แสดงถึงคำหยุด

ตัวอย่างการกำจัดคำหยุด: “ผู้ป่วย|เบาหวาน|กิน|ทุเรียน|ไต้หวัน”

ตัวอย่างการตัดคำในคำแนะนำ: “หาก|จะ|กิน|ทุเรียน|ต้อง|พิจารณาว่า|ผู้ป่วย|ที่เป็น|โรค|เบาหวาน|มี|ระดับ|น้ำตาล|มาก|หรือน้อย|หาก|มี|น้อย|กิน|ทุเรียน|ได้|1|เม็ด|เล็ก”

2.4 การแปลงข้อมูล (Data Transformation)

เป็นขั้นตอนในการแปลงประโยคให้อยู่ที่รูปแบบที่พร้อมที่จะนำวิเคราะห์หาคำตอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของ Pivot Table โดยแบ่งคอลัมน์ตามคำที่เหลือจากการตัดคำหยุดที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า โดยตัวเลขในตารางคือจำนวนคำในเอกสาร ซึ่งแต่ละแถวแทนเอกสาร 1 เอกสาร ดังตัวอย่างในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Pivot Table ของคำถาม (Q001): “ผู้ป่วย|เบาหวาน|กิน|ทุเรียน|ไต้หวัน” และคำแนะนำ (A001): “หาก|จะ|กิน|ทุเรียน|ต้อง|พิจารณาว่า|ผู้ป่วย|ที่เป็น|โรค|เบาหวาน|มี|ระดับ|น้ำตาล|มาก|หรือน้อย|หาก|มี|น้อย|กิน|ทุเรียน|ได้|1|เม็ด|เล็ก”

เอกสาร	กิน	ทุเรียน	พิจารณาว่า	ผู้ป่วย	เป็น	โรค	เบาหวาน	มี	ระดับ	น้ำตาล	มาก	น้อย	1	เม็ดเล็ก
Q001	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
A001	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1

2.5 การให้ค่าน้ำหนักคำ (Term Weighting)

เป็นขั้นตอนในการให้ค่าน้ำหนักกับคำในเอกสาร โดยในงานวิจัยครั้งนี้มีการให้ค่าน้ำหนักคำ 2 แบบ คือ 1) แบบ TF (Term Frequency) และ 2) แบบ TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) (Kittiphattanabawon *et al.*, 2010) โดยการให้ค่าน้ำหนักแบบ TF ใช้จำนวนคำที่ปรากฏในเอกสารเป็นน้ำหนักของคำ ส่วน TF-IDF ใช้ค่า TF คูณกับส่วนกลับของจำนวนเอกสารที่มีคำนั้นปรากฏอยู่ โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณค่า TF-IDF เป็นดังสมการที่ (1) ต่อไปนี้

$$TF\text{-}IDF = TF \times \log(N/DF) \quad (1)$$

โดยที่ N คือ จำนวนเอกสารทั้งหมดในคลังเอกสาร และ DF คือ จำนวนเอกสารที่มีคำนั้นปรากฏ ตัวอย่างเช่น หากในเอกสารมีคำว่า “ทุเรียน” 2 คำ ค่าน้ำหนักคำของ “ทุเรียน” ในเอกสารนั้นจะมีค่า TF เป็น 2 และหากพบคำว่า “ทุเรียน” จำนวน 3 เอกสารจากเอกสารทั้งหมดในคลัง 100 เอกสาร ค่าน้ำหนักของคำว่า “ทุเรียน” ในเอกสารนี้ จะมีค่า TF-IDF เท่ากับ $2 \times \log(100/3)$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 3.05 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าคำว่า “ทุเรียน” มีค่าน้ำหนักคำเพิ่มขึ้นจาก 2 เป็น 3.05 หมายความว่าคำว่า “ทุเรียน” มีความสำคัญเพิ่มขึ้นกว่าเดิม ทั้งนี้ก็เพราะว่าพบคำว่า “ทุเรียน” เพียง 3 เอกสารจาก 100 เอกสาร คำว่า “ทุเรียน” จึงน่าจะเป็นคำที่สามารถชี้เฉพาะหรือใช้ในการแยกแยะคำถามหรือคำตอบได้ดีกว่าคำทั่ว ๆ ไป

2.6 การคำนวณค่าความคล้ายคลึงแบบโคซายน์ (Cosine Similarity Calculation)

เป็นขั้นตอนของการหาความคล้ายคลึงระหว่างคำถามและคำแนะนำ หากค่าความคล้ายคลึงระหว่างคำถามกับคำแนะนำใดมีค่ามากที่สุด คำแนะนำนั้นก็จะถูกเลือกเป็นคำตอบของคำถามนั้น สมการในการหาความคล้ายคลึงระหว่างเอกสาร a และ เอกสาร b (Savev, 2015) เป็นดังสมการที่ (2)

$$\text{cosine}(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^m a_i b_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2}} \quad (2)$$

โดยที่ $a = [a_1, a_2, \dots, a_m]$ และ $b = [b_1, b_2, \dots, b_m]$ ซึ่ง a และ b คือ เวกเตอร์ที่เก็บค่าน้ำหนักของคำที่ปรากฏในเอกสาร ซึ่งก็คือค่า TF หรือ TF-IDF จากขั้นตอนก่อนหน้านี้นี้ ยกตัวอย่างเช่น เอกสาร Q001 ในตารางที่ 1 จะมีเวกเตอร์

แบบ TF เป็น [1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0] และ เอกสาร A001 ในตารางที่ 1 มีเวกเตอร์แบบ TF เป็น [2, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 1, 1] กรณีที่ใช้เวกเตอร์แบบ TF-IDF ก็ทำนองเดียวกัน เพียงแต่เปลี่ยนค่าตัวเลขในเวกเตอร์เป็นค่า TF-IDF ที่คำนวณได้จากสูตรในสมการที่ (1) โดยในการหาความคล้ายคลึงระหว่าง Q001 และ A001 นั้น จะแทนเวกเตอร์ a ด้วยเวกเตอร์ของ Q001 และแทนเวกเตอร์ b ด้วยเวกเตอร์ของ A001 แล้วคำนวณค่า cosine (a, b) ตามสูตร ซึ่งค่าที่ได้จะหมายถึงความคล้ายคลึงระหว่างคำถาม Q001 และคำตอบ A001 ทั้งนี้ค่าที่คำนวณได้จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

2.7 การจัดอันดับคำแนะนำ (Recommendation Ranking)

เป็นขั้นตอนในการจัดอันดับคำแนะนำ โดยการนำค่าความคล้ายคลึงแบบโคซายน์ที่คำนวณได้ในขั้นตอนก่อนหน้ามาเรียงลำดับจากมากไปน้อยเพื่อจัดอันดับคำแนะนำ โดยคำแนะนำที่มีค่าความคล้ายคลึงมากที่สุดจะอยู่ในอันดับที่ 1 (RANK-1) คำแนะนำที่มีค่าความคล้ายคลึงมากรองลงมาจะอยู่ในอันดับที่ 2 (RANK-2) อันดับที่ 3 (RANK-3) ไปเรื่อย ๆ โดยคำแนะนำใน RANK-1 จะถือว่าเป็นคำแนะนำที่ดีที่สุด คำแนะนำใน RANK-2 เป็นคำแนะนำที่รองลงมา เป็นเช่นนี้ไปจนถึงคำแนะนำอันดับสุดท้าย โดยค่าความคล้ายคลึงที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ คือ 1 ซึ่งจะหมายความว่าคำตอบนั้นมีโอกาสจะเป็นคำแนะนำของคำถามนั้นมากที่สุด กรณีที่คำนวณแล้วได้ค่าความคล้ายคลึงเท่ากัน สามารถถือว่าคำแนะนำเหล่านั้นเป็นคำแนะนำที่เหมาะสมได้ทั้งหมด

3. ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งดำเนินการทดลองเปรียบเทียบค่าความคล้ายคลึงระหว่างการให้คำแนะนำแบบ TF และแบบ TF-IDF จากคำถาม 30 ข้อ และคำแนะนำ 300 ข้อ ที่รวบรวมมาจากผู้เชี่ยวชาญทั้งที่เป็นการสัมภาษณ์ผู้ป่วย แพทย์พยาบาลและผู้ดูแลผู้ป่วย จากโรงพยาบาลท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช และสถานีอนามัยเฉลิมพระเกียรติฯ บ้านควนป้อม อำเภอป่าบอน จังหวัดพัทลุง ร่วมกับการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางการแพทย์ที่เชื่อถือได้ รายละเอียดตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.1 สำหรับการประเมินความถูกต้องในการให้คำแนะนำ ผู้วิจัยได้ประเมินโดยการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของคำถามที่ตอบถูก ดังสมการที่ (3) ทั้งนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองเปรียบเทียบความถูกต้องของการให้คำแนะนำโดยการให้คำแนะนำแบบ TF และ แบบ TF-IDF และการทดลองเปรียบเทียบค่าความคล้ายคลึงของคำแนะนำที่ถูกและผิดทั้งแบบการให้คำแนะนำแบบ TF และ TF-IDF

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง} = \frac{\text{จำนวนคำถามที่แนะนำได้ถูกต้องตามคำตอบในคลังเอกสาร}}{\text{จำนวนคำถามทั้งหมด}} \times 100 \quad (3)$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าความถูกต้อง เช่น หากเรามีคำถามทั้งหมด 100 ข้อ และระบบให้คำแนะนำได้ถูกต้องตามคำตอบในคลังเอกสาร 60 คำถาม แสดงว่าระบบแนะนำได้ถูกต้องเท่ากับ 60%

3.1 การทดลองเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการให้คำแนะนำโดยการให้คำแนะนำแบบ

TF และแบบ TF-IDF

การทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการให้คำแนะนำระหว่างการให้คำแนะนำแบบ TF และ TF-IDF โดยแยกให้เห็นถึงความถูกต้องของคำแนะนำที่ได้ในอันดับที่ 1, 2 และ 3 (RANK-1, RANK-2, และ RANK-3) และความถูกต้องของคำแนะนำใน 1, 2, และ 3 ลำดับแรก (TOP-1, TOP-2, และ TOP-3) โดยผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบความถูกต้องของการให้คำแนะนำในอันดับที่ 1, 2, และ 3 (RANK-1, RANK-2 และ RANK-3) และ 1, 2, และ 3 ลำดับแรก (TOP-1, TOP-2 และ TOP-3) โดยการให้น้ำหนักแบบ TF และ แบบ TF-IDF

รูปแบบการให้น้ำหนักคำ	RANK-1	RANK-2	RANK-3	TOP-1	TOP-2	TOP-3
TF	63.33	30.00	6.67	63.33	41.11	34.83
TF-IDF	76.67	20.00	16.67	76.67	42.50	38.33

จากตารางที่ 2 สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

(1) การให้คำแนะนำโดยการให้น้ำหนักแบบ TF-IDF มีความถูกต้องมากกว่าการให้น้ำหนักแบบ TF โดยแบบ TF-IDF มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในอันดับที่ 1 (RANK-1) เท่ากับ 76.67 ในขณะที่การให้น้ำหนักแบบ TF มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่อันดับที่ 1 (RANK-1) เท่ากับ 63.33 หรือกล่าวได้ว่าการให้น้ำหนักแบบ TF-IDF ให้ความถูกต้องมากกว่าแบบ TF 17.40 เปอร์เซ็นต์

(2) คำแนะนำที่ได้ในอันดับที่ 1 (RANK-1) มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องมากกว่าในอันดับที่ 2 และ 3 (RANK-2 และ RANK-3) ทั้งแบบ TF และ TF-IDF แสดงให้เห็นว่าการใช้ค่า Cosine Similarity ที่มีค่ามากที่สุดเป็นเกณฑ์ในการเลือกคำแนะนำสามารถเลือกคำแนะนำที่ถูกต้องได้อย่างมีนัยสำคัญ

(3) หากพิจารณาคำแนะนำที่ได้ใน 2 หรือ 3 ลำดับแรก (TOP-2 และ TOP-3) พบว่ามีความถูกต้องมากกว่าคำแนะนำในอันดับที่ 2 และ 3 (RANK-2 และ RANK-3) ซึ่งเป็นการยืนยันข้อสรุปในข้อ (2) ว่าคำแนะนำที่ถูกต้องส่วนใหญ่อยู่ใน RANK-1 แต่ก็มีคำตอบที่ถูกต้องบางส่วนอยู่ใน RANK-2 (TF: 30.00%, TF-IDF: 20.00%) และ RANK-3 ด้วย (TF: 6.00%, TF-IDF: 16.67%) และจะสังเกตได้ว่าคำตอบที่ถูกต้องอยู่ใน RANK-3 น้อยกว่าใน RANK-2 ดังนั้นจึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการให้คำแนะนำใน TOP-2 (RANK-1 รวมกับ RANK-2: TF: 41.11%, TF-IDF: 42.50%) มากกว่าใน TOP-3 (RANK-1, RANK-2 และ RANK-3 รวมกัน TF: 34.83%, TF-IDF: 38.33%) สำหรับกรณีของผลการทดลองใน RANK-2 ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องแบบ TF-IDF น้อยกว่าแบบ TF ก็เนื่องจากว่ามีค่าสำคัญบางคำเกิดขึ้นในหลายเอกสาร เช่น “ผู้ป่วย” “เบาหวาน” “กิน” ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การให้น้ำหนักแบบ TF-IDF มีค่าน้อยกว่าแบบ TF หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าทำให้ความสำคัญของคำนั้นลดลงแต่บังเอิญว่าในความเป็นจริงคำเหล่านี้เป็นคำสำคัญของคำถามนั้น ซึ่งผู้วิจัยวางแผนจะดำเนินการหาวิธีจัดการปัญหานี้ในงานต่อไป

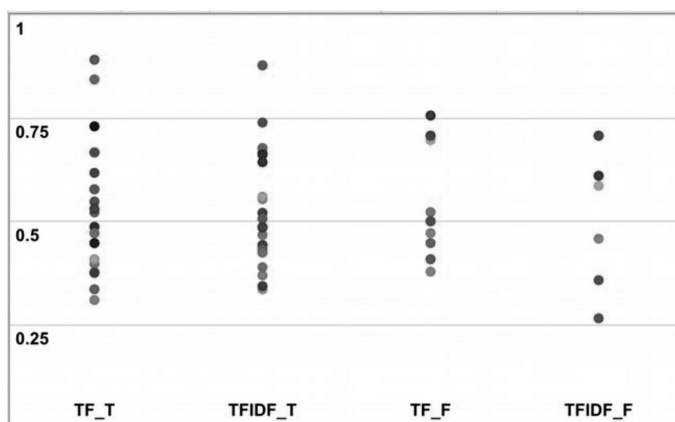
3.2 การทดลองเปรียบเทียบค่าความคล้ายคลึงของคำแนะนำที่ถูกและผิดทั้งแบบการให้น้ำหนักแบบ TF และ TF-IDF

การทดลองที่ 2 นี้ แสดงให้เห็นถึงค่าความคล้ายคลึงของคำแนะนำที่ได้ โดยแยกเป็นคำแนะนำที่ให้คำแนะนำแบบ TF ทั้งที่ถูกต้องและไม่ถูกต้อง (TF_T และ TF_F) และคำแนะนำที่ให้คำแนะนำแบบ TF-IDF ทั้งที่ถูกต้องและไม่ถูกต้อง (TFIDF_T และ TFIDF_F) โดยผลการทดลองปรากฏดังภาพที่ 1 ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

(1) จำนวนคำแนะนำที่ถูกต้องมีจำนวนมากกว่าคำแนะนำที่ผิดทั้งแบบ TF และ TF-IDF แสดงให้เห็นว่าการใช้ค่าความคล้ายคลึงสามารถดึงคำตอบที่เป็นคำแนะนำที่ถูกต้องได้มากกว่าคำแนะนำที่ผิด

(2) จำนวนคำแนะนำที่ถูกต้องที่ได้จากการให้น้ำหนักแบบ TF-IDF มีจำนวนมากกว่าแบบ TF จึงสรุปได้ว่าการใช้คำแนะนำแบบ TF-IDF จะสามารถแนะนำคำตอบที่ถูกต้องได้มากกว่าการใช้คำแนะนำแบบ TF

(3) ค่าความคล้ายคลึงสำหรับคำแนะนำที่ถูกต้องจะมีค่าที่เข้าใกล้ 1.00 (1 เป็นค่าสูงสุดของค่าความคล้ายคลึง) ทั้งแบบ TF และ TF-IDF ส่วนคำแนะนำที่ผิดจะมีค่าความคล้ายคลึงไม่เกิน 0.75 และส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 0.50 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าคำแนะนำที่มันใจว่าถูกต้องควรเป็นคำแนะนำที่มีค่าความคล้ายคลึงในช่วง 0.75-1.00 และคำแนะนำที่ผิดมักเป็นคำแนะนำที่มีค่าความคล้ายคลึงต่ำกว่า 0.50



ภาพที่ 1 กราฟแสดงค่าความคล้ายคลึง (แกน y) ของคำแนะนำที่ถูกและผิดแบบ TF และ TF-IDF (แกน x) โดยจุดในกราฟบ่งบอกถึงคำแนะนำที่ได้

4. การอภิปรายผล

การให้ค่าน้ำหนักคำแบบ TF-IDF ได้ผลดีกว่าการให้ค่าน้ำหนักคำแบบ TF เนื่องจากว่าการให้ค่าน้ำหนักคำแบบ TF-IDF นั้นนอกจากจะให้ความสำคัญกับความถี่ของคำที่เกิดขึ้นในคำแนะนำแล้ว ยังพยายามไปลดความสำคัญกับคำที่มักเกิดขึ้นบ่อย ๆ ในคำแนะนำอีกด้วย ทั้งนี้เพราะ TF-IDF มีแนวคิดที่ว่าคำที่มักเกิดขึ้นในหลาย ๆ เอกสาร น่าจะเป็นคำที่ไม่มีความสำคัญพอที่จะชี้เฉพาะถึงความหมายของคำแนะนำในเอกสารนั้น โดยมองว่าคำกลุ่มนี้น่าจะเป็นคำทั่วไปที่อยู่ในคำแนะนำเป็นส่วนใหญ่ ยกตัวอย่างเช่น คำว่า “เบาหวาน” ถือได้ว่าเป็นที่พบบ่อยในเกือบทุกคำแนะนำ ทั้งนี้ก็เพราะงานวิจัยนี้เป็นเรื่องของโรคเบาหวาน ดังนั้น “เบาหวาน” จึงถูกลดความสำคัญในการให้ค่าน้ำหนักคำด้วย TF-IDF

ในส่วนของผลวิจัยเกี่ยวกับค่าความคล้ายคลึงระหว่างคำถามและคำแนะนำนั้นพบว่าหากมีค่าความคล้ายคลึงยิ่งมากหรือค่ายิ่งเข้าใกล้ 1.0 จะเป็นคำแนะนำที่ถูกต้องสำหรับคำถามนั้น ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณค่าความคล้ายคลึงนี้ใช้การนับจำนวนคำในคำแนะนำที่เกิดขึ้นในคำถาม โดยหากในคำแนะนำใดมีจำนวนคำที่ซ้ำกับคำที่เกิดขึ้นในคำถามยิ่งมากเท่าไร ก็จะทำให้ค่าความคล้ายคลึงมีค่ามากตามไปด้วย หรือพูดอีกนัยหนึ่งได้ว่าคำแนะนำของคำถามใด ๆ นั้น มักจะมีคำที่ซ้ำกันระหว่างคำถามและคำแนะนำที่เป็นคำตอบ ยิ่งมีจำนวนคำที่ซ้ำมากขึ้น คำแนะนำนั้นก็ยิ่งมีโอกาสเป็นคำตอบของคำถามนั้นมากขึ้นตามไปด้วย เช่น คำถามที่ถามว่า “เป็นเบาหวานกินทุเรียนได้มั๊ย” จะมีคำแนะนำที่ว่า “หากจะกินทุเรียนต้องพิจารณาว่าผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานมีระดับน้ำตาลมากหรือน้อย หากมีน้อยกินทุเรียนได้ 1 เม็ดเล็ก” จากตัวอย่างนี้พบคำในคำแนะนำที่ซ้ำกับคำในคำถาม คือ คำว่า “เป็น” จำนวน 1 คำ “เบาหวาน” จำนวน 1 คำ “กิน” จำนวน 2 คำ “ทุเรียน” จำนวน 2 คำ

5. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีในการให้คำแนะนำสำหรับผู้ป่วยเบาหวานในการดูแลตนเอง โดยเปรียบเทียบการให้ค่าน้ำหนักคำแบบใช้ความถี่ของคำเพียงอย่างเดียว (TF) และแบบใช้ความถี่ของคำร่วมกับส่วนกลับของความถี่ของเอกสาร (TF-IDF) ในการดำเนินการวิจัยมีการใช้วิธีการของการทำเหมืองข้อความ (text mining) ร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อจัดการข้อมูลที่ไม่เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะของภาษาธรรมชาติของมนุษย์ให้เป็นข้อมูลที่มีโครงสร้าง โดยใช้วิธีการตัดคำและกำจัดคำหยุด จากนั้นได้ใช้เทคนิคการหาความคล้ายคลึงแบบโคซายน์ร่วมกับการให้ค่าน้ำหนักคำในการเลือกคำแนะนำให้กับคำถาม ผลการวิจัยพบว่าวิธีการนี้มีความถูกต้องในการให้คำแนะนำ 76.67 เปอร์เซ็นต์สำหรับการให้ค่าน้ำหนักแบบ TF-IDF และ 63.33 เปอร์เซ็นต์สำหรับการให้ค่าน้ำหนักแบบ TF นั่นคือการให้ค่าน้ำหนักแบบ TF-IDF จะให้ความถูกต้องในการให้คำแนะนำมากกว่าแบบ TF

สำหรับงานที่จะดำเนินการต่อไปในอนาคต คือ การเพิ่มความถูกต้องในการให้คำแนะนำ โดยหาวิธีการในการจัดการคำที่เขียนไม่เหมือนกันแต่มีความหมายเหมือนกัน การจัดการคำสำคัญที่เกิดขึ้นในหลายเอกสารให้มีค่าความสำคัญที่เหมาะสม รวมถึงการเพิ่มจำนวนคำแนะนำในคลังคำแนะนำเพื่อให้มีตัวเลือกในการให้คำแนะนำมากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยของมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ประเภททุนสนับสนุนการทำโครงการของนักศึกษาปริญญาตรี ประจำปี 2559

7. เอกสารอ้างอิง

- Bao, Y. and X. Jiang. 2016. **An Intelligent Medicine Recommender System Framework**. IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Application (ICIEA), 5-7 June 2016, Hefei, China. Singapore: IEEE Industrial Electronics Chapter of Singapore, Anhui University and IEEE Singapore Section.
- Hurwitz, J. and D. Kirsch. 2018. **Machine Learning for Dummies®**, IBM Limited Edition. John Wiley & Sons : Hoboken, NJ.
- Kao, A and S.R. Poteet (Eds). 2007. **Natural Language Processing and Text Mining**. Springer-Verlag : London.
- Kittiphattanabawon, N., T. Theeramunkong and E. Nantajeewarawat. 2010. **Exploration of Document Relation Quality with Consideration of Term Representation Basis, Term Weighting and Association Measure**. In: Chen H., Chau M., Li S., Urs S., Srinivasa S., Wang G.A. (eds) Intelligence and Security Informatics. PAISI 2010. Lecture Notes in Computer Science, 6122. Springer: Berlin, Heidelberg.
- Kumar, L. and P.K. Bhatia. 2013. **Text Mining: Concepts, Process and Applications**. Journal of Global Research in Computer Science 4(3): 36-36.
- Savev, S. 2015. **Cosine Similarity Part 1: The Basics**. [Online]. Accessed from <http://stefansavev.com/blog/cosine-similarit>: 2015. (Retrieved April 4, 2017).

คุณลักษณะและคุณภาพบางประการของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใส ที่หมดอายุแล้ว 5 ปี

Characteristic and Some Qualities of 5-Year Expired Drinking Water In Clear Plastic Bottles

สุบันทิต นิมรัตน์^{1*} ณัฐวดี ขุนแจ้ง² และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย³

Subuntith Nimrat^{1*} Nuttawadee Khunjeng² and Verapong Vuthiphandchai³

¹ ภาควิชาจุลชีววิทยาและโครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ² ภาควิชาจุลชีววิทยา ³ ภาควิชาวาริชศาสตร์,

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี

Faculty of Science, Burapha University, Chonburi

*E-mail: subunti@buu.ac.th โทร. 038-103120

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาลักษณะและคุณสมบัติบางประการของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่หมดอายุแล้ว 5 ปี จำนวน 31 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างน้ำดื่มที่หมดอายุทั้งหมดมีฉลาก (ชื่อบริษัทที่ผลิต สถานที่ผลิต และวันหมดอายุ) ครบถ้วนทุกตัวอย่าง ตัวอย่างน้ำดื่มที่หมดอายุทั้งหมดมีความใสและไม่มีกลิ่น ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดอยู่ระหว่าง 8.00 และ 11.00 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งพบว่าปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มในตัวอย่างน้ำดื่มที่หมดอายุมีค่าน้อยกว่า 2.2 MPN/100 mL และตรวจไม่พบ *E. coli* ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างน้ำดื่มทั้งหมดมีค่าน้อยกว่า 6.5 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่หมดอายุแล้ว 5 ปี ทุกตัวอย่างผ่านมาตรฐานน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย จากฉลากความใส กลิ่น แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม และ *E. coli* แต่ไม่ผ่านมาตรฐานทางด้านค่าความเป็นกรด-ด่าง

คำสำคัญ : น้ำดื่มบรรจุขวด แบคทีเรียโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม *E. coli*

Abstract

In this study, characteristics and some qualities of 31 samples of 5-year expired drinking water in clear plastic bottles were monitored. All of tested expired clear plastic bottled drinking water samples had the complete label (company name, location of production, and expired date). All tested samples were clearly appearance and odorless. Total dissolved solid of tested samples were in a range of 8.00 to 11.00 mg/L. Coliform and fecal coliform bacteria in all expired water tested samples were less than 2.2 MPN/100 mL. *E. coli* were not found in all tested samples. pH values of all tested samples were less than 6.5. Indeed, assessment of characteristic of 5-year expired drinking water in clear plastic bottles in this study met the standard of sealed container set by Ministry of Public Health of Thailand in terms of label information, appearance, odor, coliform bacteria and *E. coli* for 100%, while 100% of tested samples were not met the standard based on pH values.

Keywords : Bottled drinking water, Coliform bacteria, Fecal coliform bacteria, *E. coli*

1. บทนำ

ปัจจุบันน้ำบรรจุขวดพลาสติกใสแบบปิดสนิทเป็นน้ำดื่มที่มีความสำคัญมากยิ่งขึ้นในชีวิตประจำวันไม่ว่าจะเป็นด้านความสะดวกสบายในการพกพาและด้านการเก็บรักษา เนื่องจากในปัจจุบันพบว่า มีปัญหาการปนเปื้อนของสารพิษหลายชนิดในแหล่งน้ำตามธรรมชาติจึงทำให้น้ำในแหล่งน้ำตามธรรมชาติมีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมแก่การอุปโภคหรือบริโภค

(Kruawal *et al.*, 2005) และน้ำดื่มบรรจุขวดที่ปิดสนิทเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน (Food and Drug Administration, 2004) นอกจากนั้นพบว่าน้ำดื่มชนิดนี้เหมาะต่อการใช้ในการช่วยเหลือในสภาวะการเกิดภัยพิบัติที่มีการขาดแคลนน้ำดื่มได้อย่างดีเยี่ยม แต่อย่างไรก็ตามน้ำดื่มโดยทั่วไปมีอายุการเก็บนานเพียง 2 ปีเท่านั้น รวมทั้งมีการกำหนดมาตรฐานโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข จำนวน 5 ฉบับ ได้แก่ ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2) ฉบับที่ 220 (พ.ศ. 2544) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 3) ฉบับที่ 256 (พ.ศ. 2545) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 4) และฉบับที่ 284 (พ.ศ. 2547) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 5) (Food and Drug Administration, 1981; Food and Drug Administration, 1991; Food and Drug Administration, 2001; Food and Drug Administration, 2002; Food and Drug Administration, 2004) ที่มีการกำหนดมาตรฐานทางด้านสี (Color) กลิ่น (Odor) ความขุ่น (Turbidity) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณสารทั้งหมด (Total Solids) สารหนู (As) แบเรียม (Ba) แคดเมียม (Cd) คลอไรด์ (Cl) คำนวณเป็นคลอรีน และโคลิฟอร์ม (Coliform) และ อี. โคไล (*E. coli*)

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีความสนใจในการศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านลักษณะน้ำ กลิ่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* ของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่หมดอายุแล้วเป็นเวลา 5 ปี เพื่อทำให้ข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจในการอุปโภคบริโภคน้ำดื่มชนิดนี้ที่หมดอายุในยามฉุกเฉินหรือในสภาวะที่จำเป็นจะต้องใช้น้ำดื่มที่หมดอายุหรือสามารถเสนอแนะวิธีการบำบัดน้ำดื่มในกลุ่มนี้ได้เหมาะสมต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 ตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวด (Nimrat *et al.*, 2016)

ตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกใสได้ซื้อเมื่อปี พ.ศ. 2554 หมดอายุแล้วเป็นเวลา 5 ปี จำนวน 31 ตัวอย่าง และทำการบันทึกคุณภาพบางประการของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวด ได้แก่ ยี่ห้อ รายละเอียดบนฉลาก (ชื่อบริษัท วันผลิต/หมดอายุ สถานที่ตั้ง) สังเกตลักษณะขวด ลักษณะน้ำ ด้วยตาเปล่า และดมกลิ่นของน้ำขณะเปิดฝาและดมจากขวด

2.2 การตรวจค่าความเป็นกรด-ด่าง (Nimrat *et al.*, 2016)

วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง pH Meter (รุ่น S20 SevenEasy, Meter Toledo, สหรัฐอเมริกา) โดยทำการสอบเทียบกับการวัดสารละลายมาตรฐานที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10 ตามลำดับ ก่อนทำการวัดตัวอย่างน้ำดื่ม ต่อจากนั้นวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างน้ำดื่ม โดยตรวจวัดจำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.3 การตรวจค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid: TDS)

วัดค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดด้วยเครื่องวัด TDS (HM EZ, TDS-3 California, U.S.A.) โดยตรวจวัดจำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามวิธีการของ Nimrat *et al.* (2016)

2.4 การทดสอบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* โดยวิธี Most Probable Number (American Public Health Association, 2005)

2.4.1 การทดสอบขั้นแรก (Presumptive test)

ปิเปตตัวอย่างลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Lauryl Tryptose broth (LST) 10 mL ที่มีความเข้มข้น 2 เท่า จำนวน 5 หลอด ๆ ละ 10 mL และปิเปตตัวอย่างลงในอาหาร LST 10 mL ที่มีความเข้มข้น 1 เท่า หลอดละ 1 และ 0.1 mL อย่างละ 5 หลอด ตามลำดับ นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เลือกหลอด LST ที่ให้ผลบวก (ขุ่นและมีก๊าซใน Durham tube) เพื่อนำไปทำ Confirmed test ของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์ม

2.4.2 การทดสอบยืนยัน (Confirmed test)

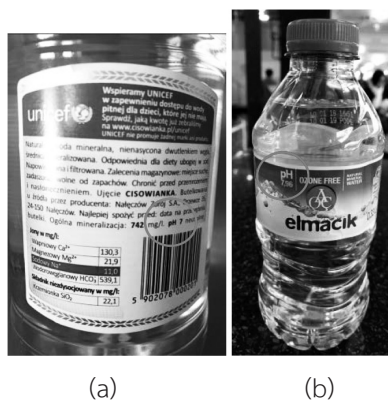
นำหลอด LST ที่ให้ผลบวกถ่ายเชื้อลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Brilliant Green Lactose Bile broth (BGLB) นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง (แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม) และนำหลอด LST ที่ให้ผลบวกถ่ายเชื้อลงใน Escherichia coli (EC) medium นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 45.5 องศาเซลเซียส ใน Water bath นาน 24-48 ชั่วโมง (แบคทีเรียกลุ่มฟิคัลโคลิฟอร์ม) นับจำนวนหลอด BGLB ที่ให้ผลบวก (ขุ่นและมีก๊าซใน Durham tube) นำไปเทียบกับตาราง Most Probable Number (MPN) จะได้ค่า MPN Coliform/100 mL และนับจำนวนหลอด EC ที่ให้ผลบวก (ขุ่นและมีก๊าซใน Durham tube) นำไปเทียบกับตาราง MPN จะได้ค่า MPN Fecal coliform/100 mL

2.4.3 การทดสอบขั้นสมบูรณ์ (Completed test) ของ *E. coli*

นำหลอด BGLB และ/หรือ EC ที่ให้ผลบวกไปเจียลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Eosin Methylene Blue agar บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง สังเกตลักษณะโคโลนีเฉพาะของ *E. coli* มีสีเขียวสะท้อนเงาโลหะ (Metallic sheen) และนำไปทดสอบยืนยันโดยใช้ IMViC test ได้แก่ Indole production test, Methyl red test, Voges-proskauer test และ Citrate utilization test ตามวิธีการของ U.S. Food and Drug Administration (2002)

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาคูณลักษณะของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสทั้งหมดอายุแล้ว 5 ปี ที่ซื้อในจังหวัดชลบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2554 ที่มีขนาด 600 มิลลิลิตร ผลิตจากจังหวัดกรุงเทพฯ และหมดอายุเมื่อวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2555 โดยมีกระบวนการบำบัดน้ำ คือ การใช้แสงยูวีหรือโอโซนและมีการยืนยันคุณภาพโดยมีหมายเลข อย. คือ 10-1-12123-1-0011 ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสทั้งหมดจำนวน 31 ตัวอย่าง มีฉลากที่มีการระบุชื่อบริษัทที่ผลิตและสถานที่ผลิตครบถ้วน และมีการระบุวันหมดอายุ รวมทั้งมีความใสและไม่มีการปนเปื้อน นอกจากนั้นพบว่าค่า TDS ระหว่าง 8.00 ± 0.00 และ 11.00 ± 0.00 mg/L ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างน้ำดื่มมีค่าน้อยกว่า 6.5 ทั้ง 31 ตัวอย่าง (100%) ดังนั้นจากการศึกษาคูณลักษณะของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสทั้งหมดอายุแล้ว 5 ปี ผ่านมาตรฐานน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทยด้วยคุณภาพทางด้านสถานที่ผลิต วันหมดอายุ ลักษณะน้ำ กลิ่น และความใส แต่ไม่ผ่านมาตรฐานทางด้านค่าความเป็นกรด-ด่างทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนั้นจึงควรมีการระบุค่าความเป็นกรด-ด่างไว้บนฉลากน้ำดื่ม เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์น้ำดื่มบรรจุขวดที่จำหน่ายในบางประเทศ เช่น ประเทศโปแลนด์และตุรกีที่มีการระบุค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังแสดงในภาพที่ 1 เพื่อให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคตระหนักถึงความเป็นกรด-ด่างของน้ำดื่มที่ควรอยู่ในช่วง 6.5-8.5



(a)

(b)

ภาพที่ 1 น้ำดื่มบรรจุขวดของประเทศโปแลนด์ (a) และตุรกี (b) ที่มีการระบุค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยวงกลมมีการระบุค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 และ 7.96 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 คุณภาพและลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่หมดอายุแล้ว 5 ปี

ตัวอย่าง	มีรอยขีดข่วน	มี Protective seal	ค่าของแข็งที่ละลายน้ำ (mg/L)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง #	ความใส	กลิ่น	ปริมาณของโคลิฟอร์ม (MPN/100 mL)	ปริมาณของฟิเคิล โคลิฟอร์ม (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	มาตรฐานคุณภาพของ น้ำดื่มบรรจุขวด *
1	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	11.00±0.00	5.69±0.07	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
2	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	11.00±0.00	5.72±0.02	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
3	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	10.00±0.00	5.80±0.00	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
4	+2 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	11.00±0.00	5.89±0.03	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
5	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	11.00±0.00	5.96±0.02	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
6	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	11.00±0.00	6.07±0.01	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
7	- มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	11.00±0.00	6.06±0.06	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
8	+2 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	10.00±0.00	6.13±0.08	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
9	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	10.67±0.00	6.21±0.05	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
10	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	11.00±0.00	6.27±0.04	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
11	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	11.00±0.00	6.32±0.02	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
12	+2 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	11.00±0.00	6.01±0.06	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	มีรอยขีดข่วน	มี Protective seal	ค่าของแข็งที่ละลายน้ำ (mg/L)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง #	ความใส	กลิ่น	ปริมาณของโคลิฟอร์ม (MPN/100 mL)	ปริมาณของฟิเคิล โคลิฟอร์ม (MPN/100 mL)	E. coli (MPN/100 mL)	มาตรฐานคุณภาพของน้ำดื่มบรรจุขวด *
13	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	11.00±0.00	5.81±0.05	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
14	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	11.00±0.00	5.83±0.06	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
15	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด	✓	11.00±0.00	5.82±0.06	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
16	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด	✓	10.67±0.67	6.02±0.20	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
17	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด	✓	10.00±0.00	5.63±0.03	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
18	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด	✓	10.00±0.00	5.58±0.06	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
19	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	10.00±0.00	5.58±0.02	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
20	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด	✓	10.00±0.00	5.60±0.03	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
21	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	10.00±0.00	5.65±0.05	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
22	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	10.00±0.00	5.63±0.03	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
23	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด	✓	10.00±0.00	5.66±0.04	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
24	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด	✓	8.00±0.00	5.93±0.13	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
25	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	8.33±0.47	5.71±0.03	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
26	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	9.00±0.00	5.68±0.02	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
27	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	9.00±0.00	5.67±0.03	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	มีรอยขีดข่วน	มี Protective seal	ค่าของแข็งที่ละลายน้ำ (mg/L)	ค่าความเบี่ยงต่าง #	ความใส	กลิ่น	ปริมาณของโคลิฟอร์ม (MPN/100 mL)	ปริมาณของฟีคัล โคลิฟอร์ม (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	มาตรฐานคุณภาพของน้ำดื่มบรรจุขวด *
28	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด/ ขวดเบี้ยว	✓	9.00±0.00	5.64±0.01	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
29	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด	✓	9.00±0.00	5.60±0.03	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
30	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด	✓	9.67±0.47	5.68±0.08	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน
31	+1 มีรอยขีดข่วนรอบขวด	✓	9.67±0.47	5.82±0.08	ใส	ไม่มีกลิ่น	<2.2	<2.2	ไม่พบ	ผ่าน

หมายเหตุ: +1 มีรอยบุบเล็กน้อย, +2 มีรอยบุบปานกลาง, +3 มีรอยบุบมาก; #: น้ำดื่มบรรจุขวดไม่ผ่านมาตรฐานทางด้านค่าความเป็นกรด-ด่างที่กำหนดให้มีค่าระหว่าง 6.5-8.5; *: ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ.2524) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทขึ้นอยู่กับจำนวนของโคลิฟอร์มและการเกิดของ *E. coli*

จากการตรวจนับแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* ด้วยวิธี Most Probable Number (MPN) ของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกใสที่หมดอายุแล้ว 5 ปี ตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งหมดพบปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มมีค่าน้อยกว่า 2.2 MPN/100 mL และไม่พบ *E. coli* ในทุกตัวอย่างที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ และผ่านมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ตารางที่ 1)

น้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้บรรจุน้ำดื่มเพียงครั้งเดียวและมีการกำหนดให้มีวันหมดอายุตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 135 220 256 284 และ 295 จากการกำหนดอายุของน้ำดื่มบรรจุขวดเนื่องมาจากความเสื่อมของขวดพลาสติกนั่นเอง ขวดพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุน้ำดื่มในครั้งนี้ ได้แก่ ขวดโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต PET (Poly Ethylene Terephthalate) หรือที่เรียกกันว่า เพท (PET) หรือพลาสติกเพท การจัดเรียงโมเลกุลของพลาสติก PET เป็นแบบ Biaxial orientation ซึ่งเป็นการจัดเรียงโมเลกุลทั้งแนวตั้งและแนวนอน คล้ายร่างแห ส่งผลให้มีความแข็งแรงทนทาน (Chandran and Jabarin, 1993) พลาสติก PET ได้รับความนิยมในการนำมาผลิตเป็นขวดบรรจุน้ำดื่ม เนื่องจากเป็นขวดที่มีน้ำหนักเบา มีความโปร่งใส มีความเหนียว แข็งแรง ทนทาน มีความยืดหยุ่น ต่อแรงกระแทก และที่สำคัญคือต้นทุนในการผลิตต่ำ (Montuori *et al.*, 2008).

ตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดในครั้งนี้เป็นพลาสติกชนิด PET ซึ่งหลายคนอาจไม่เคยสังเกตมาก่อนหรือไม่ทราบมาก่อนว่าน้ำดื่มที่บริโภคกันในทุกวันนี้กำหนดระบุถึงวันหมดอายุไว้ที่บริเวณข้างขวด อีกทั้งยังคิดว่าสามารถเก็บน้ำดื่มไว้ได้เป็นระยะเวลานาน หากไม่สังเกตเห็นถึงความผิดปกติที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า เช่น ความขุ่น หรือการเกิดตะกอนตะไคร่ เนื่องจากความใสของน้ำดื่มบรรจุขวดนี้เองที่ทำให้คนอาจเข้าใจผิดคิดว่าความใสคือความสะอาดและปลอดภัยที่จะสามารถใช้ในการบริโภคได้ แต่ในความเป็นจริงความใสเพียงอย่างเดียวไม่สามารถบ่งบอกได้ถึงความปลอดภัยที่จะใช้ในการบริโภคได้ (World Health Organization, 2008) แท้จริงแล้วน้ำดื่มที่นั่นไม่ได้หมดอายุแต่เป็นภาชนะที่บรรจุน้ำต่างหากที่หมดอายุ ถึงแม้ว่าน้ำจะยังคงบรรจุอยู่ในขวดที่ปิดฝาสนิทและยังคงมีความใสแต่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งขวดพลาสติกที่ใช้บรรจุจะปล่อยสารพิษชนิดที่ละลายน้ำออกมาปะปนกับน้ำในปริมาณที่สูงมากยิ่งขึ้น สารเคมีสำคัญที่มักปนเปื้อนในน้ำบรรจุขวดพลาสติก PET คือธาตุกึ่งโลหะที่มีชื่อว่าพลวง (Antimony; Sb; Keresztes *et al.*, 2009; Reimann *et al.*, 2010) กระบวนการผลิตขวดพลาสติก PET พลวงที่อยู่ในรูป Diantimony trioxide ถูกนำมาใช้

เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการขึ้นรูปพลาสติก (Pang *et al.*, 2006) การได้รับสารนี้ในปริมาณสูงจะทำให้เกิดอาการปวดท้อง อาเจียน ปวดกล้ามเนื้อ ตัวสั่น หมดสติ โลหิตจาง และอาจเสียชีวิต (Stemmer, 1976) ในอดีตมีรายงานว่า การดื่มน้ำที่ปนเปื้อนพลวงในปริมาณสูง (30 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร) ทำให้เด็กกว่า 150 คนมีอาการคลื่นไส้ อาเจียนและอุจจาระร่วง (Werrin, 1963) โดยสหภาพยุโรปได้กำหนดค่ามาตรฐานของน้ำแร่บรรจุขวดที่มีปริมาณพลวงปนเปื้อนได้ไม่เกิน 5 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร (Keresztes *et al.*, 2009) ปริมาณของสารนี้มักปนเปื้อนในน้ำดื่มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา ยกตัวอย่างเช่น น้ำแร่บรรจุขวดพลาสติก PET ในประเทศอิตาลีที่มีปริมาณพลวงเพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.7-0.8 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ในระหว่างการเก็บรักษา 1 ปีแรก และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่เกิน 1 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 950 วันนับจากวันผลิต (Keresztes *et al.*, 2009) นอกจากปัจจัยในเรื่องระยะเวลาการเก็บรักษาแล้วยังพบว่าปัจจัยอื่นในระหว่างการเก็บรักษา เช่น การสัมผัสแสงแดด อุณหภูมิที่สูงขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำลง เป็นตัวเร่งให้พลวงถูกปล่อยออกมาจากขวดพลาสติกสู่น้ำดื่มเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน (Reimann *et al.*, 2010)

นอกจากพลวงที่ถูกตรวจพบในน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET แล้ว ยังมีสารอีกชนิดหนึ่งที่พบได้ในน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET เช่นเดียวกัน คือ กลุ่มสารที่มีชื่อว่า Phthalates ซึ่งเป็นสารที่ถูกสันนิษฐานว่าปนเปื้อนมาจากวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในระหว่างกระบวนการผลิตขวดพลาสติก PET สารชนิดนี้มีความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ในสัตว์ทดลอง เช่น ทำให้การปฏิสนธิของไข่ลดลง เกิดความผิดปกติต่อตัวอ่อนในครรภ์ มดลูกผิดปกติ เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้มีความผิดปกติและลดความแข็งแรง เป็นต้น (Montuori *et al.*, 2008) ส่วนผลกระทบต่อมนุษย์นั้นยังไม่มีการศึกษาอย่างลึกซึ้งจึงสามารถระบุได้อย่างชัดเจนมากนัก สารเคมีชนิดนี้ปนเปื้อนในน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET สูงกว่าน้ำที่บรรจุในขวดแก้วเกือบ 20 เท่า (Montuori *et al.*, 2008) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณที่ตรวจพบดังกล่าวยังน้อยกว่าปริมาณอ้างอิง (Reference dose) อย่างมาก โดยสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกาได้กำหนดปริมาณอ้างอิงไว้ คือ dibutyl phthalate ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน; diethyl phthalate ไม่เกิน 0.8 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน; phthalic acid ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน และ bis (2-ethylhexyl) phthalate ไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน (US Environmental Protection Agency, 2006) ดังนั้นน้ำดื่มที่มีการปนเปื้อนด้วยสารชนิดนี้ส่วนใหญ่จึงไม่มีความเสี่ยงต่อการสร้างปัญหาสุขภาพของผู้บริโภค เช่นเดียวกับการปนเปื้อนพลวงในน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET การเก็บรักษาน้ำดื่มในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส การเก็บไว้ในที่กลางแจ้ง รวมทั้งค่าความเป็นกรด-ด่างที่ลดลงของน้ำดื่ม มีส่วนช่วยให้สารชนิดนี้ปนเปื้อนในน้ำดื่มเพิ่มสูงขึ้น (Bosnir *et al.*, 2007) ถึงแม้ว่ายังไม่มีรายงานทางวิชาการที่ระบุถึงปริมาณสารเคมีอันตรายทั้งสองชนิดนี้ปนเปื้อนในน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET ที่หมดอายุแล้ว แต่เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET ที่หมดอายุแล้วไม่ควรนำมาบริโภค เพราะอาจมีการปนเปื้อนด้วยสารเคมีที่ถูกปล่อยออกมาในปริมาณที่เป็นพิษกับสุขภาพในระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่หมดอายุแล้วมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.58 ± 0.02 - 6.32 ± 0.02 ซึ่งถือว่ามีความเป็นกรดอ่อน ๆ ค่าความเป็นกรด-ด่างดังกล่าวมีค่าที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขที่กำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 6.5-8.5 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำดื่มบรรจุขวดจากรายงานที่ผ่านมาพบว่ามีความเป็นกรด-ด่างที่ไม่ผ่านมาตรฐานถึง 100% ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างจากตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดอ่างทองไม่ผ่านมาตรฐานในด้านค่าความเป็นกรด-ด่างถึง 60% (Nimrat *et al.*, 2016) จากผลการศึกษาในครั้งนี้ที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่ามาตรฐานนั้นคือน้อยกว่า 6.5 สูงถึง 100% อาจเกิดจากแหล่งน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดในครั้งนี้ที่อาจจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่ามาตรฐานหรือเกิดจากกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด จากรายงานพบว่าการบำบัดน้ำดิบมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง หรืออาจเกิดจากกระบวนการบางประการที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บน้ำดื่มมานานเกินไปจนทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของพลาสติกจนส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำดื่ม อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีรายงานถึงการเสื่อมสภาพของพลาสติกที่ใช้บรรจุน้ำดื่มต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาในประเด็นดังกล่าวต่อไป ดังนั้น

ถึงแม้ว่าน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติก PET ที่หมดอายุแล้วจะมีคุณภาพผ่านมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขในด้านสถานที่ผลิต ลักษณะน้ำ กลิ่น สี ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* แต่ด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่ามาตรฐานจึงทำให้ไม่เหมาะสมในการนำมาบริโภคและ/หรือแจกจ่ายให้กับผู้ประสบภัยในกรณีฉุกเฉินหรือเกิดภัยพิบัติ เนื่องจากอาจการปนเปื้อนด้วยสารเคมีที่ก่อผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะบางประการของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสเท่านั้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาลักษณะอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางเคมีที่อาจมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความเสื่อมของขวดพลาสติกที่หมดอายุอาจจะส่งผลต่อคุณลักษณะของน้ำดื่มที่หมดอายุนั่นเอง

4. สรุปผล

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาถึงคุณลักษณะของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่หมดอายุที่ซื้อเมื่อปี พ.ศ. 2554 ซึ่งเป็นน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกใสที่หมดอายุไปแล้วเป็นเวลา 5 ปี เพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะทางด้านจุลชีววิทยา รวมทั้งคุณสมบัติทางเคมีและด้านกายภาพบางประการ โดยตัวอย่างขวดน้ำดื่มทั้งหมดจำนวน 31 ตัวอย่าง มีฉลาก (ชื่อบริษัทที่ผลิต สถานที่ผลิตและวันหมดอายุ) ครบถ้วน แต่ไม่มีการระบุวันผลิต น้ำดื่มทั้งหมดมีความใส ไม่มีกลิ่น มีค่าของแข็งละลายน้ำอยู่ในช่วง 8.00 ± 0.00 และ 11.00 ± 0.00 mg/L มีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 6.5 ทั้ง 31 ตัวอย่าง (100%) จากการตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาพบว่า ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มมีค่าน้อยกว่า 2.2 MPN/100 mL และตรวจไม่พบ *E. coli* ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกใสที่หมดอายุแล้ว 5 ปี ทุกตัวอย่างผ่านมาตรฐานน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทในคุณสมบัติทางด้านการระบายละเอียดบนฉลากผลิตภัณฑ์ความใส ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* แต่ทุกตัวอย่างไม่ผ่านมาตรฐานทางด้านค่าความเป็นกรด-ด่างที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation. 2005. **Standard Methods for the Examination of water and Wastewater**, 21st ed. American Public Health Association: Washington DC.
- Bosnir, J., Puntaric, D., Galic, A., Skes, I., Dijanic, T., Klaric, M., Grgic, M., Curkovic, M. and Z. Smit. 2007. **Migration of phthalates from plastic containers into soft drinks and mineral water**. Food Technol Biotech. 45: 91-95.
- Chandran, P. and S. Jabarin. 1993. **Biaxial orientation of poly (ethylene terephthalate) part II: the strain-hardening parameter**. Adv Polym Tech. 12: 133-151.
- Food and Drug Administration. 1981. **Notification of Ministry of Health, No. 61 (1981) entitled "The water for consumption in sealed container"**. <http://elib.fda.moph.go.th/elib/cgi-bin/opacexe?lang=1&cat=gen&pat : 1981>. Accessed 16 Mar. 2018.
- Food and Drug Administration. 1991. **Notification of Ministry of Health, No. 135 (1991) entitled "The water for consumption in sealed container" (2nd ed.)**. <http://elib.fda.moph.go.th/elib/cgi-bin/opacexe?lang=1&cat=gen&pat : 1991>. Accessed 16 Mar. 2018.

- Food and Drug Administration. 2001. **Notification of Ministry of Health, No. 220 (2001) entitled “The water for consumption in sealed container”** (3rd ed.). <http://elib.fda.moph.go.th/elib/cgi-bin/opacexe?lang=1&cat=gen&pat:2001>. Accessed 16 Mar. 2018.
- Food and Drug Administration. 2002. **Notification of Ministry of Health, No. 256 (2002) entitled “The water for consumption in sealed container”** (4th ed.). <http://elib.fda.moph.go.th/elib/cgi-bin/opacexe?lang=1&cat=gen&pat:2002>. Accessed 16 Mar. 2018.
- Food and Drug Administration. 2004. **Notification of Ministry of Health, No. 284 (2004) entitled “The water for consumption in sealed container”** (5th ed.). <http://elib.fda.moph.go.th/elib/cgi-bin/opacexe?lang=1&cat=gen&pat:2004>. Accessed 16 Mar. 2018.
- Keresztes, S., Tatar, E., Mihucz, V.G., Virag, I., Majdik, C. and G. Zaray. 2009. **Leaching of antimony from polyethylene terephthalate (PET) bottles into mineral water**. *Sci Total Environ.* 407: 4731-4735.
- Kruawal, K., Sacher, F., Werner, A., Mqller, J. and T.P. Knepper. 2005. **Chemical water quality in Thailand and its impacts on the drinking water production in Thailand**. *Sci Total Environ.* 340: 57-70.
- Montuori, P., Jover, E., Morgantini, M., Bayona, J.M. and M. Triassi. 2008. **Assessing human exposure to phthalic acid and phthalate esters from mineral water stored in polyethylene terephthalate and glass bottles**. *Food Addit Contam: Part A*, 25: 511-518.
- Nimrat, S., Supannapan, K., Butkhot, N. and V. Vuthiphandchai. 2016. **Standard of bottled drinking water distributed in Ang Thong**. *RMUTP Research Journal.* 10: 135-147.
- Pang, K., Kotek, R. and A. Tonelli. 2006. **Review of conventional and novel polymerization processes for polyesters**. *Prog Polym Sci.* 31: 1009-10037.
- Reimann, C., Birke, M. and P. Filzmoser. 2010. **Bottled drinking water: water contamination from bottle materials (glass, hard PET, soft PET), the influence of colour and acidification**. *Appl Geochem.* 25: 1030-1046.
- Stemmer, K.L. 1976. **Pharmacology and toxicology of heavy metals: antimony**. *Pharmacol Therapeut A.* 1: 157-160.
- US Environmental Protection Agency. 2006. **Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories**. <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/drinking/dwstandards.pdf>. Accessed 20 Dec. 2018.
- U.S. Food and Drug Administration. 2002. **BAM 4: Enumeration of Escherichia coli and the Coliform Bacteria**. <https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm064948.htm> : 2002. Accessed 16 Mar. 2018.
- Werrin, M. 1963. **Chemical food poisoning: association of food and drug officials**. *Q Bull- Hussock Food and Drug Off, US.* 27: 28-45.
- World Health Organization. 2008. **Guidelines for Drinking Water Quality Second Addendum to Third Edition vol. 1**. WHO Press, Geneva.

การจัดทำแผนที่มรดกทางสถาปัตยกรรม ชุมชนบางปลาสร้อย จังหวัดชลบุรี โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน

Mapping Architectural Heritage at Bang Pla Soi Community Chonburi Province By The Participation of The Community

พรจิต พิระพัฒน์กุล

Pornchit Perapatanakul

สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Uthenthawai Campus

E-mail: Aj.Pornchit@gmail.com โทร. 0-2252-7029 ต่อ 28

บทคัดย่อ

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำแผนที่มรดกสถาปัตยกรรม/วัฒนธรรมที่มีคุณค่าของชุมชน มีขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย การศึกษาภาคสนาม โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การสำรวจภาคสนาม การสังเกตการณ์ และการสัมภาษณ์ เก็บข้อมูลโดยการสำรวจสภาพทางกายภาพของอาคารพักอาศัยจากภาพถ่ายและแผนที่ นำข้อมูลมาจัดหมวดหมู่ โดยวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ความเหมือนและความต่าง รวมทั้งเอกลักษณ์ของอาคารที่มีคุณค่าต่อการศึกษาศาปัตยกรรมพื้นถิ่น พบว่า เป็นชุมชนที่ถูกสร้างขึ้นมาเกือบร้อยปี การวางผังชุมชน วางตามแนวนานกับทะเล โดยมีลักษณะทางสถาปัตยกรรมที่มีความเป็นพื้นถิ่น ที่ใช้วัสดุเป็นโครงสร้างไม้ สภาพทางกายภาพของอาคารบ้านเรือนและสภาพแวดล้อมมีสภาพค่อนข้างสมบูรณ์ ที่ยังคงสะท้อนถึงวิถีชีวิต สภาพทางเศรษฐกิจสังคม ตลอดจนเทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารในอดีต ชุมชนบางปลาสร้อยเป็นหลักฐานทางประวัติศาสตร์ของชุมชน ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของประชาชนจากทางน้ำสู่ทางบก ชาวจีนฮกเกี้ยน น่าจะเป็นจีนกลุ่มแรก ที่ได้เดินเรือเข้ามาค้าขายและลงหลักปักฐานที่สยามไม่ต่ำกว่ายุคสมัยสุโขทัย ลักษณะการสร้างชุมชนประมงบนเรือนไม้ที่ยื่นไปในทะเล โดยมีลักษณะเด่นเฉพาะคือ มีความผสมผสานระหว่างไทยและจีนได้ลงตัว ตัวบ้านเป็นรูปร่างอย่างเรือนไทย แต่การจัดวางผังบ้านเป็นแบบจีน มีความสมมาตร มีพื้นที่โล่งตรงกลางไว้บูชาบรรพบุรุษ และมีซุ้มประตูเรือนด้วยถั่วเป็นชุมชนประมงที่เด่นแตกต่างไปจากชุมชนประมงอื่น ๆ ผลการวิจัยสามารถเป็นข้อมูลหลักฐานเพื่อปกป้องรักษามรดกทางวัฒนธรรมให้คงอยู่ต่อไป เพื่อใช้เป็นแหล่งเรียนรู้มรดกทางวัฒนธรรมที่มีคุณค่าให้แก่เยาวชนรุ่นหลังได้เข้าใจถึงวิถีชีวิตในอดีต เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการต่อยอดในการศึกษาทางด้านประวัติศาสตร์ สถาปัตยกรรม โบราณคดี และข้อมูลที่ได้รับจะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการวางแผนดำเนินการอนุรักษ์ย่านชุมชนบางปลาสร้อยอย่างเหมาะสมต่อไป

คำสำคัญ : แผนที่มรดกทางสถาปัตยกรรม ชุมชนบางปลาสร้อย กระบวนการมีส่วนร่วม

Abstract

The purpose of this study was to make map of architecture heritage or culture of community. The research was conducted by field studies with the 3 following methods: field survey, observation, and interview. The information were collected by exploring the physical condition of the residential building from pictures and maps, classifying all information by analyzing information of similarities and differences in the unique building design of the valuable to local architecture, and analyzing the information based on the aim of this research. The finding indicated that this community is a hundred-years old, the community's layout is laying parallel to the sea with local architecture made

of wood. The houses and environments are still in good condition and it can also reflect the way of life, social and economy status and technology of people in the past. Bang Pla Soi Community is historic evidence of the community that show the differentiation of people living hood from water to land. Reaching back to the past, Hokkiens was likely to be the first Chinese to do commerce and settle down in Siam not less than Sukhothai era. The form of the fishing community on the house that extend to the sea have the outstanding identity which is the seamlessly combination between Thai and Chinese. The House body was in Thai style, but laying was in Chinese style with a symmetry, there was an open space in the middle for ancestor worship and house arched entrance. This made the community different from other fishing communities. The research result can be the information for preserving and maintaining the cultural heritage. It is the place where the younger generation can learn and understand the way of living in the past. It also serve as basic information in further studies on history, architecture and archeology. The information is also useful for any organization having conservation plan in Bang Pla Soi community.

Keywords : architectural heritage mapping, Bang Pla Soi community, the participation

1. บทนำ

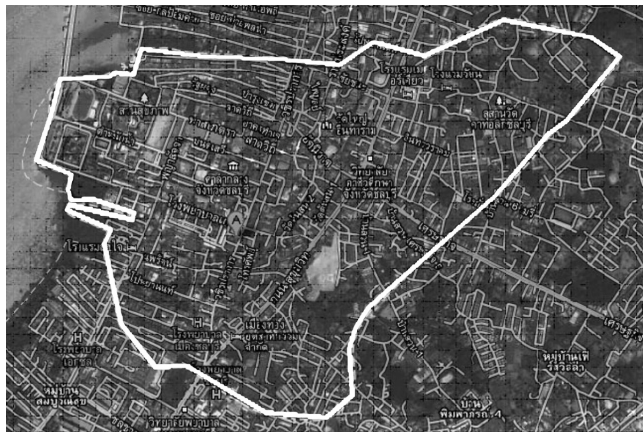
ชลบุรี มีความหมายถึง เมืองน้ำ หรือเมืองที่ตั้งอยู่ใกล้ น้ำ พื้นที่บริเวณเมืองชลบุรีมีหลักฐานจากการขุดค้นทางโบราณคดีที่แสดงว่าเคยมีชุมชนเก่าแก่ตั้งแต่ก่อนประวัติศาสตร์ ต่อเนื่องถึงยุคประวัติศาสตร์ มาตั้งหลักแหล่งอาศัยอยู่ก่อนแล้ว ได้แก่ บริเวณโคกพนมดี อำเภอพนสนิมโคกกระกา โครกกระเหียง อำเภอพานทอง และชุมชนเนินสำโรง อำเภอเมือง ที่ตั้งของตัวเมืองชลบุรีปัจจุบัน เดิมคือ ตำบลบางปลาสร้อย เป็นชุมชนที่มีมาแต่โบราณ มีชื่อบางปลาสร้อยปรากฏอยู่ในแผนที่สมุดภาพไตรภูมิ ฉบับกรุงศรีอยุธยา ร่วมกับเมืองบางทราย บางพระเรือ บางละมุง เป็นเมืองชายทะเลที่สำคัญ ยุคสร้างบ้านแปงเมืองที่มีการติดต่อค้าขายทางไกล บริเวณนี้ก็มีชุมชนที่เกี่ยวข้องกับการค้าทางทะเลเชื่อมโยงกับชุมชนภายในและภายนอก เช่น เมืองศรีพระโล ตำบลหนองไม้แดง อำเภอเมือง ซึ่งรุ่งเรืองในสมัยอยุธยาตอนต้น ราวพุทธศตวรรษที่ 20 ในฐานะเป็นเมืองท่าจอดพักเรือสินค้าแถบอ่าวบางปะกงก่อนเข้าไปยังแม่น้ำเจ้าพระยา ทำจีน แม่กลอง รวมทั้งเป็นที่จอดพักเรือสินค้าก่อนจะออกปากน้ำต่อไปยังจีน เวียดนาม และกัมพูชา ต่อเมื่อสภาพภูมิประเทศเปลี่ยนแปลงจากตะกอนที่ทับถมทำให้ชายฝั่งเมืองศรีพระโลที่เคยเป็นที่จอดพักเรือขึ้นเนิน ตัวเมืองจึงย้ายลงมาอยู่ที่บางปลาสร้อย (เมืองชลบุรีปัจจุบัน) และศรีพระโลก็ร้างโรยลงแต่นั้น!

ชื่อ ชลบุรี เริ่มปรากฏ พ.ศ.1919 ในเอกสารทำเนียบศักดินาหัวเมือง สมัยสมเด็จพระบรมราชาธิราช (ขุนหลวงพะงั่ว) ว่า เมืองชลบุรีมีฐานะเป็นเมืองจัตวา ออกเมืองชลบุรีศรีมหาสมุทรเป็นผู้รักษาเมือง จากเอกสารคำให้การชาวกรุงเก่ากล่าวว่า ชลบุรีเป็นเมืองสวยแดง หมายถึง ชลบุรีมีหน้าที่เก็บสวยแดงไพร่ (หลวง) สวย เป็นไม้เนื้อแดงส่งไปพระนครศรีอยุธยา เพราะทางตะวันออกเฉียงเหนือของตำบลบางทราย มีป่าไม้เนื้อแดงหนาแน่น ยังมีชื่อ ตำบลหนองไม้แดงเป็นพยาน ก่อนเราจะรู้จักชลบุรีในฐานะเมืองท่องเที่ยวชายทะเล ที่นี่จึงเป็นอีกหนึ่งประวัติศาสตร์ท้องถิ่นของบ้านเมืองในฝั่งอ่าวไทยที่มีความสำคัญต่อการสร้างบ้านเมืองมาจนถึงปัจจุบัน ก่อนจะกลายเป็นตำบลหนึ่งในอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ชุมชนชายทะเลอันประกอบด้วยบ้านเรือนที่มีลักษณะเฉพาะโดดเด่นอย่างยิ่งแห่งนี้ถูกเรียกว่าเมืองบางปลาสร้อยเมื่อ 150 ปีปีก่อน “จีนฮั่ว แซ่ตัน” ได้มาตั้งบ้านเรือนจับจองที่ทางสำหรับการประมงที่มีการทำมาหากินอย่างขยันขันแข็ง สุจริต มีความจงรักภักดีต่อพระมหากษัตริย์ทำให้ได้รับการแต่งตั้งเป็น “นายอากรหลวงอำนาจอจินนิกร”

งานสถาปัตยกรรมเก่าแก่บางชิ้นเป็นสิ่งที่บรรพบุรุษได้ก่อสร้างเอาไว้ เพื่อเป็นอนุสรณ์แห่งคุณงามความดีของบรรพบุรุษ เราก็จำเป็นต้องอนุรักษ์ไว้ งานสถาปัตยกรรมเก่าแก่บางชิ้นได้กลายเป็นที่ ยึดเหนี่ยวจิตใจ ก่อให้เกิดความรักและความสามัคคีระหว่างกลุ่มชนในชาติ เราก็จำเป็นต้องอนุรักษ์ไว้ งานสถาปัตยกรรมเก่าแก่บางชิ้น เป็นหลักฐาน

ที่ดีในการศึกษาทางด้านศิลปประวัติศาสตร์และโบราณคดี เราก็จำเป็นต้องอนุรักษ์ไว้ งานสถาปัตยกรรมที่มีคุณค่าได้กล่าวมาแล้วเหล่านี้ ส่วนใหญ่ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งของการพักผ่อนหย่อนใจ การท่องเที่ยวและทัศนศึกษาได้ ย่อมก่อให้เกิดผลทางด้านจิตใจแก่ผู้มาเยือน และผลทางด้านเศรษฐกิจแก่ท้องถิ่นตลอดจนประเทศชาติอันเป็นส่วนรวม เราก็จำเป็นต้องอนุรักษ์ไว้เช่นกัน เมื่อชุมชนได้รับรางวัลอนุรักษ์แล้ว แต่ยังไม่มีการเก็บข้อมูล ที่เป็นฐานข้อมูลทางสถาปัตยกรรมในเชิงวิชาการ ทำให้เกิดความสูญเสียต่อการรื้อถอน เนื่องจากทางชุมชนยังไม่เห็นคุณค่าที่แท้จริง

การจัดทำแผนที่มรดกทางสถาปัตยกรรม ชุมชนบางปลาสร้อย จังหวัดชลบุรี โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนนั้น จะสร้างความตระหนักให้กับประชาชนในท้องถิ่น สร้างความภาคภูมิใจในภูมิปัญญา สร้างความรักและหวงแหนในมรดกทางสถาปัตยกรรมที่มีคุณค่า หากไม่มีการเก็บข้อมูลในเชิงสถาปัตยกรรมแล้ว สถาปัตยกรรมที่มีคุณค่าเหล่านั้น ย่อมทรุดโทรมไปตามกาลเวลา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาและทบทวนประวัติศาสตร์ความเป็นมา วิวัฒนาการ และพัฒนาการของย่านชุมชนบางปลาสร้อย เพื่อระบุคุณค่าและความสำคัญทางประวัติศาสตร์ ทั้งรูปธรรมและนามธรรมที่สำคัญและมีคุณค่าของชุมชน เพื่อจัดทำแผนที่มรดกทางสถาปัตยกรรม/วัฒนธรรมที่มีคุณค่าของชุมชน และ (2) เพื่อสร้างเครือข่ายในการทำงานร่วมกัน โดยศึกษาทบทวนกลุ่มสังคม ชุมชน และกลุ่มผลประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับการรักษามรดกทางวัฒนธรรม ในชุมชนบางปลาสร้อย สร้างกระบวนการมีส่วนร่วมในการจัดทำแผนที่มรดกทางวัฒนธรรมที่มีคุณค่าของชุมชน



ภาพที่ 1 แผนที่ตั้งชุมชนบางปลาสร้อย จังหวัดชลบุรี

ที่มา : <https://maps.google.co.th/maps> สืบค้นข้อมูลออนไลน์เมื่อวันที่ 4 กรกฎาคม 2556

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพแบบสังเกตอย่างมีส่วนร่วม เน้นการค้นหาคำตอบที่เป็นความจริงที่ปรากฏจากหลักฐาน ที่เป็นรากเหง้าความรู้ทางปัญญาที่เป็นต้นน้ำ ใช้การสนทนาด้วยการสัมภาษณ์จากผู้รู้ทางด้านอาคารประวัติศาสตร์ความเป็นมาของชุมชน ก่อนจะทำการสนทนา สัมภาษณ์ พูดคุย ถ่ายภาพ ทางคณะผู้วิจัยได้ขออนุญาตด้วยวาจาในความยินยอมให้ถ่ายภาพ พูดคุย สัมภาษณ์ ด้วยการอนุญาต พักหน้า การแสดงออกด้วยความเต็มใจ มีจิตอาสา จึงเริ่มสนทนาพูดคุยกับเจ้าของบ้าน ถ่ายภาพ บันทึกภาพ สืบหาทางด้านสถาปัตยกรรม การรังวัด ซึ่งได้แก่ข้อมูลทางด้านอาคารพักอาศัย การประกอบอาชีพ จำนวนผู้อยู่อาศัยในครอบครัว

2.1 ประชากรตัวอย่าง

อาคารที่มีคุณค่าทางสถาปัตยกรรม เมืองประกอบทางสถาปัตยกรรมที่มีคุณค่า และมีลักษณะที่โดดเด่น มีความชัดเจนในเรื่ององค์ประกอบอาคารและมีคุณค่าในการอนุรักษ์ เพื่อให้ได้รายละเอียดของผังพื้น รูปด้าน รูปตัด วัสดุ ก่อสร้างและระบบโครงสร้าง ข้อมูลประวัติอาคาร ที่มีความเกี่ยวข้องกับชุมชน โดยมีหลักเกณฑ์ในการคัดเลือก ดังนี้

1. ผู้อยู่อาศัยเป็นเจ้าของบ้านหรือทายาทเจ้าของบ้าน
2. มีความต่อเนื่องของการครอบครอง
3. ลักษณะทางกายภาพของบ้านมีคุณลักษณะของเรือนพื้นถิ่น
4. วัสดุกลมกลืนกับสภาพแวดล้อมท้องถิ่น
5. มีองค์ประกอบอื่น ๆ ในผังบริเวณที่ให้เอกลักษณ์ของท้องถิ่น

2.2 การกำหนดพื้นที่ ชุมชนบางปลาสร้อย อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

2.3 การออกแบบการวิจัย

กระบวนการนำเสนอการศึกษาและการสำรวจ ในการศึกษา สำรวจอาคารพักอาศัยชุมชนบางปลาสร้อยนั้น ได้ตระหนักว่าคุณค่าของเรือนพื้นบ้าน มีได้อยู่ที่ตัวเรือนเพียงอย่างเดียว หากขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ทั้งทางด้านกายภาพ สังคม วัฒนธรรมท้องถิ่น อันเป็นการสะท้อนถึงการดำรงชีวิตเป็นสำคัญ

3. ผลการการศึกษาและอภิปรายผล

คุณค่าและความสำคัญของย่านชุมชนสถาปัตยกรรมพื้นถิ่น การจัดทำแผนที่มรดกทางสถาปัตยกรรม ชุมชนบางปลาสร้อย จังหวัดชลบุรี โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน ใช้แนวทางของ กฎบัตรบูรา (the Burra Charter) ในการพิจารณา โดยคุณค่าและความสำคัญของย่านชุมชน มีดังนี้ คือ

1. คุณค่าทางศิลปกรรม (artistic value) ของย่านชุมชน อยู่ที่ความสวยงามของลวดลายฉลุไม้ และการตกแต่งของเรือนแถวไม้ ที่ยังคงรักษาสภาพดั้งเดิมไว้ได้
2. คุณค่าทางสถาปัตยกรรม (architectural value) ของย่านชุมชนดั้งเดิมอยู่ที่เรือนแถวไม้จำนวนมากที่มีรูปทรงและโครงสร้างอาคารที่สวยงาม มีลักษณะเฉพาะ เป็นเรือนแถวไม้ที่ยังคงรักษาสภาพและคุณค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งเรือนแถวไม้เหล่านี้สามารถนำมาปรับเปลี่ยนประโยชน์ใช้สอยสนองความต้องการของผู้ใช้สอยในอนาคตได้
3. คุณค่าทางด้านประวัติศาสตร์ (historic value) ของย่านชุมชนดั้งเดิมในฐานะที่เป็นพื้นที่ที่มีความเกี่ยวข้องกับประวัติความเป็นมาและการพัฒนาการของเมืองมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และยังสามารถรักษาหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์หรือบุคคลสำคัญของเมืองไว้ได้
4. คุณค่าทางการศึกษาวิจัย (research value) ของย่านชุมชนดั้งเดิมซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูลในการศึกษาในอนาคตได้ เช่น การศึกษาด้านประวัติความเป็นมา โบราณคดี และสถาปัตยกรรมของเมือง แหล่งธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับประวัติศาสตร์และวัฒนธรรมของพื้นที่ หรือแหล่งประวัติศาสตร์ซึ่งหมายถึงบริเวณที่ปัจจุบันอาจไม่หลงเหลือหลักฐานทางกายภาพ แต่ในทางประวัติศาสตร์นั้นได้เกิดเหตุการณ์สำคัญมาก่อน
5. คุณค่าทางด้านสังคม (social value) ของย่านชุมชนดั้งเดิมในฐานะที่เป็นพื้นที่ที่มีความเกี่ยวข้องกับระเบียบ ประเพณี วัฒนธรรม กิจกรรมทางสังคม และวิถีการดำเนินชีวิต นอกจากนี้ยังคงรักษาความเป็นย่านชุมชนประมง ที่มีความสำคัญต่อเนื่องจากอดีตมาจนถึงปัจจุบัน

จากการสำรวจชุมชนบางปลาสร้อย การวางผังชุมชน วางตามแนวขนานกับทะเล โดยมีลักษณะทางสถาปัตยกรรมที่มีความเป็นพื้นถิ่น ที่ใช้วัสดุเป็นโครงสร้างไม้ ในอดีตจะเป็นสะพานที่ใช้เป็นเส้นทางสัญจรจากทะเล และวางแนวตัวอาคารขวางกับแนวสะพาน

บริเวณชุมชนบ้านสะพานบางปลาสร้อย ประกอบด้วย ซอยคูกำพล ซอยกล่อมค่าย ซอยบายพลน้ำ ซอยสำราญราษฎร์ และซอยชาติเดชา ถือว่าเป็นชุมชนแรก ๆ ของจังหวัดชลบุรี เป็นย่านที่ชาวจีนเริ่มมาตั้งบ้านเรือนประกอบอาชีพทำการประมงมาตั้งแต่สมัยกรุงรัตนโกสินทร์ โดยสร้างบ้านเรือนและปึกสะพานเป็นทางเดิน เป็นท่าเทียบเรือ และโรงเรือนสำหรับจอดเรือยื่นยาวลงไปในทะเล ชาวจีนเหล่านี้ประสบความสำเร็จในการประมงและการค้าจนมีฐานะเป็นปึกแผ่น หลายคนเข้ารับราชการได้รับพระราชทานบรรดาศักดิ์

ในช่วงรัชกาลที่ห้าถึงรัชกาลที่หก ย่านนี้ถูกเรียกว่า “บ้านสี่มุมหลวง” ได้แก่ หลวงอำนาจเงินนิกร ตั้งบ้านเรือนอยู่ในสะพานหัวค่าย (ซอยกลบ้อมค่าย) หลวงบำรุงราษฎร์นิม หลวงชลธารธรรักษ์ และหลวงอัมมาชาติ ตั้งบ้านเรือนอยู่ในบริเวณใกล้เคียง กันที่สะพานจีน (ซอยสำราญราษฎร์)

ต่อมาการทำประมงในย่านนี้เริ่มซบเซาลง จากชุมชนชาวประมงจึงเริ่มกลายเป็นที่อยู่อาศัยอันเงียบสงบ จนกระทั่งสมาคมสถาปนิกสยามได้มาสำรวจพื้นที่ลักษณะบ้านเรือนและวิถีชีวิตที่ยังคงอนุรักษ์รูปแบบดั้งเดิมไว้ จนนำไปสู่การได้รับพระราชทานรางวัลอนุรักษ์ศิลปสถาปัตยกรรมดีเด่นประเภทชุมชนพื้นถิ่น จากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2550 เป็นเหตุให้ประชาชนในซอยคูกำแพง กลบ้อมค่าย บ่ายพลน้ำ สำราญราษฎร์ ชาติเดชา ได้รวมตัวกันจัดตั้งเป็นชุมชนในเดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2553 โดยใช้ชื่อว่า “ชุมชนบ้านสะพานบางปลาสร้อย” ตามชื่อที่ได้รับพระราชทานรางวัล



ภาพที่ 2 แสดงสภาพชุมชนบางปลาสร้อยในอดีต

ที่มา : ชุมชนบ้านสะพานบางปลาสร้อย | Facebook <https://th-th.facebook.com/Baansapan>
สืบค้นข้อมูลออนไลน์เมื่อวันที่ 2 มี.ค. 2558



ภาพที่ 3 แสดงแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสภาพชุมชนบางปลาสร้อยในอดีต

ที่มา : กรมแผนที่ทหาร

ปี พ.ศ.2496 จากคำบอกเล่า ว่าเดิมเป็นทะเล แล้วหลวงให้คนจีนอพยพได้เข้ามาจับจองได้โดยไม่เสียเงินค่าที่ดิน เพียงแต่นำเงินไปซื้อดินมาถมสร้างบ้านกันได้เอง โดยที่ใครถมมาก กว้างเท่าไร ก็ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของตนได้

ตำบลบางปลาสร้อยเป็นตำบลหนึ่งของอำเภอเมือง ปัจจุบันอยู่ในเขตการปกครองของเทศบาลเมืองชลบุรี ในสมัยก่อนชาวชลบุรีจะใช้ถนนวิจิตรเป็นหลักแล้วสร้างสะพานยื่นลงไปทะเล พร้อมกับปลูกบ้านคู่นานไปกับสะพานไม้ นายจัน จันทรระ นายเทศมนตรี (15 พฤษภาคม 2463 ถึง 29 มิถุนายน 2487) ได้ตั้งชื่อสะพานต่าง ๆ ให้มีนามคล้องจองกัน โดยเริ่มจากสะพานด้านใต้สุดเรียงลำดับมาทางทิศเหนือดังต่อไปนี้

ลาดวิถี ศรีบุญญัตติรัฐผดุง	บำรุงเขต	เจตประชา	ที่ฆามารค		
ภาคมหารรณพ์	จันทรสถิตย	พิทยสถาน	บ้านลำภู	คูกำพล	กลป้อมค้าย
บ้ายพลน้ำ	สำราญราชภูร์	ชาติเดชา	ท่าเรือพลี	ศรีนินคม	ปฐมวัย
เกรียงไกรยุค	สุชนินันดร	เสริมสันติ			

ต่อจากนี้ไปขึ้นต้นใหม่ว่า

อติเรก	เอกวุฒิ	อุทยาน	ธารนที	ปริตารมย์	ชมสำราญ
ย่านโพธิ์ทอง	คลองสังเขป	เทพประสาท	ราชประสิทธิ์	จิตประสงค	จงประสาน

เทศบาลสมมุติ (เป็นสะพานสุดท้ายที่อยู่ในเขตเทศบาล)



ภาพที่ 4 แสดงแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสภาพชุมชนบางปลาสร้อยในปัจจุบัน

ที่มา : กรมแผนที่ทหารปรับปรุงโดย ทีมวิจัย

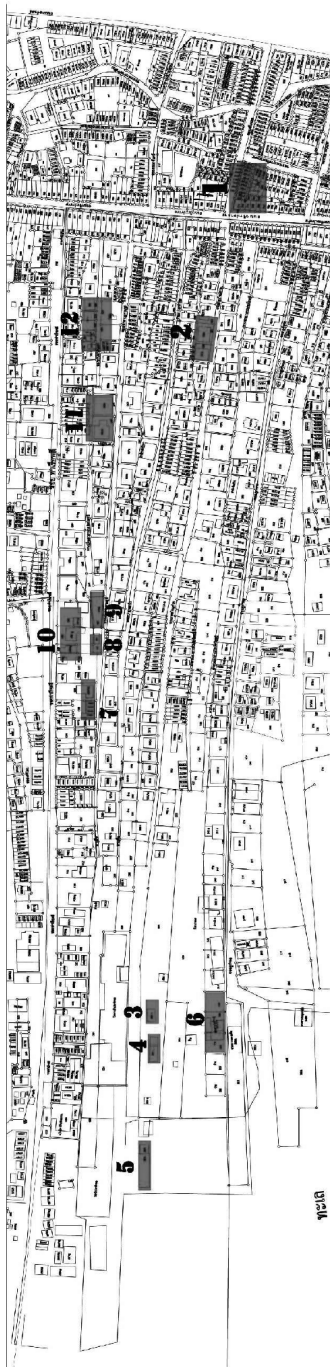
4. สรุป

...คูกำพล กลป้อมค้าย บ้ายพลน้ำ สำราญราชภูร์ ชาติเดชา ท่าเรือพลี...คือชื่อหกในสามสิบสี่ซอยย่อยบนชุมชนบ้านสะพาน ซึ่งเริ่มจากซอยลาดวิถี ทิศใต้ไปจนสุดซอยเทศบาลสมมติ ทิศเหนือ ที่แยกไปจากถนนจรดปราการ ถนนที่ทอดขนานไปกับอ่าวไทย มีบ้านมากมายสองฟากฝั่งซอยที่ยื่นเข้าไปทะเล กลายเป็นหมู่บ้านประมงขนาดใหญ่ของเมืองบางปลาสร้อย คู่กับเมืองท่าที่อ้างศึลด้วยสภาพภูมิประเทศแถบนี้ที่เป็นแหล่งหลบหลุมพายุอย่างดี ท้องทะเลตื้น มีป่าชายเลน และอยู่ในไม่ไกลจากบางกอกด้วยหากย้อนกลับไปเมื่อครั้งอดีต ว่ากันว่าชาวจีนกวางตุ้งเป็นกลุ่มแรก ๆ ที่ได้เดินเรือไปค้าขายโพ้นทะเลนอกจีน แต่ชาวจีนฮกเกี้ยนน่าจะเป็เงินกลุ่มแรกที่ได้เดินเรือเข้ามาค้าขายและลงหลักปักฐานที่สยาม ไม่ต่างไปกว่ายุคสมัยสุขุขทัยบางสันนิษฐานว่าจีนฮกเกี้ยนกลุ่มแรกที่ได้ตั้งถิ่นฐานนั้น น่าจะเป็นบริเวณลุ่มน้ำภาคกลาง (อาจเป็นแถบแม่น้ำท่าจีน-เจ้าพระยา) และพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ซึ่งอาจเป็นแถบเมืองชลบุรีแตกต่างกับปัจจุบันที่ชาวฮกเกี้ยนส่วนใหญ่ของไทยจะตั้งอยู่แถบภาคใต้ อาทิ ระนอง ตะกั่วป่า ภูเก็ต ตรัง สงขลา ปัตตานี ซึ่งเป็นการย้ายเข้ามาตั้งถิ่นฐานในยุคหลังแล้ว

หลักฐานจีนฮกเกี้ยนหนึ่งที่ยังพบเห็นได้คือ ศาลเจ้าฮกเกี้ยนที่ซอยท่าเรือพลี ซึ่งเดิมเรียกว่าซอยศาลเจ้า เป็นศาลเจ้าขนาดใหญ่เพียงแห่งเดียวที่ยังหลงเหลือในแถบชุมชนบ้านสะพานนี้ แต่ในบางปลาสร้อย ก็ยังพบเห็นศาลเจ้าเงินอื่น ๆ อีกมากมายตั้งแต่จิว ไหวหลาดด้วย

ครั้งหนึ่งที่ชุมชนนี้ “หลวงอำนาจจินนิกร” ชาวจีนที่ได้รับการแต่งตั้งเป็นเจ้าเมืองดูแลบางปลาสร้อย ปัจจุบันบ้านของท่านยังได้รับการดูแลเป็นอย่างดีที่ซอยกลป้อมค่าย

ลักษณะการสร้างชุมชนประมงบนเรือนไม้ที่ยื่นไปในทะเลนี้ คล้ายอย่างชุมชนชาวจีนฮกเกี้ยนที่ Weld Quay บนเกาะปีนัง มาเลเซียแต่เรือนที่นี่มีลักษณะเด่นเฉพาะคือ มีความผสมผสานระหว่างไทยและจีนได้ลงตัวด้วยบ้านเป็นรูปร่างอย่างเรือนไทย แต่การจัดวางผังบ้านเป็นแบบจีน มีความสมมาตร มีพื้นที่ตรงกลางไว้บูชาบรรพบุรุษ และมีซุ้มประตูเรือนด้วยถือเป็นชุมชนประมงที่เด่นแตกต่างไปจากชุมชนประมงอื่น ๆ



- 1 บ้านพระยาศรีมหาเกษตร (ซอยศรีมงคล เหลือแต่ซุ้มประตู)
- 2 บ้านสมเด็จพระพุทธโฆษาจารย์
(เรือเป็นหอพัก หน้าบ้านซอยบ้ายพลน้ำ หลังบ้านซอยกลป้อมค่าย)
- 3 บ้านหลวงอำนาจจินนิกร
- 4 บ้านพักตากอากาศ รองอำมาตย์เอกทิพยปัญญา (ซอยกลป้อมค่าย)
- 5 บ้านพักตากอากาศ รองอำมาตย์เอกทิพยปัญญา (ซอยกลป้อมค่าย)
- 6 บ้านคุณยายห่อ (ซอยคูกำพล)
- 7-9 บ้านหลวงอัชมาคตี-คุณยายกิมฮุย-คุณยายหลิม
(หน้าบ้านซอยสำราญราษฎร์ หลังบ้านซอยบ้ายพลน้ำ)
- 10 บ้านหลวงชลธารธรรารักษ์ (ซอยสำราญราษฎร์)
- 11 บ้านหลวงบำรุงราษฎร์นิยม (ซอยสำราญราษฎร์)
- 12 บ้านเก่าหลวงอำนาจจินนิกร (ซอยสำราญราษฎร์)

ภาพที่ 5 ตำแหน่งอาคารที่มีคุณค่าในชุมชนบางปลาสร้อย



ภาพที่ 6 ชุมประตู เป็นอัตลักษณ์ของพื้นที่ชุมชนบางปลาสร้อย



ภาพที่ 7 ชุมประตู เป็นอัตลักษณ์ของพื้นที่ชุมชนบางปลาสร้อย



ภาพที่ 8 ชุมประตู เป็นอัตลักษณ์ของพื้นที่ชุมชนบางปลาสร้อย

5. เอกสารอ้างอิง

- Bang Pla Soi Community : **Conservation and Development**. Access online 4 February 2015.
- Cultural landscape. 2009. Silpakorn University
- Office of the National Culture Commission and Faculty of Architecture Silpakorn University. 2549. **Cultural landscape management**. Bangkok : Amarin Printing & Publishing Public Company Limited.
- Office of Natural Resources and Environment Policy and Planning. 2554. **Knowledge about Old town in Thailand**. Office of Natural Resources and Environment Policy and Planning, Bangkok.
- Pinraj Khanjanusthiti. 2009. **Conservation of Architectural Heritage and Community**. Department of Architecture Chulalongkorn University.
- Piyabhorn Sakkasem. 2010. **Bang Pla Soi**. Matichon Online 7 January 2010.
- Social Development of Welfare Department of Chonburi Town Municipality. 2015. **Policy of Community Chonburi Town Municipality year 2015**.
- Surat Bandit. Newseastern Manager online
- Vitul Leawrungruang. 2009. **Conservation and Cultural Landscape Management**. Chiang Mai University.
- Yongtanit Pimonsathean. 2012. **Textbook UP 435 Improvement Rehabilitation City and Conservation**. Faculty of Architecture and Planning Thammasat University, Bangkok.
- <http://www.manager.co.th/Local/ViewNews.aspx?NewsID=9540000128969>
- <https://www.facebook.com/Baansapan>
- <http://www.asa.or.th/?q=node/101124> Access online 14 January 2013
- [www.academia.edu/4989423/Pajas S - Academia.edu](http://www.academia.edu/4989423/Pajas_S_-_Academia.edu) Access online 14 January 2013

การออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก

Design of Toys Used for Promoting Small and Big Bundle Muscle in Children with Autism

ยิ่งยง รุ่งฟ้า^{1*} มธุรส ชาวไร่ปราม¹ อนันต์ พงศ์ตรกุลพานิช² ธัญญพัทธ์ วัฒนจิรพันธุ์³
และ นัยนา สติยเสถียร⁴

Yingyong Rungfah¹, Maturose Chavraiparn¹, Anan Pongtornkulpanich²
Thunyaphat Vattanajirapun³ and Naiyana Sathisathien⁴

สาขาวิชาออกแบบอุตสาหกรรม¹ สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้าง² สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์³ สาขาวิชาศึกษาทั่วไป⁴

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Uthenthawai Campus

*E-mail: yingyong_vw1962@hotmail.com โทร. 0814984766

บทคัดย่อ

การออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติกเป็นการศึกษาเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรม กิจกรรมบำบัดเด็กออทิสติกและการพัฒนากล้ามเนื้อเล็กกล้ามเนื้อใหญ่ เพื่อนำผลมาทำการออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก ผลการวิจัยสามารถแยกออกมาเป็นประเด็นดังนี้ ผลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมเด็กออทิสติกที่มีปัญหาในการควบคุมด้านกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ วิธีการฟื้นฟู บำบัดรักษา กิจกรรมที่ใช้บำบัดเด็กออทิสติก ในส่วนผลการออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก เป็นของเล่นที่ใช้ฝึกการทรงตัว การจับ การดึง การโยก การป็นปาย ทำการออกแบบโดยคำนึงถึงขนาดสัดส่วนที่มีความเหมาะสมกับเด็กโดยมีขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตร สูง 160 เซนติเมตร วัสดุที่นำมาผลิตโครงสร้างเลือกใช้เหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้วครึ่ง มีแผ่นไม้กระดานสำหรับใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับเพื่อฝึกยืนทรงตัวโดยเลือกใช้ไม้ยางัดมุ่มให้มีความโค้งมนทั้ง 2 ด้าน โดยมีขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตรหนา 2.50 เซนติเมตร ส่วนด้านล่างของกระดานทรงตัวมีสปริงมีความสูง 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้วครึ่ง เพื่อให้มีความยืดหยุ่น ส่วนด้านหน้ามีตะขอยึดที่ใช้ฝึกในการป็นปายเพื่อฝึกการใช้กล้ามเนื้อเล็ก กล้ามเนื้อใหญ่โดยมีด้ามจับทั้ง 2 ด้านมีความสูง 80 เซนติเมตรและมีเสาสูง 60 เซนติเมตรยึดติดกับคานโดยคานมีสปริงและห่วงสำหรับจับเพื่อใช้ฝึกการดึง ส่วนผลการประเมินความพึงพอใจทางด้านการออกแบบ ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ภาพรวมอยู่ในระดับดี แสดงให้เห็นว่ามีความสะดวกสบายในการใช้งาน มีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน มีความปลอดภัย สามารถเคลื่อนย้ายสามารถถอดประกอบเพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย และผลการประเมินความพึงพอใจทางด้านการพัฒนาการ ประเมินโดยนักกิจกรรมบำบัด โดยทำการประเมินเด็กออทิสติก จำนวน 10 คน ภาพรวมอยู่ในระดับดี แสดงให้เห็นว่าเด็กมีทักษะการใช้กล้ามเนื้อใหญ่กล้ามเนื้อเล็ก มีทักษะการทรงตัวที่ดีขึ้นและยังสามารถช่วยส่งเสริมสมาธิของเด็กออทิสติกได้ขึ้นอีกด้วย

คำสำคัญ : ของเล่น กล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ เด็กออทิสติก

Abstract

This research aimed to study the design of a toy using to develop gross motors and fine motors among children with autism. The results obtained are utilized to design any toys for developing fine and big bundle of muscle for them. The results could be divided as follows. The results showed the previous research and related literature about behavior of autistic children having

skill in controlling fine and big bundle of muscle, revival and curing methods and various kinds of activity used for curing. For the results of toys design to support fine and big bundles of muscle for autistic children that aimed to train for balancing, Seizing, pulling, mobility and climbing, the toys were designed by concern of portion suiting for children with the dimension of 4 x 90 x 160 cm 3. The material brought to produce structure was steel with the diameter of 1.5 inches connected with wood board, which was used to be an equipment for balanced training. This board was rubber wood consisting of 2 sides with curved shape. For the bottom part of balanced board, it was seized with a spring with the height of 15 cm and the diameter of 1.5 inches for elastic purpose. For the front side with net, it was used to train fine and big bundles of muscle. For the big bundle of muscle training, it was designed to have 2 handles for 2 sides with the height of 80 cm and pillar's with the height of 60 cm, which were seized with beam connected with a spring and seized ring to train for pulling purpose. The results in satisfaction part evaluated by expert in field of product design received good overall level. This level indicated that the product design provided comfort, safety, and high endurance. The product could be easily moved and any components of product could be detached. The result of satisfied evaluation for development of 10 autistic children obtained by occupational therapist also received good overall level. This was resulted from having better skill in fine and big bundle of muscle, balancing and encouraging contemplation of all autistic children.

Keywords : Toys, small and big bundle muscle, children with autism

1. บทนำ

เด็กออทิสติกมีพัฒนาการล่าช้ากว่าเด็กปกติในวัยเดียวกันและความสามารถที่จะผ่านแต่ละขั้นตอนไปได้ช้า และมีข้อจำกัดอยู่ในระดับหนึ่งตามศักยภาพของตนเอง จึงทำให้เด็กมีพัฒนาการด้านร่างกายล่าช้า ความสามารถในการรับรู้และการเรียนรู้ไม่เหมาะสมกับอายุจริงมีความสามารถจำกัดในการติดต่อสื่อสารกับผู้อื่น รวมถึงการปรับตัวต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม ทำให้มีความยากลำบากในการดำเนินชีวิตปัญหาที่พบได้ในเด็กกลุ่มเด็กออทิสติกที่เห็นได้ชัดเจน คือ ความสามารถในการใช้กล้ามเนื้อเล็ก ดังนั้นการกระตุ้นพัฒนาการกล้ามเนื้อเล็กสำหรับเด็กออทิสติกนี้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะโดยปกติแล้วบุคคลทั่วไปไม่ว่าเด็กหรือผู้ใหญ่จำเป็นต้องใช้กล้ามเนื้อในการกระทำกิจกรรมต่าง ๆ ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นขณะนอนหลับหรือตื่นนอนกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเคลื่อนไหว เพื่อประกอบภารกิจประจำวันของคนเราที่มีโอกาสได้ออกกำลังกายมากที่สุด คือ กล้ามเนื้อขา ส่วนรองลงมาคือ กล้ามเนื้อแขนและมือ ดังนั้นกล้ามเนื้อจะสามารถใช้งานได้ดีในชีวิตประจำวัน จะต้องมีความแข็งแรงกล้ามเนื้อที่แข็งแรงจะช่วยให้อวัยวะอื่น ๆ ของร่างกายมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น นอกจากนี้พฤติกรรมการใช้กล้ามเนื้อจะส่งผลทำให้มีความสามารถที่จะแสดงทักษะในการพัฒนาการด้านอื่น ๆ อันเป็นพื้นฐานของการพัฒนาทางด้านสติปัญญา และภาษา ด้วยเหตุนี้กลุ่มเด็กออทิสติกควรได้รับการฝึกฝนกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อใหญ่และกล้ามเนื้อเล็กไปพร้อมกันตามวัยที่เหมาะสมการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อส่งเสริมให้เด็กฝึกการเรียนรู้ และมีความพร้อมในการฝึกทักษะอื่น ๆ ต่อไป

จากการสำรวจพบว่าปัจจุบันมีการนำของเล่นที่มีอยู่ไปนำมาใช้ในบำบัดส่งเสริมการพัฒนากล้ามเนื้อเล็กและกล้ามเนื้อมัดใหญ่เด็กออทิสติกซึ่งของเล่นดังกล่าวยังไม่มีความเหมาะสมทางด้านรูปแบบ ประโยชน์ใช้สอย ความแข็งแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งยังไม่มีความปลอดภัยกับการนำมาใช้กับเด็กออทิสติกอาจทำให้เกิดอันตรายกับเด็กออทิสติกได้ จากความสำคัญและปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาและออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติกที่นำมาใช้บำบัดส่งเสริมการพัฒนากล้ามเนื้อเล็กและกล้ามเนื้อมัดใหญ่เด็กออทิสติกซึ่งแนวทางในการออกแบบคำนึงถึงวิธีการบำบัดฟื้นฟูเพื่อการพัฒนาการกล้ามเนื้อเล็กและกล้ามเนื้อมัดใหญ่เด็กออทิสติกที่

ส่งผลต่อการส่งเสริมพัฒนาการทางด้านการเคลื่อนไหวของเด็กออทิสติกที่ทำให้เด็กออทิสติกมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น สามารถใช้ชีวิตอยู่ร่วมกับสังคมได้อย่างปกติสุข

2. วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยเรื่อง การออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อการออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้มีการรวบรวมข้อมูลทั้งภาคเอกสารและภาคสนาม เพื่อให้การวิจัยนี้บรรลุถึงเป้าหมายและครอบคลุมทุกส่วนตามวัตถุประสงค์ ในการออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก ได้ทำการศึกษาเฉพาะเด็กออทิสติกที่อยู่ในระดับ 3 เป็นระดับที่สามารถฝึกอาชีพและประกอบอาชีพได้ และอยู่ร่วมกับผู้อื่นในสังคมได้ มีความล่าช้าในพัฒนาการด้านภาษา การสื่อสาร ทักษะทางสังคม การเรียนรู้ รวมทั้งการช่วยเหลือตนเองซึ่งต้องมีคนคอยช่วยเหลือชี้แนะในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ที่มีช่วงอายุ 4-10 ปี โดยผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินงานดังนี้

2.1 การศึกษาข้อมูล

2.1.1 การศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาพฤติกรรมเด็กออทิสติกที่มีปัญหาในการควบคุมด้านกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่และวิธีการฟื้นฟู การบำบัดรักษาตลอดจนกิจกรรมต่าง ๆ ที่ใช้บำบัดเด็กออทิสติกตลอดจนการศึกษาแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการออกแบบ

2.1.2 การสำรวจภาคสนาม

ลักษณะทางกายภาพของเด็กออทิสติก กิจกรรมที่ใช้ในการบำบัดกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ของเด็กออทิสติก รูปแบบและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในบำบัดกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ของเด็กออทิสติกโดยการถ่ายภาพและจดบันทึก

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นวิจัยเชิงทดลองเพื่อออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก ได้ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีสุ่มแบบเจาะจง (อุทุมพร จามร, 2537) ทำการคัดเลือกเด็กออทิสติก ชาย-หญิง ที่มีช่วงอายุ 4-10 ปี จำนวน 10 คน เพื่อนำไปทดสอบหาความพึงพอใจโดยมีลำดับขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

2.2.1 ขอความร่วมมือกับนักกิจกรรมบำบัดศูนย์บริการบุคคลออทิสติกจังหวัดนนทบุรี ต.บางตลาด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.2.2 ดำเนินการทดสอบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก เพื่อหาความพึงพอใจประเมินโดยนักกิจกรรมบำบัด

2.2.3 นำข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการประเมินความพึงพอใจไปทำการวิเคราะห์ข้อมูล

2.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

2.3.1 ขอบเขตการศึกษาเนื้อหา

2.3.1.1 ศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมเด็กออทิสติกที่มีปัญหาในการควบคุมด้านกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่และวิธีการฟื้นฟู การใช้สื่อที่ดึงดูดความสนใจกับเด็กออทิสติก การบำบัดรักษาตลอดจนกิจกรรมต่าง ๆ ที่ใช้บำบัดเด็กออทิสติก

2.3.1.2 ศึกษาแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการออกแบบ

2.3.1.3 ศึกษาถึงประเภทของวัสดุที่นำมาออกแบบและผลิต

2.3.2 ขอบเขตการออกแบบ

2.3.2.1 ออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ที่ใช้สำหรับฝึกการพัฒนาการของกล้ามเนื้อเล็กได้แก่ ฝึกการพัฒนาการในการใช้มือในการจับและดึง และการส่งเสริมกล้ามเนื้อใหญ่ได้แก่ ฝึกการพัฒนาการในการใช้การใช้นิ้ว ขา ลำตัว การดึง การโยกตลอดจนออกแบบให้มีขนาดสัดส่วนที่มีความเหมาะสมกับเด็กออทิสติกที่มีช่วงอายุ 4-10 ปี

3.2.2.2 ออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก โดยใช้สิ่งที่ดึงดูดความสนใจกับเด็กออทิสติกและเลือกใช้วัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศและออกแบบให้สามารถผลิตได้ในเชิงพาณิชย์

2.3.3 สถานที่ทำการทดลอง

ศูนย์บริการบุคคลออทิสติกจังหวัดนนทบุรี ต.บางตลาด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.4.1 แบบสัมภาษณ์

แบบสัมภาษณ์ความต้องการในการออกแบบโดยสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ เกี่ยวกับรูปแบบและสีของผลิตภัณฑ์ ประโยชน์ใช้สอย วัสดุและกรรมวิธีการผลิตในเชิงพาณิชย์ และสัมภาษณ์นักกิจกรรมบำบัดเด็กออทิสติกสัมภาษณ์เกี่ยวกับวิธีการพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อเล็ก มัดใหญ่ การรักษาบำบัดเด็กออทิสติก พฤติกรรมและการพัฒนาการของเด็กออทิสติก

2.4.2 แบบสังเกตการณ์ (Observe)

ใช้แบบสังเกตการณ์ในการหาข้อเท็จจริงจากการทดลองใช้หุ่นจำลองทดสอบหาความเหมาะสมประกอบกับการสร้างสถานการณ์จำลอง โดยผู้วิจัยทำการสังเกตการณ์และจดบันทึก

2.4.3 แบบสอบถาม (Questionnaire)

เป็นแบบการประเมินความพึงพอใจ แบ่งออกเป็น 2 ชุด ดังนี้

ชุดที่ 1 แบบประเมินความพึงพอใจสำหรับผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบ โดยทำการประเมินทางด้านรูปแบบ ซึ่งแบบประเมินความพึงพอใจ มีประเด็นในการประเมิน ดังนี้

- หน้าที่ใช้สอย มีความสอดคล้องกับการพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ เล็ก มัดใหญ่
- ความสะดวกสบายในการใช้งาน ใช้งานง่ายไม่ยุ่งยาก
- สร้างความสนุกสนานแก่เด็ก เหมาะกับวัยและช่วงพัฒนาของเด็ก
- ความปลอดภัยในขณะใช้อุปกรณ์
- ความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน
- ความสวยงามน่าใช้ มีรูปทรงและการใช้สีสามารถดึงดูดความสนใจของเด็กออทิสติก
- การเคลื่อนย้ายสามารถถอดประกอบเพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย

ชุดที่ 2 แบบประเมินความพึงพอใจทางด้านการพัฒนาการประเมินโดยนักกิจกรรมบำบัด โดยทำการประเมินเด็กออทิสติก จำนวน 10 คน หลังการทดสอบใช้ของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ ซึ่งแบบประเมินความพึงพอใจ มีประเด็นในการประเมิน ดังนี้

- ทักษะการใช้กล้ามเนื้อเล็กและ กล้ามเนื้อมัดใหญ่
- ทักษะการใช้ศีรษะและลำตัวมีความสัมพันธ์กัน
- ทักษะการทรงตัว
- สมารถต่อการใช้ของเล่นเพื่อการพัฒนาการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนและเกณฑ์การประเมินระดับความพึงพอใจ

ระดับความพึงพอใจ	เกณฑ์การให้คะแนน	เกณฑ์การประเมิน
ระดับความพอใจ มากที่สุด	5	4.21-5.00
ระดับความพอใจ มาก	4	3.41-4.20
ระดับความพอใจ ปานกลาง	3	2.61-3.40
ระดับความพอใจ น้อย	2	1.81-2.60
ระดับความพอใจ น้อยที่สุด	1	1.00 -1.80

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

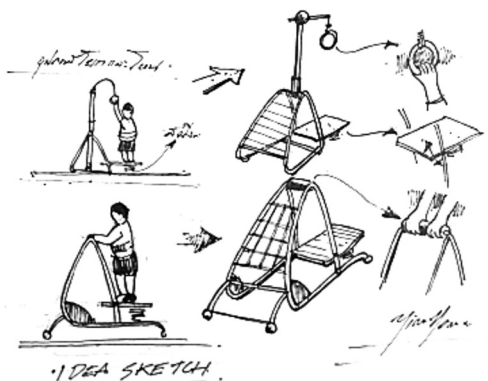
ผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องวิธีการบำบัด การส่งเสริมพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่กับเด็กออทิสติก ของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมพัฒนาการเด็กออทิสติก หลักการออกแบบของเล่น หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ การใช้สีที่ดึงดูดความสนใจกับเด็กออทิสติก ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและผลจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบำบัดเด็กออทิสติก ตลอดจนวัสดุที่นำมาออกแบบและผลิตของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ ของเด็กออทิสติก

3.2 ผลการออกแบบ

ผลจากการศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของเด็กออทิสติก หลักการส่งเสริมบำบัดกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ของเด็กออทิสติก วิธีการฟื้นฟู บำบัดรักษาตลอดจนกิจกรรมต่าง ๆ ที่ใช้บำบัดเด็กออทิสติก ผลจากการศึกษารูปแบบของเล่นที่ใช้ในการพัฒนาการเด็กออทิสติก ผลจากความต้องการในการออกแบบจากนักกิจกรรมบำบัดเด็กออทิสติกตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมบำบัดกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ของเด็กออทิสติก

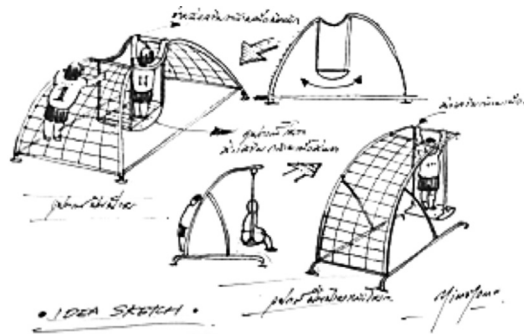
ผลจากคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านวัสดุและกรรมวิธีการผลิตและผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลจากการศึกษาสามารถนำมาออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติกตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 การออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้นของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก ทำแบบร่างหลาย ๆ แบบนำไปปรึกษาผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ในส่วนของบริษัท ประโยชน์ใช้สอย ความปลอดภัย ขนาดสัดส่วนให้มีความสัมพันธ์กับร่างกาย ตลอดจนวัสดุที่นำมาประกอบและผลิตและนำไปปรึกษานักกิจกรรมบำบัดในส่วนของหลักการส่งเสริมบำบัดกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ของเด็กออทิสติก ดังนั้นในการออกแบบได้นำหลักการออกแบบมาใช้ร่วมกับหลักการส่งเสริมบำบัดกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ของเด็กออทิสติก เพื่อหาความเหมาะสมของรูปแบบ ดังภาพที่ 1



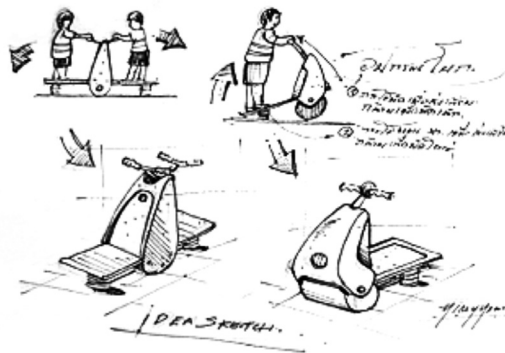
ภาพที่ 1 การออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้นครั้งที่ 1

จากแบบร่างแสดงแนวคิดเบื้องต้น ครั้งที่ 1 เป็นของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กได้แก่ การใช้มือในการจับและดึงและการส่งเสริมกล้ามเนื้อใหญ่ได้แก่ การใช้แขน ขา ลำตัว การดึงและการโยก



ภาพที่ 2 แบบร่างแสดงแนวคิดเบื้องต้นครั้งที่ 2

จากแบบร่างแสดงแนวคิดเบื้องต้น แบบที่ 2 เป็นของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กได้แก่ การใช้มือในการจับเพื่อการปีนป่าย และการส่งเสริมกล้ามเนื้อใหญ่ได้แก่ การใช้แขน ขา ลำตัว ในการโยกและแกว่ง

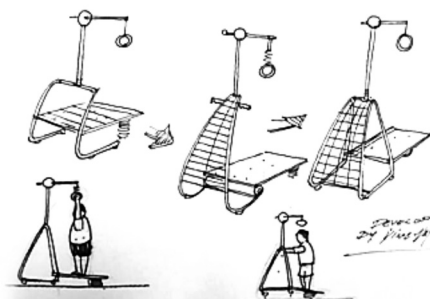


ภาพที่ 3 แบบร่างแสดงแนวคิดเบื้องต้นครั้งที่ 3

จากแบบร่างแสดงแนวคิดเบื้องต้น แบบที่ 3 เป็นของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กได้แก่ การใช้มือในการจับเพื่อโยก และการส่งเสริมกล้ามเนื้อใหญ่ได้แก่ การใช้ ขา ลำตัว ในการดึงและโยก

ขั้นตอนการพัฒนาแบบร่าง

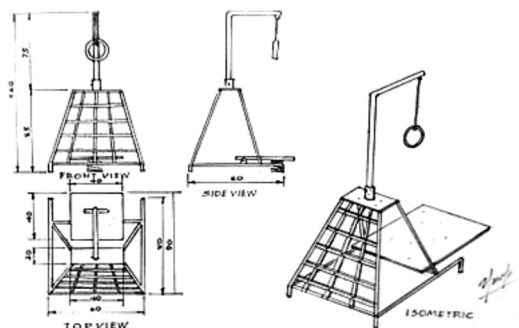
การพัฒนาแบบร่างเป็นขั้นตอนหลังจากนำแบบร่างแนวความคิดเบื้องต้นโดยมีแนวคิดในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กโดยการออกแบบของเล่นให้สามารถฝึกการใช้มือในการดึงและการโยก และมัดใหญ่สำหรับเด็กออกทิสติกฝึกทักษะการใช้ แขน ขา ลำตัว และนำแบบร่างไปปรึกษาผู้เชี่ยวชาญทางด้านออกแบบ นักกิจกรรมบำบัดและ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านวัสดุและกรรมวิธีการผลิต ในเรื่องของรูปแบบ ประโยชน์ใช้สอย ความปลอดภัย วัสดุที่นำมาเป็นส่วนประกอบ



ภาพที่ 4 การพัฒนาแบบร่าง

การวิเคราะห์แบบร่าง

เป็นการนำเอาแบบร่างนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมของรูปแบบ ในส่วนของขนาดสัดส่วนของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อมัดเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก



ภาพที่ 5 การวิเคราะห์แบบร่างเพื่อหาความเหมาะสมของรูปแบบและขนาดสัดส่วน

การออกแบบและการสร้างต้นแบบเพื่อใช้ในการประเมินความพึงพอใจ

ทำการสร้างต้นแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อมัดเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติกเพื่อใช้ในการทดสอบหาความพึงพอใจประเมินผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและนักกิจกรรมบำบัด



ภาพที่ 6 การออกแบบและสร้างต้นแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อมัดเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก

3.3 ผลการประเมินความพึงพอใจ

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจทางด้านการออกแบบ ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบ (N = 3)

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. หน้าที่ใช้สอย มีความสอดคล้องกับการพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่	4.00	0	ดี
2. ความสะดวกสบายในการใช้งาน	4.00	0	ดี
3. สามารถสร้างความสนุกสนานแก่เด็ก เหมาะกับวัยและช่วงพัฒนาของเด็ก	3.66	0.27	ดี
4. ความปลอดภัย ในขณะที่เล่น	3.66	0.27	ดี
5. ความแข็งแรง ทนทานต่อการใช้งาน	4.00	0	ดี
6. ความสวยงามน่าใช้ มีรูปทรงและสีสันสวยงามน่าใช้ สามารถดึงดูดความสนใจของเด็ก	3.33	0.23	ปานกลาง
7. การเคลื่อนย้าย สามารถถอดประกอบเพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย	3.66	0.27	ดี
ค่าเฉลี่ย	3.75	0.14	ดี

จากตารางที่ 2 พบว่าระดับความพึงพอใจประเมินทางด้านการออกแบบภาพรวมอยู่ในระดับ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 3.75$ ข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดมี 3 ข้อคือ 1. หน้าที่ใช้สอย มีความสอดคล้องกับการพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ 2. ความสะดวกสบายในการใช้งาน 5. ความแข็งแรง ทนทานต่อการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.00$ ข้อที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 6. ความสวยงามน่าใช้ มีรูปทรงและสีสันสวยงามน่าใช้ สามารถดึงดูดความสนใจของเด็ก ข้อที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด $\bar{X} = 3.33$ สามารถเรียงลำดับจากข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากไปหาน้อยดังนี้

ข้อ 1. หน้าที่ใช้สอย มีความสอดคล้องกับการพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่อยู่ในระดับ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.00$

ข้อ 2. ความสะดวกสบายในการใช้งาน อยู่ในระดับ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.00$

ข้อ 5. ความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน อยู่ในระดับ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.00$

ข้อ 3. สามารถสร้างความสนุกสนานแก่เด็ก เหมาะกับวัยและช่วงพัฒนาของเด็กอยู่ในระดับ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 3.66$

ข้อ 4. ความปลอดภัยในขณะที่เล่นอยู่ในระดับ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 3.66$

ข้อ 7. การเคลื่อนย้ายสามารถถอดประกอบเพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย อยู่ในระดับ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 3.66$

ข้อ 6. ความสวยงามน่าใช้ มีรูปทรงและสีสันสวยงามน่าใช้ สามารถดึงดูดความสนใจของเด็กอยู่ในระดับ ปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 3.36$

จากตารางที่ 3 พบว่าระดับความพึงพอใจทางด้านการพัฒนาการ ภาพรวมอยู่ในระดับ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 3.59$ ข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดมี 2 ข้อ คือ ข้อ 2. ทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ ข้อ 3. ทักษะการใช้ศีรษะและลำตัวมีความสัมพันธ์กันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.00$ ข้อที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 5. มีสมาธิต่อการใช้ของเล่นเพื่อการส่งเสริมกล้ามเนื้อ มัดเล็กและมัดใหญ่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 3.00$ สามารถเรียงลำดับจากข้อที่มีค่าเฉลี่ยมากไปหาน้อยดังนี้

ข้อ 2. ทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ อยู่ในระดับ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.00$

ข้อ 3. ทักษะการใช้ศีรษะและลำตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างมีจังหวะและเป็นธรรมชาติ อยู่ในระดับ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 4.00$

ข้อ 1. ทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก อยู่ในระดับ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 3.66$

ข้อ 4. ทักษะการทรงตัว อยู่ในระดับ ปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 3.32$

ข้อ 5. มีสมาธิต่อการใช้ของเล่นเพื่อการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ อยู่ในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\bar{X} = 3.00$

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจทางด้านการพัฒนาการประเมินโดยนักกิจกรรมบำบัด โดยทำการประเมินเด็กออทิสติก จำนวน 10 คน ซึ่งมีผลการประเมิน ($N = 3$)

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1.ทักษะการใช้กล้ามเนื้อเล็ก	3.66	0.27	ดี
2.ทักษะการใช้กล้ามเนื้อใหญ่	4.00	0	ดี
3.ทักษะการใช้ศีรษะและลำตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างมีจังหวะและเป็นธรรมชาติ	4.00	0	ดี
4.ทักษะการทรงตัว	3.32	0.24	ปานกลาง
5.มีสมาธิต่อการใช้ของเล่นเพื่อการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่	3.00	0	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	3.59	0.10	ดี

4. สรุป (Conclusion)

4.1 สรุปผลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลจากการศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของเด็กออทิสติก หลักการส่งเสริมและการบำบัดกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ของเด็กออทิสติก วิธีการฟื้นฟู บำบัดรักษาตลอดจนกิจกรรมต่าง ๆ ที่ใช้บำบัดเด็กออทิสติก ผลจากการศึกษารูปแบบของเล่นที่ใช้ในการพัฒนาการเด็กออทิสติกและผลจากความต้องการในการออกแบบจากนักกิจกรรมบำบัดเด็กออทิสติกตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมบำบัดกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ของเด็กออทิสติก ซึ่งผู้วิจัยได้นำผลจากการศึกษามาวิเคราะห์เพื่อทำการออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก ให้สามารถช่วยในการบำบัดฟื้นฟูที่ส่งผลต่อการพัฒนากล้ามเนื้อเล็กและกล้ามเนื้อใหญ่ของเด็กออทิสติก ตลอดจนยังช่วยสร้างสมาธิให้กับเด็กออทิสติกอีกด้วย

4.2 ผลการออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก

การออกแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก สามารถสรุปได้ดังนี้

4.2.1 ด้านรูปแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก

รูปแบบของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก ออกแบบโดยคำนึงถึงขนาดสัดส่วนของเด็ก มีขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตร สูง 160 เซนติเมตร โครงสร้างเลือกใช้โครงเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาด 1 นิ้วครึ่ง ตัดเป็นส่วนโค้งโดยเลือกใช้สีเหลือง มีแผ่นไม้กระดานสำหรับใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับเพื่อฝึกยืนทรงตัวโดยเลือกใช้ไม้ยางตัดมุมให้มีความโค้งมนทั้ง 2 ด้าน มีขนาด กว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตรหนา 2.50 เซนติเมตร เลือกใช้สีขาว ส่วนด้านล่างมีการติดตั้งสปริงสำหรับให้มีความยืดหยุ่นในขนาดที่มีการฝึกในการทรงตัว โดยเลือกใช้สปริงที่มีขนาดความสูง 15 เซนติเมตรมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาด 1 นิ้วครึ่ง ส่วนด้านหน้ามีตะขอยเลือกใช้สีฟ้า ที่ใช้ฝึกในการปีนป่ายเพื่อฝึกการใช้กล้ามเนื้อเล็ก กล้ามเนื้อมัดใหญ่และมีที่ยึดจับทั้ง 2 ด้าน เพื่อฝึกการใช้กล้ามเนื้อเล็ก และใช้จับเพื่อการทรงตัวมีความสูง 80 เซนติเมตร มีเสาที่ยึดติดกับคานด้านบนเลือกใช้สีขาว มีความสูง 60 เซนติเมตร มีสปริงและห่วงสำหรับจับเพื่อตั้งที่ใช้ฝึกกล้ามเนื้อเล็กได้แก่ ฝึกการใช้นิ้ว ฝึกการใช้มือ การใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ได้แก่ ส่วนแขน ส่วนขาและส่วนลำตัว

4.2.2 ด้านคุณสมบัติของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก

คุณสมบัติของเล่นที่ใช้ในการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่สำหรับเด็กออทิสติก สามารถใช้ในการฝึกกล้ามเนื้อมัดใหญ่และมัดเล็กให้มีการเคลื่อนไหวเช่น การใช้แขน ขา มือ และนิ้ว ช่วยส่งเสริมให้เด็กมีพัฒนาการทางด้านการเคลื่อนไหว ประสาทการรับรู้ตลอดจนใช้ในการฝึกสมาธิของเด็กออทิสติก

4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจ

4.3.1 ผลการประเมินความพึงพอใจประเมินทางด้านการออกแบบ ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบ ภาพรวมอยู่ในระดับดี มีรายละเอียดได้ดังนี้

หน้าที่ใช้สอย อยู่ในระดับ ดี รูปแบบมีความสอดคล้องกับการนำไปส่งเสริมพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่เด็กก้อทิสติก สอดคล้องกับ Rungfah (2012) ที่ได้กล่าวถึง หน้าที่ใช้สอยถือว่าเป็นสิ่งสำคัญเป็นอันดับแรก เพราะผลิตภัณฑ์ที่ดีต้องมีหน้าที่ใช้สอยถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของผลิตภัณฑ์ และต้องสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ให้มากที่สุด

ความสะดวกสบายในการใช้งาน อยู่ในระดับ ดี มีความเหมาะสมกับขนาดสัดส่วนของเด็ก สอดคล้องกับ Rungfah (2012) ได้กล่าวถึง ในการออกแบบผลิตภัณฑ์นั้นออกแบบจะต้องคำนึงถึงขนาด สัดส่วนของมนุษย์ทั้งชาย และหญิง รวมไปถึงสัดส่วนของมนุษย์ ผลิตภัณฑ์ที่ดีต้องสามารถใช้งานได้สะดวกสบาย ไม่เมื่อยล้า ในขณะที่ใช้งาน

ความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน อยู่ในระดับ ดี เลือกใช้วัสดุที่ทนทานต่อแรงกระแทก สอดคล้อง Rungfah (2012) ได้กล่าวถึง ความแข็งแรงไว้ว่าควรจะคำนึงถึงวัสดุที่นำมาใช้เป็นโครงสร้างควรเลือกใช้วัสดุที่ทนต่อแรงกระแทก และนักออกแบบต้องคำนึงถึงความงามให้ควบคู่ไปกับความแข็งแรง

ความปลอดภัยในการเล่น อยู่ในระดับ ดี ทำการออกแบบโดยเลือกใช้วัสดุที่ไม่เป็นอันตรายกับเด็ก สอดคล้องกับ Rungfah (2012) ได้กล่าวถึง การออกแบบผลิตภัณฑ์สำหรับเด็ก ควรจะคำนึงถึงวัสดุที่เลือกใช้ ควรหลีกเลี่ยงวัสดุที่มีพิษเวลาเด็กนำเข้าปากและควรออกแบบให้หลีกเลี่ยงมุมที่แหลมคม

การเคลื่อนย้ายสามารถถอดประกอบเพื่อสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย อยู่ในระดับ ดี ออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้ทุกชิ้นส่วน สอดคล้องกับ Rungfah (2012) ได้กล่าวถึง การเคลื่อนย้ายไว้ว่านักออกแบบจะต้องออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้ง่ายทุกชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์

สามารถสร้างความสนุกสนานแก่เด็ก อยู่ในระดับ ดี รูปแบบมีเหมาะกับวัยและช่วงพัฒนาการของเด็ก สอดคล้องกับ Wiangsim (2003) ได้กล่าวถึงเป้าหมายของการเล่นของเด็ก สำหรับเด็ก เพื่อความสนุกสนานเพลิดเพลิน การเล่นของเด็กยังเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้เด็กมีความสุข ความเพลิดเพลิน อารมณ์แจ่มใส

ด้านความสวยงามน่าใช้ มีรูปทรงและสีสันสวยงามน่าใช้ สามารถดึงดูดความสนใจของเด็กอยู่ในระดับปานกลาง ควรมีการปรับปรุง รูปร่าง รูปทรงโดยใช้แรงบันดาลใจจากรูปทรงต่างๆที่เด็กมีความสนใจเช่น รูปทรงสัตว์ สีควรจะเป็นสีที่ดึงดูดความสนใจกับเด็กก้อทิสติกมาใช้ในการออกแบบ

4.3.2 ผลการประเมินความพึงพอใจประเมินความพึงพอใจทางด้านการพัฒนาการ ประเมินโดยนักกิจกรรมบำบัด ภาพรวมอยู่ในระดับดี มีรายละเอียดได้ดังนี้

ทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ อยู่ในระดับ ดี ออกแบบให้มีการใช้กล้ามเนื้อในส่วนของแขนขาและเพื่อการฝึก การทรงตัว สอดคล้องกับ Vitoochat (2006) ได้กล่าวว่า การใช้กล้ามเนื้อแขนขา การทรงตัว ทำให้เด็กสุขภาพดี แข็งแรง คล่องแคล่ว ทะมัดทะแมงเล่นกีฬาได้ดี

ทักษะการใช้ศีรษะและลำตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างมีจังหวะและเป็นธรรมชาติ อยู่ในระดับ ดี สอดคล้องกับ Intasin (2011) ได้กล่าวว่า ทักษะการเคลื่อนไหวสำหรับเด็กก้อทิสติกเป็นทักษะของการพัฒนาการเคลื่อนไหว โดยมีความมุ่งหมายของการจัดกิจกรรมทักษะการเคลื่อนไหวพื้นฐานเพื่อให้เด็กได้รับความสนุกสนาน ร่าเริงจากการเล่นเกม กิจกรรมทักษะการเคลื่อนไหวพื้นฐานและพัฒนาความสัมพันธ์การเคลื่อนไหวของร่างกายอย่างมีจังหวะและเป็นธรรมชาติ

ทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก อยู่ในระดับ ดี ออกแบบมีการใช้กล้ามเนื้อมือในการจับ การดึง สอดคล้องกับ ชาทรี วิฑูรชาติ. 2526 ได้กล่าวว่าการพัฒนาของกล้ามเนื้อมัดเล็กคือ การใช้มือ การหยิบจับ ซึ่งเป็นพื้นฐานของการที่เด็ก จะพัฒนาการ การเขียน การทำงานในชีวิตประจำวัน และการช่วยเหลือตัวเอง

ทักษะการทรงตัว อยู่ในระดับ ปานกลาง จากการทำการทดสอบพบว่าเด็กบางรายมีความสภาพร่างกายที่มีความแตกต่างกันเด็กที่มีความแข็งแรงสามารถฝึกการทรงตัวได้ดีกว่าเด็กที่มีร่างกายอ่อนแอ

มีสมาธิต่อการใช้ของเล่นเพื่อการส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่ อยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากเด็กออทิสติกมีพฤติกรรมไม่อยู่สุขจึงส่งผลให้ขาดสมาธิต่อการใช้ของเล่นในการฝึกเพื่อส่งเสริมกล้ามเนื้อเล็กและมัดใหญ่

5. เอกสารอ้างอิงและบรรณานุกรม

- Department of Academic. 2013. **The development of children with autism**. Kurusapa Printing, Bangkok.
- Intasin, I. 2011. **A Study on Social Skills of Autistic Children in Early Childhood by Games and Activities**. (Thesis. Master of Education Degree in Special Education at Srinakharinwirot University.
- Manajuti, K. 2013. **Learning Media and Player of Preschool**. Chiang Mai. United College of Lanna.
- Vitoocha, T. 2006. **Let Children learn From Play**. For Good Development. Bangkok: Press association Muslimthaipost Press association Muslimthaipost.
- Rungfah, Y. 2012. **Industrial Product Design**. Bangkok: Industrial Product Design. Bangkok.
- Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal (Online) <http://journal.rmutto.ac.th/index.php?menu=introduction> [4 October 2017]
- Suksod, T. 2008. **Industrial Product Design**. Bangkok: Odeon-Store Printing.
- Wiangsima, T. 2003. **Toy Design Project for Attracting Attention of Autistic Children**. Bachelor of Arts. Faculty of Art and Design, Rangsit University.

ภาคผนวก

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
(RMUTTO RESEARCH JOURNAL)

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เป็นวารสารระดับชาติซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดผลงานวิจัยและผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กำหนดเผยแพร่วารสาร ปีละ 2 ครั้ง (มกราคม - มิถุนายน และกรกฎาคม - ธันวาคม)

1. บทความวิจัย

ก. ส่วนปก ประกอบด้วย

1. ชื่อบทความ (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ ชี้ถึงเป้าหมายหลักของการวิจัย
2. ชื่อผู้เขียนทุกท่าน (Authors) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุล โดยไม่ต้องมีคำนำหน้านาม
3. ที่อยู่หน่วยงาน ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับการติดต่อ E-mail และโทรศัพท์
4. ตัวเลขยก ให้เขียนไว้บนนามสกุลเพื่อระบุว่าเป็นที่อยู่ของผู้เขียนท่านใด
5. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้นตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา
6. คำสำคัญ (Keyword) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ ที่สามารถนำไปใช้สืบค้นในระบบฐานข้อมูล (Keyword ควรมีประมาณ 4 คำ)

ข. ส่วนเนื้อหา ประกอบด้วย

1. บทนำ (Introduction) เป็นส่วนของความสำคัญและมูลเหตุที่นำไปสู่การวิจัย พร้อมวัตถุประสงค์และการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. วิธีการทดลอง (Materials and Methods) วิธีการศึกษา (Research Methodology) เป็นการอธิบายวิธีการดำเนินการวิจัยซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการวิจัยแต่ละประเภท
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล หรือผลการศึกษาและอภิปรายผล (Results and Discussion) ควรเสนอผลอย่างชัดเจน ตรงประเด็น เป็นผลที่ค้นพบ โดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษา พร้อมการวิจารณ์ผล
4. สรุปผล (Conclusion) สรุปสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา
5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) กล่าวถึงบุคคลหรือหน่วยงานที่ช่วยเหลืองานวิจัยและมีความสำคัญจริง (อาจมีหรือไม่ก็ได้)
6. เอกสารอ้างอิง (References) ต้องใช้ตามแบบที่วารสารวิจัย มทร. ตะวันออก กำหนดอย่างเคร่งครัด และเขียนเอกสารอ้างอิง เฉพาะเอกสารที่นำมาอ้างอิงในเนื้อหาเท่านั้น
7. ความยาวของบทความไม่เกิน 10 หน้า

หมายเหตุ เรื่องที่จะส่งตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความวิจัยหรือบทความวิชาการที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน หรืออยู่ในระหว่างการพิจารณาจากวารสารอื่น

2. รูปแบบการพิมพ์บทความ

การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะขอบ

ขอบบน (Top Margin) และขอบซ้าย (Left Margin) 2.5 ซม.

ขอบล่าง (Bottom Margin) และขอบขวา (Right Margin) 2.0 ซม.

- กระดาษ

ขนาดกระดาษ A4 (กำหนดเอง) ความกว้าง 19 ซม. ความสูง 27 ซม.

รูปแบบตัวอักษร

แบบตัวอักษรใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น

หมายเลขหน้า

ตำแหน่ง ด้านล่าง กึ่งกลางหน้ากระดาษ ขนาดตัวอักษร 14

การย่อหน้า

เคาะ 8 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 9

จำนวนหน้าทั้งหมด

6 - 12 หน้า

การพิมพ์ส่วนปก

พิมพ์เต็มหน้ากระดาษ (พิมพ์ 1 คอลัมน์)

การพิมพ์ส่วนเนื้อหา

พิมพ์ 1 คอลัมน์

ชื่อบทความ

ภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ ขนาดอักษร 18 (ตัวหนา)

จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

ชื่อผู้เขียน

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา)

ระหว่างชื่อกับนามสกุล เว้น 2 เคาะ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล

ขนาดตัวอักษร 16

(ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

ที่อยู่

ภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 12

(ใส่ตัวเลขยกบนหน้าที่อยู่ ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

E-mail และโทรศัพท์

ขนาดตัวอักษร 12 (ตัวเอียง)

ชื่อบทคัดย่อ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา)

จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

เนื้อหาบทคัดย่อ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14

ชื่อคำสำคัญ (Keyword)

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา)

คำสำคัญ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14

ชื่อหัวเรื่องใหญ่

ประกอบด้วย 1. บทนำ 2. วิธีการทดลอง หรือ วิธีการศึกษา

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลหรือผลการศึกษาและอภิปรายผล

4. สรุปผล 5. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) 6. เอกสารอ้างอิง

ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย

ชื่อหัวเรื่องรอง

ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย

ชื่อหัวเรื่องย่อ

ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา) ย่อ 4 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 5

เนื้อหาบทความ

ขนาดตัวอักษร 14 จัดกระจายแบบไทย

ชื่อตาราง

ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ด้านบนของตาราง จัดชิดซ้าย

ชื่อภาพ ชื่อแผนภูมิ

ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ใต้ภาพหรือแผนภูมิ จัดกึ่งกลาง

เนื้อหาในตาราง/แผนภูมิ

ขนาดตัวอักษร 12

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง

ใช้นามสกุลของผู้แต่งคนแรก แล้วตามด้วยปี (ค.ศ.) เช่น Jamsawat (2011) หรือ (Jamsawat, 2011) หรือ Dan and Hamasaki (2011) หรือ Jamsawat and Piempol (2016) กรณีผู้เขียนมีมากกว่า 2 คน ใช้ Dan *et al.* (2011) หรือ (Dan *et al.*, 2011) เป็นต้น

การอ้างอิงท้ายเรื่อง

1. หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. **ชื่อหนังสือ**. ครั้งที่พิมพ์. สำนักพิมพ์. เมืองที่พิมพ์.

2. บทความวารสาร

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. **ชื่อบทความ**. ชื่อวารสาร. ปีที่ (ฉบับที่): หน้าแรก - หน้าสุดท้ายของบทความ. (กรณีที่วารสารไม่ระบุฉบับที่ ก็ไม่ต้องใส่ฉบับที่)

โดยให้เรียงลำดับเอกสารอ้างอิงตามตัวอักษรภาษาอังกฤษของนามสกุลของผู้แต่งคนแรก ตามด้วยคำย่อชื่อและชื่อกลาง (ถ้ามี) ของผู้แต่ง กรณีเป็นหน่วยงานให้ใช้ชื่อเต็มหน่วยงาน ตามด้วยปีที่ตีพิมพ์ (การอ้างอิงจากวารสาร ให้ใช้ชื่อย่อของวารสาร) กรณีที่เป็นเอกสารอ้างอิงภาษาไทยใช้รูปแบบเดียวกัน ให้ปรับ (แปล) เป็นภาษาอังกฤษและต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้นด้วยคำว่า (in Thai)

หมายเหตุ ต้นฉบับบทความที่น่าส่งจะต้องถูกต้องตามหลักเกณฑ์การเขียนตามที่กำหนดเท่านั้น มิฉะนั้นจะไม่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ในวารสาร

*** ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงท้ายเรื่อง**

Barros, A.K.A., Nunes, G.H.S., Queiroz, M.A., Pereira, E.W.L. and J.H.C. Filho. 2011. **Diallel analysis of yield and quality traits of melon fruits**. Crop Breed Appl Biotechnol. 11: 313-319.

Lertrat, K. 1989. **Techniques in Hand Pollinating Vegetable Plants**. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Khonkaen University, Khonkaen. (in Thai)

Pornsuriya, P. 2005. **Genetic Studies and Inheritance of Fruit Characters in Slicing Melon (*Cucumis melo* L. var. *conomon* Makino)**. Ph.D. Thesis. Department of Horticulture, Kasetsart University, Bangkok.

Pornsuriya, P. 2014. **Biometrical Analysis in Plant Breeding**. O.S. Printing House, Bangkok. (in Thai)

Singh, P. and S.S. Narayanan. 2013. **Biometrical Techniques in Plant Breeding**. 5th ed. Kalyani Publishers, New Delhi.

Singh, R.K. and B.D. Chaudhary. 1985. **Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis**. 3rd ed. Kalyani Publishers, New Delhi.

Tindall H.D. 1983. **Vegetables in the Tropics**. The Macmillan Press LTD., London.

United States Department of Agriculture. 2007. ***Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.** <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?41646>. Accessed 10 Mar. 2007.

Vianna J.M.S. 2000. **The parametric restrictions of the Griffing diallel analysis model: combining ability analysis**. Genet. Mol. Biol. 23: 877-881.

ตัวอย่างการจัดรูปแบบบทความ

ขอบบน 2.5 ซม.

ผลของการใช้อาหารทดแทนเลี้ยงโคให้นมในฤดูแล้ง
Roughage Replacer for Feeding Milking Cows in Dry Season

ชื่อบทความ
ขนาด 18 หนา

ชื่อผู้เขียน ขนาด 16 หนา

วีระพล แจ่มสวัสดิ์
Virapol Jamsawat

สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี

Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources
Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra campus, Chonburi

E-mail: virapolj@yahoo.com โทร.086-3303057

ที่อยู่ ขนาด 12
E-mail และโทรศัพท์
ขนาด 12 ตัวเอียง

ชื่อบทคัดย่อ / Abstract ขนาด 18 หนา

ผลจากการทดลองการให้ฟางข้าวหมักยูเรีย 6% เปลือกสับปะรดสดและหญ้าขนเป็นอาหารทดแทนเลี้ยงโคกำลังให้นมในฤดูแล้ง โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ ฟรีเซียน สายเลือดประมาณ 62.5% ที่กำลังให้น้ำนมโดยให้อาหารข้นมีโปรตีนรวม 16% ตามปริมาณการให้น้ำนมต่ออาหารข้น เท่ากับ 2 :1 และให้อาหารหยาบอย่างเต็มที่เป็นเวลา 165 วัน

Keywords: Roughage replacer, Milking cow.

ชื่อคำสำคัญ (Keyword) ขนาด 14 หนา
และ คำสำคัญ ขนาด 14 บาง

ชื่อหัวข้อความ ขนาด 18 หนา

1. บทนำ

เคาะ 8 ตัวอักษร ในปัจจุบันการเลี้ยงโคนมของประเทศไทย ได้มีการส่งเสริมให้มีการขยายการเลี้ยงเพิ่มจำนวนมากขึ้นในทุกๆ ปี ทั้งโคนมและโคนเนื้อ แต่จำนวนพื้นที่ทำการเกษตรกลับลดจำนวนลง โดยถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ มากขึ้น ดังนั้น เกษตรกรผู้เลี้ยงโค ซึ่งจำเป็นต้องใช้อาหารหยาบพวกหญ้าเป็นพืชอาหารสัตว์หลักสำหรับเลี้ยงโค จึงมีจำนวนพืชอาหารสัตว์และจำนวนพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ลดลงเรื่อยๆ (วีระพล, 2557)

เนื้อหาบทความ
ขนาด 14

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของอาหารข้น

ชื่อตาราง/ภาพที่/แผนภูมิที่ ขนาด 16 หนา

ขอบขวา
2.0 ซม.

วัตถุดิบ	จำนวน
รำละเอียด	45
กากมะพร้าว	30
กากถั่วลิสง	15
ปลาป่น	5
เกลือป่น	2
แร่ธาตุผสม (premix)	1
รวม	100

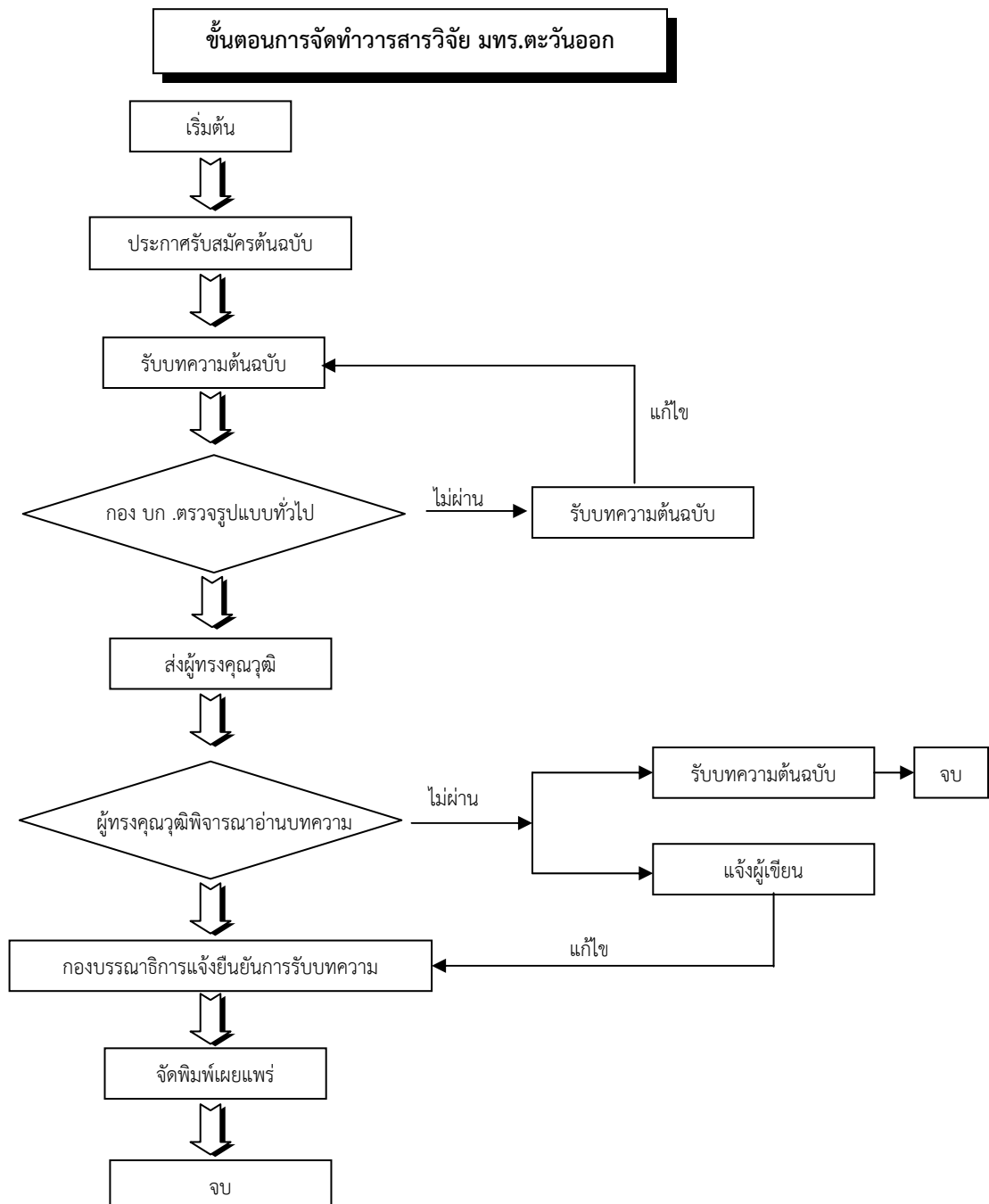
เนื้อหาตาราง ขนาด 12

ขอบล่าง 2.0 ซม.

หลักเกณฑ์การประเมินบทความเพื่อตอบรับการตีพิมพ์

กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้น เกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป ถ้าไม่ผ่านการพิจารณาจะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาของผู้ประเมินจากภายนอก เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ

เมื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ฉบับที่นำบทความลงตีพิมพ์ผลงาน จำนวน 1 ฉบับ พร้อมหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ





แบบฟอร์มการส่งบทความวิจัย
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

1. ข้าพเจ้า นาย / นาง / นางสาว
2. ระดับการศึกษาสูงสุด
ตำแหน่งทางวิชาการ
3. ชื่อบทความ (ภาษาไทย)
(ภาษาอังกฤษ)
4. ชื่อผู้เขียนร่วม (1)
(2)
(3)
(4)
(5)
5. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก
.....
.....
.....
โทรศัพท์..... มือถือ.....แฟกซ์.....
E-mail :

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อนและยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ลงชื่อ.....
(.....)

**แบบสรุปผลการประเมินบทความวิจัยของผู้ทรงคุณวุฒิ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก**

1. รหัสบทความวิจัยที่ประเมิน R ☐ ☐ ☐ ☐

2. ชื่อบทความ.....

3. จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน..... ท่าน

4. หัวข้อที่พิจารณา

หัวข้อ	ผ่าน	ผ่านและมีการแก้ไข	ไม่ผ่าน	ข้อแก้ไข/ข้อเสนอแนะ
บทคัดย่อ (Abstract)				
บทนำ				
วิธีการทดลอง/วิธีการศึกษา				
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล / ผลการศึกษาและอภิปรายผล				
สรุปผล				
เอกสารอ้างอิง				
คุณค่าทางวิชาการ				

5. อื่น ๆ

.....

.....

.....

6. สรุปผลการประเมิน ☐ ผ่านดีเยี่ยม ☐ ผ่าน ☐ ผ่านและมีการแก้ไข ☐ ไม่ผ่าน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา)

บรรณาธิการ

วันที่...../...../.....



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

.....
.....
.....

โดย

.....
.....
.....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ปีที่ ฉบับที่

.....

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

บรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.ตะวันออก

ให้ ณ วันที่.....

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก (Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal)

ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2561

เป็นวารสารวิจัย/วิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
จัดทำโดย สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วัตถุประสงค์เพื่อ

1. เป็นสื่อ รวบรวม เผยแพร่ผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และส่งเสริมให้มีการนำผลงานวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์
2. เป็นการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพผลงานของงานวิจัยสู่ระดับมาตรฐานสากล
3. เป็นสื่อแลกเปลี่ยนความรู้และแนวคิดระหว่างนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศ
4. เสริมสร้างให้เกิดผลงานวิจัยใหม่ ๆ ทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทย

คณะกรรมการอำนวยการ

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก	ประธานกรรมการ
รองอธิการบดีทุกฝ่าย	กรรมการ
ผู้ช่วยอธิการบดีทุกฝ่าย	กรรมการ
คณบดีทุกคณะ	กรรมการ
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	กรรมการ

มทร.ตะวันออก สร้างงานวิจัย พัฒนาสังคม ชุมชน และประเทศ

กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

43 หมู่ 6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 038-358201 ต่อ 8508-8510 โทรสาร 038-358142

<http://ird.rmutto.ac.th>, <http://journal.rmutto.ac.th>