



วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2561

ISSN : 1905-4963

**PHRANAKHON RAJABHAT
RESEARCH JOURNAL**
(Science and Technology)



วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)

ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2561

Vol.13 No.2 July - December 2018 ISSN : 1905-4963

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานวิชาการและงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาคณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์

ที่ปรึกษา

ดร.ธนอม อินทราภิบาล
ศาสตราจารย์ ดร.สนิท อักษรแก้ว
ดร.ผดุงชาติ สุวรรณวงศ์
ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช
ศาสตราจารย์ นพ.ชัชชาติ รัตนสาร
ศาสตราจารย์ ดร.พวงเพ็ญ ศิริรักษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.เป็รื่อง กิจรัตน์ภร
รองศาสตราจารย์ ดร.จิตราภา ภูมทลบุตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประภาศิต ไสไกร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สืบตระกูล สุชาติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงศักดิ์ จักกรณ

อุปนายกสภามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
กรรมการสภามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
กรรมการสภามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รองอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอภาส วนิชชีวะ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ ศิริงาม
ดร.จุฬาลักษณ์ ชาบุญกุล

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ จันทวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.วสิน เลิศวัฒนารักษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ มากุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ชัย แนนจันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชมฤทัย งามะพัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา โพธิ์เยี่ยม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณเวช ทรงนาคศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ เขียวกา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี ลิ้มสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ทองคำ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรวิณณ์ วิสูตรศักดิ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พุ่มทองศิริ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา กัมป่าน
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรานุช แก้ววิเศษ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติดา ไม่นสนธิ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อะเค็ช กุลประสูติติก
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย แสงงาม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันตกุล อินทรมงคล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนันทา ศรีม่วง
 ดร.ศิลาอรุณ ดำรงศิริ
 ดร.สมฤดี สราจิตคุณ
 ดร.เมธิณี รัตสราร
 ดร.เปล่งสุรีย์ เทียงน้อย
 ดร.กิตติพงษ์ เยาวภาจา
 ดร.สมคิด สุทธิธรรวัช
 ดร.วัศม์ แฉงศิริมงคลยิ่ง
 ดร.วรวิทย์ สุขชัยยะ
 ดร.อริยา รัตนพิทยาภรณ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตกำแพงแสน)
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กรมสอบสวนคดีพิเศษ
มหาวิทยาลัยมหิดล (วิทยาเขตกาญจนบุรี)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตศรีราชา)
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เลขานุการ

ดร.ลดา มัทธูรศ
ดร.วิสุทฐนา สมุทรศรี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวสุธารัตน์ จุ้ยเจริญ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ

นางเดือนเพ็ญ สุขทอง
นางสาวทัศนีย์ ปิ่นทอง
นางสาวนวมมล พลบุญ
นางสาวศุภราพร เกตุกลม
นางสาวมัญญา เกตุโพธิ์ทอง
นายรัชเดช อนุวัชกุล
นายจักรพันธ์ ก้อนมณี

[illegible]

ติดต่อกองบรรณาธิการ

สถาบันวิจัยและพัฒนาชั้น 4 อาคารเบญจมาภรณ์ (อาคาร 13) มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร 9 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220 โทรศัพท์ / โทรสาร 0-2521-2288, 0-2521-1234 Email: PRRJ.Scitech@pnru.ac.th

กำหนดตีพิมพ์

2 ฉบับ ต่อปี (มกราคม-มิถุนายน และกรกฎาคม-ธันวาคม)

การเผยแพร่

ผู้ที่สนใจสามารถค้นหาที่ http://PRRJ_Scitech@pnru.ac.th/ และ https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/user

พิมพ์ที่

พ.ร.บ. ประมวลรัษฎาก : เลขที่ 44/132 ถ.กำนันมนัน แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กทม. 10150
โทรศัพท : 0-2802-0377, 0-2802-0379, 08-1566-2540

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2561 ได้รวบรวมบทความ เพื่อเผยแพร่ และแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิชาการของคณาจารย์ นักศึกษา และผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

เนื้อหาสาระในวารสารฉบับนี้มีจำนวน 13 เรื่อง ประกอบด้วยบทความในกลุ่มสาขาดังนี้ วิศวกรรมและอุตสาหกรรม เทคโนโลยีชีวภาพ วิทยาศาสตร์การอาหาร ชีวเคมี การสาธารณสุข ฟิสิกส์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม โดยทุกบทความได้ผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิประจำฉบับเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ทางวิชาการสำหรับนักวิชาการ นักวิจัย คณาจารย์ นักศึกษา และบุคคลทั่วไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โองการ วนิชาชีวะ
บรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Reviewers)

ประจำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

ศาสตราจารย์ ดร.จงจิตร หิรัญลาภ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ ทิพย์ภาส	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พุ่มทองศิริ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ กำแหงฤทธิ์รงค์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนัญชิดาคุษฎี ทูลศิริ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย พะวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑล จันทน์แจ่มใส	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันตกุล อินทรผดุง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย แพงาม	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.เปล่งสุรีย์ เทียนน้อย	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.ธวัช รวมทรัพย์	มหาวิทยาลัยรัตนบัณฑิต
ดร.สวามินี นวลแซกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.โสธยา เกิดพิบูลย์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ศีลาวัธ ดำรงศิริ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ดร.วรเดช ช้างแก้ว	วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี ราชบุรี
ดร.จุฬาลักษณ์ ชาญกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.อธิยา รัตนพิทยาภรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.ลดา มัทธูรศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.วิสุทธนา สมุทรศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

สารบัญ

หน้า

บทบรรณาธิการ	ก
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ	ข
สารบัญ	ค

บทความวิจัย

- HUMANOID ROBOT BASED ON STEREO VISION TO AVOID AN OBSTACLE
Warinthorn Nualtim 1
- การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์กากตะกอนดีแคนเตอร์ และกลีเซอรอลดิบ
 ในกระบวนการหมักร่วมก๊าซชีวภาพ
กัญญิกา กิตติพงษ์พัฒนา สุวิมล กาญจนสุธา และ สุภาวดี ผลประเสริฐ..... 16
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้จากแป้งปราศจากกลูเตนบางชนิด
จิระนาถ รุ่งช่วง และ นกัศรพี เหลืองสกุล..... 34
- การศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของห้องเรียนด้วยหิ้งสะท้อนแสง
 กรณีศึกษาอาคารเรียนคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
*พรรณวดี ไรจนศิริ นวลวรรณ ทวยเจริญ ศิริเดช สุริต
 และ ปารเมศ กำแหงฤทธิ์*..... 46
- การพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โดยการใช้พื้นที่สาธารณะ
 และการใช้ทรัพยากรอาคารอย่างยั่งยืน
*พัทธรา สืบศิริ มณฑล จันท์แจ่มใส อธิยานันท์ จิตรโรจนรักษ์ ปัญญา บุญสิงห์
 ศศิธร คนทน อิศรี ศรีคุณ และ จุฬาลักษณ์ ชาญกุล*..... 64
- การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพองสำหรับการผลิตไบโอดีเซล
*มนีรัตน์ น้ำจันทร์ มนธิญา ยิ้มชื่น ชวิศา ทองคำ ผกามาศ โตชม ธนิตา บุญมี
 และ วิษณุสิทธิ์ อินทกุล*..... 84
- รูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข
 เพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น
 สำหรับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี
รุ่งอรุณ สุทธิพงษ์..... 99

หน้า

- การสังเคราะห์คอลลอยด์ของอนุภาคนาโนโลหะคู่ที่มีอนุภาคโลหะเงินเป็นแกนกลาง
และโลหะทองเป็นเปลือกหุ้ม ด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
สำหรับตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์แบบเปรียบเทียบสี
วรวรรณ เสาวรส และ เขมฤทัย งามะพัฒน์ 117
- ผลของการผลิตสตาร์ชทนย่อยด้วยเอนไซม์พลูลูลาเนสและการเกิดรีโทรเกรดชัน
ร่วมกับการดัดแปรความร้อน-ความชื้น ของสตาร์ชถั่ว
ศศิพร รัตนสุวรรณ และ สุณีย์ ไซตินีรนาท 133
- การศึกษาลักษณะเฉพาะของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา
และการใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสีย
อรอุมา ปราชญ์ปรีชา ทศพล ปราชญ์ปรีชา และ สงวน วงษ์สวัสดิกุล 146
- การประยุกต์ใช้แบคทีเรียโปรไบโอติก (*Lactobacillus plantarum*) ในแหนมไก่
อัจฉรา เพิ่ม และ สุภาพร เพ็งเลื้อ 167
- การใช้ประโยชน์จากเศษน้ำย่อยแบ่งที่เหลือจากโรงงานผลิตน้ำตาล เพื่อผลิตชีวมวลยีสต์:
สภาวะที่เหมาะสม และจลนพลศาสตร์
อัษฎาวุธ อาริสิริสุข ชุตติมา รักกิจการพูล สุจยา ฤทธิศร และ จันทิมา ทิฆะ 180

บทความวิชาการ

- ISO 50001:2011 (ระบบมาตรฐานระบบการจัดการด้านพลังงาน)
สยาม อรุณศรีมรกต 197
- ภาคผนวก 207
- ขั้นตอนการดำเนินงานการจัดทำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร 208
- รายละเอียดการเตรียมบทความเสนอการตีพิมพ์ 210

HUMANOID ROBOT BASED ON STEREO VISION TO AVOID AN OBSTACLE

Warinthorn Nualtim^{*}

^{*}Department of Electronics Computer Technology Program, Faculty of Science and Technology,
Bansomdetjichaopraya Rajabhat University, 1061 Isaraphab 15 Rd. Dhonburi, Bangkok 10600

^{*}Email:nualtim@hotmail.com

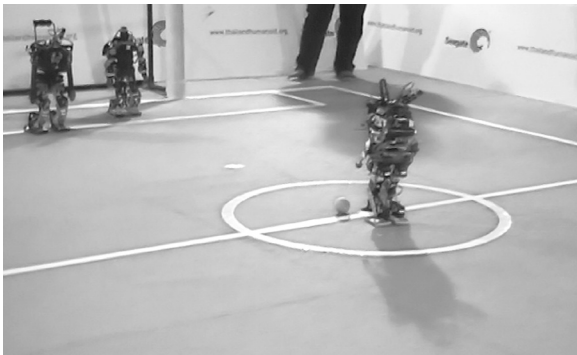
ABSTRACT

In this research to improve humanoid robot was used to a single camera vision for the RoboCup soccer league competitions in Thailand. This research proposed the technique for humanoid robot avoids an obstacle based on a better vision system, called a stereo vision. To get more efficiency, two Logitech 905 model CCD cameras and microprocessor ATOM PICO 820 board can be used on humanoid robot to visualize the object and obstacle. The humanoid robot can recognize the object called tennis ball. The issue problem is mostly the robots bumping between competitions humanoid robot league due to the humanoid robots were used a camera vision system. Using two cameras for stereo vision can increase more angle of view than using a camera. Indeed, one of stereo vision frameworks is used to disparity between left and right cameras, and the relative baseline is fixed 5 centimeters. To measure the distance of the humanoid robot can measure well at 20 centimeters between the obstacle and the humanoid robot. As a result, humanoid robot to avoid obstacle was selected at a distance of 20 centimeters optimized.

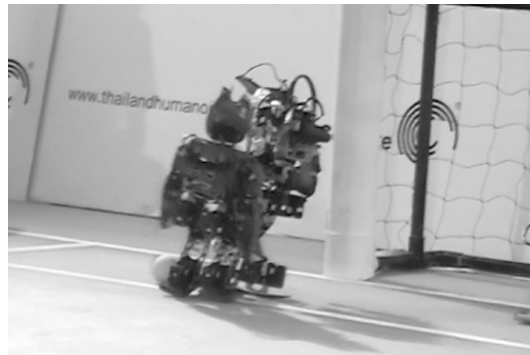
Keywords: Humanoid robot, Stereo vision, Baseline, Disparity, Recognition

Introduction

In the research for robots have more become mostly importance for daily life. On the other hand, daily life in an environment has more complex that did not the robot to work as well such as intelligent robots, autonomous robots, medical robots, and UAV robots. So any problems of the autonomous robots are the dynamic environment their prediction to mistake. The vision system is one of the robots which can the robot work better. Humanoid robot in the RoboCup soccer humanoid league competition 2010 is used to the vision system to perform various functions such as object recognition, robot localization, and obstruction avoidance. In the obstruction avoidance, the humanoid robot is not only handling as well because the humanoid robot used to one camera vision occurred as collisions between th robots as shown in figure 1.



(a)

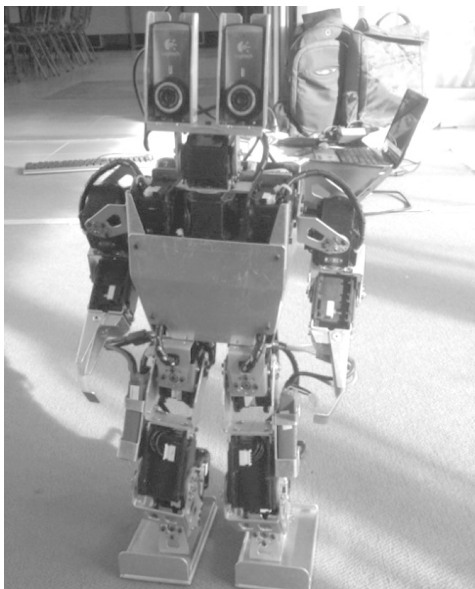


(b)

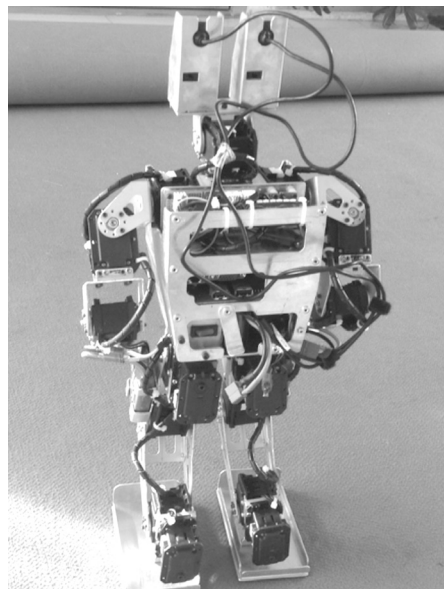
Figure1 Humanoid robots were bumping between the robots in the RoboCup soccer league competition used to one camera vision:

(a) Humanoid robot from Thai invention. (b) DRAwin humanoid robot with humanoid robot from Thai invention.

Humanoid robot has practical application to avoid an obstruction and object recognition that was a better vision system. This research aims to design accurately stereo vision fixed baseline to attach on humanoid robot as shown a completely in figure 2. Survey the paper from (Yasir et al., 2012) proposed the technique of image processing system uses two images which can measure the distance of the object in the images between left and right but object recognition that uses stereo matching to find feature similarity in two cameras that use in the robot cannot be calculated in the real-time. Generally source input images may come from either an indoor environment for this research. In case, outdoor environment including vary illumination occurs difficult to perform measurement and object recognition. Stereo vision to avoid obstacle implemented on a humanoid robot falls into 2 groups consist of object recognition and measure obstruction. In general, object recognition (Jen et al., 2013) proposed the technique using stereo vision based-self localization technique and color segmentation with five feature points and the stereo vision model is baseline extended to 10 cm which is not suitable to attach on the humanoid robot head in the RoboCup soccer competitions. In case segmentation from (Romi et al., 2016) proposed the technique is color segmentation depend on group of RGB to covert HSV color and RGB to covert YCrCb color. The method was only skin segmentation technique for human which be not suitable to the humanoid robot for object segmentation. Another surveys from (Siviram & Soma, 2016) proposed a technique called stereo matching cost for partial face recognition contains low resolution as same (Wilman & Pong, 2012) (Ningbro et al., 2016) images from surveillance video but computation time is the highest than other approaches. The objective of this research designs a method to recognize the object, and measure a distant obstacle compared with mono vision. A most stereo vision system for distant measurement, which was error problem, is more challenged to find the accuracy and is challenged to the navigation of autonomous robot for obstruction avoidance.



(a)



(b)

Figure 2 Humanoid robot based on stereo vision:

(a) A front of the humanoid robot.

(b) A back of the humanoid robot

In this survey from (Maurice et al., 2015) proposed a passive stereo camera creating irregular terrain and a rotating LIDAR scanner are efficient on rough surfaces in the locomotion of the humanoid robot which requires two devices to conduct research. Another survey from (Manaf et al., 2013; Signoret et al., 2016; Jonathan & Ary, 2016) proposed the technique is stereo vision with a pair of cameras mounted on the humanoid robot to create a map for autonomous movement avoiding obstruction that differs to apply real time for obstacle avoidance. However, stereo vision systems are an important one of the autonomous robots such as navigation and recognition. In this way, body-language from (Te-C et al., 2009) proposed the technique is posture hand recognition based on local feature called SIFT. This approach uses Hidden Conditional Random Fields (HCRFs) to recognize hand posture which was appropriate better than used to object recognition. The rest of this paper is established as follows the method below. Implement stereo vision fixed baseline prepared in the topic A and Basic coordinate system of stereo vision provided in the topic B and Color-base

object recognition as shown in topic C and Operation of humanoid robot to avoid an obstacle provided in the topic D respectively.

Methods

A. Implement stereo vision fixed baseline

In this research applies stereo vision on humanoid robot head used to auto detection-object from distant measurement (Jen et al., 2013). In this research for humanoid robot soccer competition in Thailand 2010 to improve vision system avoid obstacle with two cameras. The issue problem is mostly the robots bumping between competitions of humanoid robot league due to the humanoid robots were used a camera vision system. Stereo vision fixed baseline is designed on the humanoid robot head as shown in figure 3. In the other research with stereo vision are mostly extended more than 5 cm measured in the results that were accuracy.

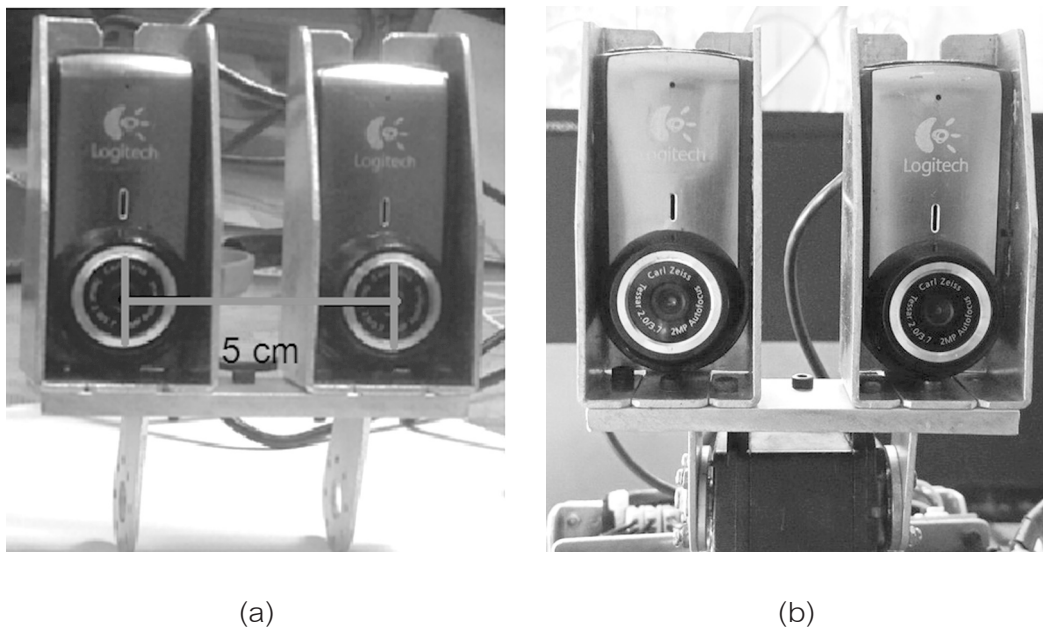


Figure 3 Humanoid robot head with stereo vision:

(a) Stereo vision fixed baseline model. (b) Implement stereo vision fixed baseline to attach on digital servo motors.

The figure as above using two Logitech 905 model CCD cameras for input images captured as real time operation. The distance between left and right cameras are baseline fixed as 5 cm to attach on digital servo motor as shown in figure 3(b).

B. Basic coordinate system of stereo vision

Humanoid robot to avoid obstacle is necessary to get knowledge as depth information from two cameras with relatively coordinate geometry called epipolar plane image (Jen et al., 2013; Jain et al., 1995). In figure 4, to given some any object point P to present both images are left image (X_l) and right image (X_r) included as epipolar plane image called 3D projection. The 3D projection, we can be calculated that using triangulation geometry. In the cameras for capture input images are knowledge to internal parameter such as focal length for triangulation geometry. In the figure 4, we can find a relationship of an equation as following.

$$d = X_l - X_r \quad (1)$$

$$Z = f * b / d \quad (2)$$

Where d is disparity that was originated from the number of left camera pixels minus to the number of right camera pixels, and Z is distance between two cameras to object consist of b (baseline) is distance between center of left and right camera where f is focal length of each of the cameras.

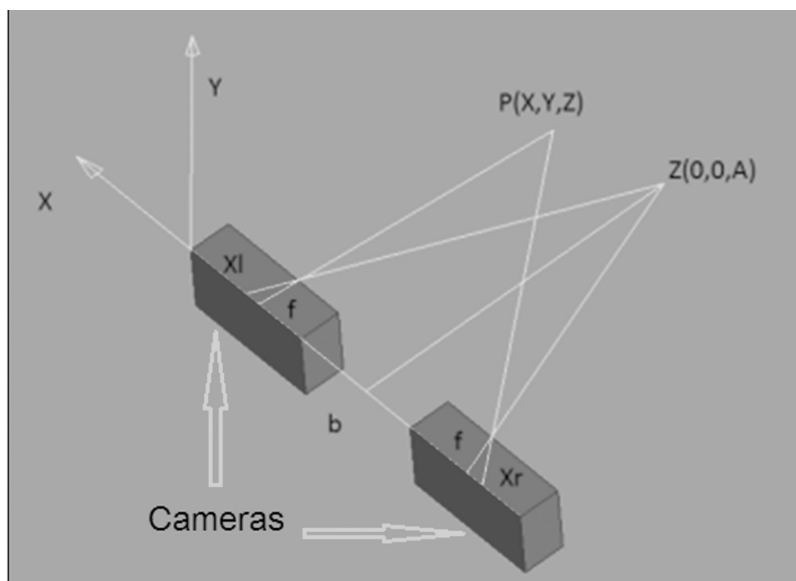


Figure 4 3D model epipolar coordinate plane system of stereo vision.

In the camera consist of focus parameter from another research as (Tsung-S & Ta-C, 2013) proposed the technique is a distant measurement of the object that follows equation respectively as below.

$$Z = \omega d^{-1} \quad (3)$$

$$\omega = bf \quad (4)$$

Where ω is focus value fixed parameter include b (baseline), f (focal length) between left and right cameras. We can calculate new equation as following respectively.

$$\frac{1}{Z} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (5)$$

So we rewrite new equation of distant geometry as below.

$$Z = \frac{fb}{d} \quad (6)$$

We apply equation 5 and 6 solved as distance of object as following.

$$Z = \frac{fd + fb}{d} \quad (7)$$

C. Color-base object recognition

In this way, threshold-base object recognition for humanoid robot based on stereo vision in our research only used tennis ball for object. The input images frames come from together two cameras are RGB color 24-bit that was color space included as Red (R), Green (G), and Blue (B). Survey the papers to convert RGB color space to HSV color from (Romi et al., 2016; Eko et al., 2017) are only using HSV color excepted YCrCb color because it was powerful skin segmentation. HSV color is the detail for human eyes which were mostly familiar and in order to devalue various illuminations come from RGB color as shown in figure 5.

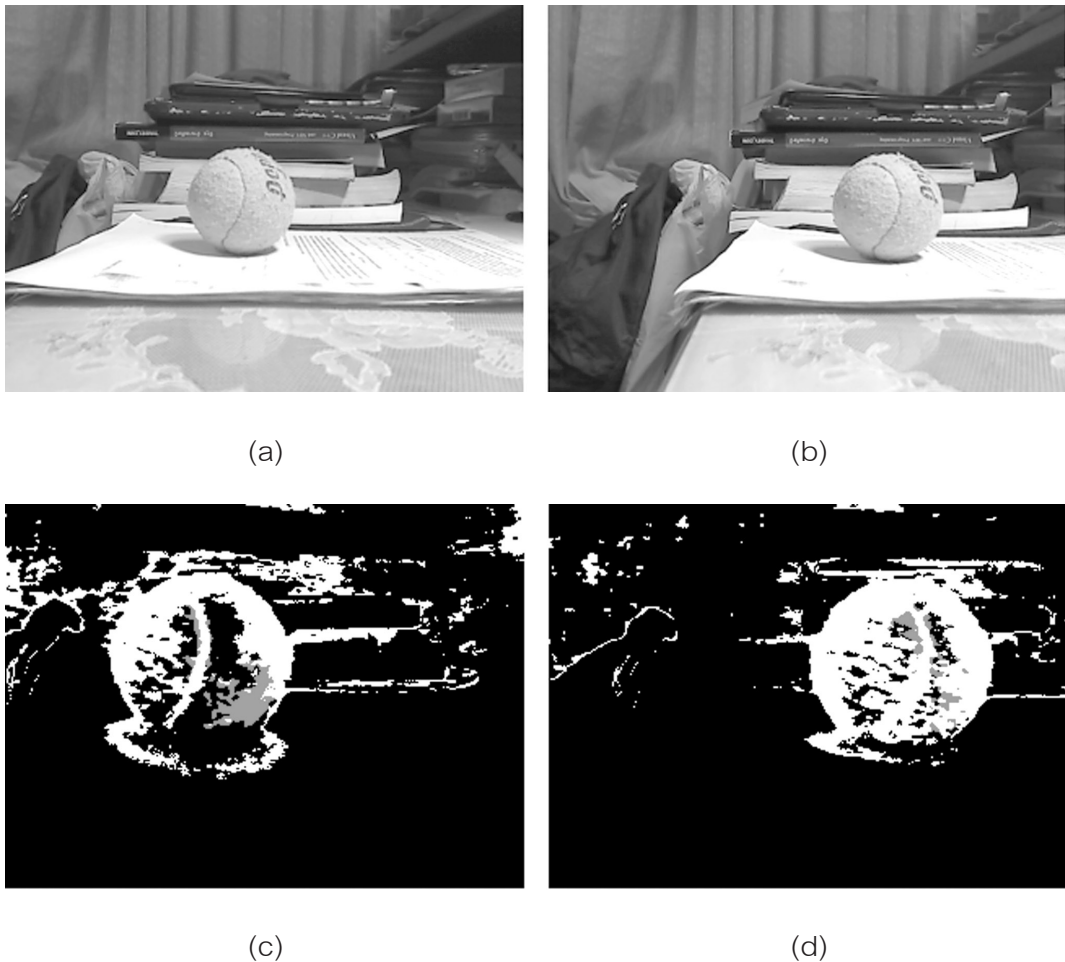


Figure 5 Sample RGB colors convert HSV colors:

- (a) Left original input image, (b) Right original input image,
(c) Hsv color of left camera , and (d) Hsv color of right camera.

Intrinsic threshold image, we separate objects from the scene in order to image segmentation. (Nishad PM et al., 2013) proposed the technique is RGB color space to convert HSV color. In this research, we using threshold for colors that are not stored in the database will be ignored as background color and other colors were converted HSV color. In this way, the object recognition is designed as the object and obstacle color as store in database. On the other hands, the robot finds other objects recognized an obstacle. The sample test, we using tennis ball for object and polymer battery instance of obstacle, and measures distant obstacle to the robot indicated

channel “Z” in depth as shown in figure 6. In the object recognition, the humanoid robot to add more function center of mass is finding the object from right image source $rsrc(x, y)$ and left image source $lsrc(x, y)$ as following the equation respectively from (Jen et al., 2013)(Jain et al., 1995).

$$A = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B[i, j] \quad (8)$$

$$\bar{x} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B[i, j] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m jB[i, j] \quad (9)$$

$$\bar{y} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B[i, j] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m iB[i, j] \quad (10)$$

All as above equation, A denotes an area of the object, and B is a binary image from HSV color threshold, where $\bar{x}$ and $\bar{y}$ are the extent of the common center. We can find the positions of $\bar{x}$ and $\bar{y}$ for center of mass of the object as following respectively.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m jB[i, j]}{A} \quad (11)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m iB[i, j]}{A} \quad (12)$$

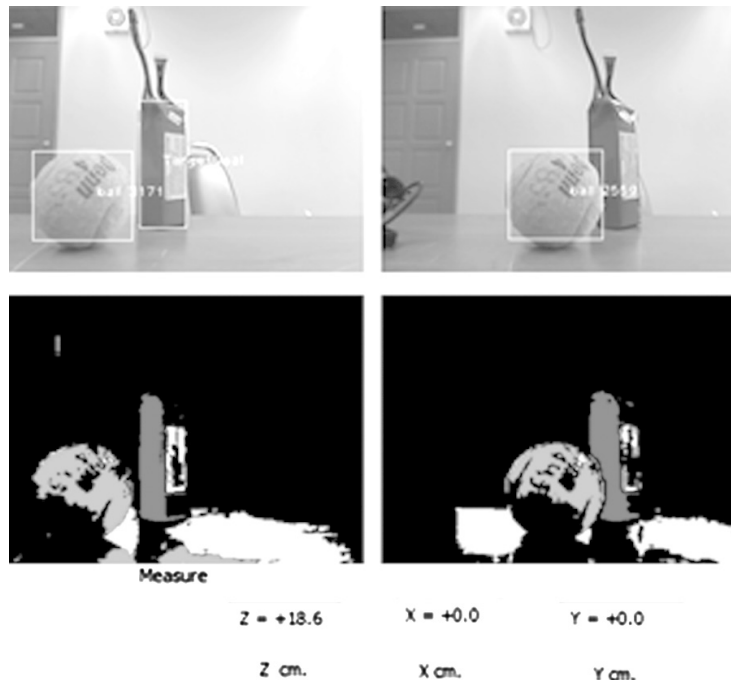


Figure 6 Sample for object and obstacle recognition.

The color of the object is orange and another color is obstacle. The function of two cameras receives images finding the object as reference in the database separated colors by converting RGB to HSV color space in order to devalue various illuminations and takes center of mass to add more accuracy for object recognition from equation 8 to 12.

D. Operation of humanoid robot to avoid an obstacle

In this way, we apply stereo vision model to attachment on digital servo motors controlled by microprocessor ATOM PICO 820 board. In order to achieve goal, we use library Open CV from survey (Bradski & Kaehler, 2008) and combines with program VC++2008. The function of humanoid robot is beginning from two cameras to receive images and transmits to ATOM PICO 820 board for image processing. The stereo vision model attached on two digital servo motors performed both pan and tilt to find the object. The humanoid robot can find the object with distant more than 20

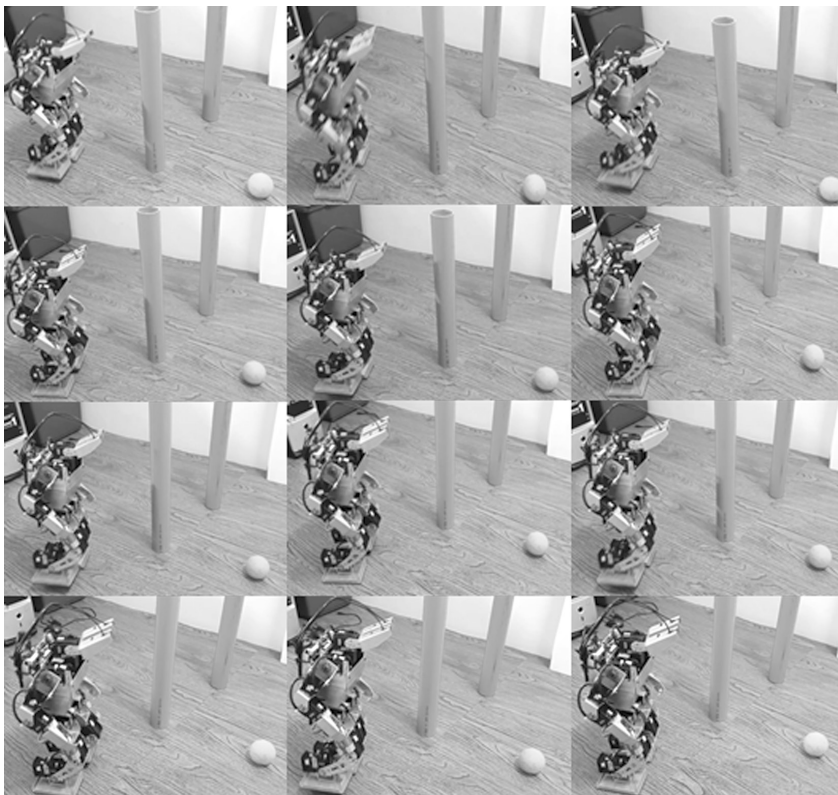


Figure 7 The experiment for the humanoid robot is avoided an obstacle by walking slide.

centimeters between humanoid robot and obstacle that operates locomotion if the humanoid robot measures distant less than or equal 20 centimeters to avoid obstacle, and if the humanoid robot was not found an obstacle will to stop as shown in figure 7.

Result

Humanoid robot based on a stereo vision to avoid an obstacle is using two cameras to receive two images with the position of the robot to determine a coordinate system extracted feature to calculate disparity of image. The experiment to measure depth for accuracy to avoid obstacle performed 10 times, and we setting the robot in front of the obstacle (shown in figure 8) to measure of depth compared with standard measurement as shown in table1.

The humanoid robot can be movement at the 20 centimeters from the robot to obstacle. Humanoid robot can avoid at the 20 centimeters from result of the robot to the obstacle. In the criteria of measure, we select the resulting to small error used for autonomous movement.

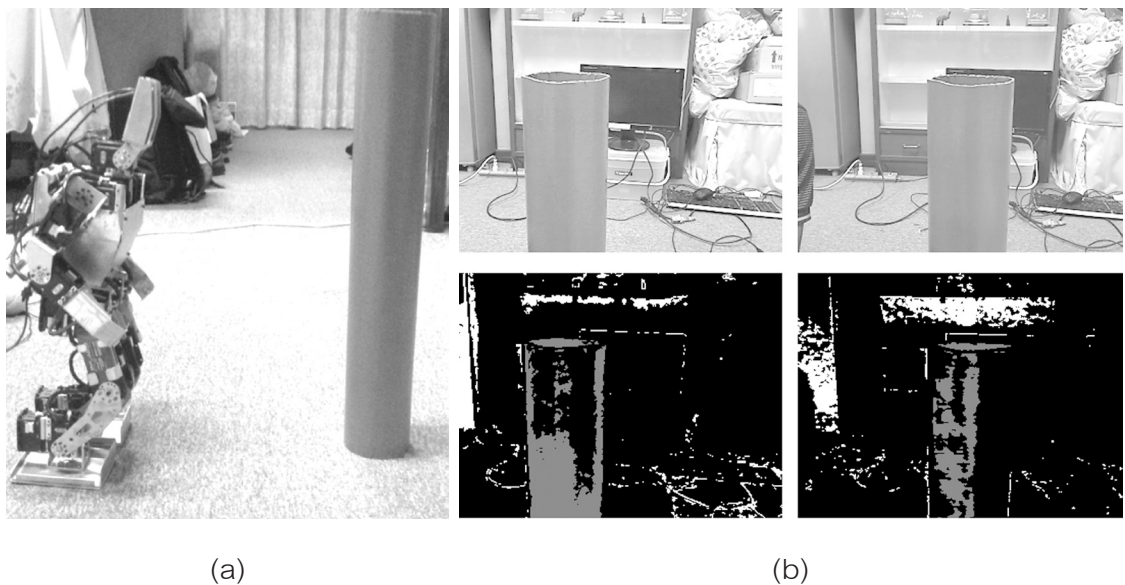


Figure 8 Experiment of humanoid robot measures distant an obstacle:

(a) Setting humanoid robot measures distant an obstacle.

(b) Threshold obstacle from RGB colors covert HSV colors.

Table 1 Comparison measures an obstacle between test and standard.

Item	Standard (cm.)	Test (cm.)	Error (%)
1	10	12.8	28.0
2	15	17.0	13.0
3	20	21.2	6.0
4	25	26.8	7.2
5	30	27.5	8.3
6	35	28.5	18.5
7	40	33.8	15.5
8	45	35.7	20.6
9	50	38.8	22.4
10	55	41.3	24.9

From the table 1, the result of the distance between a robot with an obstacle is selected as 20 centimeters for obstacle avoidance optimized into the robot to the movement because in the RoboCup soccer league competition was used a field has a long distance 6 meters. Due to, one of the intrinsic stereo visions to measure an accurate distance is suitable to expand the baseline. In this research, we don't care to be remote and accurate due to the distance was fixed at 6 meters for RoboCup soccer league competitions. In the other hands, we using humanoid robot base on stereo vision to avoid obstacle for RoboCup soccer league competition to decrease collisions between of the robot. Since 2006 to 2017 RoboCup soccer league competitions, we investigate humanoid robot used as the vision system was applied one camera to vision. Our research aims to propose humanoid robot base on stereo vision for RoboCup soccer league competitions as shown in table 2.

Table 2 Comparison of humanoid robot with our research

Type of humanoid robot	Object recognition	Obstacle avoidance
Thai invention soccer robot	Performed	Un-performed
DARwin soccer robot	Performed	Un-performed
Our research	Performed	Performed

Conclusions and Discussion

The results of experiment for humanoid robot based on stereo vision to avoid an obstacle included as object recognition and measure obstruction. Using two cameras for stereo vision can increase more angle of view than using a camera. In this way, the experiment to measure depth for obstacle avoidance is performed 10 values, and the result at 20 centimeters optimized. The problem one of the humanoid robots based on a stereo vision to avoid obstacles is walking of a humanoid robot (Locomotion) in order to turn left and turn right made its falling on the floor made microprocessor ATOM PICO 820 board shut down. Due to, the robot fixed baseline of stereo vision model is 5 centimeters measured as distant obstacle becomes highly error as well as the result of the distance between a robot with an obstacle is selected as 20 centimeters for obstacle avoidance optimized into the robot to the movement. In the future, our research can be applied to the blind for navigation that used stereo vision with Raspberry Pi 2 board.

Reference

- Bradski, G. & Kaehler, A. (2008). **Learning opencv**. 1nd. USA: O'Reilly.
- Bradsky, G. & Kaehler, A. (2008). **Learning opencv**. O'Reilly.sampling. **IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.** 20, 401-406
- Eko, P., R. D. A., Nanik, S. & Chastine, F. (2017). Mango Leaf Image Segmentation on HSV and YCbCr Color Spaces Using Otsu Thresholding. **International Conference on Science and Technology - Computer (ICST)**. 99 – 103.
- Jain, R., Kasturi, R. & Schunck, B.G. (1995). **MACHINE VISION**. New York : McGRAW-Hill.

- Jen, S. C., Chih, H. H. & Hung, W. H. (2013). A stereo vision-based self-localization system. **IEEE Sensors Journal**. 13(5), 1677–1689.
- Jonathan, C. & Ary, S. P. (2016). Stereo visual odometry system design on humanoid robot nao. **6th International conference on System Engineering and Technology (ICSET)**. 34–38.
- Maurice, F. F., Pat, M., Robin, D., Thomas, W., Matthaw, A. J. M. & Russ, T. (2015). Continuous humanoid locomotion over uneven terrain using stereo fusion. **IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)**. 881– 888.
- Manaf, A. M., Amera, I. M. & Faris A. K. (2013). Object Distance Measurement by Stereo Vision. **International Journal of Science and Applied**.
- M. I. Vargas-Signoret, M. Rojas-Romero, I. Trejo-vila, J. Velasco-Avella, E. E. Robles-Martinez, M. Santoyo-Mora, K. A. Camarillo-Gmez, G. I. Prez-Soto, & L. A. Morales-Hernandez, (2016). Depth map construction with stereo vision for humanoid robot navigation. **XVIII Congreso Mexicano de Robotica**. 1–6.
- Ningbro, H., Haibin L. Y. Q. & Jie, Y. (2016). Face Super-resolution Reconstruction and Recognition Using Non-local Similarity Dictionary Learning Based Algorithm. **IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica**. 3(2), 213–224.
- Nishad, P. & Dr. R.Manicka, C. (2013). VARIOUS COLOUR SPACES AND COLOUR SPACE CONVERSION ALGORITHMS. **Journal of Global Research in Computer Science**. 4(1), 44-48.
- Romi, F. R., Tengku, C., Dani, G. & Opim. S. S. (2016). Skin color segmentation using multi-color space threshold. **International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS)**. 391–396.
- Siviram, P. M. & Soma, B. (2016). Low resolution face recognition across variations in pose and illumination. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**. 38(5), 1034–1040.
- Tsung-S, H. & Ta-C, W. (2013). An Improvement Stereo Vision Images Processing for Object Distance Measurement. **National Science Council under Grant NSC-101-2221-E-006-143**.
- Wilman, W. W. Z. & Pong, C. Y. (2012). Very low resolution face recognition problem. **IEEE Transactions on Image Processing**. 21(1), 327–340.

- Yasir, M. M., Rahizall, N., Hasbullah, H. & Amelia, W. A. (2012). Stereo vision images processing for real-time object distance and size measurements. **International Conference on and Communication Engineering (ICCCE)**. 659-663.
- Yuli, C., Yide, M., Ko-C, W., Dong, H. K. & Sung-K, P. (2015). Region-Based Object Recognition by Color Segmentation Using a Simplified PCNN hidden conditional random fields. **IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS AND LEARNING SYSTEMS**. 26(8), 1682-1697.

.....

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์กากตะกอนดีแคนเตอร์
และกลีเซอรอลดิบ
ในกระบวนการหมักร่วมก๊าซชีวภาพ

ENHANCEMENT OF UTILIZATION OF DECANter CAKE
AND CRUDE GLYCEROL
IN BIOGAS CO-FERMENTATION

กัญญิกา กิตติพงษ์พัฒนา สุวิมล กาญจนสุธา* และ สุภาวดี ผลประเสริฐ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400*

Kantika Kittipongpattana, Suwimon Kanchanasuta* and Supawadee Polprasert

Department of Environmental Health Sciences, Faculty of Public Health,

Mahidol University, Bangkok 10400*

*E-mail: suwimon.kan@mahidol.ac.th, nookimlung@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและการจัดการของเสียให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยขั้นแรกเป็นการหมักร่วมระหว่างกากตะกอนดีแคนเตอร์และกลีเซอรอลดิบ จากนั้นเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพในขั้นที่ 2 การทดลองแบ่งออกเป็น 1) กระบวนการหมักร่วมแบบกึ่งต่อเนื่องในถังหมักขนาด 20 ลิตร พบว่าที่ความเข้มข้นกลีเซอรอลเท่ากับร้อยละ 1.5 โดยมีเวลาต่อปริมาตร ระยะเวลาการกักเก็บ (Hydraulic Retention Time, HRT) 2 วัน ได้ปริมาณผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 43.33 ลิตรไฮโดรเจนต่อกิโลกรัมของแข็งทั้งหมด อัตราการผลิตสูงสุดเท่ากับ 0.89 ลิตรไฮโดรเจนต่อปริมาตรถังหมักต่อวัน และปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.11 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัมของแข็งทั้งหมด 2) การปรับสภาพเบื้องต้นน้ำหมักจากขั้นที่ 1 ด้วยวิธีโอโซนเนชั่น และการใช้ไอน้ำร้อนต่อกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน พบว่าน้ำหมักที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยไอน้ำร้อนให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพการปลดปล่อยน้ำตาล ผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นรวมถึงการกำจัดของเสียในรูปของแข็งทั้งหมดและชีโอดีทั้งหมด งานวิจัยนี้แสดงถึงความเป็นไปได้ของ

กระบวนการปรับปรุงสภาพโดยใช้ไอน้ำร้อนซึ่งสามารถนำไปใช้งานจริงได้ในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบที่มีไอน้ำร้อนเป็นผลผลิตพลอยได้จากระบวนการสกัด ซึ่งท้ายที่สุดจะสามารถพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพในการหมักขั้นที่2 ต่อไป

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ กลีเซอรอลดิบ กากตะกอนดีแคนเตอร์ การหมักร่วม การปรับปรุงสภาพเบื้องต้น

ABSTRACT

This study focuses on the optimization of biogas production and the maximization of waste management efficiency. Co-digestion of decanter cake and crude glycerol (GLC) on biohydrogen fermentation was carried out in the first stage and then the effluent was collected and pretreated for the batch fermentation in the second stage. This work was divided into 2 parts. 1) The semi-continuous fermentation in 20 L reactor showed the optimal HRT of 2 days could maintain the fermentation process and dilute the acidity condition. The maximum yield of hydrogen production of 43.33 L/kgTS_{added}, hydrogen production rate of 0.89 L/L.d and energy recovery of 0.11 kWh/kgTS_{added} were obtained from the controlled HRT of 2 days with 1.5% GLC co-digestion. 2) Pre-treatment of hydrogenic effluent from the single stage of biogas fermentation by ozonation and thermal steam were conducted in 100 mL serum bottles (working volume of 80 mL). Thermal steam pre-treatment of hydrogenic effluent strongly resulted in the overall two-stage fermentation process. Results showed that the maximum methane production (P) of 385 mL in the second stage was observed at the condition of hydrogenic effluent pretreated by thermal steam. This work demonstrated the practical pretreatment by thermal steam, byproduct from the Palm Oil Mill, to improve the efficiency of biogas production in the second stage.

Keywords: biogas, crude glycerol, decanter cake, co-digestion, pre-treatment

บทนำ

ปัจจุบันความตระหนักในด้านแหล่งพลังงานเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน ปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การขยับตัวของราคาเชื้อเพลิงเหล่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อเศรษฐกิจโดยตรงต่อประเทศที่ต้องพึ่งพาแหล่งเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ นอกจากนี้

แหล่งเชื้อเพลิงดังกล่าวยังเป็นแหล่งที่ใช้แล้วหมดไปและที่มีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม จึงก่อให้เกิดแนวคิดในการหาแหล่งเชื้อเพลิงที่เป็นแหล่งพลังงานแบบยั่งยืนเพื่อทดแทนแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่งแหล่งพลังงานทดแทนใหม่นั้นจะต้องเป็นแหล่งพลังงานที่หมุนเวียนได้และไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

ก๊าซไฮโดรเจนได้รับการคาดการณ์ว่าจะเป็นพลังงานแห่งอนาคตเนื่องจากมีค่าพลังงานความร้อนต่อน้ำหนักสูงกว่าก๊าซชนิดต่าง ๆ (เช่น โพรเพน และมีเทน) ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ถึง 2.7 เท่า (Ramachandran & Raghu, 1998) และการเปลี่ยนไฮโดรเจนให้เป็นพลังงานไม่ปลดปล่อยสิ่งที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดย ผลิตภัณฑ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากการเปลี่ยนไฮโดรเจนเป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงก็คือ ไอน้ำ ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาด นอกจากนี้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของไฮโดรเจนในรถยนต์ต้นแบบจะมีค่าสูงกว่าการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปิโตรเลียมถึง 50% (Ramachandran and Raghu, 1998) ข้อดีของก๊าซไฮโดรเจนอีกประการก็คือสามารถที่จะทำให้อยู่ในรูปของแข็ง (metal hydride) ได้ (Billings, 1991)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีวัตถุดิบชีวมวลเป็นจำนวนมากรวมถึงของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมการเกษตรเหล่านี้มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพได้ อาทิ กากชีวะรอลดิบและกากตะกอนดีแคเนเตอร์เป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มดิบและอุตสาหกรรมต่อเนื่องผลิตไบโอดีเซล ในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบจากหลายปาล์มสดที่ใช้ในการผลิต 1 ตัน จะก่อให้เกิดกากตะกอนดีแคเนเตอร์ 42 กิโลกรัมซึ่งเป็นสารชีวมวลที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพเนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์มากถึง 89 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนอยู่ 48 และ 19 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ (Onwueme and Singh, 1991) และมีค่า COD อยู่ 880 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (Paepatung, 2009) ส่วนกากชีวะรอลดิบเป็นของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมต่อเนื่องการผลิตไบโอดีเซล การผลิตไบโอดีเซลเกิดจากการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันและไขมัน รวมไปถึงน้ำมันที่ผ่านการใช้งานจะได้กากชีวะรอลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลผลิตรวมด้วยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตไบโอดีเซลทั้งหมด กากชีวะรอลที่ได้จะมีความบริสุทธิ์ต่ำ ประกอบด้วย กากชีวะรอล 58-82% เอทานอลหรือเมทานอล 1-2% น้ำ 10-13% โซเดียมคลอไรด์ 6-8% สารประกอบอินทรีย์ (เมทิล/เอทิลเอสเทอร์) และกรดไขมันอิสระที่ไม่ถูกทำปฏิกิริยาและยังคงเหลืออยู่ 1-2% (Cvengros & Povazance, 1996) ในกระบวนการทำกากชีวะรอลให้บริสุทธิ์นั้นต้องผ่านกระบวนการแยกสารอินทรีย์และสิ่งเจือปนอื่น ๆ ออก ทำให้มีขั้นตอนและมีค่าใช้จ่ายสูงมากขึ้น ในกรณีโรงงานขนาดใหญ่กากชีวะรอลดิบจะถูกทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นเพื่อจัดจำหน่าย

แต่สำหรับผู้ผลิตขนาดเล็ก เช่น อุตสาหกรรมขนาดเล็ก การผลิตไบโอดีเซลจากชุมชน การทำให้กลีเซอรอลบริสุทธิ์จะมีต้นทุนที่สูง จึงเลือกที่จะขายต่อไปยังโรงงานที่ทำกลีเซอรอลบริสุทธิ์โดยตรง แต่เนื่องจากปัจจุบันมีการขยายตัวของโรงงานผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจำนวนมาก ทำให้มีกลีเซอรอลดิบมากเกินความต้องการของตลาดที่ต้องการ ส่งผลทำให้ราคากลีเซอรอลดิบต่ำลง บางโรงงานกำจัดกลีเซอรอลโดยการเผา จะทำให้กลีเซอรอลกลายเป็นอะโครลีนซึ่งเป็นสารประกอบระเหยได้ที่เป็นพิษและเป็นอันตรายต่อร่างกาย ดังนั้นจึงต้องหาแนวทางการจัดการที่นำไปใช้ประโยชน์อย่างเช่นการนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อให้เกิดการจัดการที่เหมาะสมขึ้นได้ โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการผลิตก๊าซมีเทนจากกลีเซอรอลดิบ โดยใช้กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Fountoulakis & Manios, 2009) และงานวิจัยหลายชิ้นได้ใช้กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมย่อยกับสารตั้งต้นอื่น โดยในงานวิจัยของ Fountoulakis et al. (2009) จะใช้กลีเซอรอลร่วมย่อยกับขยะมูลฝอยจากเทศบาล และอุตสาหกรรมเกษตร Limsuk et al. (2011) ใช้เศษอาหารหมักร่วมกับกลีเซอรอล Amon et al. (2006) และ Astals et al. (2011) จะใช้มูลสุกรหมักร่วมกับกลีเซอรอลเพื่อผลิตเป็นก๊าซมีเทน

และเมื่อศึกษางานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีมีการศึกษาการปรับปรุงสภาพเบื้องต้นกลีเซอรอลดิบด้วยความร้อนจากไอน้ำและโอโซนก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ แต่ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนเอกสารพบว่าข้อดีของการปรับปรุงสภาพด้วยไอน้ำร้อน การปรับปรุงสภาพด้วยไอน้ำร้อนมีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์เนื่องจากไอน้ำร้อนเป็นผลผลิตพลอยได้ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม ที่สามารถนำมาใช้ได้โดยไม่เพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิต ส่วนข้อดีของการบำบัดเบื้องต้นด้วยโอโซนเนชั่น คือจะไม่เพิ่มความเข้มข้นของเกลือและไม่ทิ้งสารออกซิแดนซ์ตกค้างอยู่ภายหลังการบำบัด (Goel et al., 2003 และ Weemaes et al., 2000) รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพการออกซิไดซ์หมู่ฟังก์ชันของกลีเซอรอล ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิก ซึ่งง่ายต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพต่อไป ยังมีงานวิจัยอื่นๆ ที่มีการใช้กระบวนการโอโซนในการปรับปรุงสภาพสารตั้งต้นที่เป็นของเสียก่อนเข้าสู่กระบวนการหมัก เช่น Arriunbaatar et al. (2014) ได้ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงสภาพเบื้องต้นของขยะเศษอาหารโดยใช้ความร้อนและวิธีโอโซนเนชั่นในกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน พบว่าทั้งกระบวนการปรับปรุงสภาพด้วยความร้อนและโอโซนเนชั่นสามารถเพิ่มผลผลิตมีเทนได้เมื่อเปรียบเทียบกับหมักเศษอาหารที่ไม่ผ่านการปรับปรุงสภาพเบื้องต้น Pisutpisal et al. (2014) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซไฮโดรเจนชีวภาพจากน้ำเสียปาล์มด้วยวิธีการปรับปรุงสภาพเบื้องต้นด้วยโอโซนเนชั่น พบว่าค่าผลผลิตก๊าซไฮโดรเจน อัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจน และความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียปาล์มที่ผ่านกระบวนการโอโซนเนชั่น

มีค่าสูงกว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการบำบัดสภาพเบื้องต้น

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการนำกลีเซอรอลดิบและกากตะกอนดีแคนเตอร์ที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมาหมักร่วมกันเพื่อผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ โดยผ่านกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนในถังปฏิกรณ์แบบกวนผสมหมุน (Continuous stirred tank reactor, CSTR) นอกจากนี้ผู้วิจัยยังมีการนำส่วนของเหลวที่ผ่านการหมักจากขั้นตอนที่ 1 มาใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหมักในขั้นตอนที่ 2 เพื่อผลิตเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งจะสามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ต้องนำไปกำจัด และเพิ่มมูลค่ากลีเซอรอลดิบและกากตะกอนดีแคนเตอร์ ถือเป็นการจัดการของเสียทั้งระบบให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

วัสดุและอุปกรณ์

1. กลีเซอรอลดิบ (Crude Glycerol, GLC)

กลีเซอรอลดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัท ตรังน้ำมันปาล์ม จำกัด ซึ่งมีลักษณะเป็นสีน้ำตาล (รูปที่ 1) วิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกลีเซอรอลแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 กลีเซอรอลดิบ

2. กากตะกอนดีแคนเตอร์ (Decanter cake, DC)

กากตะกอนดีแคนเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับความอนุเคราะห์มาจากบริษัท สุขสมบุญร น้ำมันปาล์ม จำกัด (อ.หนองใหญ่ จ.ชลบุรี) โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1

3. เชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นจุลินทรีย์เชื้อผสมที่ได้มาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) จากบริษัทเสริมสุข จำกัด (มหาชน) จังหวัดปทุมธานี เชื้อจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นเม็ดทรงกลม

4. ขวดเซรั่มขนาด 100 มิลลิลิตร และรีแอกเตอร์ขนาด 20 ลิตร

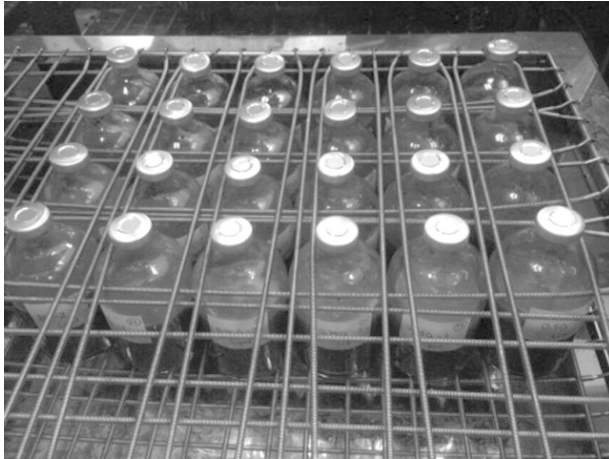
ขวดหมักที่ใช้ในการทดลองเป็นขวดเซรั่มขนาด 100 มิลลิลิตร ปากขวดปิดด้วยยางซิลิโคนและหุ้มด้วยฝาอะลูมิเนียม ปริมาตรที่ใช้สำหรับการทดลองเท่ากับ 80 มิลลิลิตร

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของกลีเซอรอลดิบและกากตะกอนดีแคนเตอร์ (Kanchanasuta and Pisutpaisal, 2016)

Parameter	Crude glycerol	Decanter cake
Total solids (TS)	NA	197,670 mg/kg
Total volatile solids	NA	169,740 mg/kg
Total COD	443,262 mg/kg	NA
Soluble COD	115,248 mg/kg	NA
Total carbon	NA	47.35 %ww ⁻¹
Total nitrogen	NA	4.34 %ww ⁻¹
Cellulose	NA	50.07 %ww ⁻¹
Hemicellulose	NA	30.74 %ww ⁻¹
Lignin	NA	10.40 %ww ⁻¹
pH	8.76	NA
Conductivity	529 μscm^{-1}	NA
FOG	5,222 mgL^{-1}	NA
Methanol	0.36 %vv ⁻¹	NA
TOC	414,666 mgL^{-1}	NA

NA = Not Analyzed

ส่วนรีแอกเตอร์ชนิดกวนผสมหมุน (CSTR) ขนาด 20 ลิตรทำจากสแตนเลส โดยเจาะช่องตรงกลางเป็นอะคริลิกใส มีตู้ควบคุมสภาวะต่างๆ ของระบบหมัก ซึ่งได้แก่ชุดควบคุมอุณหภูมิและความเร็วรอบ โดยรีแอกเตอร์จะถูกต่อเข้ากับเครื่องวัดแก๊สอัตโนมัติแบบแทนทีน้ำ (gas counter) และมีช่องสำหรับเก็บตัวอย่างแก๊สและของเหลวเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 2 ขวดเซรามิคขนาด 100 มิลลิลิตร
และ รีแอกเตอร์แบบกวนผสมหมุน (CSTR) ขนาด 20 ลิตร

ตารางที่ 2 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างที่พารามิเตอร์ต่าง ๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง
พีเอช (pH)	ใช้ pH meter (Mettler Toledo รุ่น LE 409, Ohio, USA)
ของแข็ง (Solids)	วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน (APHA and WEF, 1992)
ซีโอดี (COD)	วิเคราะห์ด้วยวิธีรีฟลักซ์ปิดแบบเทียบสีตามวิธีมาตรฐาน (APHA and WEF, 1992)
ปริมาณกลีเซอรอล	วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน Chromatropic acid method (Handel, 1961)
กรดอินทรีย์ระเหย (VFA)	วิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Shimadzu GC-2010 Gas Chromatograph, Japan)

วิธีการทดลอง

กระบวนการหมักร่วมก๊าซไฮโดรเจนจากกากตะกอนดีแคนเตอร์และกลีเซอรอลดิบแบบกึ่งต่อเนื่องในถังรีแอกเตอร์แบบกวนสมบูรณ์ (CSTR) ขนาด 20 ลิตร โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหมักโดยแปรผันระยะเวลาพักเก็บ (HRT) เท่ากับ 4 วัน และ 2 วัน ตามลำดับ ในกระบวนการหมักที่ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) เท่ากับ 4 วัน จะทำการหมักร่วมระหว่างกากตะกอนดีแคนเตอร์เท่ากับร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตรของแข็งทั้งหมด และกลีเซอรอลความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์จากภายนอกจำนวน 4 ลิตร ผสมให้ได้ปริมาณ 16 ลิตร ใส่ลงในถังรีแอกเตอร์ขนาด 20 ลิตร ในกระบวนการผลิตจะควบคุมพีเอชไว้ที่ 7 โดยใช้ 3N NaOH หรือ 3N HCl ในการปรับพีเอช ทำการหมักที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ทำการปรับสภาวะแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจน ทำการเปลี่ยนอาหารใหม่จำนวน 4 ลิตรทุกวัน และเก็บตัวอย่างส่วนของเหลวในแต่ละวันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับในกระบวนการหมักที่ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) เท่ากับ 2 วัน จะทำการหมักร่วมระหว่างกากตะกอนดีแคนเตอร์เท่ากับร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตรของแข็งทั้งหมด และกลีเซอรอลความเข้มข้น 1 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์จากภายนอกจำนวน 4 ลิตร การปรับสภาวะในกระบวนการหมักเหมือนกระบวนการหมักที่ระยะเวลาพักเก็บ (HRT) เท่ากับ 4 วัน ทำการเปลี่ยนอาหารใหม่จำนวน 8 ลิตรทุกวัน และทำการเก็บตัวอย่างส่วนของเหลวทั้งหมดที่เหลือจากส่วนของที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์นำไปเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเพื่อนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนที่ 2 ในการตรวจวัดพารามิเตอร์จะทำการวัดปริมาตรก๊าซโดยใช้เครื่อง gas counter ทุก ๆ 1 วัน ตัวอย่างของเหลวที่เก็บในแต่ละวันจะนำไปวิเคราะห์ค่าพีเอช ซีไอดี กลีเซอรอล น้ำตาลทั้งหมด และ volatile fatty acid (VFAs) ส่วนการทดลองในขั้นตอนที่ 2 จะนำตัวอย่างส่วนของเหลวที่ได้จากกระบวนการหมักขั้นตอนที่ 1 มาใช้เป็นสารตั้งต้นในการทดลองในขั้นตอนที่ 2 โดยแปรผันสภาวะการทดลองโดยการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยกระบวนการไอโซเนชั่นและการให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อน ทำการเติมไอโซนด้วยเครื่องเติมไอโซน 250 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง เป็นเวลา 20 และ 60 นาที กระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 90 นาที แล้วนำส่วนของเหลวที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นแล้วไปหมักต่อในกระบวนการหมักก๊าซมีเทนแบบแบทช์ (Batch Fermentation) ในขวดซีรัมขนาด 100 มิลลิลิตร โดยมีปริมาตรตัวอย่างเท่ากับ 80 มิลลิลิตร ภายใต้สภาวะการหมักแบบควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียสในตู้ควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaker incubator) ที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที (rpm) เปรียบเทียบกับกระบวนการหมักที่ไม่มีการปรับสภาพน้ำหมัก โดยแต่ละสภาวะทำการทดลอง 3 ซ้ำ

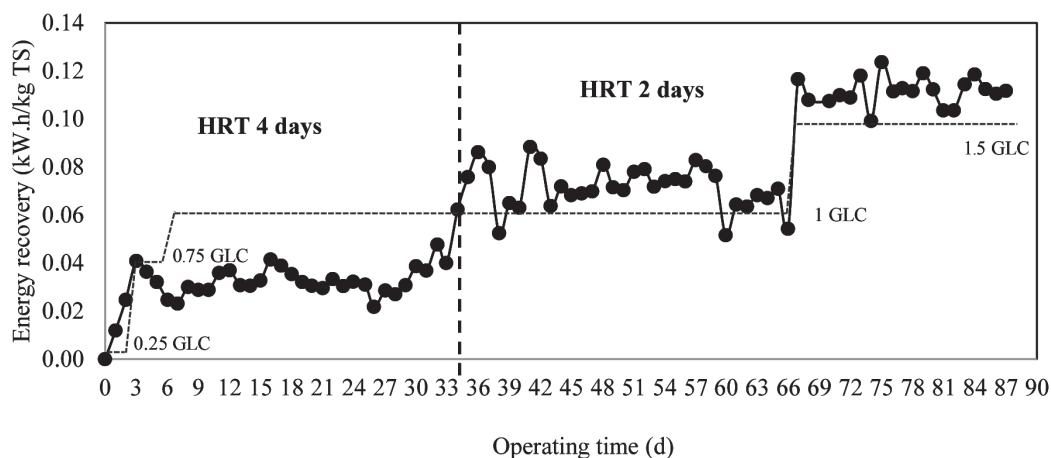
ผลการทดลองและวิจารณ์

ในการทดลองในถังหมักขนาด 20 ลิตรโดยระบบหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง ที่สภาวะความเข้มข้นของแข็งทั้งหมดร้อยละ 2 โดยมวลต่อปริมาตรร่วมกับกลีเซอรอลดิบที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 1.5 โดยมวลต่อปริมาตร โดยมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มในระบบ ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหมักที่ HRT 2 และ 4 วัน ซึ่งจะนำค่าผลผลิตก๊าซไฮโดรเจน อัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจน และค่าปริมาณกระแสไฟฟ้า ที่ได้จากการคำนวณในถังหมักขนาด 20 ลิตร ผลการทดลองพบว่าในช่วงการหมักระยะที่ 1 (HRT 4 วัน และความเข้มข้นกลีเซอรอลร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร : วันที่ 1-33) มีค่าร้อยละก๊าซไฮโดรเจนอยู่ในช่วง 33 - 44 โดยปริมาตร มีค่าสูงที่สุดในวันที่ 16 ที่ร้อยละ 44 โดยปริมาตร ปริมาตรก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 2,860 - 5,474 มิลลิลิตร โดยมีค่าการผลิตสูงสุดในวันที่ 16 ในช่วงการหมักระยะที่ 2 (HRT 2 วัน และความเข้มข้นกลีเซอรอลร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร : วันที่ 34 - 65) มีค่าร้อยละก๊าซไฮโดรเจนอยู่ในช่วง 34-49 โดยปริมาตร มีค่าสูงที่สุดในวันที่ 44 ที่ร้อยละ 49 โดยปริมาตร ปริมาตรก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 6,806 - 11,644 มิลลิลิตร โดยมีค่าการผลิตสูงสุดในวันที่ 41 ในช่วงการหมักระยะสุดท้าย (HRT 2 วัน และความเข้มข้นกลีเซอรอลร้อยละ 1.5 โดยมวลต่อปริมาตร : วันที่ 66-87) ผลการทดลองพบว่า มีค่าร้อยละก๊าซไฮโดรเจนอยู่ในช่วง 34 - 44 โดยปริมาตร มีค่าสูงที่สุดในวันที่ 75 ที่ร้อยละ 44 โดยปริมาตร ปริมาตรก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้อยู่ในช่วง 13,074 - 16,301 มิลลิลิตร โดยมีค่าการผลิตสูงสุดในวันที่ 75 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 50.9 ลิตรไฮโดรเจนต่อกิโลกรัมของแข็งทั้งหมด เมื่อเทียบปริมาณผลผลิตที่ผลิตได้ในระยะการหมักช่วงที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.8 ลิตรไฮโดรเจนต่อกิโลกรัมของแข็งทั้งหมด และปริมาณผลผลิตที่ระยะการหมักช่วงที่ 2 และ 3 มีแนวโน้มสูงขึ้นเป็น 30.0 และ 43.3 ลิตรไฮโดรเจนต่อกิโลกรัมของแข็งทั้งหมดตามลำดับ (ตารางที่ 3) และจากการคำนวณปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในหน่วยกิโลวัตต์.ชั่วโมง พบว่า มีปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.12 กิโลวัตต์.ชั่วโมงต่อกิโลกรัมของแข็งทั้งหมด ในช่วงสุดท้ายของการหมักวันที่ 75 (รูปที่ 3)

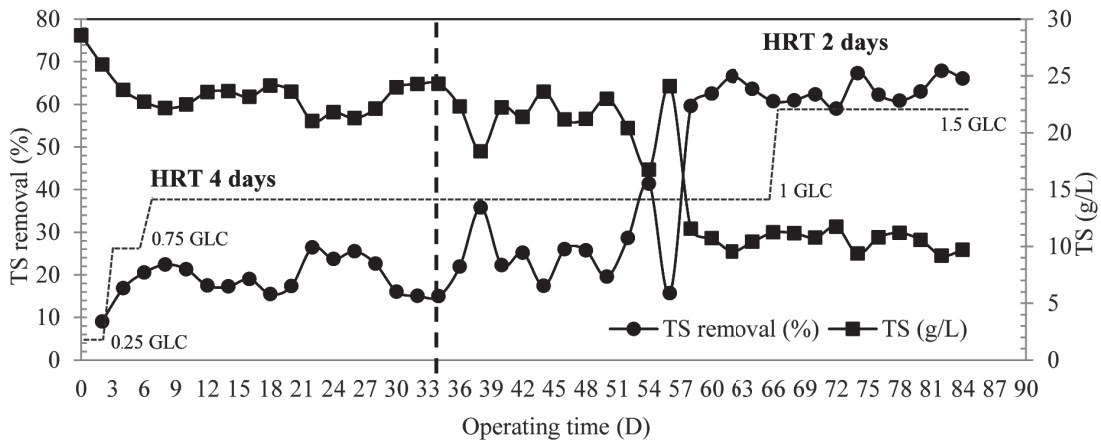
ตารางที่ 3 สรุปเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตก๊าซไฮโดรเจน และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนในถังหมักขนาด 20 ลิตร

condition	Yield	Productivity	Energy recovery	
	L/kgTS _{added} d	L/L.d	kWh/kgTS _{added} d	kWh/L.d(x10 ⁻³)
HRT 4 d				
1%GLC	14.77	0.3	0.04	0.7
HRT 2 d				
1%GLC	30.02	0.61	0.07	1.5
1.5%GLC	43.33	0.89	0.11	2.2

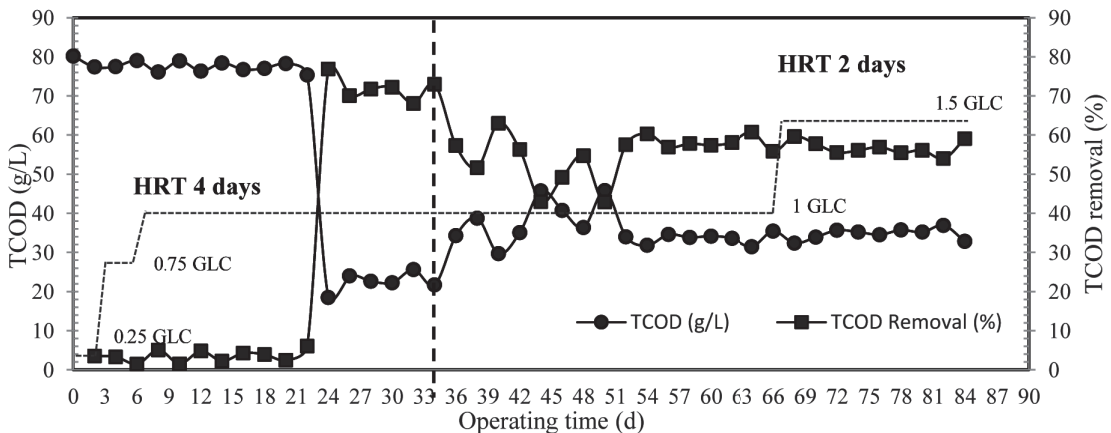
ประสิทธิภาพการกำจัดของเสียในรูปของของแข็งทั้งหมดพบว่า มีแนวโน้มที่สูงขึ้นที่ระยะการหมักในช่วงที่ 2 และ 3 โดยมีการกำจัดของแข็งทั้งหมดสูงสุดเท่ากับร้อยละ 67 ในวันที่ 74 และวันที่ 82 ของการหมัก (รูปที่ 4) ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ถูกใช้มีแนวโน้มลดลงในช่วงการหมักที่ 2 เมื่อลดระยะเวลาการกักเก็บ (HRT) เท่ากับ 2 วัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงการหมักที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณผลผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่ 3 เช่นกัน โดยปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ถูกใช้มีค่าสูงสุดอยู่ที่ระยะการหมักในช่วงที่ 3 เมื่อปรับลดระยะเวลาการกักเก็บ HRT เท่ากับ 2 วัน และความเข้มข้นกลีเซอรอลในกระบวนการหมักรวมเท่ากับร้อยละ 1.5 โดยมวลต่อปริมาตร ส่วนการกำจัดชีโอดีทั้งหมดมีค่าสูงสุดที่ระยะการหมักในช่วงที่ 1 ในวันที่ 24 -34 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 58 (รูปที่ 5)



รูปที่ 3 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณจากกระบวนการหมักในถังหมักขนาด 20 ลิตร



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดจากกระบวนการหมัก
ในถังหมักขนาด 20 ลิตร



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดจากกระบวนการหมัก
ในถังหมักขนาด 20 ลิตร

เมื่อพิจารณา เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไฮโดรเจนจากการวิจัยครั้งนี้ กับการวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าปริมาณผลผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการหมักร่วมกากตะกอนดีแคแเตอร์และกลีเซอรอลดิบ มีค่าสูงกว่า กระบวนการหมักไฮโดรเจนจากวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น เศษอาหาร น้ำเสียจากโรงงาน และของเสียจากภาคเกษตรกรรม เป็นต้น (ตารางที่ 4) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้กระบวนการหมักร่วมระหว่างกากตะกอนดีแคแเตอร์กับกลีเซอรอลดิบ กากตะกอนดีแคแเตอร์เป็นทั้งวัตถุดิบ และแหล่งของเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก ส่วนกลีเซอรอลดิบจะมีผล

โดยตรงต่อการรักษาระดับค่าพีเอชในถังหมัก ส่งผลให้กระบวนการไฮโดรไลซิสและกระบวนการหมักโดยรวมมีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนสูงกว่ากระบวนการหมักที่ใช้วัตถุดิบเพียงอย่างเดียวเป็นสารตั้งต้น (Limsuk et al., 2011)

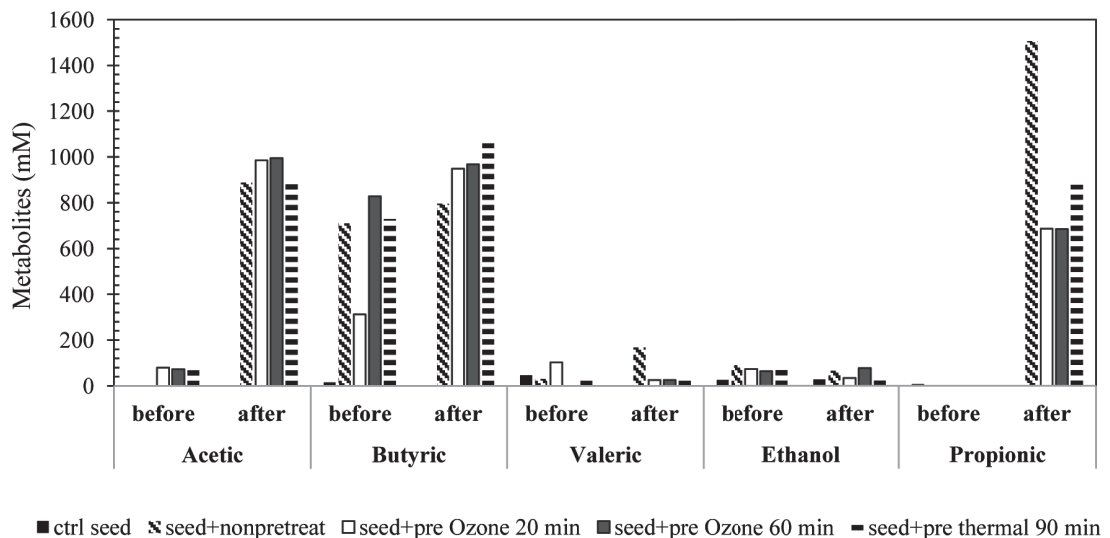
ตารางที่ 4 สรุปเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไฮโดรเจนจากกระบวนการหมักกับงานวิจัยที่ผ่านมา

สารตั้งต้น	กระบวนการผลิต	อุณหภูมิ (°C)	ค่าปริมาณผลผลิต	เอกสารอ้างอิง
กากตะกอนดีแคนเตอร์ และกลีเซอรอลดิบ	Semi-continuous	55	43.3 L/kg _{TS}	ผลการวิจัยครั้งนี้ Cheng et al., 2016
กากตะกอนน้ำเสีย	CSTR	35	38.8 L/kg _{VS}	Fountoulakis et al., 2009
น้ำเสียจากการผลิต	CSTR	35	0.65 L/kg _{VS}	Fu et al., 2017
น้ำมันมะกอก +				Liu et al., 2006
น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์ +				Pakarinen et al., 2011
กลีเซอรอลดิบ				Rafeenia et al., 2017
ของเสียจากโรงผลิตเหล้า	Batch	37	14.8 L/kg _{VS}	Seong et al., 2014
ของเสียจากครัวเรือน	CSTR	37	43 L/kg _{VS}	Zhu et al., 2008
หญ้าให้อาหารสัตว์	Batch	55	6.46 L/kg _{VS}	
เศษอาหาร	Batch	35	5.3 L/kg _{VS}	
น้ำเสียจากบ่อเกรอะ	Semi-continuous	-	2.52 L/kg _{VS}	
และน้ำเสียจากครัวเรือน				
ของเสียจากมันฝรั่ง	CSTR	-	30 L/kg _{TS}	

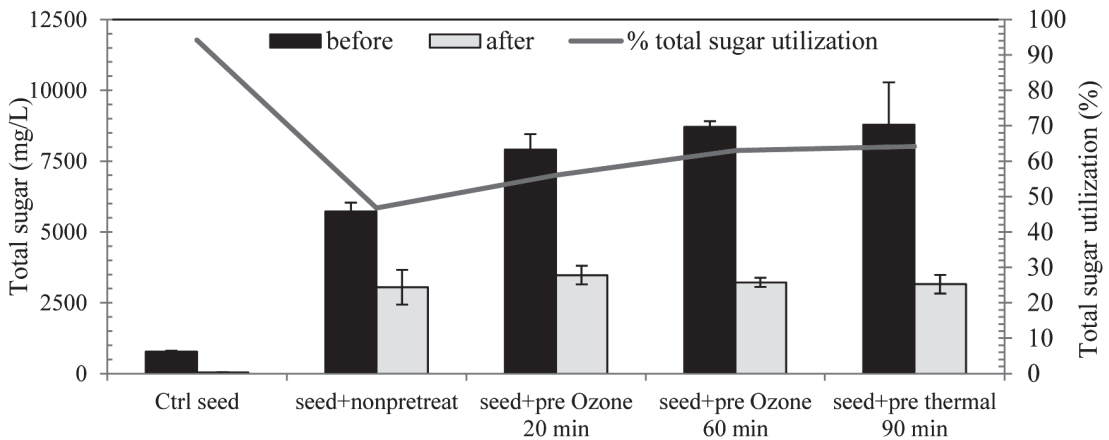
การทดลองในขั้นตอนที่ 2 การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยรวมเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองทางเลือกให้กับอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มที่มีในส่วนกระบวนการผลิตต่อเนื่องไบโอดีเซล รวมถึงการจัดการของเสียให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด การทดลองนี้ได้ถูกออกแบบเพื่อเปรียบเทียบผลการปรับสภาพเบื้องต้นน้ำหมักจากขั้นตอนที่ 1 ด้วยวิธีโอโซนเนชั่น และวิธีการใช้ไอน้ำร้อน กับน้ำหมักที่ไม่ผ่านการปรับสภาพในกระบวนการหมักก๊าซมีเทนในขั้นตอนที่ 2 โดยได้เลือกสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองที่ผ่านมา (Kanchanasuta et al., 2017) ที่ให้ค่าการปลดปล่อยน้ำตาลสูงที่สุด ได้แก่ การเติมโอโซนด้วยเครื่องเติมโอโซนที่กำลังการผลิต 250 มิลลิกรัมโอโซนต่อชั่วโมง เป็นระยะเวลา 20 และ 60 นาที เปรียบเทียบกับการใช้ไอน้ำร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 90 นาที ผลการทดลองพบว่า ที่สภาวะการหมักน้ำหมักที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไอน้ำร้อนเป็นเวลา 90 นาที ให้ค่าปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุด

รองลงมาคือ ที่สภาวะการหมักของเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีไอโซเนชั่นเป็นเวลา 20 และ 60 นาที ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (P) ที่สภาวะการหมักของเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนจากไอน้ำร้อนมีค่าเท่ากับ 385 มิลลิลิตร ซึ่งมากกว่าประมาณ 2 เท่าของค่าผลผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดที่ได้จากสภาวะการหมักของเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (184 มิลลิลิตร) ประสิทธิภาพการกำจัดของเสียในรูปของการกำจัดของแข็งทั้งหมดพบว่า ที่สภาวะการหมักน้ำหมักที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีไอโซเนชั่นเป็นเวลา 20 นาที มีค่าสูงสุด รองลงมาคือการหมักน้ำหมักที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนจากไอน้ำร้อน การหมักน้ำหมักที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ และผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีไอโซเนชั่นเป็นเวลา 60 นาที ในขณะที่ ค่าการกำจัดชีโอดีทั้งหมดมีค่าสูงสุดที่สภาวะการหมักน้ำหมักที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ผลการทดลองแสดงถึงความสามารถในการกำจัดของเสียในกระบวนการหมักแบบสองขั้นตอน ในสภาวะปกติที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ จุลินทรีย์ในระบบจะทำหน้าที่ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ยังหลงเหลืออยู่ในขวดหมักและเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซมีเทนในขั้นตอนสุดท้าย รวมถึงการใช้กรดอินทรีย์ระเหยง่ายโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเป็นก๊าซมีเทนต่อไป ซึ่งจากผลดังกล่าวเมื่อพิจารณาจากค่าพีเอชที่ลดลงต่ำกว่า 5 และปริมาณกรดอะซิติก และกรดโพรพาโนอิกที่ถูกผลิตขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่น ๆ สภาวะดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน (methanogens) โดยทั่วไปกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนจะทำงานได้ในช่วงค่าพีเอชที่แคบ ประมาณ 6.8-7.2 ดังนั้นจากสภาวะดังกล่าวจึงเป็นไปได้ว่ากลุ่มเมทาโนเจนไม่สามารถที่จะดูดซึมกรดอะซิติกไปใช้ นอกจากนั้นกลุ่มจุลินทรีย์ชนิด hydrolytic bacteria จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ยังคงเหลืออยู่ในกระบวนการหมักกรด และเนื่องจากสภาวะการหมักมีค่าพีเอชที่ลดลง จึงส่งผลต่อวิถีการผลิตกรดโพรพาโนอิกซึ่งเป็นสารรีดิวซ์ที่สามารถปรับสมดุลของโปรตอนในระบบหมักได้ จะเห็นได้จากค่าความเข้มข้นของกรดโพรพาโนอิกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทุกสภาวะการหมักโดยมีค่าสูงสุดที่สภาวะการหมักของเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ภาวะเช่นนี้ส่งผลโดยตรงต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นอีกชนิดหนึ่งในกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน ($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) เช่นเดียวกันกับการผลิตกรดอะซิติกและกรดบิวทิริกซึ่งมีแนวโน้มการผลิตที่สูงขึ้นภายหลังกระบวนการหมักก๊าซมีเทน (รูปที่ 6) ในขณะที่ค่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ถูกปลดปล่อยภายหลังกระบวนการปรับสภาพพบว่ามีค่าที่เพิ่มขึ้นในทุกสภาวะการทดลองโดยมีค่าสูงสุดที่สภาวะการปรับสภาพน้ำหมักด้วยความร้อนจากไอน้ำร้อน (รูปที่ 7) เช่นเดียวกันกับค่าการใช้น้ำตาลทั้งหมดที่สภาวะดังกล่าวมีค่าสูงสุด จึงสามารถสรุปได้ว่าภายใต้การหมักขั้นที่ 2 น้ำหมักที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยไอน้ำร้อนให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพการปลดปล่อยน้ำตาลซึ่งสามารถถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหมัก ผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น รวมถึงการกำจัดของเสียในรูปของแข็งทั้งหมดและชีโอดีทั้งหมด อีกทั้งการ

ปรับสภาพด้วยความร้อนจากไอน้ำร้อนยังมีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์เนื่องจากไอน้ำร้อนถือเป็นผลผลิตพลอยได้ชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม จึงสามารถลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการปรับสภาพได้ จากผลการศึกษาทั้งหมดจะเห็นว่ากระบวนการหมักแบบ 2 ขั้นตอนร่วมกับการปรับสภาพของเสียที่ผ่านขั้นตอนแรกด้วยวิธีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อนส่งผลทั้งการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดของเสียและการเพิ่มแหล่งพลังงานสำรองทางเลือกสำหรับโรงงาน อย่างไรก็ตามข้อเสนอแนะเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตแหล่งพลังงานสำรองและพัฒนาไปสู่การจัดการของเสียอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและโรงงานต่อเนื่องผลิตไบโอดีเซลควรมีการนำเอาผลการศึกษานี้ไปประยุกต์ให้เข้ากับระบบบำบัดน้ำเสีย (POME) หรือระบบผลิตก๊าซชีวภาพเดิมเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบต่อไป



รูปที่ 6 สารเมตาบอไลต์ที่เกิดจากการหมักของเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีแตกต่างกัน



รูปที่ 7 น้ำตาลทั้งหมดและประสิทธิภาพการใช้น้ำตาลทั้งหมดที่เกิดจากการหมักของเสีย
ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีแตกต่างกัน

สรุป

จากการศึกษาการพัฒนากระบวนการหมักร่วมของผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม
เกี่ยวเนื่องกัน ระหว่างอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม และอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซล มาผลิต
เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ในรูปก๊าซไฮโดรเจน พบว่าเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการ
หมักก๊าซไฮโดรเจนในถังหมักขนาด 20 ลิตร ด้วยรูปแบบการหมักร่วมกากตะกอนดีแคนเตอร
กับกลีเซอรอลดิบ พบว่าค่าผลผลิตก๊าซไฮโดรเจน อัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจน และค่าปริมาณ
กระแสไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณในถังหมักขนาด 20 ลิตรภายใต้สภาวะการหมักที่ควบคุม HRT
เท่ากับ 2 วัน และความเข้มข้นกลีเซอรอลในกระบวนการหมักร่วมเท่ากับร้อยละ 1.5 โดยมวล
ต่อปริมาตร มีค่าสูงสุด และเนื่องจากของเสียที่ผ่านกระบวนการหมักก๊าซไฮโดรเจนในขั้นตอนที่ 1
ยังคงมีค่าสารอินทรีย์ตกค้างในปริมาณสูง จึงได้ศึกษาการนำของเสียจากกระบวนการหมัก
ก๊าซไฮโดรเจนไปบำบัดหรือใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อ โดยการใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการ
หมักก๊าซมีเทนในขั้นตอนที่ 2 โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน ระหว่างการหมัก
ของเสียที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ของเสียที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีโอโซนเนชั่น และของเสีย
ที่ผ่านการปรับสภาพโดยใช้ความร้อนด้วยไอน้ำร้อน ผลการทดลองพบว่า ภายใต้การหมัก
แบบสองขั้นตอนโดยของเสียที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยไอน้ำร้อนให้ค่าประสิทธิภาพ
สูงสุดเมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพการปลดปล่อยน้ำตาล ผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น รวมถึง
การจัดของเสียในรูปของแข็งทั้งหมดและซีไอดีทั้งหมด

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการพัฒนากาารวิจัยการเกษตร จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ร่วมกับสำนักงานพัฒนากาารวิจัยการเกษตร (สวก.) ทุนมุ่งเป้าเพื่อพัฒนาประเทศ กลุ่มปาล์มน้ำมัน ประจำปีงบประมาณ 2559

เอกสารอ้างอิง

- Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Bodiroza, V., Pötsch, E. & Zollitsch, W. (2006). Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: effects of dairy systems and of glycerine supplementation. **International Congress Series.** 1293, 217-220.
- Ariunbaatar, J., Panico, A., Frunzo, L., Esposito, G., Lens, P.N. & Pirozzi, F. (2014). Enhanced anaerobic digestion of food waste by thermal and ozonation pre-treatment methods. **Journal of environmental management.** 146, 142-149.
- Astals, S., Nolla-Ardèvol, V. & Mata-Alvarez, J. (2012). Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: Biogas and digestate. **Bioresource Technology.** 110, 63-70.
- Billings R.E. (1991). The hydrogen worldview. **American Academy of Science.** 5, 66–76.
- Cheng J., Ding L., Lin R., Liu M., Zhou J. & Cen K. (2016). Physicochemical characterization of typical municipal solid wastes for fermentative hydrogen and methane co-production. **Energy Conversion and Management.** 117, 297–304.
- Cvengrus, J. & Povazanec, F., (1996) Production and Treatment of Rapeseed Oil Methyl Ester as Alternative Fuels for Diesel Engines. **Bioresource Technology.** 55, 145-152.
- Fountoulakis, M.S. & Manios, T. (2009). Enhanced methane and hydrogen production from municipal solid waste and agro-industrial by-products co-digested with crude glycerol. **Bioresource technology.** 100(12), 3043-3047.
- Fu, S.F., Xu, X.H., Dai, M., Yuan, X.Z. & Guo, R.B. (2017). Hydrogen and methane production from vinasse using two-stage anaerobic digestion. **Process Safety and Environmental Protection.** 107, 81-86.
- Goel, R., Tokutomi, T., Yasui, H. & Noike, T. (2003). Optimal process configuration for anaerobic digestion with ozonation. **Water Science and Technology.** 48(4), 85-96.

- Kanchanasuta S. & Pisutpaisal N. (2016). Waste utilization of palm oil decanter cake on biogas fermentation. **International Journal Hydrogen Energy**. 41(35), 15661-15666.
- Kanchanasuta S., Kittipongpattana K. & Pisutpaisal N. (2017). Improvement of biohydrogen fermentation by co-digestion of crude glycerol with palm oil decanter cake. **Chemical Engineering Transactions**. 57, 1963-1968.
- Limsuk, S., Peantum, P. & Petiraksakul, A. (2011). Biogas production from food waste added with crude glycerin produced from biodiesel production. **Engineering and Applied Science Research**. 38(2), 101-110.
- Liu, D., Liu, D., Zeng, R. J. & Angelidaki, I. (2006). Hydrogen and methane production from household solid waste in the two-stage fermentation process. **Water Research**. 40(11), 2230-2236.
- Onwueme, I.C. & Sinha, T.D. (1991). **Field crop production in tropical Africa: principles and practice**. CTA.
- Paepatung N., Nopharatana A. & Songkasiri W. (2009). Bio-methane Potential of Biological Solid Materials and Agricultural Wastes. **Journal of Energy and Environment**. 10(1), 19-27.
- Pakarinen, O., Kaparaju, P. & Rintala, J. (2011). The effect of organic loading rate and retention time on hydrogen production from a methanogenic CSTR. **Bioresource technology**. 102(19), 8952-8957.
- Pisutpaisal, N., Tanikkul, P. & Phoochinda, W. (2014). Improvement of Mesophilic Biohydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent Using Ozonation Process. **Energy Procedia**. 50, 723-728.
- Rafeenia, R., Giroto, F., Peng, W., Cossu, R., Pivato, A., Raga, R. & Lavagnolo, M.C. (2017). Effect of aerobic pre-treatment on hydrogen and methane production in a two-stage anaerobic digestion process using food waste with different compositions. **Waste Management**. 59, 194-199.
- Ramachandran R. & Raghu, K.M. (1998). An overview of industrial used of hydrogen. **International Journal Hydrogen Energy**. 23(7), 593-598.
- Seong, C.Y., Yoon, C.H. & Seo, G.T. (2014). Effect of food waste mixing on hydrogen gas production in anaerobic digestion of brown water from urine diversion toilet. **Journal of Korean Society of Environmental Engineers**. 36(12), 865-872.

- Weemaes, M., Grootaerd, H., Simoens, F., Huysmans, A. & Verstraete, W. (2000). Ozonation of sewage sludge prior to anaerobic digestion. **Water Science and Technology**. 42(9), 175-178.
- Zhu, H., Stadnyk, A., Béland, M. & Seto, P. (2008). Co-production of hydrogen and methane from potato waste using a two-stage anaerobic digestion process. **Bioresource Technology**. 99(11), 5078-5084.
-

การพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้จากแป้งปราศจากกลูเตนบางชนิด

DEVELOPMENT OF COOKIES PRODUCT FROM SELECTED GLUTEN-FREE FLOURS

จิระนาถ รุ่งช่วง^{1*} และ นภัสรพี เหลืองสกุล²

^{1*}สาขาการโรงแรมและการท่องเที่ยว วิทยาลัยการโรงแรมและการท่องเที่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

วิทยาเขตตรัง จังหวัดตรัง 92150

²คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Jiranart Rongchoung^{1*} and Naphatrapi Luangsakul²

^{1*}Department of Hospitality and Tourism, College of hospitality and tourism,

Rajamangala University of Technology Srivijaya Trang Campus, Trang, 92150

²Agro-industry King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

*Email: Rongchoung@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแป้งปราศจากกลูเตนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ งาดำป่น แป้งลูกเดี๋ย แป้งถั่วแดง แป้งถั่วเหลือง แป้งกล้วย แป้งข้าวสาลี และแป้งมันต่อเปลือก ต่อคุณภาพของคุกกี้ปราศจากกลูเตน โดยนำมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ในปริมาณ ร้อยละ 100 ของน้ำหนักแป้ง ผลการทดสอบพบว่า คุกกี้แป้งข้าวสาลี คุกกี้แป้งกล้วย คุกกี้แป้งมันต่อเปลือก และคุกกี้แป้งถั่วเหลือง มีค่าความแข็ง สูงกว่าคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลี (สูตรควบคุม) (1.69 1.64 1.56 และ 1.48 นิวตัน ตามลำดับ) แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สำหรับการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า คุกกี้จากแป้งปราศจากกลูเตนทุกสูตรมีความเหนียวติดฟันและความหวาน ไม่แตกต่างกับคุกกี้สูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ขณะที่คะแนนการยอมรับของผู้บริโภค ต่อคุกกี้จากแป้งปราศจากกลูเตนทุกสูตรพบว่ามีความยอมรับน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม ยกเว้นคุกกี้แป้งข้าวสาลี และคุกกี้แป้งกล้วยที่มีความยอมรับไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม ($p \geq 0.05$) เมื่อใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักพบว่า คุกกี้แป้งข้าวสาลี คุกกี้แป้งกล้วย และคุกกี้แป้งมันต่อเปลือก มีคุณภาพ

โดยรวม คือมีอัตราการแผ่ตัว และความร่วนน้อย ค่าความแข็ง และความกรอบสูง รวมทั้งมีสีและกลิ่นที่เหมาะสม ใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม

คำสำคัญ : แป้งปราศจากกลูเตน คุณก็ปราศจากกลูเตน

ABSTRACT

This research was aimed to study the effect of 100% substitution of gluten-free flour, which were sesame meal, Job's tears flour, red bean flour, soy bean flour, banana flour, sinin rice flour and purple sweet potato flour, on the qualities of gluten-free cookies. The results were indicated that cookies made from sinin rice flour, banana flour, purple sweet potato flour and soy bean flour, had higher hardness value than the cookies that made from wheat flour (control) (1.69, 1.64, 1.56 and 1.48 N, respectively) but, there is no statistically significant different value ($p \geq 0.05$). Regarding to the results of sensory evaluation, it was found that cookies made from all studied gluten-free flour showed non-significantly difference on adhesiveness and sweetness values ($p \geq 0.05$). The consumers' acceptability on cookies made from all studied gluten-free flour, the gluten-free flours had lower score than wheat flour cookies except the cookies made from sinin rice flour. Also, the banana rice flour showed non-significantly difference from wheat flour cookies ($p \geq 0.05$). The results from using principle component analysis (PCA) technique revealed that cookies made from sinin rice flour, banana flour, and purple sweet potato flour showed overall quality which were less spread rate and crumbiness, high hardness and crispiness, and proper color and odor quality that similar to the control sample.

Keywords: gluten-free flour, gluten-free cookies

บทนำ

Coeliac disease หรือโรคภูมิแพ้กลูเตน เป็นโรคซึ่งระบบภูมิคุ้มกันทำงานผิดปกติ โดยจะผลิตสารแอนติบอดีออกมาทำลายเนื้อเยื่อของลำไส้เล็ก เมื่อร่างกายได้รับกลูเตนเข้าไป ซึ่งกลูเตนคือ โปรตีนที่พบในข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรย์ และข้าวโอ๊ต ผู้ป่วยเป็นโรค Coeliac นี้ ลำไส้เล็กจะมีอาการอักเสบและมีผลต่อเนื้อเยื่อบริเวณผนังลำไส้เล็ก ทำให้พื้นที่ในการดูดอาหาร ลดลงแต่อาการดังกล่าวจะไม่เป็นอันตรายถึงชีวิต ซึ่งผู้ป่วยที่เป็นโรคนี้จะไม่สามารถรับประทาน

อาหารที่มีส่วนประกอบของกลูเตนได้เลยไปตลอดชีวิต โดยอาการของโรคนี้โดยทั่วไป คือ จะมีอาการท้องบวมและปวด มีอาการท้องร่วงเรื้อรัง น้ำหนักลด อูจาระมีสีซีดและมีกลิ่นเหม็นเน่า เป็นตะคริว เหนื่อยง่าย ปวดกระดูกและข้อต่อ ขาดความรู้สึก เพราะเส้นประสาทถูกทำลาย มีแผลพุพองในปาก มีผื่นคันที่ผิวหนัง สำหรับผู้หญิงจะมีอาการประจำเดือนมาไม่ปกติ (เนื่องจากน้ำหนักลด) โรคนี้รักษาได้โดยการงดเว้นรับประทานอาหารที่มีส่วนประกอบของกลูเตน (Murray, 1999) อาหารที่ไม่มีกลูเตนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ที่ป่วยเป็นโรคภูมิแพ้กลูเตน โดยวัตถุดิบที่ไม่มีส่วนประกอบของกลูเตน เช่น ข้าว ได้แก่ ข้าวสาลีซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยข้าวสาลียังมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่เป็นสีม่วงเข้มประกอบไปด้วยสารแอนโทไซยานิน, โพรแอนโทไซยานิน และไบโอฟลาโวนอยด์หรือวิตามินพี ฟืชจำพวกพืชหัว ได้แก่ ถั่วลิสงซึ่งมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงกว่าผักผลไม้ทั่วไป ซึ่งเป็นใยอาหารที่มีผลต่อการเจริญของแบคทีเรียที่ช่วยให้ระบบทางเดินอาหารทำงานได้เป็นปกติดี หรือพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ งาดำ และถั่วชนิดต่าง ๆ เนื่องจากถั่วมีเส้นใยอาหารสูงมาก โดยมีไฟเบอร์สูงจึงช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลได้ดี และอุดมไปด้วยไขมันที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงเป็นแหล่งของวัตถุดิบที่น่าสนใจที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเฉพาะอาหารที่ใช้แป้งสาลีเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ประเภทคุกกี้ (Cookies) ซึ่งมีกลูเตนที่เป็นสาเหตุอาการแพ้ของประชากรทั่วโลกกว่าร้อยละ 1 (Lee et al., 2009) ดังจะเห็นว่าในหลายๆ ประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และประเทศในแถบยุโรปได้หันมาให้ความสำคัญกับอาหารที่ปลอดกลูเตน (Gluten-free Foods) เพิ่มขึ้น (Gallagher, 2009) โดยปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการศึกษาวิจัยการใช้แป้งต่าง ๆ เพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น คุกกี้ เพื่อเป็นการลดการนำเข้าข้าวสาลีและผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลีจากต่างประเทศ เช่น Preecha et al. (2000) ได้ทำการศึกษาการใช้แป้งข้าวทนต์แทนแป้งสาลีในการทำผลิตภัณฑ์เค้กและคุกกี้ โดยใช้แป้งจากข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 กข 23 และ เหลืองประทิว 123 พบว่าคุกกี้จากแป้งข้าวโม้แห้งของพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีคุณภาพด้อยกว่าคุกกี้แป้งข้าวชนิดอื่น ในขณะที่ Kunthon (2007) ได้ศึกษาผลการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อคุกกี้เนยสดที่ใช้แป้งกล้วยหินทดแทนแป้งสาลีบางส่วน พบว่า อัตราส่วนของแป้งกล้วยหินทดแทนแป้งสาลีในคุกกี้เนยสดจำนวน 5 สูตร คือ 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0 ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านสีและด้านกลิ่นของคุกกี้เนยสดทั้ง 5 สูตรไม่แตกต่างกัน แต่คะแนนในด้านรสชาติ ด้านเนื้อสัมผัส และด้านความชอบรวมของคุกกี้เนยสดสูตรที่ 2 มากกว่าสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้ง Ruangkajhon & Wongtacha (2007) ศึกษาอัตราส่วนของแป้งสาลีต่อแป้งลูกเดือยในระดับที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างแป้งสาลีต่อแป้งลูกเดือยที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่ ร้อยละ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ โดยพบว่าคุกกี้ที่มีลูกเดือยเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนของแป้งสาลีต่อ

แป้งลูกเดี๋ยยที่ระดับ 80:20 ซึ่งเป็นสูตรที่ดีที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของแป้งปราศจากกลูเตนบางชนิด ในปริมาณร้อยละ 100 ของน้ำหนักแป้งในการทำคุกกี้ ต่อคุณภาพของคุกกี้ปราศจากกลูเตน เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกแก่ผู้บริโภคทั่วไปที่ใส่ใจในเรื่องสุขภาพ ทั้งในด้านการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและการใช้แป้งชนิดอื่นมาทดแทนแป้งสาลีเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต (Maisont & Khucharoenpaisan, 2012) และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ที่มีวัตถุดิบหลักอยู่ในประเทศไทยต่อไป

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแป้งปราศจากกลูเตนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ งาดำป่น แป้งลูกเดี๋ยย แป้งถั่วแดง แป้งถั่วเหลือง แป้งกล้วย แป้งข้าวสาลี และแป้งมันต่อผิวออกต่อคุณภาพทางกายภาพ และประสาทสัมผัส ของคุกกี้ปราศจากกลูเตน

วิธีการ

1. วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งของแป้งชนิดปราศจากกลูเตน ได้แก่ งาดำ (*Sesame : Sesamum indicum* (L.)), ลูกเดี๋ยย (Adlay millet , Job's tears : *Coix lacryma-jobi* (L.)), ถั่วแดง (Red bean : *Phaseolus vulgaris* (L.)), ถั่วเหลือง (Soy bean, Soja bean : *Glycine max* (L.) Merr.), กล้วย (Banana : *Musa sapientum* (L.)), ข้าวสาลี (Sinin rice : *Oryza sativa* (L.)) และมันต่อผิวออก (Purple sweet potato : *Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัตถุดิบ โดยนำแป้งปราศจากกลูเตน 7 ชนิด ซึ่งแป้งปราศจากกลูเตนดังกล่าวได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท โฮเม่ จำกัด ประกอบด้วย แป้งงาดำป่น (BSF) ขนาด 10 เมช แป้งลูกเดี๋ยย (JTF) ขนาด 60 เมช แป้งถั่วแดง (RBF) ขนาด 60 เมช แป้งถั่วเหลือง (SBF) ขนาด 60 เมช แป้งกล้วย (BNF) ขนาด 60 เมช แป้งข้าวสาลี (SRF) ขนาด 60 เมช และแป้งมันต่อผิวออก (PSF) ขนาด 60 เมช มาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ ในปริมาณร้อยละ 100 ของน้ำหนักแป้งในการทำคุกกี้ โดยมีคุกกี้สูตรควบคุมคือใช้แป้งสาลีร้อยละ 100 สำหรับส่วนผสมที่ใช้ทำคุกกี้ดังแสดงใน ตารางที่ 1 และวิธีการทำคุกกี้ใช้การผสมแบบครีมเนย โดยอบที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

2.2 ทดสอบทางด้านกายภาพ ได้แก่

- ความแข็งของชิ้นคุกกี้ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer รุ่น TA-XT_{2i} อังกฤษ) ใช้หัวทดสอบ Knife Edge with Slotted Insert (HDP/BS) พร้อมกับฐานทดสอบ Heavy Duty Platform (HDP/90) โดยใช้ความเร็วของใบมีดในการกด 2 มิลลิเมตรต่อวินาที กดลงไปในตัวอย่าง 5 มิลลิเมตร

- ค่าอัตราการแผ่ตัว (spread ratio) ของชิ้นคุกกี้ (AACC, 2000)
- ค่าการเพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter increase) ของชิ้นคุกกี้

(AACC, 2000)

- ค่าความหนาที่เพิ่มขึ้นของคุกกี้ (thickness increase) ของชิ้นคุกกี้

(AACC, 2000)

2.3 วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

โดยใช้ Scoring test คะแนน 7 ระดับ (1 = ดิน้อยที่สุด และ 7 = ดีมากที่สุด สำหรับการทดสอบด้านสี ขนาด และกลิ่น; 1 = มีน้อยที่สุด และ 7 = มากที่สุด สำหรับการทดสอบด้านความกรอบ ความร่วน ความแข็ง ความเหนียวติดฟัน ความหวาน ความขม และความชอบโดยรวม) ใช้ผู้ทดสอบที่มีความเชี่ยวชาญในผลิตภัณฑ์คุกกี้ของบริษัท ซีพี ค้าปลีก และการตลาด จำกัด ที่ได้รับการฝึกฝน จำนวน 40 คน ก่อนทำการทดสอบจะมีการอธิบายถึงวัตถุประสงค์ในการทดสอบ วิธีการทดสอบผลิตภัณฑ์ วิธีการให้คะแนน ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบชิม จะบรรจุลงในถุงพลาสติก ปิดผนึกด้วยสุญญากาศ แต่ละตัวอย่างจะถูกกำหนดรหัสเลขสุ่ม 3 ตัว ติดที่ซองเลิฟตัวอย่างที่ละตัวอย่างแบบสุ่มโดยเลิฟที่อุณหภูมิห้อง โดยในระหว่างการทดสอบชิม ผู้ทดสอบจะต้องรับประทานแครกเกอร์ และดื่มน้ำระหว่างการทดสอบตัวอย่างถัดไปทุกครั้ง

3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพของคุกกี้ วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) คำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย โดยใช้ Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ

สำหรับการทดสอบประสาทสัมผัส โดยออกแบบการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) คำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย โดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำ และนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มานำเสนอด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis, PCA) โดยใช้โปรแกรม R Version 2.10.0 ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของคุกกี้สูตรมาตรฐาน

ส่วนผสม	ร้อยละโดยน้ำหนักของแป้ง
แป้งสาลี / แป้งปราศจากกลูเตน	100
โซดา	1.25
ผงฟู	1.25
น้ำตาลทรายป่น	45
เกลือป่น	0.375
ไข่ไก่	45
มาการีน / เนยสด	75
นมข้นจืด	10
นมผง	5

ผลการทดลองและวิจารณ์

ตารางที่ 2 แสดงผลของแป้งปราศจากกลูเตนชนิดต่าง ๆ ต่อคุณภาพของคุกกี้ปราศจากกลูเตน โดยผลการทดสอบพบว่า คุกกี้แป้งข้าวสาลี แป้งกล้วย แป้งมันต่อเผือก และแป้งถั่วเหลือง มีค่าความแข็ง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทดลองของ Sitachitta (2007) ที่ศึกษาคุณภาพของจากบิสกิตแป้งกล้วย พบว่ามีความแข็งมากกว่าบิสกิตแป้งสาลี ค่าอัตราการแผ่ตัวของคุกกี้ปราศจากกลูเตน พบว่าคุกกี้ปราศจากกลูเตนทุกชนิดมีค่าอัตราการแผ่ตัวที่มากกว่าคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลี (สูตรควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากโปรตีนกลูเตนในแป้งสาลีมีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างของโดในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เมื่อใช้แป้งชนิดอื่นที่ไม่มีกลูเตนเป็นองค์ประกอบจะทำให้โดที่ได้มีโครงสร้างที่ไม่แข็งแรง (Gallagher et al., 2004) การแผ่ตัวของคุกกี้ที่ทำจากแป้งที่ไม่มีกลูเตนจึงมากกว่าคุกกี้ที่ทำจากแป้งสาลี ในส่วนของค่าการเพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลาง พบว่าคุกกี้จากงาดำ มีค่าการเพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลางสูงกว่าสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าความหนาที่เพิ่มขึ้นของคุกกี้ พบว่าคุกกี้ปราศจากกลูเตนทุกสูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ตารางที่ 2 ผลของแป้งปราศจากกลูเตนชนิดต่าง ๆ ต่อคุณภาพของคุกกี้ปราศจากกลูเตน

ชนิดของแป้ง*	ลักษณะทางกายภาพ			
	ค่าความแข็ง (นิวตัน)	อัตราการแผ่ตัว	เส้นผ่านศูนย์กลางที่	ความหนาที่เพิ่มขึ้น ^{ns} (%)
BTC	1.28±0.24 ^{abc}	4.63±0.16 ^d	21.67±0.00 ^b	13.00±1.63
BSC	0.66±0.40 ^{bc}	5.19±0.11 ^a	23.06±0.54 ^a	12.07±1.06
JTC	1.09±0.34 ^{abc}	4.94±0.10 ^{bc}	21.47±0.19 ^{cd}	12.07±1.19
RBC	0.48±0.27 ^c	4.98±0.06 ^{abc}	22.19±0.00 ^b	10.37±3.92
SBC	1.48±0.38 ^{ab}	5.14±0.03 ^{ab}	22.14±0.47 ^b	10.61±3.17
BNC	1.64±0.46 ^a	4.83±0.06 ^{cd}	21.17±0.00 ^{cd}	12.00±1.35
SRC	1.69±0.29 ^a	4.96±0.07 ^{abc}	20.9±0.00 ^d	9.85±1.12
PSC	1.56±0.50 ^a	4.90±0.07 ^c	19.3±0.00 ^e	11.57±3.59

หมายเหตุ: ^{a, b, c, d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05), ^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≥ 0.05)

* BTC = คุกกี้แป้งสาลี (สูตรควบคุม), BSC = คุกกี้แป้งงาดำ, JTC = คุกกี้แป้งลูกเดี๋ย, RBC = คุกกี้แป้งถั่วแดง, SBC = คุกกี้แป้งถั่วเหลือง, BNC = คุกกี้แป้งกล้วย, SRC = คุกกี้แป้งข้าวสาลี, PSC = คุกกี้แป้งมันต่อเปลือก

ตารางที่ 3 แสดงผลของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ปราศจากกลูเตนชนิดต่าง ๆ พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนขนาดของคุกกี้ ค่าความเหนียวติดฟัน และความหวานของคุกกี้ทุกสูตรรวมทั้งสูตรควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทางด้านสีพบว่าคุกกี้ปราศจากกลูเตนที่ทำจากงาดำและแป้งกล้วยจะมีสีคล้ำมาก เนื่องจากองค์ประกอบภายในแป้งกล้วยมีปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนในระดับสูง จะส่งผลให้สีที่ได้มีสีคล้ำ (Khunpharak & Raocharoenporn, 2009) จึงทำให้มีค่าคะแนนการยอมรับน้อยกว่าสูตรอื่น ๆ ทางด้านความกรอบของคุกกี้ พบว่าคุกกี้แป้งกล้วย แป้งข้าวสาลีและแป้งมันต่อเปลือก มีค่าความกรอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือมีค่าคะแนนเฉลี่ยของความกรอบอยู่ระดับปานกลาง โดยคุกกี้ที่มีความกรอบน้อยที่สุดคือคุกกี้ที่ทำจากแป้งลูกเดี๋ย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruangajhon & Wongtacha (2007) ซึ่งทำการนำแป้งลูกเดี๋ยมาใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ ซึ่งพบว่า เมื่อนำแป้งสาลีแทนด้วยแป้งลูกเดี๋ยที่ระดับ 80:20 ส่งผลให้ค่าความกรอบของคุกกี้มีค่าลดลง สำหรับค่าความแข็ง พบว่าแป้งถั่วเหลือง แป้งกล้วยและแป้งมันต่อเปลือก มีค่าความแข็งของคุกกี้ไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม คือมีค่าคะแนนเฉลี่ยความชอบของความแข็งอยู่ในระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง โดยมีค่าความแข็งของคุกกี้ที่ทำจากงาดำ แป้งลูกเดี๋ยและ

แป้งถั่วแดง มีค่าคะแนนเฉลี่ยของความแข็งที่ต่ำกว่า เนื่องจากคุกกี้มีความร่วนมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าความร่วนของคุกกี้ทำจากงาดำ แป้งลูกเดี๋ยและแป้งถั่วแดง มีความร่วนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จัดอยู่ในระดับร่วนเล็กน้อยถึงร่วนมาก โดยสูตรคุกกี้งาดำมีความร่วนมากที่สุด ซึ่งจากการทดลอง Khunphrarak & Raocharoenporn (2009) ที่ศึกษาการใช้แป้งกล้วยน้ำว่าในการผลิตคุกกี้ผสมงาดำร้อยละ 5 พบว่า สูตรคุกกี้ที่ใช้ แป้งกล้วยทั้งหมดมีเนื้อสัมผัสของคุกกี้ที่แข็งและแตกง่าย

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ปราศจากกลูเตนชนิดต่าง ๆ

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	ชนิดของแป้ง*							
	BTC	BSC	JTC	RBC	SBC	BNC	SRC	PSC
สี	3.68±0.44 ^a	2.18±0.26 ^{bc}	2.77±0.10 ^{abc}	3.01±0.12 ^{ab}	3.12±0.17 ^{ab}	1.91±0.90 ^c	3.57±0.38 ^a	3.05±0.14 ^{ab}
ขนาด ^{ns}	4.13±0.65	3.42±0.31	3.76±0.47	3.50±0.35	2.92±0.17	3.00±0.21	2.87±0.17	3.12±0.17
ความกรอบ	4.05±0.56 ^a	2.60±0.07 ^c	2.58±0.01 ^c	3.18±0.30 ^{bc}	2.97±0.10 ^{bc}	3.68±0.44 ^{ab}	3.27±0.24 ^{abc}	3.76±0.47 ^{ab}
ความแข็ง	3.65±0.42 ^a	1.85±0.42 ^d	2.67±0.03 ^{bc}	2.43±0.05 ^{cd}	3.23±0.22 ^{ab}	3.31±0.26 ^{ab}	2.97±0.10 ^{bc}	3.50±0.35 ^a
ความร่วน	2.81±0.12 ^c	4.66±0.90 ^a	3.57±0.38 ^{abc}	4.10±0.63 ^{ab}	3.08±0.15 ^{bc}	3.00±0.21 ^{bc}	3.31±0.26 ^{bc}	3.33±0.37 ^{bc}
ความเหนียวติดฟัน ^{ns}	2.17±0.24	2.18±0.26	2.33±0.19	2.23±0.26	2.48±0.12	2.26±0.22	2.22±0.24	2.15±0.28
กลิ่น	3.72±0.45 ^a	2.33±0.19 ^c	2.93±0.08 ^b	2.97±0.10 ^b	2.82±0.03 ^{bc}	2.75±0.00 ^{bc}	3.50±0.35 ^a	2.75±0.00 ^{bc}
รสหวาน ^{ns}	2.88±0.05	2.45±0.14	2.6±0.07	2.93±0.08	2.63±0.05	2.82±0.03	2.67±0.03	3.13±0.65
รสขม	2.22±0.31 ^b	3.27±0.24 ^a	2.3±0.21 ^b	2.67±0.03 ^b	2.33±0.19 ^b	2.67±0.03 ^b	2.30±0.28 ^b	3.38±0.30 ^a
ความชอบโดยรวม	6.07±0.24 ^a	4.00±0.24 ^b	4.43±0.61 ^b	4.73±0.47 ^b	4.51±0.58 ^b	5.02±0.24 ^a	5.93±0.08 ^a	4.71±0.65 ^b

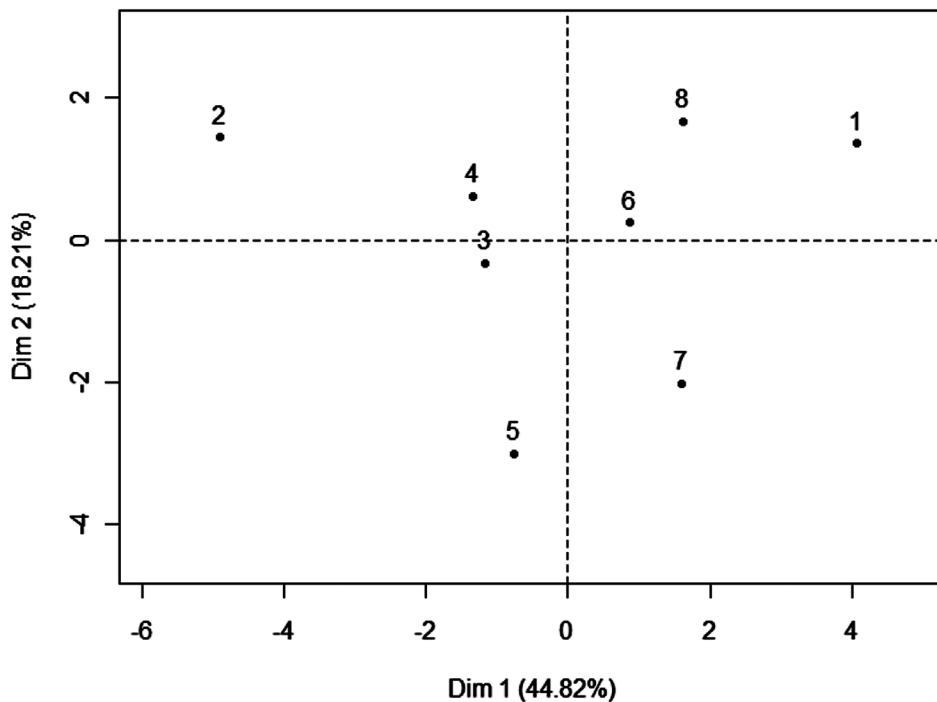
หมายเหตุ: ^{a, b, c, d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$), ^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

* BTC = คุกกี้แป้งสาลี (สูตรควบคุม), BSC = คุกกี้แป้งงาดำ, JTC = คุกกี้แป้งลูกเดี๋ย, RBC = คุกกี้แป้งถั่วแดง, SBC = คุกกี้แป้งถั่วเหลือง, BNC = คุกกี้แป้งกล้วย, SRC = คุกกี้แป้งข้าวสาลี, PSC = คุกกี้แป้งมันต่อเผือก

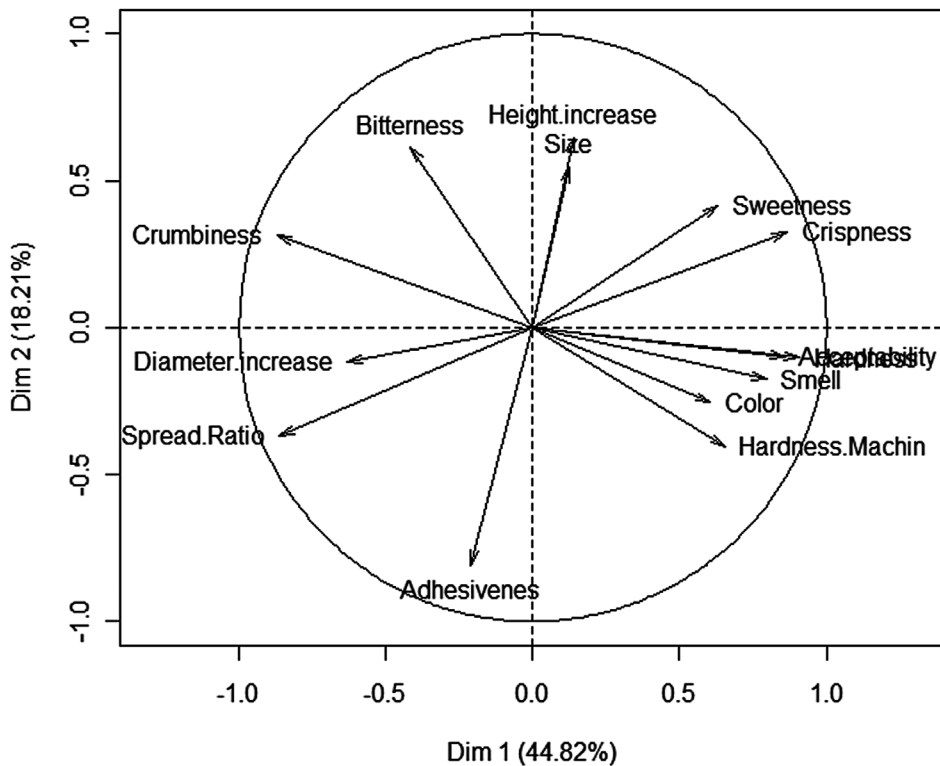
ทางด้านค่ากลิ่น พบว่าผู้ทดสอบ ให้ค่าคะแนนของกลิ่น ในสูตรควบคุมและสูตรคุกกี้ข้าวสาลีอยู่ในระดับดีปานกลางถึงดี และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kadan et al. (2008) ซึ่งรายงานว่า แป้งข้าวจะมีลักษณะเฉพาะ โดยให้กลิ่นรสที่เป็นธรรมชาติ เป็นที่นิยมของบุคคลทั่วไป สำหรับความขม พบว่า คุกกี้งาดำและแป้งมันต่อเผือก มีความขมในระดับขมปานกลางถึงขม ส่วนคุกกี้สูตรอื่น ๆ ไม่มีความขมเลย ในด้านของคะแนนความชอบโดยรวม ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวม ในสูตรคุกกี้แป้งกล้วย คุกกี้แป้งข้าวสาลี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสูตรควบคุม ในขณะที่คุกกี้จากแป้งชนิดอื่น ๆ จะได้คะแนนความชอบจากผู้ทดสอบที่น้อยกว่าตัวอย่าง

ควบคุมที่ทำจากแป้งสาลี อาจเนื่องมาจากการใช้แป้งชนิดอื่นทดแทน หรือแทนที่ในแป้งสาลี จะส่งผลให้คุณภาพ รวมถึงการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ลดลง (Baljeet et al., 2010)

ภาพที่ 2(a) และ 2(b) แสดงถึงตำแหน่งของคุกกี้ปราศจากกลูเตนชนิดต่าง ๆ (score plot) และผลของแป้งปราศจากกลูเตนต่อคุณภาพและผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของคุกกี้ปราศจากกลูเตนชนิดต่าง ๆ (loading plot) พบว่า แผนภาพดังกล่าวสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของคุกกี้ปราศจากกลูเตนชนิดต่าง ๆ ต่อคุณภาพและผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้ด้วยสององค์ประกอบหลัก (PC1 และ PC2) ที่อธิบายผลได้ถึงร้อยละ 63 โดยคุกกี้จากแป้งมันต่อเผือก และแป้งกล้วยมีลักษณะคุณภาพในด้านต่างๆ ใกล้เคียงกับคุกกี้สูตรควบคุมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับคุกกี้สูตรอื่น ๆ คุกกี้จากแป้งมันต่อเผือก แป้งกล้วย แป้งข้าวสาลี มีอัตราการแผ่ตัว ความร่วนน้อย และค่าความแข็ง ความกรอบสูง รวมทั้งมีสีและกลิ่นที่เหมาะสม จึงได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากกว่าคุกกี้จากงาดำ แป้งถั่วแดง แป้งลูกเดือย และแป้งถั่วเหลือง



ภาพที่ 1 (a)



ภาพที่ 1 (b)

ภาพที่ 1(a), 1(b) Principal component analysis: loading plot and score plot of PC1 and PC2 describing the variation among the different properties and overall variation among of gluten-free cookies.

หมายเหตุ: BTC = คูกี้แป้งสาลี (สูตรควบคุม), BSC = คูกี้แป้งงาดำ, JTC = คูกี้แป้งลูกเดี๋ย, RBC = คูกี้แป้งถั่วแดง, SBC = คูกี้แป้งถั่วเหลือง, BNC = คูกี้แป้งกล้วย, SRC = คูกี้แป้งข้าวสาลี, PSC = คูกี้แป้งมันต่อเผือก

สรุป

จากการศึกษาผลของการใช้แป้งปราศจากกลูเตนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ งาดำปน แป้งลูกเดี๋ย แป้งถั่วแดง แป้งถั่วเหลือง แป้งกล้วย แป้งข้าวสาลี และแป้งมันต่อเผือก ต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ของคูกี้ปราศจากกลูเตน พบว่า คูกี้ที่ทำจากแป้งข้าวสาลี และแป้งกล้วย มีคุณภาพและคะแนนการยอมรับจากผู้ทดสอบใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม ดังนั้นสามารถนำไปแป้งดังกล่าวไปพัฒนาหรือดัดแปลงให้เหมาะสมแก่การบริโภคต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- AACC. (2000). American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. (10th ed.). St. Paul, Minnesota.
- Baljeet, S. Y., Ritika, B.Y. & Roshan, L.Y. (2010). Studies on functional properties and incorporation of buckwheat flour for biscuit making. **International Food Research Journal** 17, 1067–1076.
- Gallagher, E., Gormley, R.T. & Arendt, K.E. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. **Trends in Food Science & Technology** 15, 143–152.
- Gallagher E. (2009). **Gluten-Free Food Science and Technology**. 1st ed. Oxford, UK Wiley-Blackwell.
- Kadan, R. S., Bryant, R. J. & Miller, J. A. (2008). Effects of milling on functional properties of rice flour. **Journal of Food Science** 73, E151–E154.
- Khunphrarak, C. & Raocharoenporn, T. (2009). Production of banana flour cookies mixed with black sesame. **Agricultural Science journal**. 40(1), 421-424. (in Thai)
- Kunthon, N. (2007). **Substitution of Wheat flour with banana Saba flour in butter cookies**. Faculty of Science, Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University. Yala. (in Thai)
- Lee, A.R., Ng, D.L., Dave, E., Ciaccio, E.J. & Green, P.H. (2009). “The Effect of Substituting Alternative Grains in the Diet on the Nutritional Profile of the Gluten-free Diet.” **Journal of Human Nutrition and Dietetics**. 22, 359-363.
- Maisont, S. and Khucharoenpaisan, K. (2012) Development of cracker from Hom Mali brown rice and red rice (ankak). **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**. 7(2), 26-40 (in Thai)
- Murray, J. A. (1999). The widening spectrum of celiac disease. **American Journal of Clinical Nutrition** 69, 354–365.
- Preecha, R., Wongpiyachon S. & Kongseree N. (2000). **Product development from wheat-rice composite flour for cake and cookies**. Proceedings of the 30th Rice and Temperate Cereal Crops Annual Conference, Trang Plaza Hotel, Trang. (in Thai)

- Ruangkajhon, P. & Wongtacha, N. (2007). **Use of Job,stear in cookies Production.**
Thesis bachelor of Science Program in Food Technology, Kasetsart University
Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus, Sakon Nakhon. (in Thai)
- Sitachitta, N. (2007). **Chemical, physical and physicochemical properties of 'Kluai Hom
Tong' green banana flour.** Proceedings of 4th Kasetsart University Annual
Conference, Bangkok. (in Thai)
-

การศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง
ของห้องเรียนด้วยหิ้งสะท้อนแสง
กรณีศึกษาอาคารเรียนคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

THE INCREASE ON THE ILLUMINATION OF THE CLASSROOM
WITH LIGHT SHELF : A CASE STUDY OF FACULTY
OF HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES
PHRANAKHON RAJABHAT UNIVERSITY

พรรณวดี โรจนศิริ^{*} นวลวรรณ ทวยเจริญ ศิรเดช สุริต และปารเมศ กำแหงฤทธิ์วงศ์

^{*}สาขานวัตกรรมการอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Panwadee Rojanasiri^{*}, Nuanwan Tuaycharoen, Siradech Surit,
and Parames Kamhangrittirong

^{*}Graduate student in Building Innovation Technology of Architecture Faculty,
Kasetsart University Bangkok, Thailand 10900

^{*}E-mail: panwadee041@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงเพื่อการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ให้กับห้องเรียน อาคารที่นำมาเป็นกรณีศึกษาคืออาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ซึ่งเป็นอาคารที่มีอายุเฉลี่ยที่ 40 - 60 ปี เป็นอาคารที่ควรค่าแก่การอนุรักษ์รูปแบบทางสถาปัตยกรรมดั้งเดิม โดยห้องเรียนที่ใช้เป็นกรณีศึกษา มีขนาด 8.00 x 9.00 เมตร ความสูง 3.50 เมตร มีหน้าต่างอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีการศึกษาหิ้งสะท้อนแสงทั้งสิ้น 16 รูปแบบ โดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIALux 4.13 โดยจำลองผลค่าความส่องสว่างซึ่งห้องเรียนมีเกณฑ์มาตรฐานที่ 500 lux ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบของหิ้งแสงที่ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ที่

ดีที่สุดคือแบบหึ่งสะท้อนแสงรูปแบบที่ (G)-9 (หึ่งสะท้อนแสงด้านนอกมุมเอียงที่ 30° และไม่มีหึ่งแสงด้านใน) โดยมีการใช้พลังงานแสงประดิษฐ์เพื่อเพิ่มแสงสว่างเพียง 130.30 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี และมีค่าไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ 686.37 บาท และค่าไฟฟ้าที่ลดลงจากรูปแบบดั้งเดิมของอาคาร 75.87%

คำสำคัญ : ห้องเรียน แสงธรรมชาติ หึ่งสะท้อนแสง การประหยัดพลังงาน

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the effect of the characteristics of light shelf on the reduction of the energy utilization of artificial light in the classroom. Faculty of Humanities and Social Sciences Phranakhon Rajabhat University was used as a case study. The building was ages between 40-60 years and it is worth preserving traditional architectural styles. The study investigated a 8.00x9.00x3.50 m classroom with an opening on south-east side. A total of 16 light shelves were studied in terms of amount of daylight by using computer simulation DIALux 4.13. The recommended illuminance level for the classroom used in this study is 500 lux. The result shown that the best solution of light shelf for the reduction of artificial lighting energy consumption was option (G)-9 (a glass window with exterior member of 30° inclined from horizontal and without inside member). This option can create only energy consumption of artificial lighting 130.30 kilo-watt hour per year and electricity cost of 686.37 baths as well as energy reduction from the original building up to 75.87%.

Keywords : Classroom, Daylight, Light shelf, Energy conservation

บทนำ

อาคารที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครเป็นอาคารที่มีอายุการใช้งานที่ 40 - 60 ปี มีทั้งสิ้น 16 อาคาร มีเอกลักษณ์และความงามทางสถาปัตยกรรม ดั้งเดิมอาคารมีการใช้งานในช่วงเวลา 08.00-16.00 น. มีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารน้อยมาก เนื่องจากการใช้งานห้องเรียนที่ต้องเปิดเครื่องปรับอากาศตลอดวัน และหน้าต่างของอาคารเป็นบานไม้ทึบที่แสงไม่สามารถส่องผ่านได้ จึงต้องพึ่งพาแสงประดิษฐ์ตลอดทั้งวัน กลายเป็นการสูญเสียทรัพยากรและการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างสิ้นเปลือง การนำหึ่งสะท้อนแสงมาประยุกต์กับช่องแสงเดิมที่มีอยู่ของห้องเรียน จะเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาอย่างหนึ่ง ที่สามารถนำ

แสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารและลดความร้อนของแสงโดยยังคงรูปแบบดั้งเดิมของอาคารที่มีคุณค่าของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครต่อไป

หิ้งสะท้อนแสง (Light shelf) เป็นสิ่งที่จะสะท้อนแสงไปยังฝ้าเพดาน และสะท้อนจากฝ้าเพดานไปยังด้านในของห้อง ทำให้พื้นที่ของห้องด้านในจะมีแสงสว่างสูงขึ้นอีกเล็กน้อย ในขณะที่ดวงกันแสงบริเวณช่องเปิดก็จะลดลงเล็กน้อยเช่นกัน รวมถึงเป็นการลดความร้อนที่มาพร้อมกับแสงสว่างจากการสะท้อนผ่านฝ้าเพดานเช่นกัน หิ้งสะท้อนแสงจึงเป็นเครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่ช่วยในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารที่มีความเหมาะสมกับสภาพอากาศประเทศไทยอีกด้วย (Kanchan, 2016)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงเพื่อการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ให้กับห้องเรียนในอาคารดังกล่าว โดยยังคงรูปแบบที่ใกล้เคียงกับรูปแบบเดิมของอาคารเพื่อการอนุรักษ์สถาปัตยกรรมดั้งเดิม โดยรูปแบบของบานหน้าต่างมี 3 รูปแบบ คือ หน้าต่างบานไม้ปิดทึบเป็นรูปแบบดั้งเดิมของหน้าต่างที่ใช้งานในปัจจุบัน หน้าต่างบานไม้เปิดกว้าง และหน้าต่างบานกระฉก เพื่อนำผลจากการทดลองไปปรับใช้กับอาคารอื่น ๆ ที่มีรูปแบบคล้ายกันต่อไป

บททวนวรรณกรรม

การออกแบบอาคารเพื่อการใช้งานแสงสว่างธรรมชาติ (Building Design for daylight use)

แสงธรรมชาติเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดและมีอย่างไม่จำกัด ในปัจจุบันได้มีการพยายามนำพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้ทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการประหยัดพลังงาน (สำนักบริการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551) เราสามารถประเมินประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติต่อการใช้งานภายในห้องเรียนกรณีศึกษาคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร จากตัวแปร 2 ค่าคือ ค่าความส่องสว่างของแสง (Illuminance, E) คือปริมาณแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวต่อพื้นที่ 1 ตารางหน่วย เพื่อบอกว่าพื้นที่นั้น ๆ ได้รับแสงสว่างมากน้อยเพียงใด มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อตารางเมตร หรือลักซ์ (Lux, lx) ค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่สามารถดูคำแนะนำได้จากมาตรฐานการส่องสว่างของ IESNA มาตรฐานค่าความส่องสว่าง (Illuminance) ของห้องเรียนอยู่ที่ 300-500 lx และค่าความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity, U) คือ ค่าความสม่ำเสมอของแสงที่ส่งผลต่อการมองเห็นและความสบายตาในการมอง (Pattananurot, 2014)

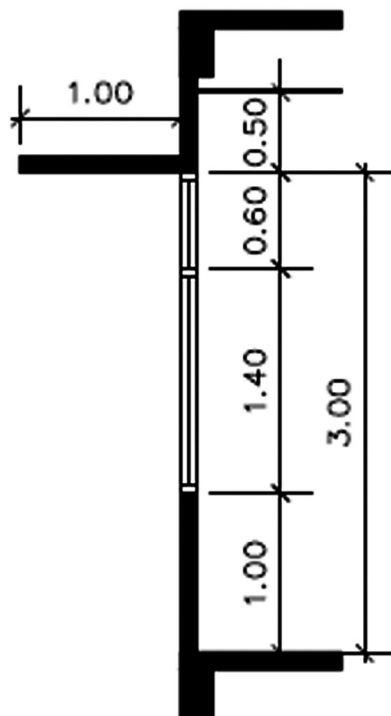
วิธีการ

อาคารกรณีศึกษาของงานวิจัยคืออาคารเรียน 2 ชั้น คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เป็นอาคารที่ยังคงอยู่ในสภาพดีรวมถึงมีการ

ใช้งานตลอดวันในช่วงเวลา 08.00 -16.00 น. มีขนาดห้อง 8.00 x 9.00 เมตร ความสูง 3.50 เมตร มีหน้าต่างอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ พื้นที่ใช้งานหรือความสูงอาคารเรียน (Working Plane) สูงจากพื้น 0.75 เมตร โดยตำแหน่งกระดานอยู่ในทิศตั้งฉากกับช่องเปิด มีผนังและพื้นคอนกรีตสีขาวที่มีค่าการสะท้อนแสง 27% และ 50% (ภาพที่ 1 และ 2)



รูปที่ 1 อาคารเรียน 2 ชั้น คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร



รูปที่ 2 ขนาดของช่องเปิดเดิมของอาคาร

ขั้นตอนการทดลอง

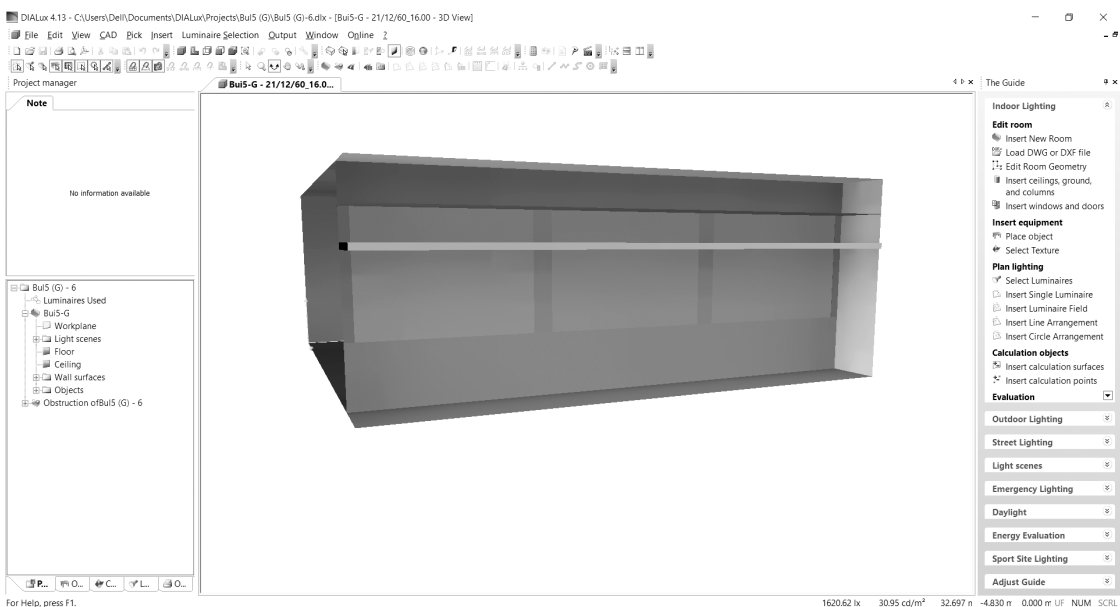
1. วัสดุอุปกรณ์ (materials) โดยการจำลองห้องเรียนด้วยโปรแกรม DIALux 4.13 เพื่อศึกษาผลของค่าความส่องสว่าง (Illuminance)

2. วิธีการ (methods)

ขั้นตอนที่ 1: เตรียมข้อมูลพื้นฐานของอาคารกรณีศึกษา และบทพจนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารเรียน

ขั้นตอนที่ 2 : พิจารณาตัวแปรองศาต่าง ๆ ของหึ่งแสงที่มีผลกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องเรียนซึ่งต้องคำนึงในเรื่องของการอนุรักษ์รูปแบบทางสถาปัตยกรรมของอาคาร (Pattananurot, 2014) โดยมีตัวแปรต้นและตัวแปรตามดังนี้

ตัวแปรต้น : 1) มุมองศาขึ้นส่วนหึ่งแสงภายนอกประกอบด้วย 0° 30° และ 60° และมุมองศาขึ้นส่วนหึ่งแสงภายในประกอบด้วย 0° 30° และ 60° และ 3) รูปแบบบานหน้าต่างอีก 3 รูปแบบ คือ หน้าต่างบานไม้ปิดทึบเป็นแบบดั้งเดิมของอาคาร หน้าต่างบานไม้เปิดกว้าง และ หน้าต่างบานกระจก (Kittilukkana, 2016) (ตารางที่ 1, รูปที่ 3-5)



รูปที่ 3 ตัวอย่างการจำลองห้องเรียนด้วยโปรแกรม DIALux 4.13

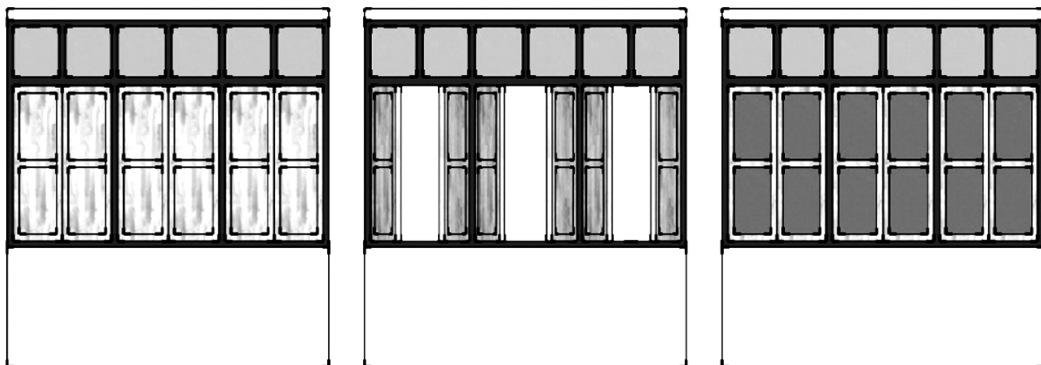
ตารางที่ 1 รูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง (Light shelf) และบานเปิดที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	รูปแบบ			องศาของหิ้งสะท้อนแสง	
	บานปิดไม้	บานเปิดไม้	บานปิดกระจก	ภายนอก	ภายใน
1	(W-C)-1 ^{1/}	(W-O)-1 ^{2/}	(G)-1 ^{3/}	-	-
2	(W-C)-2	(W-O)-2	(G)-2	-	0°
3	(W-C)-3	(W-O)-3	(G)-3	-	30°
4	(W-C)-4	(W-O)-4	(G)-4	-	60°
5	(W-C)-5	(W-O)-5	(G)-5	0°	-
6	(W-C)-6	(W-O)-6	(G)-6	0°	0°
7	(W-C)-7	(W-O)-7	(G)-7	0°	30°
8	(W-C)-8	(W-O)-8	(G)-8	0°	60°
9	(W-C)-9	(W-O)-9	(G)-9	30°	-
10	(W-C)-10	(W-O)-10	(G)-10	30°	0°
11	(W-C)-11	(W-O)-11	(G)-11	30°	30°
12	(W-C)-12	(W-O)-12	(G)-12	30°	60°
13	(W-C)-13	(W-O)-13	(G)-13	60°	-
14	(W-C)-14	(W-O)-14	(G)-14	60°	0°
15	(W-C)-15	(W-O)-15	(G)-15	60°	30°
16	(W-C)-16	(W-O)-16	(G)-19	60°	60°

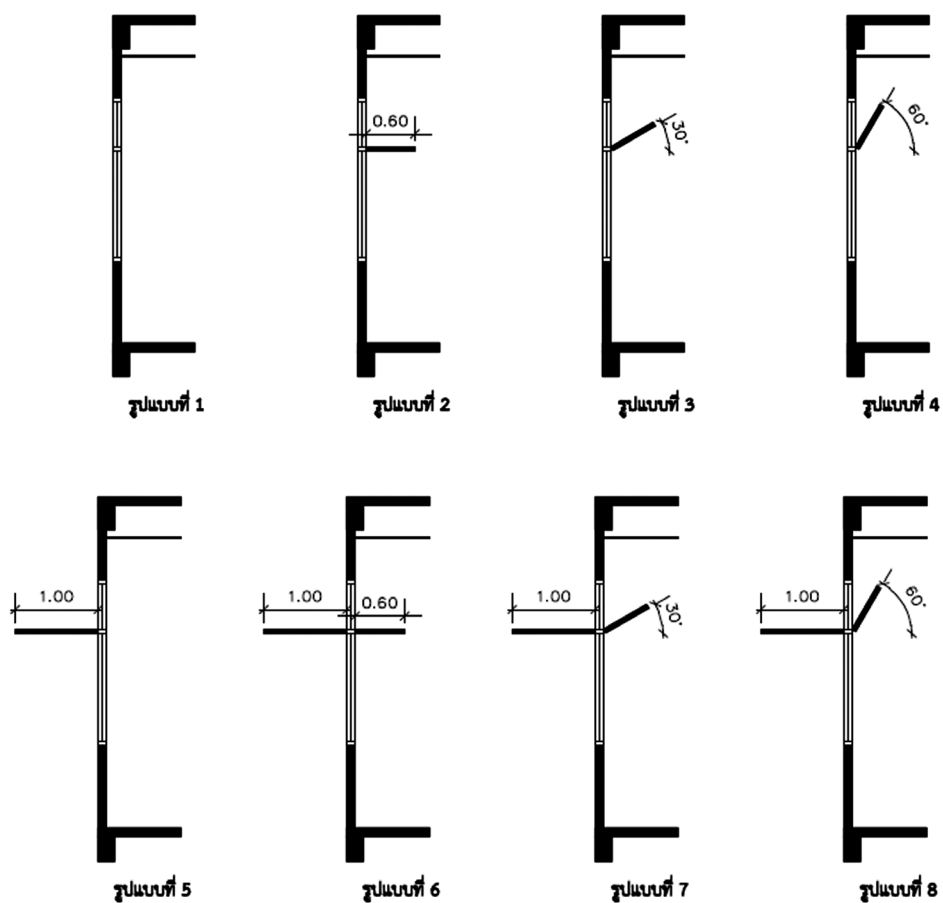
^{1/} (W-C) = หน้าต่างบานปิดไม้

^{2/} (W-O) = หน้าต่างบานเปิดไม้

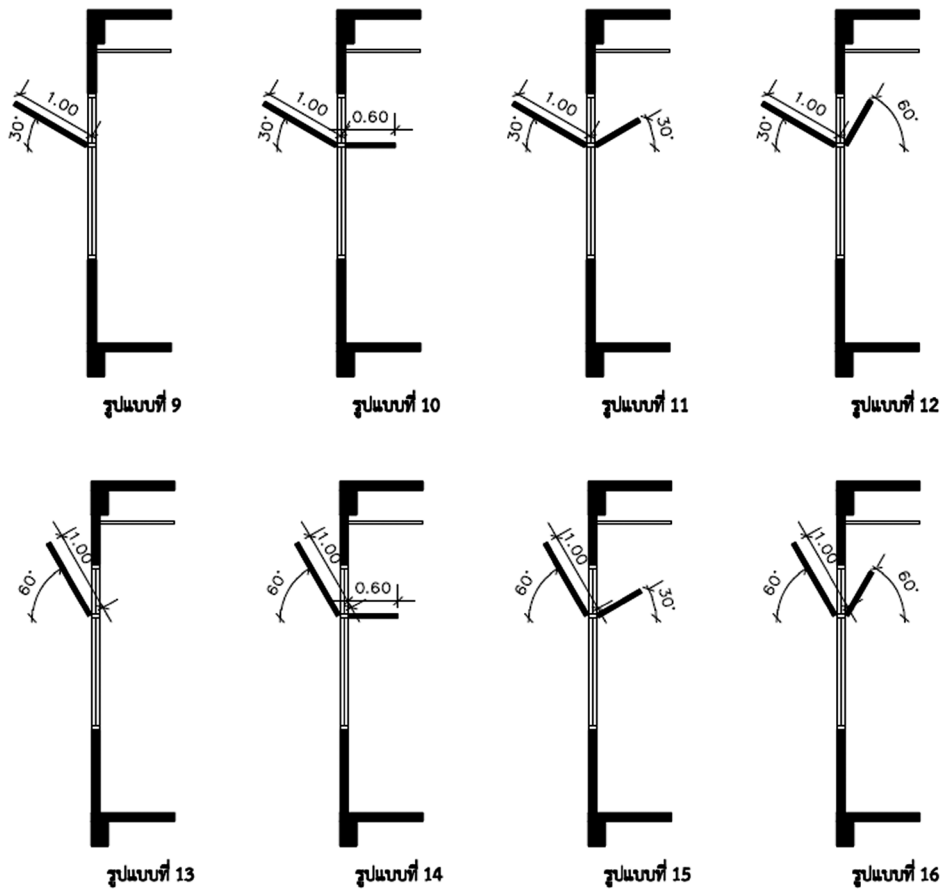
^{3/} (G) = หน้าต่างบานกระจก



รูปที่ 4 ชนิดของหน้าต่าง 3 แบบ คือ บานปิดไม้ บานเปิดไม้
และบานกระจกตามลำดับ



รูปที่ 5 องค์าและขนาดของหิ้งสะท้อนแสงที่ใช้ในการจำลอง



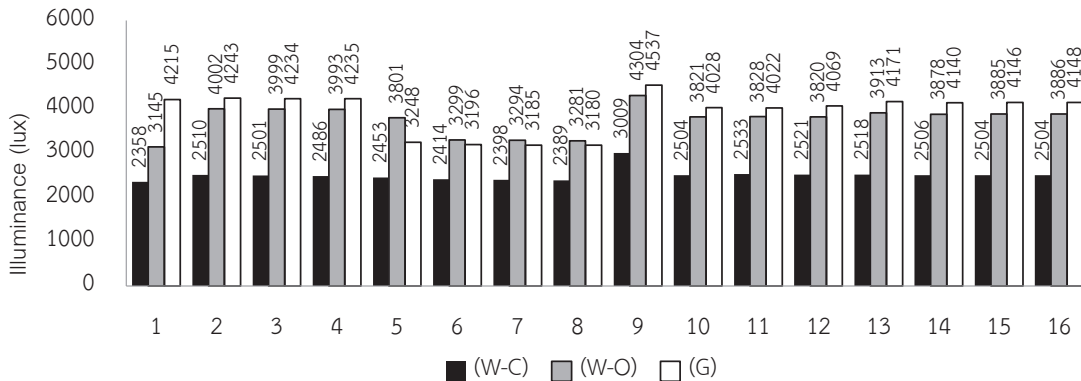
รูปที่ 5 องศาและขนาดของหิ้งสะท้อนแสงที่ใช้ในการจำลอง (ต่อ)

ตัวแปรตาม : การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โปรแกรม DIALux 4.13 โดยหาค่าความส่องสว่าง (Illuminance) โดยใช้ค่ามาตรฐานของห้องเรียนที่ 500 lux โดยกำหนดพื้นที่ทำการศึกษา (Working Plan) จากพื้นถึงโต๊ะเรียน 0.75 เมตร จำลอง ณ วันที่ 21 มิถุนายน 2560 (Summer) เวลาที่ใช้งานห้องเรียนทุกๆ 2 ชั่วโมง 8.00 น. 10.00 น. 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น.

ขั้นตอนที่ 3 : สรุปผลจากการจำลองเพื่อสรุปรูปแบบของหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุด และหาค่าพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างต่อปีที่ใช้เมื่อแสงธรรมชาติไม่เพียงพอในห้องเรียนอาคาร คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

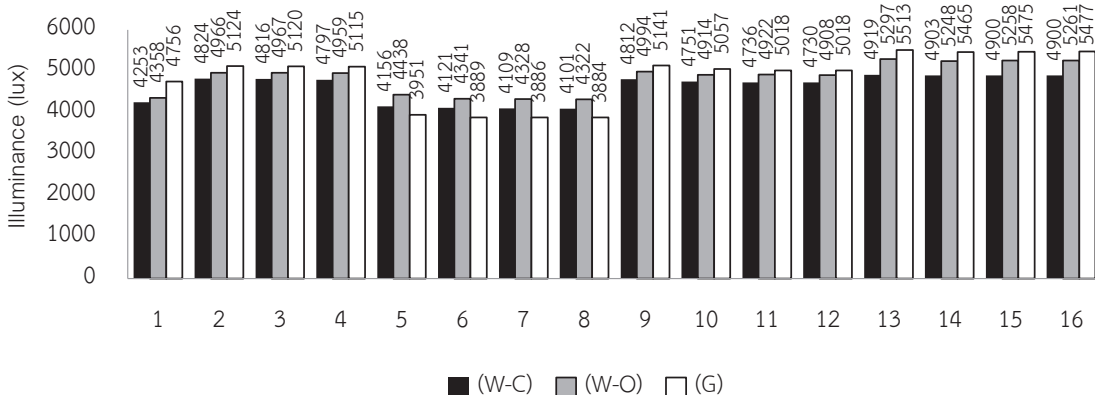
ผลการทดลอง

ผลการศึกษาวิจัยห้องเรียนของอาคารเรียนคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ด้วยโปรแกรม DIALux 4.13 จำลอง ณ วันที่ 21 มิถุนายน 2560 (Summer)



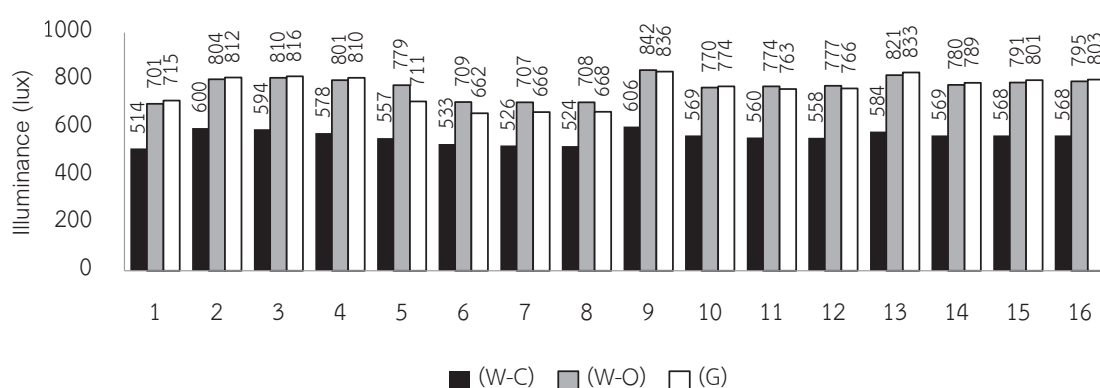
รูปที่ 6 แสดงผลการค่าความส่องสว่าง เวลา 8.00 น.

จากรูปที่ 6 แสดงค่าความส่องสว่าง เวลา 8.00 น. (lux) ของหน้าต่างบานไม้ปิด (W-C), บานไม้เปิด (W-O), บานกระจก (G) และหึ่งสะท้อนแสง 16 รูปแบบ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหึ่งสะท้อนแสงรูปแบบที่ 9 (หึ่งสะท้อนแสงด้านนอกมุมเอียงที่ 30° และไม่มีหึ่งแสงด้านใน) ของหน้าต่างกระจก (G) ก่อให้เกิดค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสูงที่สุด (4,537 lux) และผลค่าส่องสว่างต่ำที่สุด (2,358 lux) คือ หึ่งสะท้อนแสงรูปแบบที่ 6 รูปแบบเดิมของหน้าต่าง (ไม่มีหึ่งแสงทั้งด้านนอกและด้านใน) ของหน้าต่างบานไม้ปิด (W-C)



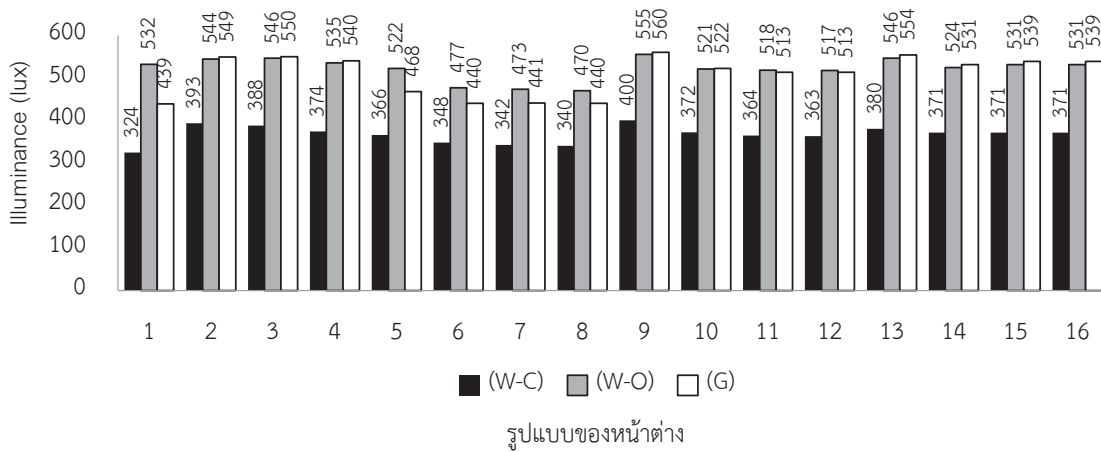
รูปที่ 7 แสดงผลการค่าความส่องสว่าง เวลา 10.00 น.

จากรูปที่ 7 แสดงค่าความส่องสว่าง เวลา 10.00 น. (lux) ของหน้าต่างบานไม้ปิด (W-C), บานไม้เปิด (W-O), บานกระจก (G) และหิ้งสะท้อนแสง 16 รูปแบบ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบที่ 6 (หิ้งสะท้อนแสงด้านนอกและในมุมเอียงที่ 60°) ของหน้าต่างกระจก (G) ก่อให้เกิดค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสูงสุด (5,477 lux) และผลค่าส่องสว่างต่ำที่สุด (3,884 lux) คือหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบที่ 7 (หิ้งสะท้อนแสงด้านนอกมุมเอียงที่ 0° และหิ้งสะท้อนแสงด้านในมุมเอียงที่ 60°) ของหน้าต่างบานไม้ปิด (W-C)



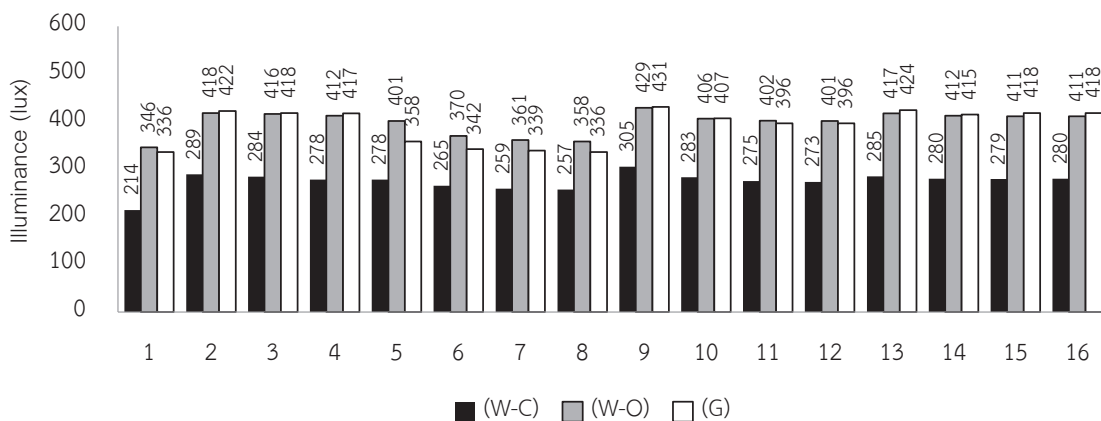
รูปที่ 8 แสดงผลการค่าความส่องสว่าง เวลา 12.00 น.

จากรูปที่ 8 แสดงค่าความส่องสว่าง เวลา 12.00 น. (lux) ของหน้าต่างบานไม้ปิด (W-C), บานไม้เปิด (W-O), บานกระจก (G) และหิ้งสะท้อนแสง 16 รูปแบบ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบที่ 9 (หิ้งสะท้อนแสงด้านนอกมุมเอียงที่ 60° และไม่มีหิ้งแสงด้านใน) ของหน้าต่างบานไม้เปิด (W-O) ก่อให้เกิดค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสูงสุด (842 lux) และผลค่าส่องสว่างต่ำที่สุด (514 lux) คือหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบที่ 8 รูปแบบเดิมของหน้าต่าง (ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงทั้งด้านนอกและด้านใน) ของหน้าต่างบานไม้ปิด (W-C)



รูปที่ 9 แสดงผลการค่าความส่องสว่าง เวลา 14.00 น.

จากรูปที่ 9 แสดงค่าความส่องสว่าง เวลา 14.00 น. (lux) ของหน้าต่างบานไม้ปิด (W-C), บานไม้เปิด (W-O), บานกระจก (G) และหึ่งสะท้อนแสง 16 รูปแบบ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหึ่งสะท้อนแสงรูปแบบที่ 9 (หึ่งสะท้อนแสงด้านนอกมุมเอียงที่ 60° และไม่มีหึ่งแสงด้านใน) ของหน้าต่างบานไม้เปิด (W-O) ก่อให้เกิดค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสูงที่สุด (555 lux) และผลค่าส่องสว่างต่ำที่สุด (324 lux) คือหึ่งสะท้อนแสงรูปแบบที่ 9 รูปแบบเดิมของหน้าต่าง (ไม่มีหึ่งสะท้อนแสงทั้งด้านนอกและด้านใน) ของหน้าต่างบานไม้ปิด (W-C)



รูปที่ 10 แสดงผลการค่าความส่องสว่าง เวลา 16.00 น.

จากรูปที่ 10 แสดงค่าความส่องสว่าง เวลา 16.00 น. (lux) ของหน้าต่างบานไม้ปิด (W-C), บานไม้เปิด (W-O), บานกระจก (G) และหิ้งสะท้อนแสง 16 รูปแบบ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบที่ 9 (หิ้งสะท้อนแสงด้านนอกมุมเอียงที่ 60° และไม่มีหิ้งแสงด้านใน) ของหน้าต่างบานไม้ปิด (W-C) ก่อให้เกิดค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสูงที่สุด (429 lux) และผลค่าส่องสว่างต่ำที่สุด (214 lux) คือหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบที่ 10 รูปแบบเดิมของหน้าต่าง (ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงทั้งด้านนอกและด้านใน) ของหน้าต่างบานไม้ปิด (W-C)

สรุปและวิจารณ์ผล

สรุปผลจากแผนภูมิที่ 1-5 พบว่า ค่าพลังงานในช่วงเวลาที่ 8.00-12.00 น. ของวันที่ 21 มิถุนายน 2560 มีค่าความส่องสว่างเกินมาตรฐานที่ 500 lux ทั้งหมด โดยหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบที่ 9 (หิ้งสะท้อนแสงด้านนอกมุมเอียงที่ 60° และไม่มีหิ้งแสงด้านใน) ของหน้าต่างบานไม้เปิด (W-O) ก่อให้เกิดค่าความส่องสว่างเฉลี่ยสูงที่สุด (842 lux) และผลค่าส่องสว่างต่ำที่สุด (214 lux) คือหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบที่ 1 รูปแบบเดิมของหน้าต่าง (ไม่มีหิ้งสะท้อนแสงทั้งด้านนอกและด้านใน) ของหน้าต่างบานไม้ปิด (W-C) อย่างไรก็ตามในช่วงเวลาที่ 14.00-16.00 น. มีค่าไม่ได้มาตรฐานการส่องสว่างแทบทั้งสิ้นดังตารางที่ 1 นอกจากนี้จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่ารูปแบบของหิ้งแสงที่ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ที่ดีที่สุดคือแบบหิ้งสะท้อนแสงรูปแบบที่ (G)-9 (หิ้งสะท้อนแสงด้านนอกมุมเอียงที่ 30° และไม่มีหิ้งแสงด้านใน) โดยมีการใช้พลังงานแสงประดิษฐ์เพื่อเพิ่มแสงสว่างเพียง 130.30 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี และมีค่าไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ 686.37 บาท และค่าไฟฟ้าที่ลดลงจากรูปแบบดั้งเดิมของอาคาร 75.87%

ตารางที่ 2 สรุปค่าพลังงานที่ขาดของรูปแบบทั้งหมดเวลา 8.00-16.00 น. (lux)

รูปแบบ	21/06/60 Summer (lux)					พลังงาน ที่ขาดสูงสุด (lux)
	8.00 am.	10.00 am.	12.00 am.	14.00 am.	16.00 am.	
(W-C)-1 Base case	✓	✓	✓	324	214	286
(W-C)-2	✓	✓	✓	393	289	211
(W-C)-3	✓	✓	✓	388	284	216
(W-C)-4	✓	✓	✓	374	278	222
(W-C)-5	✓	✓	✓	366	278	222
(W-C)-6	✓	✓	✓	348	265	235
(W-C)-7	✓	✓	✓	342	259	241
(W-C)-8	✓	✓	✓	340	257	243
(W-C)-9	✓	✓	✓	400	305	195
(W-C)-10	✓	✓	✓	372	283	217
(W-C)-11	✓	✓	✓	364	275	225
(W-C)-12	✓	✓	✓	363	273	227
(W-C)-13	✓	✓	✓	380	285	215
(W-C)-14	✓	✓	✓	371	280	220
(W-C)-15	✓	✓	✓	371	279	221
(W-C)-16	✓	✓	✓	371	280	220
(W-O)-1	✓	✓	✓	✓	346	154
(W-O)-2	✓	✓	✓	✓	418	82
(W-O)-3	✓	✓	✓	✓	416	84
(W-O)-4	✓	✓	✓	✓	412	88
(W-O)-5	✓	✓	✓	✓	401	99
(W-O)-6	✓	✓	✓	477	370	130
(W-O)-7	✓	✓	✓	473	361	(W-O)-7
(W-O)-8	✓	✓	✓	470	358	(W-O)-8
(W-O)-9	✓	✓	✓	✓	429	(W-O)-9
(W-O)-10	✓	✓	✓	✓	406	94

✓ หมายถึงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเกินค่ามาตรฐาน 500 lux

ตารางที่ 2 สรุปค่าพลังงานที่ขาดของรูปแบบทั้งหมดเวลา 8.00-16.00 น. (lux) (ต่อ)

รูปแบบ	21/06/60 Summer (lux)					พลังงาน ที่ขาดสูงสุด (lux)
	8.00 am.	10.00 am.	12.00 am.	14.00 am.	16.00 am.	
(W-O)-11	✓	✓	✓	✓	402	98
(W-O)-12	✓	✓	✓	✓	401	99
(W-O)-13	✓	✓	✓	✓	417	83
(W-O)-14	✓	✓	✓	✓	412	88
(W-O)-15	✓	✓	✓	✓	411	89
(W-O)-16	✓	✓	✓	✓	411	89
(G)-1	✓	✓	✓	439	336	164
(G)-2	✓	✓	✓	✓	422	78
(G)-3	✓	✓	✓	✓	418	82
(G)-4	✓	✓	✓	✓	417	83
(G)-5	✓	✓	✓	468	358	142
(G)-6	✓	✓	✓	440	342	158
(G)-7	✓	✓	✓	441	339	161
(G)-8	✓	✓	✓	440	336	164
(G)-9	✓	✓	✓	✓	431	69
(G)-10	✓	✓	✓	✓	407	93
(G)-11	✓	✓	✓	✓	396	104
(G)-12	✓	✓	✓	✓	396	104
(G)-13	✓	✓	✓	✓	424	76
(G)-14	✓	✓	✓	✓	415	85
(G)-15	✓	✓	✓	✓	418	82
(G)-16	✓	✓	✓	✓	418	82

✓ หมายถึงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเกินค่ามาตรฐาน 500 lux

ตารางที่ 3 พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี) และค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ (บาท) และค่าไฟฟ้าที่ลดลง เมื่อเทียบกับรูปแบบดั้งเดิม (เปอร์เซ็นต์)

รูปแบบ	พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	ค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง เมื่อเทียบกับรูปแบบ ดั้งเดิม (เปอร์เซ็นต์)
(W-C)-1 Base case	540.10	2844.94	
(W-C)-2	398.47	2098.89	26.22
(W-C)-3	407.91	2148.63	24.48
(W-C)-4	419.24	2208.31	22.38
(W-C)-5	419.24	2208.31	22.38
(W-C)-6	443.79	2337.63	17.83
(W-C)-7	455.12	2397.31	15.73
(W-C)-8	458.90	2417.21	15.03
(W-C)-9	368.25	1939.73	31.82
(W-C)-10	409.80	2158.57	24.13
(W-C)-11	424.91	2238.15	21.33
(W-C)-12	428.68	2258.05	20.63
(W-C)-13	406.02	2138.68	24.83
(W-C)-14	415.46	2188.42	23.08
(W-C)-15	417.35	2198.36	22.73
(W-C)-16	415.46	2188.42	23.08
(W-O)-1	290.82	1531.89	46.15
(W-O)-2	154.85	815.68	71.33
(W-O)-3	158.63	835.58	70.63
(W-O)-4	166.19	875.37	69.23
(W-O)-5	186.96	984.79	65.38
(W-O)-6	245.50	1293.15	54.55
(W-O)-7	262.50	1382.68	51.40
(W-O)-8	268.16	1412.52	50.35
(W-O)-9	134.08	706.26	48.92

ตารางที่ 3 พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี) และค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ (บาท) และค่าไฟฟ้าที่ลดลง เมื่อเทียบกับรูปแบบดั้งเดิม (เปอร์เซ็นต์) (ต่อ)

รูปแบบ	พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	ค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง เมื่อเทียบกับรูปแบบ ดั้งเดิม (เปอร์เซ็นต์)
(W-O)-10	177.52	935.05	67.13
(W-O)-11	185.07	974.84	65.73
(W-O)-12	186.96	984.79	65.38
(W-O)-13	156.74	825.63	70.98
(W-O)-14	166.19	875.37	69.23
(W-O)-15	168.07	885.31	68.88
(W-O)-16	168.07	885.31	68.88
(G)-1	309.71	1631.36	42.66
(G)-2	147.30	775.89	72.73
(G)-3	154.85	815.68	71.33
(G)-4	156.74	825.63	70.98
(G)-5	268.16	1412.52	50.35
(G)-6	298.38	1571.68	44.76
(G)-7	304.04	1601.52	43.71
(G)-8	309.71	1631.36	42.66
(G)-9	130.30	686.37	75.87
(G)-10	175.63	925.10	67.48
(G)-11	196.40	1034.52	63.64
(G)-12	196.40	1034.52	63.64
(G)-13	143.52	756.00	73.43
(G)-14	160.52	845.52	70.28
(G)-15	154.85	815.68	71.33
(G)-16	154.85	815.68	71.33



รูปที่ 11 ตัวอย่างการจำลองการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงในอาคาร

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาที่ใช้ทำการวิจัยจึงมีการเก็บข้อมูลในช่วง 08.00 - 16.00 น. ในสภาพท้องฟ้าแบบโปร่ง (Clear Sky) เท่านั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาอื่น และท้องฟ้ารูปแบบอื่น อาทิ สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน (Partly cloudy) หรือ สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก (Overcast Sky) เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.นวลวรรณ ทวยเจริญ ดร.ศิริเดช สุรित และ ดร.ปารเมศ กำแหงฤทธิ์วงศ์ ผู้ให้คำปรึกษาต่าง ๆ และแบ่งปันประสบการณ์ความรู้ตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ และขอขอบพระคุณครอบครัว สมาชิก MBIT ทุกคนรวมถึงผู้เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Pattananurot, P. (2014). Journal of Mekong Societies. **The Conservation of Vernacular Buildings in the Old Town District of Sakon Nakhon.** 10(2), 181-196. (in Thai)
- Kittilukkana, P. (2016). **The Development of Flat Mirror System to Increase Efficiency for the use of Daylight in a University Classroom.** Master of Building Innovation & Technology (MBIT). Faculty of Architecture, Kasetsart University. (in Thai)
- Kanchan, R. (2016). **International Conference on Research and Design in Architecture and Related Fields.** The Development of Curve Light Shelf for Classroom in Kindergarten. F-1-F10. (in Thai)

.....

การพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โดยใช้พื้นที่สาธารณะ
และการใช้ทรัพยากรอาคารอย่างยั่งยืน

HOLISTIC COMMUNITY DEVELOPMENT PROJECT USING
OF PUBLIC SPACE AND USING
OF SUSTAINABILITY BUILDING RESOURCES

พัทธรา สืบศิริ¹ มณฑล จันทร์แจ่มใส¹ อธิยานันท์ จิตรโรจนรักษ์¹ ปัญญา บุรณสิงห์¹
ศศิธร คนทน² อีสรี ศรีคุณ³ และ จุฬาลักษณ์ ชาญกุล⁴

¹สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

²สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

³สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

⁴สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

Pattra Suebsiri¹, Monton Janjamsai¹, Attayanan Jitrojanaruk¹ Buncha Booranasing¹
Sasithorn Khonthon² Isaree Srikun³ and Chulalak Changul⁴

¹Department of Architecture, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220

²Department of Ceramics Technology, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University,
Bangkok, 10220

³Department of Electrical Technology, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University,
Bangkok, 10220

⁴Department of Building Technology, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University,
Bangkok, 10220

*E-mail: psuebsiri@gmail.com, pattra@pnru.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โดยใช้พื้นที่สาธารณะ และการใช้
ทรัพยากรอาคารอย่างยั่งยืน เป็นแผนงานวิจัยประกอบด้วย 4 โครงการวิจัย คือ โครงการที่ 1
การออกแบบการใช้พื้นที่สาธารณะอย่างยั่งยืนเพื่อการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โครงการที่ 2
การออกแบบอุปกรณ์อาคาร โดยใช้เทคโนโลยีเซรามิกส์ เพื่อพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โครงการ

ที่ 3 รูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืน และ โครงการที่ 4 การออกแบบรูปแบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืน ทั้ง 4 โครงการนี้จัดทำเพื่อการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวมโดยเลือกศึกษาอาคารนำร่องของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มีวัตถุประสงค์ ดังนี้ 1) เพื่อศึกษาแบบแผนกระบวนการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดมาก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ 2) เพื่อศึกษารูปแบบความร่วมมือจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และบทบาทของชุมชนผู้มีส่วนร่วม 3) เพื่อศึกษาแบบแผนแนวปฏิบัติ การออกแบบพื้นที่สาธารณะ การออกแบบอุปกรณ์ประกอบอาคารและ การจัดการการทรัพยากรอาคารเพื่อความยั่งยืนขององค์กร ผลการวิจัยพบว่า แบบแผนกระบวนการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวมมีความสำคัญที่ต้องบูรณาการศาสตร์ระหว่าง สถาปัตยกรรม เทคโนโลยีเซรามิกส์ เทคโนโลยีไฟฟ้า และเทคโนโลยีอาคารสามารถบูรณาการออกแบบการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดมาก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ โดยรูปแบบความร่วมมือที่เกี่ยวข้องระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องคณาจารย์ บุคลากร นักศึกษา ในฐานะชุมชนเจ้าของพื้นที่เป็นสิ่งจำเป็น

คำสำคัญ: การพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม พื้นที่สาธารณะ ทรัพยากรอาคาร

ABSTRACT

Holistic community development project using of public space and using of sustainability building resources is a research program which consists of 4 research projects; Project 1: The design of sustainable public space for community development holistically Project 2: The design of building components by technology of ceramics for community development holistically Project 3: Electricity sustainable energy management model for community development holistically and Project 4: The design of water sustainable management model holistically. The research program picks up the building of Faculty of Industrial Technology to be a pilot project. The purpose of the study as follows; 1) to study the holistic community development process by using limited resources which has the potential to be effective 2) to study human behavior in the use of the public space both inside and outside the building with the potential in the development of public space for the benefit of worthwhile 2) to study the cooperation of relevant agencies and the role of community participants between faculty of the industrial technology, Phranakhon Rajabhat University and other organizations 3) to study the pattern of holistic practice in the design of the use of public areas and to study the benefits, problems, obstacles and suggestions in

implementing the pattern practice benefit integration. The results found that The holistic community development process model is important to integrate with architecture, ceramics technology, electrical technology and building technology in order to design of limited resources, effective use can be achieved. The collaborative model among relevant agencies, faculty, staff, and students as community owners is essential.

Keywords: public space, holistic development, building resources

บทนำ

จากการประชุมคณะกรรมการธิการแห่งโลกด้านสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา (World Commission on Environment and Development) การพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable development) เป็นแนวคิดที่ได้รับการยอมรับจากทุกภาคส่วนในการนำมาใช้แก้ปัญหาอย่างยั่งยืน โดยเป็นการพัฒนาที่ตอบสนองความต้องการของมนุษย์ยุคปัจจุบัน และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบเสียหายต่อการพัฒนาของมนุษย์รุ่นต่อไปในอนาคต (WCED, 1987) โดยมีหลักการตามแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน ที่ให้ความสำคัญในการสร้างสมดุล 3 มิติ คือ 1) มิติด้านสังคม เป็นมิติที่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น มีการศึกษาการเรียนรู้ที่ดี มีความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินเป็นอย่างสูง 2) มิติด้านเศรษฐกิจ เป็นมิติที่ให้ความสำคัญกับระบบเศรษฐกิจที่มีเสถียรภาพอย่างต่อเนื่อง มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างมีคุณภาพ มีความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่มาจากกระบวนการผลิตเป็นต้นทุนการผลิตที่มาจากการใช้เทคโนโลยีสะอาดลดปริมาณของเสีย รักษาสภาพแวดล้อม ลดมลพิษ 3) มิติด้านสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความสำคัญกับการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่ให้เกิดความสมดุล กับความหลากหลายทางชีวภาพ และสามารถอนุรักษ์ฟื้นฟูให้สู่สภาพเดิมหรือใกล้เคียงสภาพเดิมมากที่สุด มีการปรับเปลี่ยนทัศนคติในการใช้ทรัพยากรที่มีจำกัดอย่างคุ้มค่า โดยการพัฒนาอย่างยั่งยืนมุ่งเน้นการสร้างสมดุลทั้ง 3 มิติมุ่งเน้นจัดการให้เกิดความสมดุลระหว่างมิติด้านสังคม มิติด้านเศรษฐกิจ มิติด้านสิ่งแวดล้อม อย่างเกื้อกูล (Shepherd, A. & L. Ortolano, 1997)

สถาบันการศึกษาเป็นองค์กรหนึ่งที่สามารถผสานสมดุลทั้ง 3 มิติดังกล่าวเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยใช้เทคโนโลยีสะอาดในการสร้างสมดุล มิติทางด้านสังคม มิติทางด้านเศรษฐกิจและมิติทางด้านสิ่งแวดล้อม ภายใต้แนวคิดแบบองค์รวม (Holistic Development) นำมาประยุกต์ใช้ในโครงการวิจัยนี้มีพื้นฐานสำคัญจากการจัดระบบศึกษาแบบองค์รวมดังต่อไปนี้ Forbes (1996) ได้กล่าวว่า นักปรัชญาทางการพัฒนาแบบองค์รวมนั้นได้มีพื้นฐานสำคัญมาจากการจัดการศึกษาแบบองค์รวม ให้ความสำคัญต่อการเห็นความจริง จากการแสดงความเชื่อมโยงระหว่างมนุษย์และระบบ อันได้แก่ โลกธรรมชาติ สังคม/ ชุมชน จิตวิญญาณ และจักรวาล

สอดคล้องตามแนวความคิดการศึกษาแบบองค์รวม (Holistic Education Approach) (Miller. R, 2000) กระบวนการมองเห็นเชิงความสัมพันธ์ทุกภาคส่วนทั้งจากภาครัฐและเอกชนควรให้ความสำคัญร่วมมือรณรงค์ตระหนักถึงการพัฒนาแก้ไขปัญหา ให้เป็นระบบอย่างจริงจัง มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ได้ก่อตั้งครบ 126 ปี ในปี พ.ศ. 2561 จัดได้ว่าเป็นหนึ่งในสถาบันการศึกษาที่มีประวัติศาสตร์สำคัญคู่กรุงเทพมหานคร ที่ต้องรองรับการขยายตัวของเมือง เช่น รองรับโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูบริเวณถนนแจ้งวัฒนะ และ โครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว บริเวณถนนพหลโยธิน นอกจากจะนำความเจริญทางเศรษฐกิจมาสู่ชุมชนเมืองในอนาคตแล้ว ส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นประชากรของที่อยู่อาศัยสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศ เสี่ยง ปัญหามลพิษน้ำท่วม รวมถึงผลกระทบต่อระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิตอื่นที่เป็นส่วนหนึ่งของสถาบันการศึกษาและสภาพแวดล้อมบริเวณใกล้เคียงเดิมถูกทำลาย

แผนงานวิจัยโครงการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โดยการใช้พื้นที่สาธารณะ และ การใช้ทรัพยากรอาคารอย่างยั่งยืน (Holistic Community Development project using of public space and using of sustainability building resources) เป็นแผนงานวิจัยที่ได้มุ่งสู่การนำทฤษฎีไปสู่การปฏิบัติโดยการบูรณาการ 4 โครงการวิจัยจาก 4 สาขาวิชา คือ โครงการที่ 1 การออกแบบการใช้พื้นที่สาธารณะอย่างยั่งยืน สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ โครงการที่ 2 การออกแบบอุปกรณ์อาคาร โดยใช้เทคโนโลยีเซรามิกส์ สาขาเทคโนโลยีเซรามิกส์ โครงการที่ 3 รูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืนสาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าและโครงการที่ 4 การออกแบบรูปแบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืน สาขาเทคโนโลยีอาคาร ประกอบกันเป็นแผนงานวิจัย ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพในการออกแบบการใช้พื้นที่สาธารณะให้สัมพันธ์กับการออกแบบอุปกรณ์อาคาร และการจัดการพลังงานไฟฟ้าและน้ำอย่างคุ้มค่า โดยใช้ชุมชนเป็นฐานในกรณีนี้เลือกพื้นที่ศึกษาต้นแบบนาร่องอาคารปฏิบัติการรวมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (อาคาร 27) ของชุมชนพื้นที่ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เพื่อการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวมในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

วิธีการ

แผนงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาแบบแผนกระบวนการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดมาก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ
2. เพื่อศึกษารูปแบบความร่วมมือจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และบทบาทของชุมชนผู้มีส่วนร่วมระหว่าง 4 สาขาวิชาของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
3. เพื่อศึกษาแบบแผนแนวปฏิบัติ การออกแบบพื้นที่สาธารณะ การออกแบบอุปกรณ์ประกอบอาคารและ การจัดการทรัพยากรอาคารเพื่อความยั่งยืนขององค์กร

โดยขอบเขตของแผนงานวิจัยจำแนกเป็นขอบเขตเชิงพื้นที่ และขอบเขตประชากร ซึ่งจะศึกษาในประเด็นดังต่อไปนี้

1. ขอบเขตเชิงพื้นที่ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจพื้นที่และเก็บข้อมูลกรณีศึกษา นาร่องที่อาคาร อาคาร 27 ของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เลขที่ 9 ถนนแจ้งวัฒนะ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220 มีขนาดพื้นที่อาคารรวม 10,616 ตารางเมตร

2. ขอบเขตด้านประชากร/กลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วยผู้ทำงาน คณาจารย์เจ้าหน้าที่ บุคลากร นักศึกษา ประชาชนที่เกี่ยวข้อง ที่มีประสบการณ์ในแต่ละกลุ่มสาขาวิชา ของคณะ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ประชากร ทั้งหมด 2,028 คนประกอบด้วย 1) คณาจารย์ 105 คน 2) เจ้าหน้าที่ 24 คน 3) นักศึกษา 1,885 คน 4) พนักงานทำความสะอาด 14 คน โดยมีขนาดกลุ่มตัวอย่าง 700 คน อ้างอิงจากตารางกลุ่มตัวอย่างของ Yamane ดังนี้ 1) คณาจารย์ 82 คน 2) เจ้าหน้าที่ 24 คน 3) นักศึกษา 580 คน 4) พนักงานทำความสะอาด 14 คน

ทั้งนี้สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินการ ผลการดำเนินการ และผลลัพธ์ที่จะได้ตาม วัตถุประสงค์ ปรากฏในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการ ผลการดำเนินการ และผลลัพธ์ที่จะได้ตามวัตถุประสงค์วิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ผลการดำเนินงาน	ผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์วิจัย
การประสานความร่วมมือและเตรียมความพร้อม (Collaboration)	คณะผู้วิจัยทั้ง 4 สาขาวิชา คือ สถาปัตยกรรม เทคโนโลยีเซรามิกส์ เทคโนโลยีไฟฟ้า เทคโนโลยีอาคาร ได้ติดต่อประสานงานภาคส่วนชุมชนเจ้าของพื้นที่สาขาต่างๆ จากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	ศึกษารูปแบบความร่วมมือจากภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง และบทบาทของชุมชน ผู้มีส่วนร่วมจากองค์กรภายใน และภายนอก
สำรวจสภาพปัญหา ลงพื้นที่และเก็บข้อมูล (Site Survey, Collective Data)	คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการสำรวจพื้นที่ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ข้อมูลศึกษานำร่องที่อาคารปฏิบัติการรวมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (อาคาร 27) มีขนาดพื้นที่โครงการ 3,399 ตารางเมตร ขนาดพื้นที่อาคารรวม 10,616 ตารางเมตร รวมถึงการสัมภาษณ์ข้อมูลทางสถิติ ภาพภาพของอาคาร (Collective Data) จากกองอาคารและสถานที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครเป็นฐาน	เพื่อศึกษาแบบแผนกระบวนการ พัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดมาก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ
วิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)	คณะผู้วิจัยเป็นผู้วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ โดยการเก็บข้อมูลแบบสอบถามของแผนงานวิจัยกลุ่มตัวอย่าง 700 คนจากประชากร 2,028 คนโดยใช้ขนาดกลุ่มตัวอย่างอ้างอิงจากตารางกลุ่มตัวอย่างของ Yamane และทำการวิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS	เพื่อศึกษาแบบแผนแนวปฏิบัติ การออกแบบพื้นที่สาธารณะ การออกแบบอุปกรณ์ประกอบอาคารและการจัดการทรัพยากรอาคารเพื่อความยั่งยืนขององค์กรโดยคำนึงถึงผลประโยชน์ที่ได้รับให้สอดคล้องกับความต้องการประโยชน์ใช้สอยจากข้อมูลแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่างในชุมชน
สังเคราะห์ข้อมูลและออกแบบทางเลือกเบื้องต้น 4 โครงการวิจัย (Synthesis and Alternative designs integrated with 4 research projects)	การสังเคราะห์ข้อมูลและออกแบบทางเลือกแบบแผนในพื้นที่ 4 ส่วนพื้นที่ส่วนที่ 1 ทางด้านทิศเหนือ ของอาคาร 27 พื้นที่ส่วนที่ 2 ทางด้านทิศใต้ ของอาคาร 27 พื้นที่ส่วนที่ 3 ทางด้านทิศตะวันออก ของอาคาร 27 พื้นที่ส่วนที่ 4 บริเวณชั้น 5 ศาลาพักผ่อนอาคาร 27	ศึกษารูปแบบความร่วมมือจากภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง และบทบาทของชุมชนผู้มีส่วนร่วมจากองค์กรภายในและภายนอก
นำเสนอสู่ชุมชนและวิพากษ์ (Public Presentation and Criticism)	การนำเสนอสู่ชุมชนและวิพากษ์ ครั้งที่ 1: วันพฤหัสบดีที่ 18 พฤษภาคม 2560 เวลา 13.30-15.00 น. ณ ห้องประชุมชั้น 2 (อาคาร 42) คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร การนำเสนอสู่ชุมชนและวิพากษ์ ครั้งที่ 2: ในวันพุธที่ 30 สิงหาคม 2560 เวลา 13.30-15.00 น. ณ ห้องประชุมชั้น 3 อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (อาคาร 27) มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	ศึกษารูปแบบความร่วมมือจากภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง และบทบาทของชุมชนผู้มีส่วนร่วมจากองค์กรภายในและภายนอก
พัฒนาออกแบบแบบแนวปฏิบัติ การออกแบบพื้นที่สาธารณะอย่างยั่งยืน (Design Development of Public Space)	คณะผู้วิจัยได้พัฒนาออกแบบโดยบูรณาการร่วม 4 โครงการวิจัยในพื้นที่ศึกษา 4 ส่วนของอาคาร 27 คือ พื้นที่ส่วนที่ 1 ทางด้านทิศเหนือ (บูรณาการ ระหว่าง โครงการที่ 1 โครงการที่ 2 และ โครงการที่ 4) พื้นที่ส่วนที่ 2 ทางด้านทิศใต้ (บูรณาการ ระหว่าง โครงการที่ 1 และ โครงการที่ 2) พื้นที่ส่วนที่ 3 ทางด้านทิศใต้ (บูรณาการ ระหว่าง โครงการที่ 1 และโครงการที่ 3) พื้นที่ส่วนที่ 4 บริเวณชั้น 5 ศาลาพักผ่อน (บูรณาการ ระหว่าง โครงการที่ 1 และโครงการที่ 3)	เพื่อศึกษาแบบแผนกระบวนการ พัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ อย่างจำกัดมาก่อให้เกิดประโยชน์ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงผลประโยชน์ที่ได้รับจากการบูรณาการ 4 โครงการวิจัย คือ โครงการที่ 1 การออกแบบการใช้พื้นที่สาธารณะอย่างยั่งยืน โครงการที่ 2 การออกแบบอุปกรณ์อาคาร โดยใช้เทคโนโลยีเซรามิกส์
พัฒนาออกแบบอุปกรณ์อาคาร โดยใช้เทคโนโลยีเซรามิกส์ (Design development of building components by technology of ceramics)		โครงการที่ 3 รูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืน (Design development of Electricity sustainable energy management model)
พัฒนาออกแบบแบบระบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืน (Design development of Water sustainable management model)		โครงการที่ 4 การออกแบบระบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืน
การประเมินผลและสรุปผลงานวิจัย (Evaluation and Conclusion)	นำเสนอสู่ผู้ที่เกี่ยวข้อง - ชุมชนเจ้าของพื้นที่ (คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม) - องค์กรภายในมหาวิทยาลัย (เช่น สำนักงานอธิการบดีสถาบันวิจัยและพัฒนา บัณฑิตวิทยาลัย เป็นต้น) - องค์กรภายนอก (หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับโครงการ)	โครงการที่ 3 รูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืน โครงการที่ 4 การออกแบบระบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืน
สรุปปัญหา และข้อเสนอแนะ (Problems and Recommendation)	การประเมินผลพิจารณาจากกระบวนการทั้งหมดในการดำเนินการแผนงานวิจัย การพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โดยการใช้พื้นที่สาธารณะ และการใช้ทรัพยากรอาคารอย่างยั่งยืน ปัญหา อุปสรรคและข้อเสนอแนะในการนำแบบแผนแนวปฏิบัติ การใช้พื้นที่สาธารณะ ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในองค์กรเครือข่าย	

ผลการทดลอง

แผนงานวิจัยโครงการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวมโดยการใช้พื้นที่สาธารณะและการใช้ทรัพยากรอาคารอย่างยั่งยืน จัดทำการออกแบบพื้นที่สาธารณะทั้งในและนอกอาคารโดยเลือกศึกษาอาคารนำร่อง อาคาร 27 โดยคำนึงถึงผลประโยชน์ที่ได้รับ โดยมีผลการทดลองการดำเนินงานในพื้นที่ 4 ส่วน พบว่ามีการบูรณาการพัฒนาก่อสร้างร่วมกันจาก 4 โครงการวิจัยดังนี้ 1) โครงการที่ 1 พัฒนางานออกแบบแนวปฏิบัติสู่การออกแบบพื้นที่สาธารณะอย่างยั่งยืน 2) โครงการที่ 2 พัฒนาออกแบบอุปกรณ์อาคารโดยใช้เทคโนโลยีเซรามิกส์ 3) โครงการที่ 3 พัฒนางานออกแบบรูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืน และ 4) โครงการที่ 4 พัฒนางานออกแบบรูปแบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืน

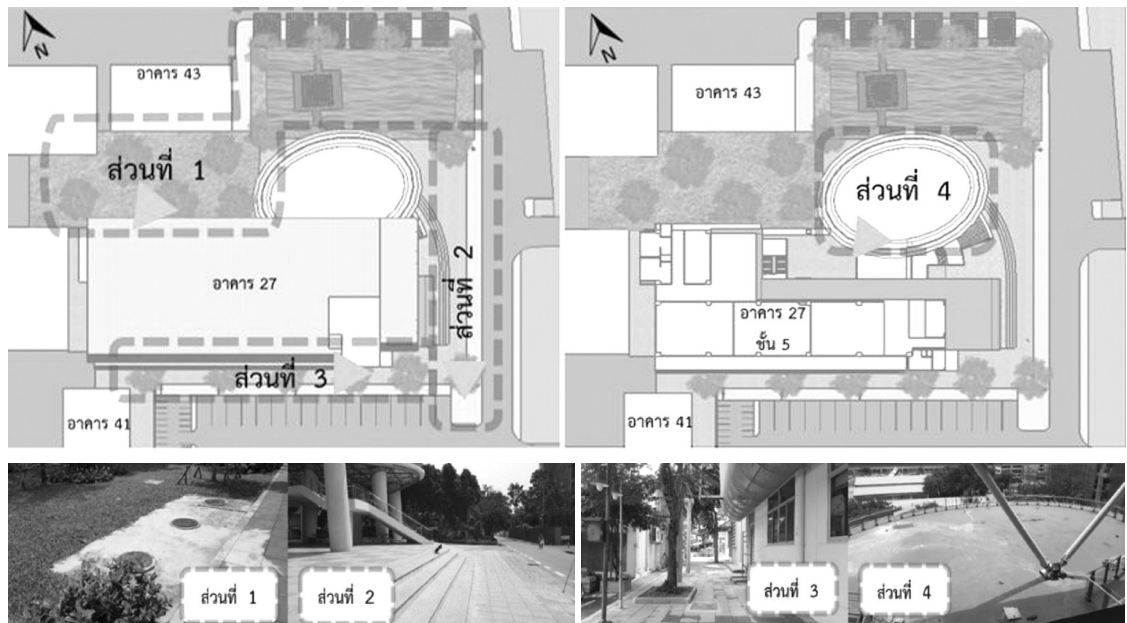
พื้นที่อาคารต้นแบบอาคาร 27 พื้นที่ดิน 10,616 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปลูกต้นไม้สวน สนามหญ้า 1,187 ตารางเมตรคิดเป็นร้อยละ 11.80 พื้นที่ซับน้ำ ลาน สระน้ำ 422 ตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 3.98 พื้นที่ไม่ซับน้ำ ลาน ทางเดิน ถนน 1,790 ตารางเมตรคิดเป็นร้อยละ 16.86 และพื้นที่อาคาร 7,217 ตารางเมตรคิดเป็นร้อยละ 67.98 ดูตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ร้อยละของพื้นที่อาคาร 27 ในสภาพที่เป็นป่า ปลูกต้นไม้ พื้นที่ซับ พื้นที่ไม่ซับน้ำ และอาคาร

ลำดับ	พื้นที่ศึกษา อาคารปฏิบัติการรวมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (อาคาร 27)	ตารางเมตร	ร้อยละ
1	พื้นที่ปลูกต้นไม้ สวน สนามหญ้า (Planted vegetation area)	1,187	11.18
2	พื้นที่ซับน้ำ ลาน สระน้ำ (Retentive surfaces area)	422	3.98
3	พื้นที่ไม่ซับน้ำ ลาน ทางเดิน ถนน (Non-retentive surfaces area)	1,790	16.86
4	พื้นที่อาคาร (Building area)	7,217	67.98
	พื้นที่รวมทั้งสิ้น	10,616	100

ที่มา: Suebsiri, P, et al., (2017)

พื้นที่เดิมของอาคาร 27 บริเวณด้านนอกอาคารขาดการเชื่อมต่อกับพื้นที่ภายใน ก่อให้เกิดปัญหาพื้นที่ว่างที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ รวมถึงบริเวณทางเดินด้านหน้า และด้านข้างของอาคาร ยังเป็นแหล่งสะสมความร้อนและสะท้อนความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร อีกด้วย คณะผู้วิจัยแบ่งพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาสภาพแวดล้อมเดิมของอาคารเป็น 4 ส่วน พื้นที่ ส่วนที่ 1 ทางด้านทิศเหนือ ซึ่งมีต้นไม้เดิม 6 ต้น พื้นที่ส่วนที่ 2 ทางด้านทิศตะวันออก พื้นที่ส่วนที่ 3 ทางด้านทิศใต้ และพื้นที่ส่วนที่ 4 บริเวณชั้น 5 ดาดฟ้า แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 พื้นที่สาธารณะภายนอกอาคาร พื้นที่ส่วนที่ 1-3
และพื้นที่สาธารณะภายในอาคารพื้นที่ส่วนที่ 4

คณะผู้วิจัยสังเคราะห์ข้อมูลผลแบบสอบถามการศึกษา (Synthesize the results of the study questionnaire) โดยเก็บข้อมูลแบบสอบถามภายในชุมชนเจ้าของพื้นที่ ให้มีส่วนร่วมพัฒนาการออกแบบเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้พื้นที่สาธารณะโดยกลุ่มตัวอย่าง 700 คน ที่ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับการใช้พื้นที่อาคาร 27 ประกอบด้วย คณาจารย์ 82 คน เจ้าหน้าที่ 24 คน นักศึกษา 580 คน และพนักงานทำความสะอาด 14 คน โดยแบ่งหัวข้อเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย คำถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนตัว และคำถามเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้พื้นที่สาธารณะ เพื่อศึกษาพฤติกรรมมนุษย์ พบว่า ร้อยละ 92 เคยใช้พื้นที่สาธารณะมีความคิดเห็นเกี่ยวกับกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่สาธารณะภายในร้อยละ 82.37 ใช้ไปกับการนั่งเล่น-พักผ่อน พื้นที่สาธารณะภายในร้อยละ 68.69 ใช้ไปกับการออกกำลังกาย ส่วนปัญหาและอุปสรรคในการ

เข้าใช้พื้นที่คือความแออัดของพื้นที่ร้อยละ 59.43 ร้อยละ 91 เห็นด้วยถึงการมีอยู่ของสัญลักษณ์สำคัญในพื้นที่สาธารณะเพื่อเป็นจุดนัดหมายและเอกลักษณ์ของพื้นที่โดยร้อยละ 87.14 ต้องการให้เป็นลานอเนกประสงค์ ผลของความต้องการสิ่งอำนวยความสะดวกต่างในพื้นที่สาธารณะประกอบไปด้วย การปูพื้นด้วยวัสดุชั้นน้ำร้อยละ 89.29 มีห้องน้ำ-ห้องสุขาร้อยละ 93.86 และมีความปลอดภัยของสภาพพื้นผิวทางเดินเท้าร้อยละ 93.76 จากผลการสังเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวจึงนำมาสู่การพัฒนางานออกแบบสภาพแวดล้อมทางกายภาพแนวปฏิบัติสู่การออกแบบการใช้พื้นที่สาธารณะอย่างยั่งยืน (Design development to the sustainable public space) และจัดทำข้อมูลในการออกแบบการจัดสภาพแวดล้อมเพื่อพัฒนาแบบร่างและผ่านการวิพากษ์ วิจารณ์ รับฟังความคิดเห็นจากผู้ที่เกี่ยวข้อง สุ่มชนและวิพากษ์ ครั้งที่ 1 เมื่อวันพฤหัสบดีที่ 18 พฤษภาคม 2560 เวลา 13.30-15.00 น. ณ ห้องประชุมชั้น 2 คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ดังรูปที่ 2

ภาคส่วนชุมชนเจ้าของพื้นที่ของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้เข้าร่วมเสนอข้อคิดเห็นพร้อมแนวทางในการออกแบบร่วมกัน แสดงความคิดเห็นข้อเสนอแนะปรับปรุงตามข้อวิพากษ์ของผู้แทนชุมชนที่เกี่ยวข้อง สามารถพัฒนางานออกแบบโดยใช้ชุมชนเป็นฐาน



รูปที่ 2 การนำเสนอสู่ชุมชนและวิพากษ์ครั้งที่ 1 วันที่ 18 พฤษภาคม 2560
ณ ห้องประชุมชั้น 2 อาคาร 42

คณะผู้วิจัยจึงจัดกิจกรรมให้นักศึกษาที่เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของชุมชนให้มีส่วนร่วมโดยตรง 3 กิจกรรมบูรณาการร่วมกัน คือ 1) โครงการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวมโดยใช้พื้นที่สาธารณะ และการใช้การทรัพยากรอาคารอย่างยั่งยืนได้จัดการประกวดแบบ Sketch Design ภายใต้หัวข้อ “Green Public Space” 2) โครงการรูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืน จัดโครงการประกวดโปสเตอร์ประชาสัมพันธ์ภายใต้หัวข้อ “Save Energy, Share Creativity” 3) โครงการ ออกแบบรูปแบบการจัดการน้ำอย่างยั่งยืน จึงได้จัดโครงการประกวดโปสเตอร์ประชาสัมพันธ์ภายใต้หัวข้อ “SAVE WATER เพื่อโลก เพื่อเรา” และเพื่อเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมในการนำเสนอผลงานอย่างแพร่หลาย จึงประชาสัมพันธ์การประกวด ด้วยแผ่นพับโปสเตอร์ และ เว็บไซต์ของมหาวิทยาลัย พบว่านักศึกษาให้ความสนใจในการร่วมกิจกรรม โดยการส่งผลงานเข้าร่วม 170 ผลงาน



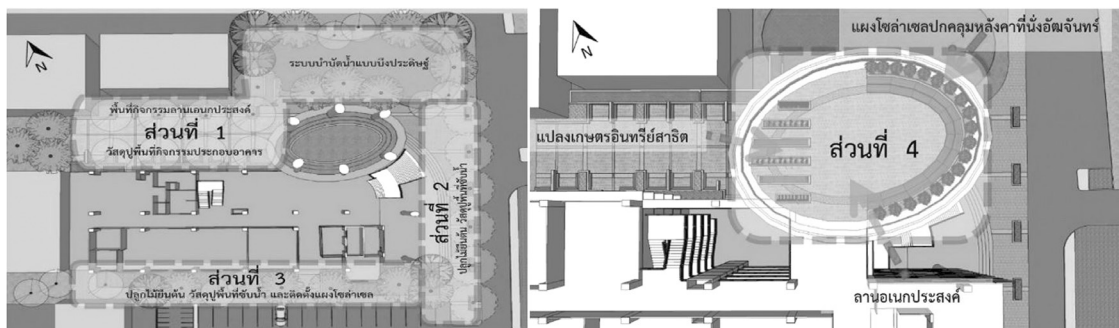
รูปที่ 3 ประชาสัมพันธ์การประกวด ด้วยแผ่นพับโปสเตอร์ และ เว็บไซต์ของมหาวิทยาลัย

คณะผู้วิจัยจึงนำผลงานการมีส่วนร่วมของนักศึกษามามุ่งเน้นการพัฒนาการออกแบบขั้นสุดท้าย พิจารณาตัดสินใจคัดเลือก เชิญท่านรองอธิการบดีมอบรางวัลประกาศนียบัตรเพื่อเป็นเกียรติแก่นักศึกษา พร้อมนำเสนอการนำเสนอผลการออกแบบขั้นสุดท้ายของโครงการวิจัย สู่ชุมชนและวิพากษ์ ครั้งที่ 2 เมื่อวันพุธที่ 30 สิงหาคม 2560 ณ ห้องประชุมชั้น 3 อาคาร 27 ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การนำเสนอสู่ชุมชนและวิพากษ์ครั้งที่ 2 วันที่ 30 สิงหาคม 2560
ณ ห้องประชุมชั้น 3 อาคาร 27

การออกแบบขั้นสุดท้ายที่นำเสนอสู่ชุมชนและวิพากษ์ ครั้งที่ 2 นำเสนอ พื้นที่ศึกษา ทั้ง 4 ส่วนทั้งภายนอกและภายในอาคาร คือ พื้นที่สาธารณะภายนอกอาคาร บริเวณพื้นที่ ส่วนที่ 1-3 ดังนี้ 1) พื้นที่ส่วนที่ 1 ทางด้านทิศเหนือ ได้ร่วมเงาอาคารตลอดทั้งวันแต่ไม่สามารถ สมองตอบประโยชน์ใช้สอยกิจกรรม จึงออกแบบ อนุรักษ์ต้นไม้เดิม เพิ่มพื้นที่กิจกรรมให้เป็น ลานอเนกประสงค์เพื่อตอบสนองกิจกรรมนักศึกษาในชุมชน เช่น กิจกรรมประจำปีวันเทคโนโลยี อุตสาหกรรม พัฒนาการออกแบบพื้นที่ชับน้ำโดยใช้วัสดุปูพื้นบูรณาการร่วมกับโครงการที่ 2 การพัฒนาการออกแบบอุปกรณ์อาคารโดยใช้เทคโนโลยีเซรามิกส์ และเตรียมพื้นที่ระบบการ บำบัดน้ำแบบบึงประดิษฐ์ บูรณาการร่วมกับ โครงการที่ 4 การพัฒนางานออกแบบรูปแบบการ จัดการน้ำอย่างยั่งยืน 2) พื้นที่ส่วนที่ 2 ทางด้านทิศตะวันออก เป็นทางเข้าหลักของอาคาร ได้รับ แสงแดดยามเช้า ออกแบบปรับภูมิทัศน์ในการปลูกไม้ยืนต้นเพื่อให้ร่มเงาและลดความร้อน เข้าสู่อาคารโดยใช้วัสดุปูพื้นที่ชับน้ำบูรณาการร่วมกับโครงการที่ 2 การพัฒนาการออกแบบ อุปกรณ์อาคารโดยใช้เทคโนโลยีเซรามิกส์ 3) พื้นที่ส่วนที่ 3 ทางด้านทิศใต้ บริเวณทางเข้ารอง ติดที่จอดรถ ที่ได้รับแสงแดดและความร้อนเข้าสู่อาคารทั้งวัน ออกแบบปรับพื้นที่ทางเท้าในการ เข้าถึง พร้อมกับปลูกไม้ยืนต้นเพิ่มเพื่อให้ร่มเงา เพื่อลดแสงแดดและความร้อนที่มากระทบอาคาร ช่วยเพิ่มออกซิเจน ลดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จากบริเวณลานจอดรถ เพิ่มการใช้พลังงานทาง เลือกในอาคารโดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ (solar cell) เป็นองค์ประกอบของส่วนกันแดดให้กับอาคาร (Fin) ซึ่งเป็นการออกแบบบูรณาการร่วมกับ ร่วมกับ โครงการที่ 3 พัฒนางานออกแบบรูปแบบ การจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืน 4) พื้นที่ส่วนที่ 4 บริเวณชั้น 5 ดาดฟ้าอาคาร เป็นการออกแบบ พื้นที่สาธารณะภายในอาคาร ออกแบบที่นั่งอัจฉริยะเพื่อรองรับกิจกรรมศูนย์การเรียนรู้ เกษตรอินทรีย์โดยใช้แผง Solar Cell ในส่วนของโครงหลังคาบังแดดให้กับพื้นที่นั่งบนอัจฉริยะ เพื่อจัดกิจกรรมภายในอาคาร ดังปรากฏในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงผลการออกแบบพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม
โดยการการร่วมกันระหว่าง 4 โครงการวิจัย

สรุปและวิจารณ์ผล

แผนงานวิจัยโครงการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โดยการใช้พื้นที่สาธารณะ และการใช้ทรัพยากรอาคารอย่างยั่งยืน บูรณาการการศึกษาวิจัยร่วมกับสาขาเซรามิกส์ในการออกแบบอุปกรณ์ประกอบอาคาร สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าในการจัดการพลังงานไฟฟ้า และสาขาเทคโนโลยีอาคารในระบบการจัดการน้ำ เพื่อศึกษาแบบแผนกระบวนการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดมาก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ ผลจากการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1) สรุปผลโครงการที่ 1 การออกแบบพื้นที่สาธารณะอย่างยั่งยืน

จากการพัฒนาการออกแบบสามารถปรับปรุงสัดส่วนพื้นที่ปลูกต้นไม้ สวน สนามหญ้า ของพื้นที่เดิมได้ (ดังตารางที่ 3)

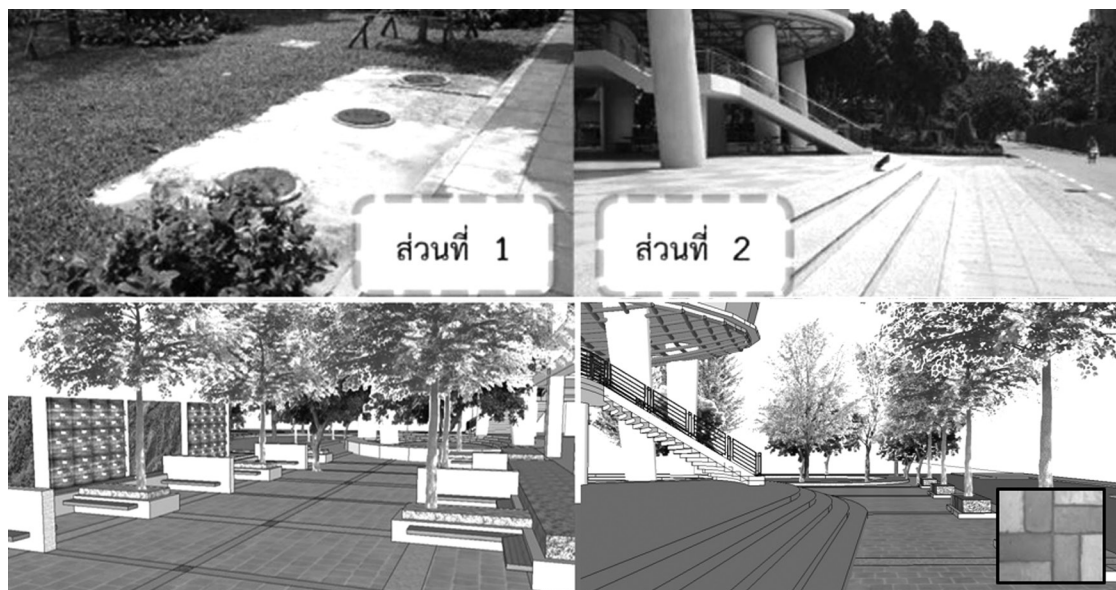
ตารางที่ 3 ผลการออกแบบการใช้พื้นที่สาธารณะเพื่อการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม

พื้นที่ศึกษาอาคารปฏิบัติการรวม เทคโนโลยีอุตสาหกรรม (อาคาร 27)	สภาพก่อนการออกแบบ ที่ได้จากการสำรวจ		ผลการออกแบบ		สรุปการ ลด-เพิ่ม
	ตารางเมตร	ร้อยละ	ตารางเมตร	ร้อยละ	
พื้นที่ปลูกต้นไม้เดิม	187	1.76	187	1.76	เท่าเดิม
พื้นที่สนามโล่งไม่ได้ใช้ประโยชน์	1,000	9.42	0	0	-9.42
พื้นที่ชับน้ำ ลาน ทางเท้า (ใช้วัสดุชับน้ำ)	0	0	2,790	26.28	+26.28
พื้นที่สระน้ำธรรมชาติ	422	3.98	422	3.98	เท่าเดิม
พื้นที่ไม่ชับน้ำ ลาน ทางเท้า	1,790	16.86	0	0	-16.86
พื้นที่ภายในอาคารที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ (ดาดฟ้า)	100	0.94	0	0	-0.94
พื้นที่ภายในอาคารที่ได้ใช้ประโยชน์ (ดาดฟ้า)	7,117	67.04	7,217	67.98	+0.94
พื้นที่รวมทั้งสิ้น	10,616	100	10,616	100	

2) สรุปผลโครงการที่ 2 การทดลองออกแบบอุปกรณ์อาคาร โดยใช้เทคโนโลยีเซรามิกส์

อุปกรณ์ประกอบอาคาร 27 ส่วนใหญ่ทำมาจากคอนกรีตเป็นวัสดุปูพื้นในสภาพปัญหาปัจจุบันส่งผลให้อากาศมีสภาพร้อน ผู้วิจัยจึงมีแนวทางบูรณาการในการออกแบบสร้างวัสดุเซรามิกส์ประเภทอิฐดินเผาพร้อมกับโครงการที่ 1 การออกแบบการใช้พื้นที่สาธารณะอย่างยั่งยืน พื้นที่ส่วนที่ 1 ทางด้านทิศเหนือ ได้รื้อมาอาคารตลอดทั้งวันแต่มีสามารถสนองตอบประโยชน์ใช้สอยกิจกรรมอาคารได้อย่างเต็มที่ พื้นที่ส่วนที่ 2 ทางด้านทิศตะวันออก เป็นทางเข้าหลักของ

อาคาร ดังปรากฏในรูปที่ 6 คณะผู้วิจัยออกแบบวัสดุปูพื้นโดยใช้เทคโนโลยีเซรามิกส์ที่มีสมบัติด้านการดูดซับน้ำ เพื่อช่วยระบายความร้อน กักความชื้น และน้ำสามารถซึมผ่านได้ สำหรับปูแทนพื้นคอนกรีต ผู้วิจัยได้สรุปส่วนผสมของอิฐดินเผา โดยการศึกษาสมบัติของดินตะกอนน้ำประปาจากโรงผลิตน้ำประปาการประปานครหลวงบางเขนพบว่าดินตะกอนมีความเหนียวน้อย ขึ้นรูปได้ยาก เมื่อนำดินตะกอนน้ำประปาหมักประมาณ 1 สัปดาห์ทำให้ดินมีความเหนียวเพิ่มขึ้น สามารถขึ้นรูปได้ เมื่อศึกษาสมบัติของดินตะกอนน้ำประปาที่อุณหภูมิ 950 - 1200 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าการหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ร้อยละ 4.58-16.65 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น 15.75-48.35 kgf/cm² และการดูดซับน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ร้อยละ 27.90-7.29 ซึ่งใช้อัตราส่วนผสมของอิฐดินเผาที่มีสมบัติเหมาะสม และนำมาขึ้นรูปเป็นอิฐดินเผาขนาด 10x20x6 เซนติเมตร เผาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส ได้แก่ ส่วนผสมที่ประกอบด้วยดินตะกอนน้ำประปา ร้อยละ 30 ดินแดงพื้นบ้าน ร้อยละ 30 เถ้าแกลบ ร้อยละ 30 และทราย ร้อยละ 10 มีการหดตัว ร้อยละ 10.01 ความแข็งแรง 20.97 kgf/cm² การดูดซับน้ำ ร้อยละ 20.14 น้ำสามารถซึมผ่านได้ 4 นาทีต่อ 1 ตารางเมตร ต่อน้ำ 4 ลิตร และเมื่อมีปริมาณน้ำมาก น้ำสามารถซึมผ่านอิฐดินเผาได้อย่างต่อเนื่อง

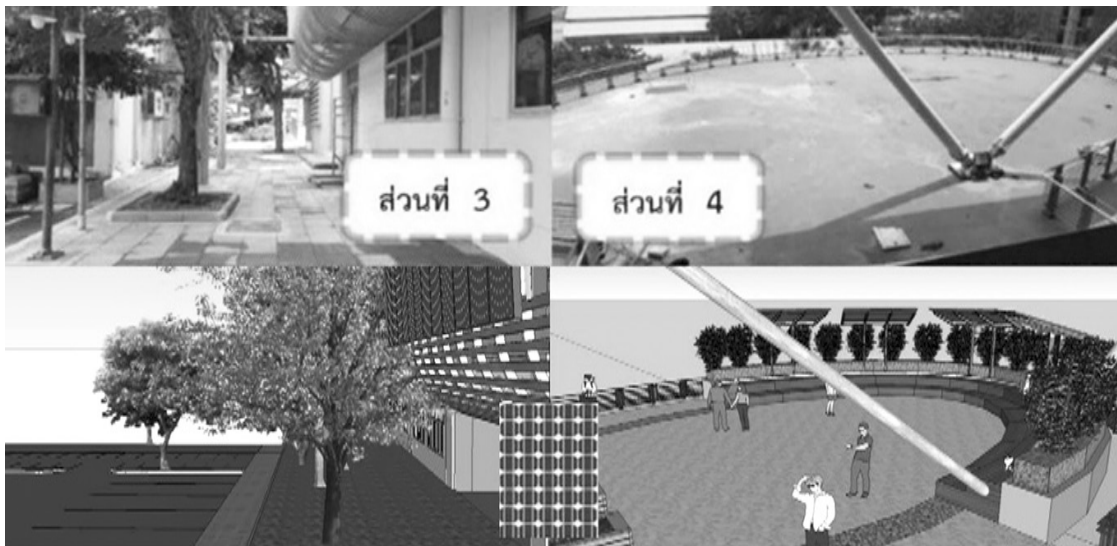


รูปที่ 6 สรุปผลโครงการที่ 2 การออกแบบอุปกรณ์อาคาร
โดยใช้เทคโนโลยีเซรามิกส์ พื้นส่วนที่ 1 และ 2

3) สรุปผลการออกแบบรูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืน

ผลการออกแบบรูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 4 ด้าน คือ

- 1) ด้านกระบวนการสร้างการมีส่วนร่วมของกลุ่มประชาคมในการจัดการพลังงานไฟฟ้า โดยจัดกิจกรรมการประกวดโปสเตอร์ประชาสัมพันธ์การประหยัดพลังงาน
- 2) ด้านการสร้างจิตสำนึกและให้ความรู้เกี่ยวกับการจัดการพลังงานไฟฟ้า โดยจัดทำสติ๊กเกอร์ณรงค์การประหยัดพลังงานนำไปติดตามบริเวณพื้นที่ของอาคารต่าง ๆ ในมหาวิทยาลัย
- 3) ด้านการใช้พลังงานทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้ออกแบบบูรณาการร่วมกับโครงการที่ 1 ใน พื้นที่ส่วนที่ 3 ทางด้านทิศใต้ บริเวณทางเข้ารองติดที่จอดรถ ที่ได้รับแสงแดดและความร้อนเข้าสู่อาคารทั้งวัน และพื้นที่ส่วนที่ 4 บริเวณชั้น 5 หาดฟ้าอาคาร โดยใช้แผง Solar Cell ในส่วนของโครงหลังคาบังแดดให้กับพื้นที่นั่งบนอัฒจันทร์เพื่อพักผ่อนสำหรับนักศึกษาหรือจัดกิจกรรมการทดลองเพื่อให้เกิดเรียนรู้ให้เกี่ยวกับเทคโนโลยีไฟฟ้าในการนำโซลาร์เซลล์มาเป็นพลังงานทางเลือกช่วยลดความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในตัวอาคาร ดังรูปที่ 7 และ 4) ด้านการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าและติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยได้ทดลองติดตั้งเครื่องรับรู้ (Sensor) เปิด-ปิด หลอดไฟอัตโนมัติ ในห้องเรียนและห้องปฏิบัติการ ของอาคาร 27 พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีแนวโน้มลดลงจากเดิมที่มีการใช้ไฟฟ้าจากการติดตั้งและใช้งานเครื่องรับรู้เพื่อเปิด-ปิด หลอดไฟอัตโนมัติ



รูปที่ 7 สรุปผลโครงการที่ 3 การออกแบบรูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า
พื้นที่ส่วนที่ 3 และ 4

จากห้องน้ำมาใช้ในการรดน้ำต้นไม้ 2) ด้านการจัดองค์กร พบว่ามหาวิทยาลัยไม่มีผู้รับผิดชอบด้านน้ำโดยตรง พบว่าไม่มีการรายงานผลการใช้น้ำหรือค่าใช้จ่ายให้ผู้บริหารรับทราบ 3) ด้านการกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ มหาวิทยาลัยยังไม่มี การติดต่อและการให้ข้อมูลกับผู้ใช้ น้ำไม่มีการรณรงค์หรือสื่อสารใด ๆ กับผู้ใช้อาคารเกี่ยวกับด้านน้ำ 4) ด้านระบบข้อมูลข่าวสาร พบว่าไม่มีระบบรวบรวมข้อมูลที่แน่นอน มีเพียงการบันทึกใบเสร็จค่าน้ำที่มหาวิทยาลัยต้องจ่ายให้กับ การประปานครหลวงเพื่อใช้ในหน่วยงานเท่านั้นและไม่ได้มีการบันทึกอย่างสม่ำเสมอ 5) ด้านประชาสัมพันธ์ ยังไม่มีการเผยแพร่และจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ของมหาวิทยาลัยในการประชาสัมพันธ์เพื่อรณรงค์ขอความร่วมมือเกี่ยวกับการใช้น้ำ และ 6) ด้านการลงทุน ในภาพรวมมหาวิทยาลัยยังไม่มี การลงทุนใด ๆ ในมาตรการการอนุรักษ์น้ำ

5) รูปแบบความร่วมมือจากภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง กับบทบาทของชุมชนผู้มีส่วนร่วม รูปแบบความร่วมมือจากภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยครั้งนี้ ก่อให้เกิดเป้าหมายร่วมกันในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของชุมชนด้วยกระบวนการทาง การออกแบบ โดยชุมชนเป็นฐาน ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่เป็นจริง ศึกษาการใช้กลยุทธ์กระบวนการสร้างเครือข่ายความร่วมมือและเตรียมความพร้อมของเครือข่ายระหว่างภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ดังนี้ 1) ภาคส่วนชุมชนเจ้าของพื้นที่ คือ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 2) องค์กรภายในมหาวิทยาลัย คือ สำนักงานอธิการบดี สถาบันวิจัยและพัฒนาบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และวิทยาลัยการฝึกหัดครู 3) ภาคส่วนองค์กรภายนอก คือ โรงผลิตน้ำประปา การประปานครหลวงบางเขน ผู้ทรงคุณวุฒิ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โครงการวิจัยนี้เป็นกลยุทธ์แรงจูงใจในการพัฒนา โดยใช้กระบวนการกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนเป็นฐาน (Integrated Public Participation) เริ่มจากการสำรวจความคิดเห็นและความต้องการทั้งคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษา เพื่อการออกแบบร่วมกัน โดยชุมชนเพื่อชุมชน ให้ชุมชน เพื่อประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ จึงแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยงานจะมีบทบาทหน้าที่ เพื่อช่วยเหลือ เพื่อส่งเสริมซึ่งกันและกันในการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม (Holistic Community Development) รูปแบบความร่วมมือความสำเร็จโดยชุมชนเป็นฐาน 4 มิติ คือ 1) มิติการเข้าถึงและการเชื่อมต่อ (Holistic Access and Linkages) 2) มิติความรู้สึกสบายและภาพลักษณ์ที่ดี (Holistic Comfort and Image) 3) มิติการใช้งานและการจัดกิจกรรม (Holistic Uses and Activities) และ 4) มิติพื้นที่ทางสังคม (Holistic Sociability) ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 รูปแบบความร่วมมือในการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม
(Holistic Community Development)

6) แบบแผนแนวปฏิบัติ การออกแบบพื้นที่สาธารณะ การออกแบบอุปกรณ์ประกอบอาคารและ การจัดการการทรัพยากรอาคารเพื่อความยั่งยืนขององค์กร

กระบวนการดำเนินงานดังกล่าวจึงสามารถสรุปแบบแผนแนวปฏิบัติ การออกแบบพื้นที่สาธารณะ การออกแบบอุปกรณ์ประกอบอาคารและ การจัดการการทรัพยากรอาคารเพื่อความยั่งยืนขององค์กร ดังรูปที่ 10 อย่างไรก็ตามแบบแผนแนวปฏิบัติการพัฒนาชุมชนแบบองค์รวม มีปัจจัยด้านระยะเวลาและงบประมาณในการพัฒนาควรได้รับการพิจารณา นโยบายทั้งหมดจากส่วนกลางของมหาวิทยาลัย ควรมีแนวทางที่มีการกำหนดตลอดจนแบบในการปรับปรุงที่ชัดเจนจากผู้บริหารมหาวิทยาลัยเนื่องจากต้องพัฒนาแบบองค์รวมทั้งระบบรวมถึงเรื่องของการอำนวยความสะดวกในที่สาธารณะไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการจัดพื้นที่จอดรถยนต์ มอเตอร์ไซด์ จักรยาน ตลอดจนเรื่องของการความปลอดภัยในการเข้าใช้พื้นที่ อาทิ ความสว่างของพื้นที่ การติดตั้งกล้องวงจรปิด เพื่อที่จะดำเนินการจัดทำได้เป็นไปช่วงระยะเวลาและมีการบริหารจัดการอย่างต่อเนื่องทุกยุคทุกสมัย ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งานและภาพลักษณ์ของมหาวิทยาลัยให้ยั่งยืนสืบไป



คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้จากทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร สถาบันวิจัยและพัฒนา ผู้ทรงคุณวุฒิ องค์การภายนอก การประสานครหลวงบางเขน สาขาวิชาสถาปัตยกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณาจารย์ บุคลากร นักศึกษา รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

- Forbes, S. (1996). **Values in Holistic Education**, Third Annual Conference on Education, Spirituality and the Whole child. Roehampton Institute.
- Miller, R. (2000). **Making Connections to the world: Some Thoughts on Holistic Curriculum**. (Brandon, VT: Foundation for Educational Renewal, 2000)
- Shepherd, A. & L. Ortolano. (1997). Environment Impact Assessment Review. **Organizational Change and Environmental Impact assessment at the Electricity Generating Authority of Thailand : 1972-1988**. 17(5), 329-356.
- Suebsiri, P, et al. (2017) Environmental Management Project to become “Green University”. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**. 12(1), (103-119). (in Thai)
- WCED. (1987). **World Commission on Environment and Development**. Retrieved December 15, 2017, from <http://www.public.wsu.edu/-susdev/WCED87.html>

.....

การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง
สำหรับการผลิตไบโอดีเซล

NOVEL DEVELOPMENTS OF WHITE CLAY FILLER CATALYSIS
FOR BIODIESEL PRODUCTION

มนีรัตน์ นัจจันทร^{1*} มณีญา ยิ้มชื่น¹ ชวิศา ทองคำ¹ ผกามาศ โตชม¹ ธนิตา บุญมี²
วิชญ์สิทธิ อินทกุศล³

¹สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

²ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

³ศูนย์วิจัยค้นคว้าและพัฒนา ยา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

Maneerat Namjan^{1*}, monthiya yimchun¹, chawisa Thongkham¹, phakamat Tochom¹,
Thanita Boonmee², Wichayasith Inthakusol³

¹Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University,
Nakhon Sawan, 60000

²Science Lab Centre, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

³Drug Discovery and Development Center, Thammasat University, Pathumthani, 12120

*E-mail: agoon.namjan@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ศึกษาประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากดินสอพองสำหรับการผลิตไบโอดีเซล การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ โดยการเผา ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5.5 ชั่วโมง โดยสามารถเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ได้ร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนัก มีค่าความเป็นเบส (Basicity) 2.30 มิลลิโมล/กรัม เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบแคลเซียมออกไซด์ที่ตำแหน่ง 32.32°, 37.47°, 53.00°, 62.72°, 64.92° และมีความเป็นรูพรุนสูง ในการผลิตไบโอดีเซล ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน %wt. วิเคราะห์ด้วยเทคนิค ¹H NMR โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 9 (โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์ม) อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล (1:9) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ได้ไบโอดีเซลสูงที่สุดมากกว่าร้อยละ 90 สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ถึง 4 ครั้งภายใต้สภาวะเดียวกัน ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดใหม่สำหรับการผลิตไบโอดีเซลด้วยวัสดุที่ประหยัดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ไบโอดีเซล ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ ดินสอพอง

ABSTRACT

This study was conducted to examine the performance of white clay as catalyst filler for biodiesel production. White clay catalyst prepared with a calcination temperature of 900 °C for 5.5 hr exhibited 12.57 %wt. calcium oxide converted from calcium carbonate and providing strong base of 2.30 mmol/g. Furthermore, calcium oxide was confirmed through characteristic of XRD patterns at 32.32°, 37.47°, 53.00°, 62.72°, 64.92° with a high porosity.

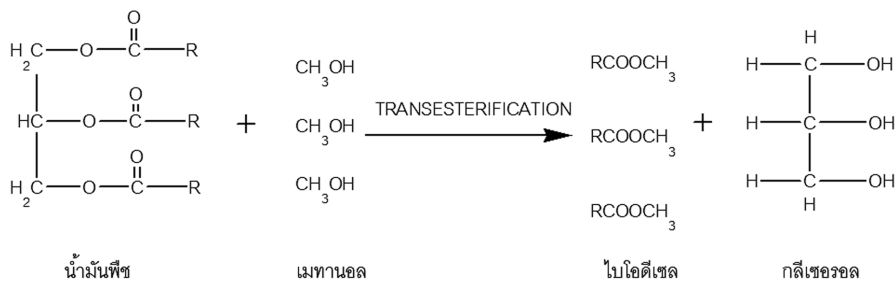
¹H nuclear magnetic resonance (¹H NMR) showed that palm oil could be readily converted to a biodiesel product through transesterification by using 9 %wt. (by weight of palm oil) calcium oxide catalyst: methanol (1:9) at 65 °C for 2 hr. The maximum biodiesel production more than 80% was obtained and reusable up to 4 times of consecutive runs under the optimum conditions compared with the commercial available. These findings have opened novel catalyst filler for highly biodiesel production with economical and environment-friendly materials.

Keywords: biodiesel, calcium oxide catalyst, White clay

บทนำ

ปัจจุบันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียนที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจาก ไบโอดีเซลสามารถสังเคราะห์ได้ง่าย ปลอดภัยกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สามารถช่วยลดผลกระทบของราคาน้ำมันดีเซลในปัจจุบัน การพัฒนากระบวนการผลิตไบโอดีเซลได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางเช่นชนิดของน้ำมัน ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา ฯลฯ ไบโอดีเซลที่ผลิตจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) ของไตรกลีเซอไรด์ (น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์) และแอลกอฮอล์ (ใช้เมทานอล) ผลิตภัณฑ์ที่มีที่เรียกว่า เมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) และกลีเซอรินเป็นผลพลอยได้ ดังแสดงรูปที่ 1 การเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้ามาก จำเป็นต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้มีทั้งชนิดกรดและเบส ในปัจจุบันมีการวิจัยเพื่อพัฒนาตัว

เร่งปฏิกิริยาแบบเนื้อเดียวกัน (homogeneous catalysts) และตัวเร่งปฏิกิริยาแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous catalysts) การเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเนื้อเดียวกันการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากไบโอดีเซลเป็นเรื่องยาก เนื่องจากมีสถานะเดียวกัน และสามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวเพียงครั้งเดียว จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งมีข้อได้เปรียบเรื่องการแยกออกจากไบโอดีเซลและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Marinkovic et al., 2016)



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจากไตรกลีเซอไรด์
(Colombo et al., 2017)

ในระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น สารเคมี วัสดุธรรมชาติ เช่น เปลือกไข่ กระดูกสัตว์ หอยชนิดต่างๆ และ แร่โดโลไมท์ (Dolomites) ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ร้อยละ 80-90 เมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงจะได้ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ มีการประยุกต์ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล และหลากหลายอุตสาหกรรม การศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้แคลเซียมออกไซด์จากดินสอพองมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากมีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณสูง โดยแหล่งที่พบคือ อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ จึงมีความน่าสนใจในการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ อีกทั้งมีต้นทุนต่ำในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

วิธีการ

การเตรียมสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากดินสอพอง

นำดินสอพอง มาล้างน้ำให้สะอาด และอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำดินสอพองที่อบแห้งมาบดแล้วนำไปศึกษาอุณหภูมิเผา 700-1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 - 6 ชั่วโมง วิเคราะห์ความเป็นเบสของดินสอพองที่อบและเผา โดยวิธีการ

วิเคราะห์ความเป็นกรด - ด่าง ของดิน (Soil pH) และหาความเข้มข้นของแคลเซียมออกไซด์ ในดินสองฟองที่อบและผ่านการเผาด้วยวิธีการไทเทรตแบบย้อนกลับ (Back titration) ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffraction (XRD)) ในช่วง 2θ จาก 10° ถึง 130° ขนาด 0.0116° ความเร็วในการสแกน 0.1288° ต่อวินาที วิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิว การกระจายขนาดของรูพรุน และปริมาตรรูพรุนทั้งหมด ด้วยเทคนิคการแทนที่พื้นที่ผิวหรือรูพรุนด้วยแก๊สไนโตรเจน (The Brunauer, Emmett and Teller (BET)) วิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM))

การผลิตไบโอดีเซล วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) ในน้ำมันปาล์ม ด้วยวิธีมาตรฐาน AOCS Ca5a-40 (Kali et al. 2012)

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ได้แก่ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยควบคุมอัตราส่วนโดยโมลน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:9 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และศึกษาปัจจัยอื่นๆ ดังนี้

1. ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา: ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากดินสองฟองต่อประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ปริมาณร้อยละ 4-16 โดยน้ำหนักน้ำมัน ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

2. เวลาในการทำปฏิกิริยา: ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ที่เวลา 0.50 - 4 ชั่วโมง

ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

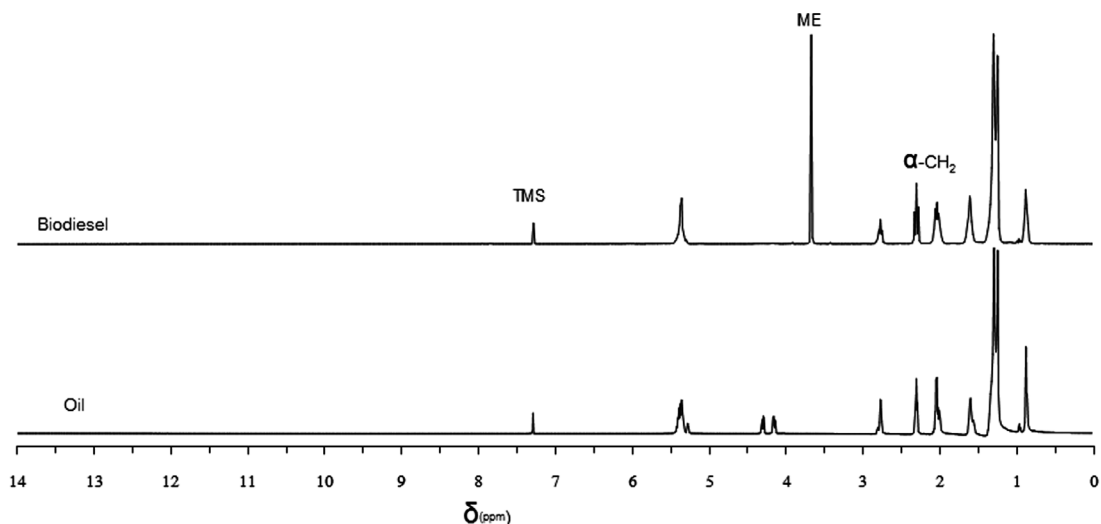
น้ำมันปาล์มในขวดสามคอ ให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส บันทวนที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที จากนั้นเติมเมทานอลที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ลงไป นำไปรีฟลักซ์ เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาทำการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากไบโอดีเซลด้วยการกรองสุญญากาศ ทำการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ ตั้งทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรอล นำไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์ร้อยละผลการเปลี่ยนแปลงเป็นเมทิลเอสเทอร์

ประสิทธิภาพในการใช้ซ้ำของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ ปริมาณร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลที่อัตราส่วน 1:9 นำไปรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส บันทวนที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที เวลา 2 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาทำการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากไบโอดีเซล ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ ตั้งทิ้งไว้จนเกิดการแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรอล นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการกรองสุญญากาศล้างด้วยเมทานอล จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ผลิตไบโอดีเซลซ้ำ

การวิเคราะห์ร้อยละการเปลี่ยนแปลงเป็นเมทิลเอสเทอร์ (%Conversion) โดยการคำนวณพื้นที่ใต้พีคโปรตอนของหมู่เมทิลเอสเทอร์ที่ตำแหน่ง 3.6 ppm กับพื้นที่ใต้พีคโปรตอน

ของหมู่เมทิลีน (α - methylene) ที่ตำแหน่ง 2.3 ppm นำมาคำนวณ ดังสมการที่ 1 จะได้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงเป็น ไบโอดีเซล (Knothe. 2006)



รูปที่ 2 สเปกตรัมไบโอดีเซล ด้วยเทคนิค ^1H NMR

$$C_{ME} = 100 \times \frac{2 \times I_{ME}}{3 \times I_{\alpha-CH_2}} \quad (1)$$

- เมื่อ C_{ME} = ร้อยละการเปลี่ยนแปลงเป็นเมทิลเอสเทอร์
 I_{ME} = พื้นที่ใต้พีคโปรตอนของเมทิลเอสเทอร์ ($-\text{OCH}_3$)
 $I_{\alpha-CH_2}$ = พื้นที่ใต้พีคโปรตอนของหมู่เมทิลีน ($\alpha\text{-CH}_2$)
 2 = จำนวนโปรตอนของหมู่เมทิลีน ($\alpha\text{-CH}_2$)
 3 = จำนวนโปรตอนของหมู่เมทิลเอสเทอร์ ($-\text{OCH}_3$)

ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิในการเผาดินสอพองพบว่าการเผาที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ ดังสมการที่ 2 จากตารางที่ 1 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 12.24 ± 0.34 (โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการเผาจะทำให้อนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยามีขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นทำให้ความเป็นเบสเพิ่มขึ้นเช่นกัน สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค

XRD (Ivana et al., 2017) และเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1000 องศาเซลเซียส พบว่ามีผลต่อปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ เนื่องจากดินสอพองสามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นจากอากาศเกิดสารประกอบของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ลดลง (Zhu et al., 2011).



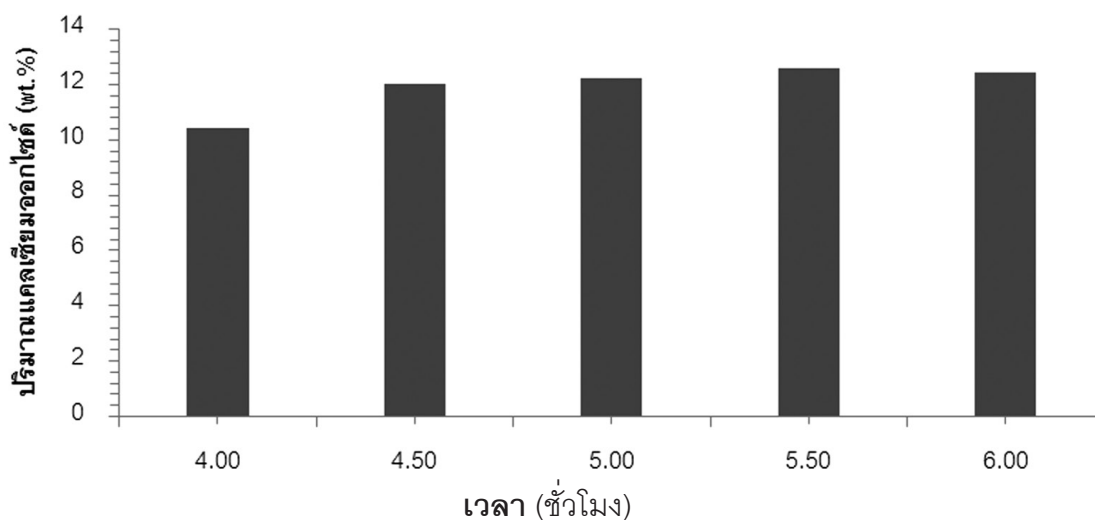
จากรูปที่ 3 แสดงผลของระยะเวลาที่ใช้เผาตัวเร่งปฏิกิริยาจากดินสอพอง พบว่าที่เวลา 5.5 ชั่วโมง ให้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์มากที่สุดร้อยละ 12.57 และที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ จะลดลง เนื่องจากแคลเซียมออกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตได้ (Boonyun et al., 2016) ดังนั้นจึงเลือกที่เวลา 5.5 ชั่วโมง เพื่อเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 1 ผลของอุณหภูมิในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากดินสอพอง

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (%wt.)	ค่าความเป็นเบส (mmol/g)	pH
ดินสอพอง ไม่ผ่านการเผา	6.03±0.60	1.14	8.29
1100	10.67±0.91	1.95	12.38
1000	12.66±0.33	2.33	12.41
900	12.24±0.34	2.22	12.34
800	9.81±0.56	1.75	12.32
700	8.97±0.11	1.50	12.15

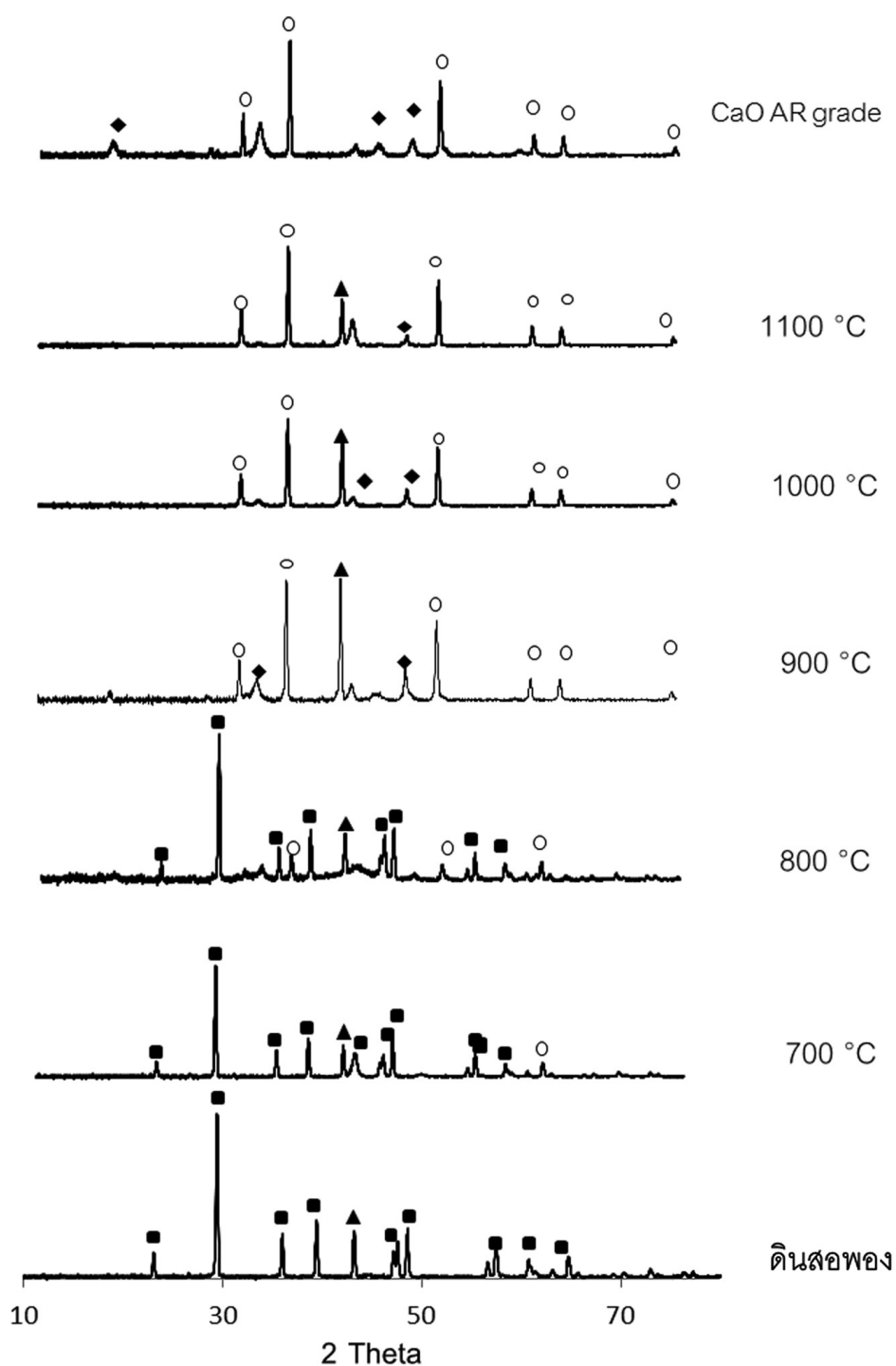
รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากดินสอพอง ด้วยเทคนิค XRD โดยทำการเปรียบเทียบแคลเซียมออกไซด์เกรดวิเคราะห์ ดินสอพองที่ไม่ผ่านการเผา และตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากดินสอพองเผาที่อุณหภูมิ 700 800 900 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าดินสอพองที่ไม่ผ่านการเผามีพีคของแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อเผาดินสอพองที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส แคลเซียมคาร์บอเนตจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ โดยจะพบพีคแคลเซียมออกไซด์ที่ตำแหน่ง 32.32° 37.47° 53.00° 62.72° 64.92° และพีคของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ พบที่

ตำแหน่ง 34.0° 47.1° 50.1° เกิดจากการทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นจากอากาศที่อุณหภูมิสูง (Mirghiasi et al., 2016) นอกจากนี้ยังพบฟีดของแมกนีเซียมออกไซด์ปะปนอยู่ที่ตำแหน่ง 43.12° เนื่องจากในดินสอพองมีแมกนีเซียมออกไซด์ประกอบอยู่ด้วย (Lani et al., 2017) องค์ประกอบของธาตุบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากดินสอพองเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส พบธาตุ O Ca C Si Al และ Mg ในปริมาณร้อยละ 54.397 40.147 4.13 0.84 0.325 และ 0.415 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 ปริมาณธาตุออกซิเจนและแคลเซียมมีอยู่ปริมาณมาก เนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักของแคลเซียมออกไซด์ ส่วนธาตุ Ca C และ O สามารถเกิดแคลเซียมออกไซด์และแคลเซียมคาร์บอเนต สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ธาตุอื่นๆ ที่ปะปนอยู่ในปริมาณเล็กน้อยในองค์ประกอบเหล่านี้มีความน่าสนใจในการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน



รูปที่ 3 ผลของระยะเวลาในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

วิเคราะห์พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดของรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากดินสอพองเผาที่ 900°C เท่ากับ $5.7531\text{ m}^2/\text{g}$ $0.017786\text{ cm}^3/\text{g}$ และ 12.36 nm ตามลำดับมากกว่าแคลเซียมออกไซด์ทางการค้า เกรดวิเคราะห์ ดังตารางที่ 3 มีพื้นที่ผิวและรูพรุนมีขนาดใหญ่ของตัวเร่งปฏิกิริยา CaO มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมากขึ้นในการเปรียบเทียบขนาดของรูพรุน ตัวเร่งปฏิกิริยามีขนาดใหญ่กว่าขนาดของไตรกลีเซอไรด์ ประมาณ 5.8 nm ดังนั้นโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์สามารถได้เข้าไปในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ ทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาได้ดีขึ้น (Wu et al., 2014)



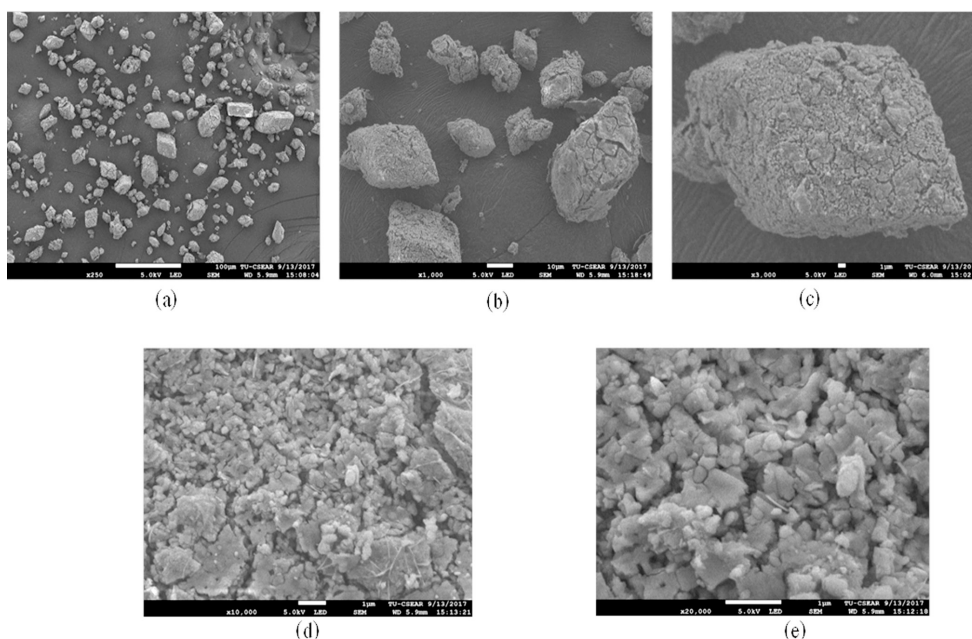
รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์
จากดินสอพองด้วยเทคนิค XRD

(■ แคลเซียมคาร์บอเนต, ▲ แมกนีเซียมออกไซด์, ○ แคลเซียมออกไซด์, ◆ แคลเซียมไฮดรอกไซด์)

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ จากดินสอพองเผาที่ 900 °C ด้วยเทคนิค EDX

ธาตุ	น้ำหนัก (%wt.)	มวลอะตอม (%wt.)
O	54.397	70.863
Ca	40.147	20.951
C	4.132	7.173
Si	0.841	0.628
Al	0.325	0.275
Mg	0.415	0.324

รูปที่ 5 ดินสอพองผ่านอุณหภูมิเผาที่ 900 °C ขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็ก รูป. 5 (a) - (c) ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 14 ไมครอน มีหลายรูปทรงไม่เสถียรเนื่องจากระยะเวลาในการเผา มีการกระจายตัวที่ดีทำให้เพิ่มพื้นที่ผิว รูปที่ 5 (c) - (e) ตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นผิวขรุขระ มีผลทำให้การเร่งปฏิกิริยาดีขึ้น (Jaggernagth et al., 2015)



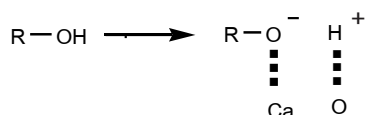
รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ SEM ของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ เผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 5.5 ชั่วโมง (กำลังขยาย x250 (a) กำลังการขยาย x1,000 (b) กำลังการขยาย x3,000 (c) กำลังการขยาย x10,000 (d) กำลังการขยาย x20,000 (e))

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของแคลเซียมออกไซด์จากดินสอพองเผาที่ 900 °C
วิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET

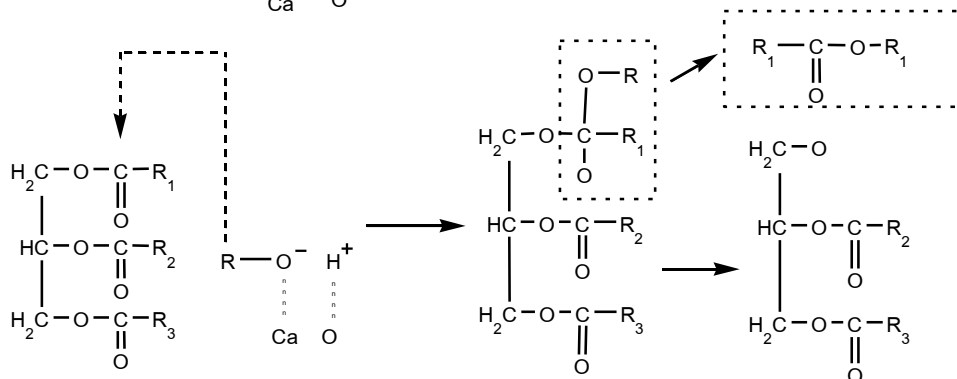
ตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิว (m ² /g)	ปริมาตรรูพรุน (cm ³ /g)	ขนาดรูพรุน (nm)
CaO AR grade	3.2193	0.008728	10.48
CaO จากดินสอพอง	5.7531	0.017786	12.36

กลไกของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนในรูปที่ 6: ขั้นตอนแรก เมทานอลจะแตกตัวและเข้าจับกับพื้นผิวของแคลเซียมออกไซด์ เกิดเป็นเมทอกไซด์ไอออน ขั้นตอนที่สอง เมทอกไซด์ไอออนจากขั้นตอนแรกจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl) ของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดสารตัวกลาง

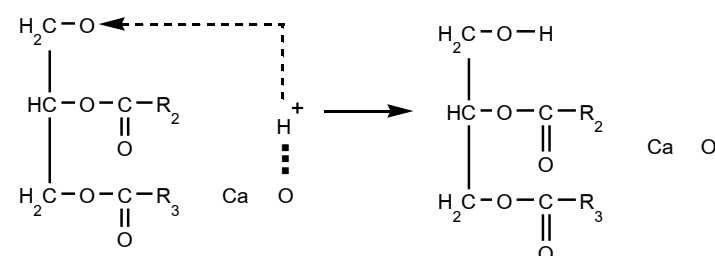
< Step 1>



< Step 2>



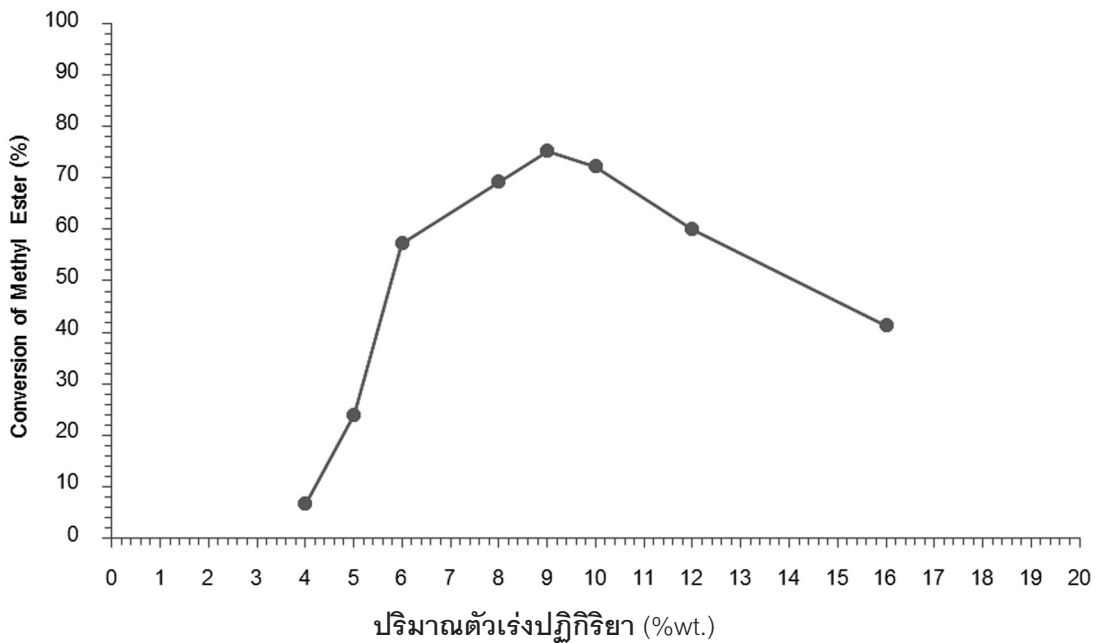
< Step 3>



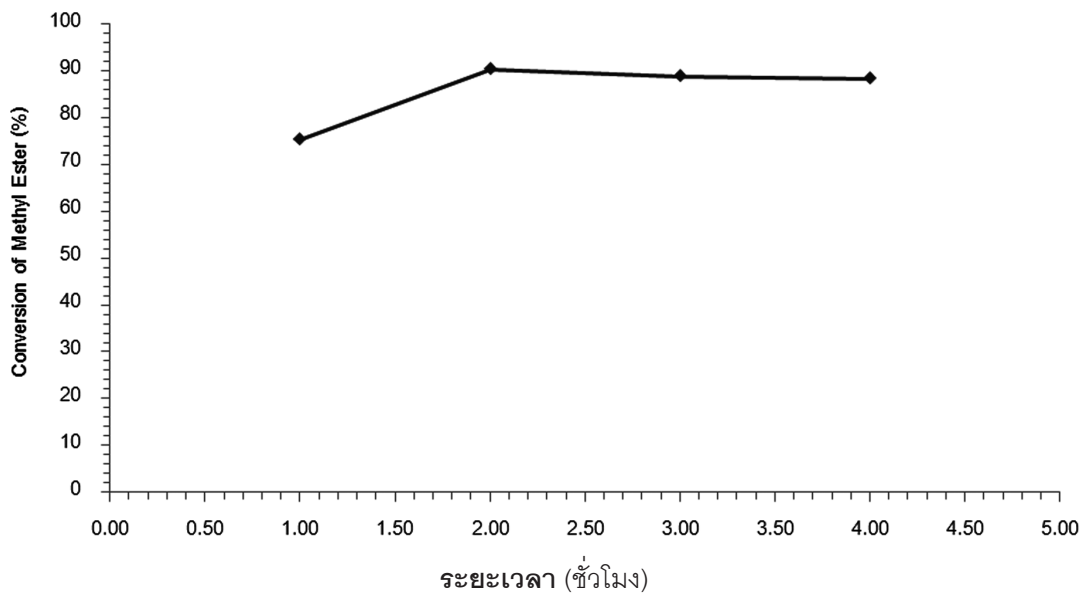
รูปที่ 6 กลไกของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
(Kouzu et al., 2008)

(Intermediate) ซึ่งสารตัวกลางจะแตกตัวออกเป็นเมทิลเอสเทอร์และไดกลีเซอไรด์ (Methyl Ester and Diglyceride) ขั้นตอนที่สาม เมท็อกไซด์ไอออนเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของไดกลีเซอไรด์จนหมดจะกลับเป็นแคลเซียมออกไซด์อีกครั้ง

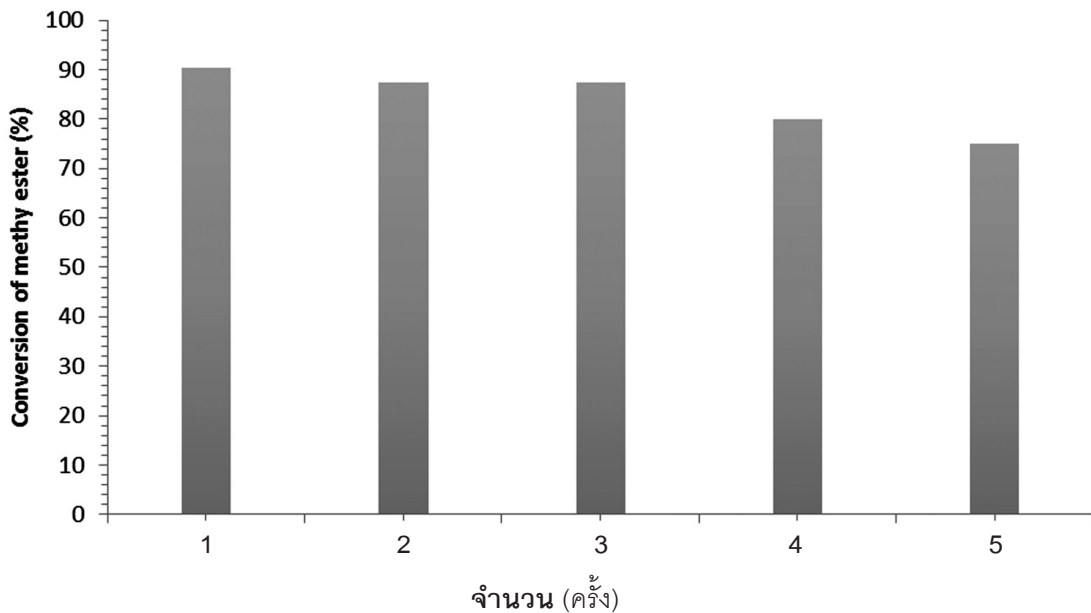
ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการผลิตไบโอดีเซล คือความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระ (FFA) ในงานวิจัยนี้ได้หาปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการไทเทรตแบบย้อนกลับ พบว่า น้ำมันปาล์มมีปริมาณกรดไขมันอิสระ เพียงร้อยละ 0.21 ถ้ามีกรดไขมันอิสระปริมาณสูงส่งผลกระทบต่อการผลิตไบโอดีเซล ในการศึกษานี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสในการผลิตไบโอดีเซลถ้าปริมาณกรดไขมันอิสระสูงจะทำให้เกิดสบู่ โดยการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสปริมาณกรดไขมันอิสระต้องน้อยกว่าร้อยละ 3 และมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 1 ในน้ำมัน ผลการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตราส่วนร้อยละ 4 ถึง 16 (โดยน้ำหนักของน้ำมัน) ดังรูปที่ 7 พบว่า เมื่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนแปลงเป็นไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้นโดยปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 9 (โดยน้ำหนักน้ำมัน) ได้ไบโอดีเซลสูงสุดที่ร้อยละ 75.33 และการเปลี่ยนแปลงเป็นไบโอดีเซลจะเริ่มลดลงที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักน้ำมัน) เนื่องจากปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น เป็นผลให้การถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำมันกับเมทานอลน้อยลง (Taufiq-Yap et al., 2011) รูปที่ 8 แสดงร้อยละการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลโดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ถึง 4 ชั่วโมง พบว่าที่เวลา 2 ชั่วโมงให้ร้อยละไบโอดีเซลถึง 90 โดยเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงเป็นไบโอดีเซลไม่แตกต่างกัน รูปที่ 9 แสดงร้อยละการเปลี่ยนเป็นไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ซ้ำ จำนวน 4 ครั้ง พบว่าประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในครั้งที่ 2 และ 3 ในการทำปฏิกิริยามีประสิทธิภาพในการนำกลับใช้ซ้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ และครั้งที่ 4 และ 5 ประสิทธิภาพในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงถึงร้อยละ 15 เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยามีสิ่งสกปรกไปเกาะบริเวณผิวซึ่งจะไปขัดขวางการเข้าทำปฏิกิริยา (Boonyun et al., 2016)



รูปที่ 7 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:9 ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 8 ระยะเวลาในการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:9 ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ ร้อยละ 9 (โดยน้ำหนักของน้ำมัน) อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส



รูปที่ 9 ประสิทธิภาพในการนำใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์กลับมาใช้ซ้ำ
โดยใช้อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:9 ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 9
(โดยน้ำหนักของน้ำมัน) อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

สรุป

การศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์จากดินสอพองพบว่า
เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลา 5.50 ชั่วโมง ได้ปริมาณแคลเซียมออกไซด์มากที่สุด
โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์มีลักษณะเป็นเม็ด รูปร่างหลายแบบ มีการกระจายตัวที่ดี
มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 ไมครอน ทำให้มีพื้นที่ผิวและความพรุนสูง เมื่อเทียบกับแคลเซียมออกไซด์
ในเชิงพาณิชย์ การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในงานวิจัยนี้พบว่า
อัตราส่วนโดยโมลน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:9 ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง
สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นไบโอดีเซลถึงร้อยละ 90 และมีประสิทธิภาพสูงในการผลิตไบโอดีเซล
สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ มีความน่าสนใจในการนำวัตถุดิบในท้องถิ่นมาเพิ่มคุณค่าเพื่อพัฒนาสู่
อุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซล

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ
นครสวรรค์

เอกสารอ้างอิง

- Boomyun, S., Malaithong, M. & Prokaew, A. (2016). Biodiesel Production from Oil Palm Using CaO Supported on Waste Glass as a Catalyst. **Science and Technology**. 6, 904-913. (in Thai)
- Colombo, K., Ender, L. & Barros, C. (2017). The study of biodiesel production using CaO as a heterogeneous catalytic reaction. **Egyptian Journal of Petroleum**. 26, 341-349.
- Ivana, B., Marija, M., Olivera, S. & Vlada, V. (2017). Application of nano CaO– based catalysts in biodiesel synthesis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 72, 746-760.
- Jaggernauth-all, P., John, E. & Bridgemohan, P. (2015). The application of calcined marlstones as a catalyst in biodiesel production from high free fatty acid coconut oil. **Fuel**. 158, 372-378.
- Kali, W., Link, D. & Morreale, D. (2012). Determination of Free Fatty Acids and Triglycerides by Gas Chromatography Using Selective Esterification Reactions. **Journal of chromatographic Science**, 50, 934-939.
- Knothe, G. (2006). Analysis of oxidized biodiesel by ¹H-NMR and effect of contact area with air. **European Journal of Lipid Science and Technology**. 108, 493–500.
- Kouzu, M., Kasuno, T., Tajika, M., Sugimoto, Y. & Jusuke, H. (2008). Calcium oxide as a solid base catalyst for transesterification of soybean oil and its application to biodiesel production. **Fuel**. 87, 2798-2806.
- Lani, N., Ngadi, N., Yahya, N. & Rahman, R. (2017). Synthesis, characterization and performance of silica impregnated calcium oxide as heterogeneous catalyst in biodiesel production. **Journal of Cleaner Production**. 146, 116-124.
- Marinkovic, D., Stankovic, M., Velickovic, A., Avramovic, J., Miladinovic, M., Stamenkovic, O., Velikovic, V. & Jovanovic, M. (2016). Calcium oxide as a promising heterogeneous catalyst for biodiesel production: Current state and perspectives **Renewable and Sustainable Energy. Reviews**, 56, 1387-1408.
- Mirghiasi, Z., Bakhtiari, F. & Darezereshki, E. (2016). Preparation and characterization of CaO nanoparticles from Ca(OH)₂ by direct thermal decomposition method. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. 20, 113-117.

- Taufiq-Yap, H., Lee, V., Hussein, Z. & Yunus, R. (2011). Calcium-based mixed oxide catalysts for methanolysis of *Jatropha curcas* oil to biodiesel. **Biomass and Bioenergy**. 35,827-834.
- Wu, Z., Zheng, J. & Wei, Q. (2014). Biodiesel production from *jatropha* oil using mesoporous molecular sieves supporting K_2SiO_3 as catalysts for transesterification. **Fuel Process Technology**. 119, 114-120.
- Zhu, Y., Wu, S. & Wang, X. (2011). Nano CaO grain characteristics and growth model under calcination. **Chemical Engineering Journal**. 175, 512-518.

.....

รูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขเพื่อขอรับเงินสนับสนุน
จากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น
สำหรับอาสาสมัครสาธารณสุข
ประจำหมู่บ้าน อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี

PUBLIC HEALTH PROJECTS MANAGING MODEL
TO OBTAIN FINANCIAL SUPPORT
FROM LOCAL SECURITY HEALTH FUND
FOR VILLAGE HEALTH VOLUNTEER
OF CHOM BUENG DISTRICT RATCHABURI PROVINCE

รุ่งอรุณ สุทธิพงษ์^{*}

^{*}สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ วิทยาลัยมวยไทยศึกษาและการแพทย์แผนไทย

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ราชบุรี 70000

^{*}Rung-Arun Sutthiphong

^{*}Department of Public Health, College of Muaythai Study and Thai Traditional Medicine,

Muban Chombueng Rajabhat University, Ratchaburi, 70000

^{*}E-mail: pia032347116@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขเพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่นสำหรับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี 2) พัฒนารูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข 3) ตรวจสอบคุณภาพของรูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข กลุ่มเป้าหมายได้แก่ อสม. ในอำเภอจอมบึง จำนวน 30 คน ผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ด้านการจัดทำโครงการสาธารณสุขจำนวน 12 คน การดำเนินการวิจัยมี 3 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นศึกษาองค์ประกอบ โดยการวิเคราะห์และสังเคราะห์เอกสาร 2) ขั้นพัฒนารูปแบบการจัดทำโครงการ โดยการสนทนากลุ่ม 3) ขั้นตรวจสอบคุณภาพรูปแบบการจัดทำโครงการ

โดยการทดลองใช้ และตรวจสอบยืนยันความเหมาะสมของรูปแบบการจัดทำโครงการ โดยการสนทนากลุ่ม วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยการวิเคราะห์เอกสาร และตีความตามประเด็นการสนทนากลุ่ม ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ใช้สถิติ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่า ที

ผลการศึกษาพบว่า 1) องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขสำหรับ อสม. มี 5 ด้าน คือ ด้านสถานะสุขภาพของประชาชน ด้านบริบทของอำเภอจอมบึง ด้าน อสม. ด้านส่วนประกอบของแบบเสนอโครงการ และด้านหลักเกณฑ์การขอเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพระดับท้องถิ่น 2) รูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขประกอบด้วย (1) องค์ประกอบ 5 ด้าน (2) กระบวนการจัดทำโครงการ 3 ขั้นตอนคือขั้นเตรียมขั้นเขียนโครงการ ขั้นประเมินผล (3) การติดตามโครงการที่ได้รับอนุมัติ และ 3) คุณภาพของรูปแบบ พบว่า อสม. มีความรู้เรื่องการเขียนโครงการหลังการทดลอง ($\bar{x} = 8.60$, S.D. = 1.22) สูงกว่าก่อนการทดลอง ($\bar{x} = 4.23$, S.D. = 1.57) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ ประสิทธิภาพด้านการเขียนโครงการ พบว่า อสม. มีการพัฒนาการเขียนโครงการมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x} = 80.42$, S.D. = 4.28) และอสม. มีความคิดเห็นต่อรูปแบบการจัดทำโครงการอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.35$, S.D. = 0.50) และตรวจสอบยืนยันความเหมาะสมของรูปแบบการจัดทำโครงการมีความเหมาะสมดีมีบางประเด็นที่เพิ่มเติมก่อนนำไปใช้จริง

คำสำคัญ: โครงการด้านสาธารณสุข กองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น อาสาสมัครสาธารณสุข ประจำหมู่บ้าน

ABSTRACT

The purposes of this research were 1) to study factors involving public health projects management to obtain financial support from Local Health Security Fund (LHSF) for Village Health Volunteer (VHV) of Chom Bueng district Ratchaburi province, 2) to develop public health projects managing model and 3) to verify public health projects managing model. Target groups of this research were 30 VHV of Chom Bueng and 12, experts and practioners in public health project managing. This research composed of 3 phases as follows: 1) studying factors step by documentary analyzing and synthesizing, 2) model developing step by focus group, 3) verifying model quality step by model operating, and verifying to confirm suitability model quality by group discussion. Qualitative analysis were used document analysis and focus group interpretation. Quantitative statistical was used average, standard deviation and t test.

The study was found that 1) factors involving public health projects for VHV comprised of 5 components, for instance: citizen health status, context of local Chom Bueng district, VHV of tambon in Chom Bueng district, composition of project proposal, and criteria for financial supporting from LHSF 2) developed model comprised of (1) 5 factors, (2) 3 steps of project management process, preparing step, writing step, and evaluating step, (3) follow up of projects that received financial supported from LHSF. and 3) verifying model quality, it was found that after operating ($\bar{x} = 8.60$, S.D. = 1.22), VHV had better in knowledge of project writing aspect than before operating ($\bar{x} = 4.23$, S.D. = 1.57), with statistically significant at the level of .05. In project writing effectiveness aspect, VHV had total project writing development in excellent level ($\bar{x} = 80.42$, S.D. = 4.28). Evaluation of VHV opinion on public health projects managing was appropriate in more level ($\bar{x} = 4.35$, S.D. = 0.50), realistic to implement project with some adjustment.

Keywords: public health projects, Local Health Security Fund (LHSF), Village Health Volunteer (VHV)

บทนำ

ระบบสุขภาพของประเทศไทยในอดีตเป็นลักษณะของการตั้งรับคือ การรอให้เจ็บป่วยแล้วค่อยมารักษา ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองสูญเสียงบประมาณ สูญเสียชีวิต สูญเสียเศรษฐกิจ สูญเสียคุณค่าชีวิตและจิตใจ ระบบสุขภาพของไทยไม่สามารถทำให้ประชาชนมีสุขภาพดีโดยถ้วนหน้าได้ คนไทยต้องล้มตาย เจ็บป่วยโดยไม่จำเป็นเป็นจำนวนมาก จากโรคเครียด โรคหัวใจ อุบัติเหตุ โรคเอดส์ โรคติดสารเสพติด โรคมะเร็ง โรคจากการประกอบอาชีพ โรคแห่งความรุนแรง โรคเรื้อรังต่าง ๆ เป็นปัญหาใหญ่ของคนไทย ซึ่งโรคและปัญหาเหล่านั้นส่วนใหญ่ล้วนป้องกันได้แต่แก้ไม่ได้หรือได้ผลน้อยถ้ารอให้เกิดการเจ็บป่วยขึ้นก่อน ช่วงปลายแผนพัฒนาการสาธารณสุขฉบับที่ 5 พ.ศ. 2529 มีการประกาศใช้กฎบัตรอตตาวา โดยเน้นการดำเนินการสร้างเสริมสุขภาพให้เป็นระบบมากขึ้น เช่นมี 1) นโยบายสาธารณะเพื่อสุขภาพ 2) มีการปรับระบบการบริการให้มีการบูรณาการการสร้างเสริมสุขภาพ การป้องกัน การรักษาพยาบาลและการฟื้นฟูสุขภาพ 3) พัฒนากิจกรรมส่วนบุคคล 4) จัดสภาพแวดล้อมที่ดี และ 5) การมีส่วนร่วมของชุมชน โดยใช้กลยุทธ์การสาธารณสุขมูลฐาน (Powwattana et al., 2012) กระทรวงสาธารณสุขเห็นความสำคัญของการดูแลสุขภาพชุมชนโดยชุมชนและเพื่อชุมชน จึงมีประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องแนวทางและหลักเกณฑ์การปฏิบัติงานของ อสม.เชิงรุก ซึ่งทำให้กระทรวง

สาธารณสุขสามารถนำข้อมูลมาแก้ไขปัญหาได้รวดเร็วขึ้น (Ministry of Public Health, 2012) ภาครัฐและเอกชนจึงให้ความสำคัญกับ อสม. เป็นอย่างยิ่ง มักจัดให้มีการอบรมให้ความรู้และฝึกปฏิบัติงานด้านสาธารณสุขเพื่อให้เกิดความชำนาญและสามารถทำงานบริการสาธารณสุขในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ คงปฏิเสธไม่ได้ว่า อสม. ส่วนใหญ่มีความรู้ความสามารถในการบริการสาธารณสุขให้ประชาชนในพื้นที่ได้ดี แต่ไม่มีทักษะในด้านการเขียนงานวิชาการ อสม. ส่วนใหญ่มีการศึกษาน้อย เพราะเกณฑ์การคัดเลือก อสม. แค่ว่ามีความรู้สามารถอ่านออกเขียนได้เท่านั้น ไม่ได้กำหนดระดับการศึกษา Jeamboonsri (2014) มีความเห็นว่า “...ที่ผ่านมาการปฏิรูปของกระทรวงสาธารณสุข ยังคงเป็นเรื่องมุมมองเชิงระบบ ทำให้ภาคประชาสังคมไม่เติบโต ไม่เหมือนกับการทำงานขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ที่มีนโยบายด้านสุขภาพแตกต่างกันออกไป มีการกระจายอำนาจสู่ท้องถิ่น มีงบประมาณสนับสนุน จึงควรใช้โอกาสนี้ช่วยกันสนับสนุนให้ภาคประชาสังคมเติบโตขึ้น เพื่อเป็นผู้กำหนดทิศทางและติดตามการทำงานทุกภาคส่วนอย่างจริงจัง...” อปท. มีการทำความร่วมมือกับกองทุนหลักประกันสุขภาพ จัดตั้งเป็นกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น เพื่อจัดการบริการสาธารณสุขในระดับท้องถิ่นซึ่ง อปท. จะสมทบเงินส่วนหนึ่งเข้ากองทุนฯ และกองทุนหลักประกันสุขภาพแห่งชาติจะจัดสรรงบประมาณให้เป็นเงิน 45 บาทต่อประชาชนในพื้นที่หนึ่งคน ซึ่งเงินกองทุนนี้จะใช้ในการสนับสนุนให้กลุ่มหรือองค์กรประชาชนในพื้นที่ได้ดำเนินการตามแผนงาน หรือโครงการ หรือกิจกรรมด้านจัดการบริการสาธารณสุขในระดับท้องถิ่น โดยมีคณะกรรมการกองทุนฯ เป็นผู้อนุมัติ (National Health Security committee, 2014) แต่ปัญหาของ อสม. ที่ตามมา คือ อสม. ไม่มีทักษะในการจัดทำโครงการ ไม่เข้าใจขั้นตอนและหลักเกณฑ์การขอเงินสนับสนุน อสม. ในหลายพื้นที่จึงไม่มีการเสนอโครงการที่จำเป็นต้องพัฒนาในเขตพื้นที่ของตนปล่อยให้เป็นการจัดโครงการตามนโยบายของคณะกรรมการกองทุนฯ บางกลุ่มเขียนโครงการไปแล้ว ก็ไม่ได้รับการอนุมัติเพราะไม่สอดคล้องกับหลักเกณฑ์หรือวัตถุประสงค์ของกองทุนฯ ทำให้เสียเวลาและเสียกำลังใจ จะเห็นได้จาก กรณีตัวอย่าง อสม. ตำบลหนองขาว ได้เสนอโครงการเกี่ยวกับการทำวิจัยพฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง (National Health Security Office, 2015) เสนอขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น แต่ไม่ได้รับการอนุมัติเพราะไม่เป็นไปตามระเบียบและวัตถุประสงค์ของกองทุนฯ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษารูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขเพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่นสำหรับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน โดยผู้วิจัยทำการศึกษาในพื้นที่ อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี เพื่อให้สอดคล้องกับแนวนโยบายของมหาวิทยาลัยที่มุ่งเน้นการพัฒนาชุมชนในท้องถิ่น อีกทั้งองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในอำเภोजอมบึงมีการจัดตั้งสำนักงานกองทุนประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่นทุกหน่วยงาน อสม. ในอำเภोजอมบึงจึงสามารถจัดทำโครงการด้านสุขภาพเพื่อขอเงินสนับสนุนได้

ศึกษาวิจัยเรื่อง รูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขเพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น สำหรับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรีครั้งนี้ประยุกต์ใช้แนวคิดของ Bardo & Hartman (1982) การศึกษาเรื่ององค์ประกอบของรูปแบบ โดยการศึกษาข้อมูล ปรากฏการณ์ และบริบทของสภาพแวดล้อมในชุมชน ส่วนขั้นตอนการพัฒนาแบบประยุกต์ใช้แนวคิดของ Willer (1986) คือการพัฒนาแบบโดยมี 2 ขั้นตอนได้แก่ 1) การสร้าง (construct) รูปแบบ ในขั้นตอนนี้เป็นการสร้างหรือพัฒนารูปแบบขึ้นมาก่อนเป็นรูปแบบตามสมมติฐาน (hypothesis model) โดยศึกษาแนวคิดทฤษฎีและผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องและศึกษารายกรณีของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผลการศึกษานำมาใช้ในการกำหนดองค์ประกอบและ 2) การหาคุณภาพหรือความเที่ยงตรง (validity) ของรูปแบบ โดยการทดลองใช้รูปแบบกับกลุ่มเป้าหมาย ตลอดจนตรวจสอบเพื่อยืนยันความเหมาะสมของรูปแบบโดยการสนทนากลุ่มผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่เกี่ยวข้อง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบของการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข เพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น สำหรับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี
2. เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข เพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น สำหรับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี
3. เพื่อตรวจสอบคุณภาพของรูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข เพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น สำหรับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน อำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี

วิธีการ

1. กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการศึกษา
 - 1.1 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณารูปแบบฯ โดยการสนทนากลุ่ม (Focus Group) คือ นักวิชาการสาธารณสุขที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับการจัดโครงการด้านสาธารณสุข จำนวน 5 คน คณะกรรมการกองทุนหลักประกันสุขภาพ จำนวน 4 คน อสม.ในอำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี ที่มีประสบการณ์ในการเขียนโครงการด้านสาธารณสุข จำนวน 3 คน รวม 12 คน
 - 1.2 กลุ่มเป้าหมายในการใช้รูปแบบ คือ อสม. ในอำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี 6 ตำบล ตำบล ละ 5 คน จำนวน 30 คน

1.3 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบรูปแบบฯ โดยการสนทนากลุ่ม (Focus Group) คือ นักวิชาการสาธารณสุขที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับการจัดโครงการด้านสาธารณสุข จำนวน 5 คน คณะกรรมการกองทุนหลักประกันสุขภาพ จำนวน 4 คน อสม.ในอำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรีที่มีประสบการณ์ในการเขียนโครงการด้านสาธารณสุขและร่วมใช้รูปแบบ จำนวน 3 คน รวม 12 คน

2. ตัวแปรที่ศึกษา

2.1 สถานะสุขภาพของประชาชน ได้แก่ อัตราการเกิด อัตราการตาย อัตราการเพิ่มธรรมชาติ สาเหตุการตายตามเพศ ตามกลุ่มภูมิลำเนา และตามกลุ่มอายุ

2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ได้แก่ ระดับการศึกษา และประสบการณ์การเขียนโครงการด้านสาธารณสุข

2.3 ข้อมูลบริบทของอำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี ได้แก่ ข้อมูลสภาพทั่วไป สภาพภูมิประเทศ สภาพเศรษฐกิจและสังคม ข้อมูลหมู่บ้านจัดการสุขภาพ และข้อมูลองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ที่เข้าร่วมกองทุน

2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบของแบบเสนอโครงการ ได้แก่ ชื่อโครงการ หลักการและเหตุผล วัตถุประสงค์ เป้าหมาย วิธีดำเนินงาน ระยะเวลา สถานที่ งบประมาณ/ทรัพยากรที่ใช้ ผู้รับผิดชอบ/หน่วยงานที่รับผิดชอบ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ การสรุป/ประเมินโครงการ ผู้เสนอโครงการ ผู้เห็นชอบโครงการ และผู้อนุมัติโครงการ

2.5 ข้อมูลเกี่ยวกับหลักเกณฑ์การขอเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพ ระดับท้องถิ่น ได้แก่ กฎระเบียบ ประกาศ ที่เกี่ยวกับการดำเนินการและการบริหารจัดการกองทุนหลักประกันสุขภาพระดับท้องถิ่น เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับ อสม.

2.6 ข้อมูลการพัฒนาแบบโดยศึกษาค้นคว้าเอกสาร ตำรา ข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง สืบค้นทางอินเทอร์เน็ต เกี่ยวกับแนวคิด ทฤษฎี ต่าง ๆ มากำหนดองค์ประกอบของรูปแบบ จากนั้นพัฒนาเป็นร่างรูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข และพิจารณาความถูกต้องเหมาะสมขององค์ประกอบของร่างรูปแบบโดยการสนทนากลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ด้านสาธารณสุข อสม. คณะกรรมการกองทุนฯ

2.7 ข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพหรือความเที่ยงตรงของรูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข โดย 1) ผลการทดลองใช้รูปแบบได้แก่ เปรียบเทียบความรู้เรื่องการเขียนโครงการก่อนและหลังการใช้รูปแบบ ศึกษาประสิทธิผลด้านการเขียนโครงการและความคิดเห็นต่อรูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขของ อสม.และ 2) ผลการตรวจสอบยืนยันความเหมาะสมของรูปแบบการจัดทำโครงการโดยการสนทนากลุ่ม โดยการตีความตามประเด็นการสนทนากลุ่ม

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 แบบแผนอโครงการและคู่มือประกอบการเขียนแบบแผนอโครงการ โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พิจารณาความตรงด้านเนื้อหา ได้ค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 ทำการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำก่อนนำไปใช้

3.2 แบบทดสอบวัดความรู้เรื่องการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข เป็นข้อสอบชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ มี IOC อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 ค่าความยากง่ายที่อยู่ระหว่าง 0.23-0.77 และค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.20-0.73 ซึ่งเป็นขอบเขตที่ยอมรับได้ (Tayraukham, 2010) มีค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบโดยใช้สูตร KR-20 เท่ากับ 0.94 เป็นค่าที่ยอมรับได้ (Srisatidnarakul, 2007)

3.3 แบบประเมินความคิดเห็นต่อรูปแบบการจัดทำโครงการและคู่มือประกอบการเขียนแบบแผนอโครงการสำหรับ อสม. เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่ 5 เหมาะสมมากที่สุด 4 เหมาะสมมาก 3 เหมาะสมปานกลาง 2 เหมาะสมน้อย และ 1 เหมาะสมน้อยที่สุด นำผลการประเมินมาหาค่าเฉลี่ย แล้วเปรียบเทียบกับเกณฑ์ดังนี้ (Soonklang, 2008)

คะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 4.51–5.00 หมายถึง รูปแบบมีความเหมาะสมดีมาก

คะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 3.51–4.50 หมายถึง รูปแบบมีความเหมาะสมดี

คะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 2.51–3.50 หมายถึง รูปแบบมีความเหมาะสมปานกลาง

คะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 1.51–2.50 หมายถึง รูปแบบมีความเหมาะสมน้อย

คะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 1.00–1.50 หมายถึง รูปแบบมีความเหมาะสมน้อยมาก

พิจารณาความตรงด้านเนื้อหา มีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 จากนั้นนำไปทดลองใช้ (try out) เพื่อหาคุณภาพเครื่องมือ กับ กลุ่ม อสม. ที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย จำนวน 30 คน แล้วนำข้อมูลมาหาค่าความเชื่อมั่นโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (alpha - coefficient) ของครอนบาค (Cronbach) ได้ความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.86

แบบประเมินการเขียนโครงการ สำหรับผู้เชี่ยวชาญกลั่นกรองโครงการจากคณะกรรมการกองทุนหลักประกันสุขภาพระดับท้องถิ่น 3 คน ใช้ประเมินการเขียนโครงการของ อสม. โดยให้ อสม. ในแต่ละเขตพื้นอปท. ร่วมกันเขียนโครงการแบ่งเป็น อปท. ละ 1 โครงการ รวมเป็น 8 โครงการ และเพื่อให้การตรวจเป็นระบบของการให้คะแนนที่มีความเที่ยงสูงสุด ดังที่ Rangchaiyakul (2010) ได้เสนอไว้ว่า การตรวจให้คะแนน ที่ผู้ตรวจทำหน้าที่เป็นเครื่องมือวัดคำตอบออกมาเป็นคะแนน ย่อมจะเป็นเครื่องมือวัดที่ไม่สมบูรณ์ อาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้นเพื่อให้การตรวจมีความเที่ยงสูงสุด ควรให้ผู้ตรวจหลายคนเพื่อลดความผิดพลาด โดยใช้คะแนนเฉลี่ยของผู้ตรวจหลายคน ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงใช้คะแนนเฉลี่ยจากผู้ตรวจ จำนวน 3 คน รายการประเมิน มีทั้งหมด 8 รายการ โดยให้คะแนนเมื่อมีการเขียน/อธิบายที่มีคุณภาพ 5 ระดับ คือ 5 ระดับมากที่สุด 4 ระดับมาก 3 ระดับปานกลาง 2 ระดับน้อย

1 ระดับน้อยที่สุด และ 0 มีไม่การเขียน/อธิบาย คะแนนในแต่ละรายการ ต้องคูณด้วยค่าน้ำหนักก่อนแล้วจึงทำการรวมคะแนน คะแนนรวมทั้งหมดเท่ากับ 100 คะแนน โดยมีเกณฑ์การประเมินคะแนนดังนี้ (Kaewcharutwirai, 2011)

- 80–100 คะแนน หมายถึง โครงการมีระดับคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก
- 70–79 คะแนน หมายถึง โครงการมีระดับคุณภาพอยู่ในระดับดี
- 60–69 คะแนน หมายถึง โครงการมีระดับคุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง
- 50–59 คะแนน หมายถึง โครงการมีระดับคุณภาพอยู่ในระดับต่ำ
- 0–49 คะแนน หมายถึง โครงการมีระดับคุณภาพอยู่ในระดับต่ำมาก

ผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์การผ่านการพิจารณา คะแนนจากผู้ประเมิน 3 คน มีคะแนนเฉลี่ยตั้งแต่ 70 คะแนนขึ้นไป ซึ่งอยู่ในระดับดี ขึ้นไป โครงการจึงจะมีโอกาสได้รับการอนุมัติ

ตรวจสอบคุณภาพโดยให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม ความชัดเจนของข้อความ พิจารณาความเที่ยงตรงมีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 และแก้ไขปรับปรุงตามข้อเสนอแนะจากนั้นนำไปทดลองใช้ (try out) เพื่อหาคุณภาพเครื่องมือ กับคณะกรรมการกองทุนหลักประกันสุขภาพระดับท้องถิ่นในอำเภออื่นของจังหวัดราชบุรี จำนวน 30 คน แล้วนำข้อมูลมาหาค่าความเชื่อมั่นโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (alpha - coefficient) ของครอนบาค (Cronbach) ได้ความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.79

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบ

1. ผู้วิจัยศึกษาค้นคว้าเอกสาร ตำรา และสืบค้นทางอินเทอร์เน็ต เกี่ยวกับแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ใช้เป็นกรอบแนวคิดในการวิจัย และพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2. ทำหนังสือจากต้นสังกัด ขอข้อมูลจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดราชบุรี หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานสาธารณสุข และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในอำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี เกี่ยวกับข้อมูลสถานะสุขภาพ บริบทด้านสาธารณสุขของอำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี ประกาศคณะกรรมการหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ เรื่องการกำหนดเกณฑ์เพื่อสนับสนุนให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นดำเนินงานและบริหารจัดการกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนารูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข

1. นำข้อมูลสารสนเทศที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มากำหนดองค์ประกอบของร่างรูปแบบ
2. กำหนดเนื้อหา คำอธิบายเกี่ยวกับการเขียนโครงการ ในคู่มือประกอบการเขียนโครงการและแบบเสนอโครงการ

3. พิจารณาความถูกต้องเหมาะสมขององค์ประกอบของร่างรูปแบบ แบบเสนอ

โครงการและคู่มือประกอบการเขียนแบบเสนอโครงการ โดยการสนทนากลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ด้านสาธารณสุข อสม. คณะกรรมการกองทุนฯ โดยประยุกต์ขั้นตอนการจัดสนทนากลุ่มมาจาก Sutthiphong (2014)

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบคุณภาพหรือความเที่ยงตรงของรูปแบบ

ตรวจสอบคุณภาพหรือความเที่ยงตรงของรูปแบบโดยการทดลองใช้รูปแบบเป็นกระบวนการวิจัยเชิงทดลอง แบบหนึ่งกลุ่มทดลองและวัด 2 ครั้ง (One-Group Pretest – Posttest Design) (Pengsawat, 2010) และยืนยันความเหมาะสมของรูปแบบโดย การจัดสนทนากลุ่มผู้เชี่ยวชาญ และ อสม. ที่ร่วมทดลองใช้รูปแบบ จำนวน 8-12 คน มีรายละเอียดดังนี้

1. ทำหนังสือเชิญ อสม. เข้าร่วมทดลองใช้รูปแบบ โดยให้เตรียมข้อมูลเกี่ยวกับปัญหา สถานการณ์เร่งด่วนที่ต้องการส่งเสริมหรือป้องกันโรคในชุมชนของตน มาใช้เป็นข้อมูลในการเขียนโครงการ

2. ทำหนังสือเชิญวิทยากรพี่เลี้ยง คือ ผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานสาธารณสุขในเขตอำเภอจอมบึง เป็นพี่เลี้ยงให้คำปรึกษา แนะนำการเขียนโครงการได้แก่ สสอ. รพ.สต. ศูนย์สุขภาพชุมชน

3. ทำหนังสือเชิญวิทยากรผู้กลั่นกรองโครงการ จาก อบต. ได้แก่ ปลัดองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น นักวิชาการสาธารณสุขประจำ อบต. คณะกรรมการบริหารกองทุนหลักประกันสุขภาพระดับตำบล เป็นผู้กลั่นกรอง ตรวจสอบความถูกต้องของโครงการและประเมินการเขียนโครงการของ อสม.

4. มอบเอกสารและอธิบายรายละเอียดให้ความรู้เกี่ยวกับการเขียนโครงการแก่ อสม. โดยมีการทำแบบทดสอบวัดความรู้ก่อนหลังการร่วมทดลองใช้รูปแบบการจัดทำโครงการ จากนั้นให้ อสม. ดำเนินการเขียนโครงการตามแบบเสนอโครงการ โดยให้ศึกษาเอกสารต่าง ๆ ประกอบการเขียนโครงการดังนี้ สารสนเทศองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการจัดทำโครงการ แบบเสนอโครงการและคู่มือประกอบการเขียนแบบเสนอโครงการ ตลอดจนมีผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานสาธารณสุขเป็นพี่เลี้ยงคอยให้คำปรึกษา ระยะเวลาในการดำเนินการ 1 วัน

5. สนทนากลุ่ม ผู้เชี่ยวชาญ และ อสม. ที่ร่วมทดลองใช้รูปแบบการจัดทำโครงการฯ

การวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบ

วิจัยเอกสาร (Documentary research) โดยการวิเคราะห์และสังเคราะห์เอกสารจากการศึกษาค้นคว้ารวบรวมจากเอกสาร ของหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบริหาร

งานสาธารณสุข และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในอำเภोजอมบึง จังหวัดราชบุรี และประกาศคณะกรรมการหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ เรื่องการกำหนดเกณฑ์เพื่อสนับสนุนให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นดำเนินงานและบริหารจัดการกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่นหรือระดับพื้นที่

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนารูปแบบโดยการสนทนากลุ่ม

นำข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1 มากำหนดองค์ประกอบของร่างรูปแบบ แบบเสนอโครงการ และคู่มือประกอบการเขียนโครงการ และพิจารณาความถูกต้องเหมาะสมโดยการสนทนากลุ่ม จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการสนทนากลุ่มมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการตีความตามเนื้อหา โดยการจัดหมวดหมู่ จัดความสัมพันธ์ขององค์ประกอบและสังเคราะห์สรุปเป็นรูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข เพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบคุณภาพหรือความเที่ยงตรงของรูปแบบ

1. การทดลองใช้รูปแบบ มีวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1.1 เปรียบเทียบคะแนนความรู้เกี่ยวกับการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข ก่อนและหลังการทดลองใช้รูปแบบโดยใช้สถิติ การทดสอบค่า ที (Paired-Sample T Test)

1.2 ประเมินการเขียนโครงการฯ โดยวิทยากรพี่เลี้ยง 3 คน เป็นผู้ให้คะแนน ใช้สถิติพื้นฐาน ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) แล้วเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้

1.3 และการประเมินความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมทดลองใช้รูปแบบฯ ใช้สถิติพื้นฐาน ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) แล้วเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้

2. สนทนากลุ่ม ผู้เชี่ยวชาญ และ อสม.ที่ร่วมทดลองใช้รูปแบบการจัดทำโครงการฯ ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการตีความตามเนื้อหา โดยการจัดหมวดหมู่ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ และสังเคราะห์สรุปเป็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุง

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบของรูปแบบ ได้องค์ประกอบ 5 ด้าน ดังนี้

1.1 องค์ประกอบด้านสถานะสุขภาพของประชาชน จังหวัดราชบุรี มี 4 องค์ประกอบย่อยคือ (1) ผลการวิเคราะห์อัตราเพิ่มธรรมชาติ พบว่าตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2557 เท่ากับ 0.31, 0.44, 0.55, 0.39 และ 0.37 อัตราการเพิ่มธรรมชาติของประชากรมีแนวโน้มเริ่มลดลง (2) สาเหตุการตายตามเพศ ส่วนใหญ่ทั้งสองเพศมีสาเหตุการตาย คือ โลหิตเป็นพิษ หลอดเลือดในสมอง ปอดบวม ถ้าพิจารณาตามเพศ พบว่า สาเหตุการตายของเพศชายที่อยู่ในอันดับต้น ๆ คือ อุบัติเหตุจราจร และมะเร็งปอด ส่วนเพศหญิง คือ หัวใจขาดเลือด ความดันโลหิตสูง และมะเร็งเต้านม (3) สาเหตุการตายตามกลุ่มภูมิลำเนา อำเภोजอมบึง

มีอัตราการตายมากเป็นอันดับที่ 6 รองจากอำเภอเมือง อำเภอบ้านโป่ง อำเภอโพธาราม อำเภอดำเนินสะดวก และอำเภอปากท่อ (4) สาเหตุการตายตามกลุ่มวัย โดยวัยเด็กเล็กเกิดจากการจมน้ำ วัยเรียนเกิดจากการจมน้ำและอุบัติเหตุจากยานพาหนะ วัยรุ่นเกิดจาก อุบัติเหตุจากยานพาหนะ ปอดบวม และถูกทำร้าย วัยทำงานเกิดจาก อุบัติเหตุจากยานพาหนะ โลหิตเป็นพิษ ปอดบวม ภูมิคุ้มกันบกพร่อง มะเร็งตับ มะเร็งปอด และวัยสูงอายุเกิดจาก โลหิตเป็นพิษ ปอดบวม มะเร็งตับ มะเร็งปอด เบาหวาน ความดันโลหิตสูง และระบบประสาทเสื่อม

1.2 องค์ประกอบด้านบริบทของอำเภอจอมบึง มี 5 องค์ประกอบย่อยคือ (1) สภาพทั่วไปของประชาชน ทุก อบท. มีสัดส่วนประชากรชาย น้อยกว่าประชากรหญิง (2) สภาพภูมิประเทศ ในเขตตำบลจอมบึง ตำบลด่านทับตะโก เป็นที่ราบลุ่ม เก็บกักน้ำได้ ส่วนตำบลปากช่อง ตำบลเบิกไพร ตำบลแก้มอัน และตำบลรางบัว พื้นที่เป็นที่ราบสลับภูเขา ดินปนทราย เก็บกักน้ำไม่ได้ ทำการเกษตรโดยอาศัยน้ำฝน (3) สภาพเศรษฐกิจและสังคม ในเขตเทศบาลประชากรมีอาชีพรับราชการ ธุรกิจหอพัก ค้าขาย ประชากรเป็นนักศึกษา นอกเขตเทศบาลมีอาชีพรับจ้าง เกษตรกรรม ทำนา ทำไร่ ปศุสัตว์ (4) การผ่านเกณฑ์หมู่บ้านจัดการสุขภาพปี 2558 ร้อยละของหมู่บ้านในแต่ละตำบลที่ผ่านเกณฑ์หมู่บ้านจัดการสุขภาพตามลำดับดังนี้ ตำบลปากช่อง ตำบลเบิกไพร ตำบลรางบัว ร้อยละ 100 รองลงมาคือตำบลแก้มอัน ร้อยละ 93.33 ตำบลจอมบึง ร้อยละ 85 และตำบลด่านทับตะโก ร้อยละ 58 (5) อบท. ที่เข้าร่วมกองทุนหลักประกันสุขภาพ ในอำเภอจอมบึงทุก อบท. เข้าร่วมกองทุนฯ

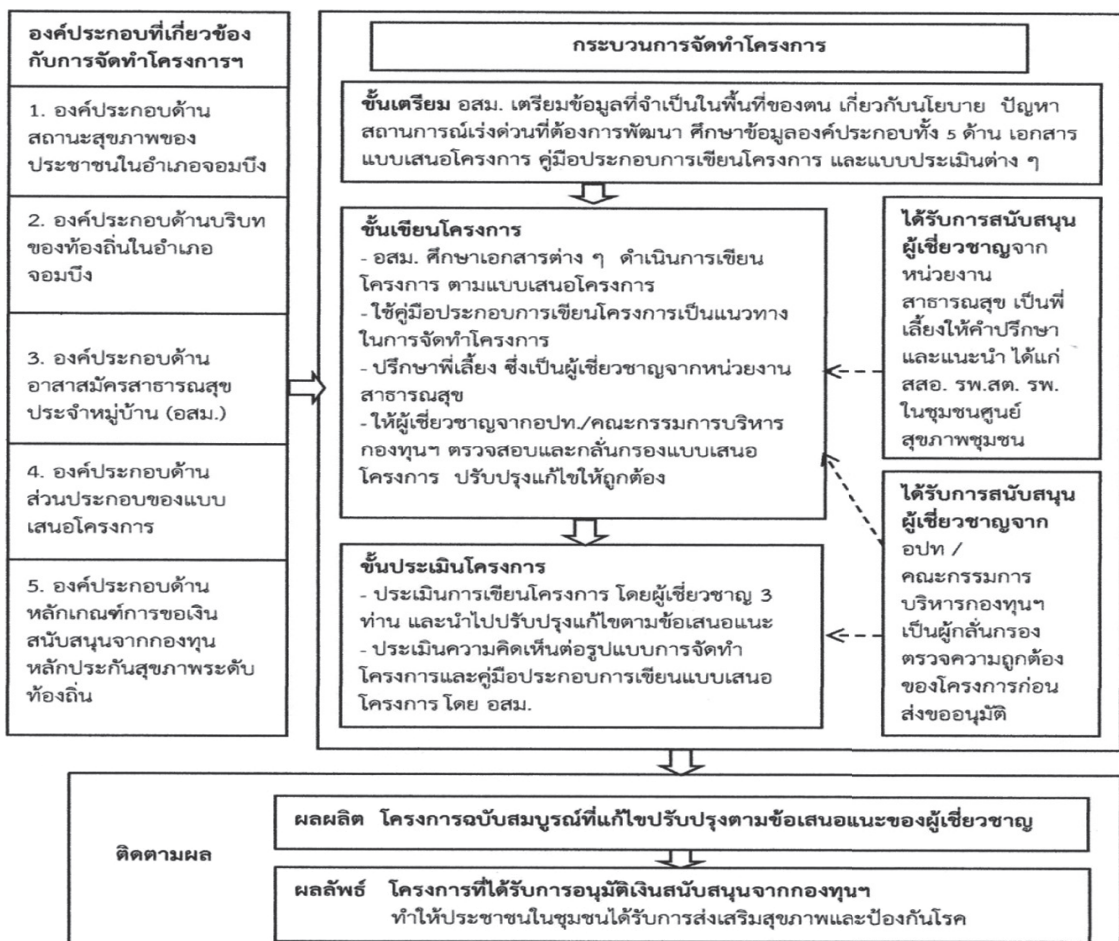
1.3 องค์ประกอบด้าน อสม. มี 2 องค์ประกอบย่อย คือ (1) ระดับการศึกษาของ อสม. ในอำเภอจอมบึงส่วนใหญ่มีการศึกษาต่ำกว่าระดับมัธยมศึกษา 814 คน คิดเป็นร้อยละ 68.98 ระดับมัธยมศึกษา 322 คน คิดเป็นร้อยละ 27.29 ปริญญาตรี 25 คน คิดเป็นร้อยละ 2.12 ปริญญาโท 1 คน คิดเป็นร้อยละ 0.09 ไม่ระบุ 18 คน คิดเป็นร้อยละ 1.54 (2) อสม. ที่ผ่านการอบรมนักจัดการสุขภาพตามกลุ่มวัย ได้แก่ อสม. ในตำบลจอมบึง ตำบลปากช่อง ตำบลเบิกไพร และตำบลรางบัว

1.4 องค์ประกอบด้านส่วนประกอบของแบบเสนอโครงการมี 14 องค์ประกอบย่อย คือ (1) ชื่อโครงการ (2) หลักการและเหตุผล (3) วัตถุประสงค์ (4) เป้าหมาย (5) วิธีดำเนินการ (6) ระยะเวลา (7) สถานที่ (8) งบประมาณ /ทรัพยากรที่ใช้ (9) ผู้รับผิดชอบ /หน่วยงานรับผิดชอบ (10) ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ (11) การสรุปประเมินโครงการ (12) ผู้เสนอโครงการ (13) ผู้เห็นชอบโครงการ (14) ผู้อนุมัติโครงการ

1.5 องค์ประกอบด้านหลักเกณฑ์ในการขอเงินสนับสนุนจากกองทุนฯ มี 11 องค์ประกอบย่อย ได้แก่ (1) นิยามความหมายของหน่วยงานต่าง ๆ (2) จุดประสงค์เพื่อสนับสนุนส่งเสริมการจัดการสาธารณสุขขององค์กรประชาชนให้ดำเนินกิจกรรมด้านสาธารณสุข (3) กลุ่มเป้าหมาย คือ กลุ่มแม่และเด็ก กลุ่มผู้สูงอายุ กลุ่มคนพิการ กลุ่มผู้ประกอบการอาชีพ

ที่มีความเสี่ยง และกลุ่มผู้ป่วยโรคเรื้อรัง (4) เน้นกระบวนการมีส่วนร่วม (5) กิจกรรมที่คณะกรรมการกองทุนจะอนุมัติเงินกองทุนสนับสนุน (6) อำนาจหน้าที่ของคณะกรรมการกองทุนฯ (7) เลขานุการสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติมีอำนาจออกระเบียบ หลักเกณฑ์ และวินิจฉัยชี้ขาด ปัญหาต่าง ๆ (8) ถ้ายังไม่มีกฎระเบียบประกาศใหม่ ให้ใช้หลักเกณฑ์ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นบังคับใช้โดยอนุโลม (9) การจ่ายเงินกองทุนฯ (10) การใช้จ่ายเงินที่ได้รับอนุมัติจากกองทุนฯ ของกลุ่มหรือองค์กรประชาชน และ (11) อัตราค่าตอบแทนผู้ดำเนินงานตามแผนงาน

2. ผลการพัฒนารูปแบบ ได้รูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข เพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข เพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี

3. การตรวจสอบคุณภาพของรูปแบบ มีดังนี้

ผลการทดลองใช้รูปแบบพบว่า

(1) อสม.มีความรู้เรื่องการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขเพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพระดับท้องถิ่น หลังการทดลอง ($\bar{x} = 8.60$, S.D.=1.22) สูงกว่าก่อนการทดลอง ($\bar{x} = 4.23$, S.D.=1.57) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคะแนนความรู้เรื่องการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข ก่อนและหลังการใช้รูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขของ อสม.

การทดสอบ	N	$\bar{X}$	S.D.	t	p
ก่อนใช้รูปแบบ		4.23	1.57		
หลังใช้รูปแบบ	30	8.60	1.22	24.803	0.000*

* $p < .05$

(2) อสม.สามารถการเขียนโครงการให้มีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับ ดีมาก ($\bar{x} = 80.42$, S.D. =4.28) โดยพบว่า ผลงานมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก จำนวน 5 อปท. คิดเป็นร้อยละ 62.5 และมีคุณภาพอยู่ในระดับดี จำนวน 3 อปท. คิดเป็นร้อยละ 37.5 โดยทุกผลงาน มีคะแนนสูงกว่า 70 คะแนนขึ้นไป

(3) ความคิดเห็นของ อสม. ที่มีต่อรูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข โดยรวมเห็นว่ามีเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.35$, S.D. = 0.50)

ผลการตรวจสอบเพื่อยืนยันความเหมาะสมของรูปแบบ พบว่า ผู้ร่วมสนทนากลุ่มมีความคิดเห็นว่า รูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข เพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในท้องถิ่น อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี มีความเหมาะสมดีแล้ว แต่มีบางประเด็นที่ควรเพิ่มเติมเพื่อให้การเสนอโครงการมีโอกาสได้รับการอนุมัติเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อประชาชนในชุมชนที่ได้รับการส่งเสริมสุขภาพ และป้องกันโรคอย่างต่อเนื่องและยั่งยืนต่อไป โดยมีข้อเสนอแนะ คือ

1) ด้านองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำโครงการ ประเด็นที่ควรมีการอธิบายในรายละเอียดเพิ่มเติม ได้แก่ ผู้เสนอโครงการต้องเป็นองค์กรภาคประชาชนเท่านั้น สามารถเสนอโครงการ หรือกิจกรรมเพื่อการสร้างเสริมสุขภาพ การป้องกันโรคให้แก่สมาชิกหรือประชาชนในพื้นที่ และกรณีมีความจำเป็นต้องจัดซื้อวัสดุที่มีลักษณะเป็นครุภัณฑ์ให้สนับสนุนได้ในวงเงินไม่เกิน 5,000 บาท ต่อโครงการ วัสดุที่มีลักษณะเป็นครุภัณฑ์ที่จัดหาได้ ให้อยู่ในความดูแลและบำรุงรักษาของกลุ่ม

หรือองค์กรประชาชนหรือหน่วยงานอื่น ที่ได้รับการสนับสนุนนั้น ๆ การเสนอโครงการขอรับเงินสนับสนุน ทางองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) จะมีการประชุมพิจารณาอนุมัติเป็นไตรมาส ปีละ 4 ครั้ง ดังนั้นถ้า อสม.เสนอโครงการก่อน ก็จะได้รับพิจารณาก่อน

สรุปและวิจารณ์ผล

จากผลการวิจัยสามารถอภิปรายตามจุดประสงค์ได้ดังนี้

1. วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 1 เพื่อการศึกษาขององค์ประกอบของการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข เพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพ ในระดับท้องถิ่น สำหรับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข 1) สถานะสุขภาพของประชาชนในท้องถิ่น และ 2) ข้อมูลบริบทของชุมชน ในอำเภอจอมบึง องค์ประกอบทั้งสองด้านนี้ทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานของชุมชน สามารถนำมาใช้พิจารณาเลือกพื้นที่ กลุ่มเป้าหมาย และกระบวนการจัดกิจกรรมได้ ซึ่งเป็นสารสนเทศที่สำคัญในการจัดโครงการแก้ปัญหาและส่งเสริมสุขภาพให้แก่ประชาชนในท้องถิ่น ซึ่งสอดคล้องกับ Pechkong & Nimnatipun (2015) ที่พบว่า ผลของโปรแกรมนันทนาการที่มีต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ โรงพยาบาลพระจอมเกล้า จังหวัดเพชรบุรี ในการดำเนินการ มีการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปและข้อมูลคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ ก่อนจึงออกแบบการจัดโปรแกรมนันทนาการแก่ผู้สูงอายุ ส่วนผลการวิจัยข้อ 3) องค์ประกอบด้าน อสม.ในอำเภอจอมบึง อสม.เป็นบุคลากรหลักที่สำคัญอย่างยิ่งในการขับเคลื่อนงานด้านสาธารณสุขภาคประชาชน ซึ่งสอดคล้องกับ Ployplaikeaw et al.(2013) ได้เสนอผลการวิจัยว่า องค์ประกอบที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการพัฒนาการดูแลสุขภาพตนเองของชุมชน จังหวัดลพบุรี ด้านคนในชุมชน คือ อาสาสมัครสาธารณสุข ผู้นำชุมชนและเครือข่ายสุขภาพ ที่มีความรู้และทักษะในการดูแลสุขภาพ ผลการวิจัยข้อ 4) องค์ประกอบด้านแบบเสนอโครงการ และ 5) องค์ประกอบด้านหลักเกณฑ์การขอเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพระดับท้องถิ่น มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งเพราะต้องใช้เป็นกรอบในการเขียนโครงการ ถ้าไม่เข้าใจขั้นตอนและหลักเกณฑ์การขอเงินสนับสนุน เมื่อเขียนโครงการไปเสนอต่อคณะกรรมการกองทุนฯ อาจไม่ได้รับการอนุมัติเพราะไม่สอดคล้องกับหลักเกณฑ์หรือวัตถุประสงค์ของกองทุนฯ ทำให้เสียเวลา และเสียกำลังใจในการทำงาน ดังเช่น ชมรม อสม. ตำบลหนองขาว ไม่ได้รับการอนุมัติเงินสนับสนุนจากการเสนอโครงการวิจัยพฤติกรรมดูแลสุขภาพตนเองของผู้ป่วยโรคเบาหวานและความดันโลหิตสูง โดย National Health Security Office (2015) ให้คำชี้แจงว่าที่โครงการนี้ไม่ได้รับการอนุมัติเพราะ “..การจ่ายเงินกองทุนเพื่อศึกษาวิจัยสุขภาพไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของกองทุนฯ แต่อย่างไรก็ดี ควรเป็นแผนงานโครงการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นนั้น ๆ ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบในการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข

เพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่น จึงสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางให้ อสม.ดำเนินการจัดทำโครงการเพื่อขอรับทุนสนับสนุนจากกองทุนฯ ต่อไปได้เป็นอย่างดี

2. วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 2 เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุข มีขั้นตอนในการพัฒนารูปแบบ 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นศึกษาองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำโครงการด้านสุขภาพ 2) ขั้นการพัฒนารูปแบบการจัดทำโครงการ 3) ขั้นการตรวจสอบคุณภาพโดยการทดลองใช้รูปแบบการจัดทำโครงการ ซึ่งขั้นตอนการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับ Ingkawanit (2015) ที่ศึกษาเรื่องการพัฒนารูปแบบการจัดกิจกรรมเสริมสร้างพฤติกรรมสุขภาพของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยแบ่งขั้นตอนเป็น 3 ระยะ คือระยะที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบในการพัฒนารูปแบบ ระยะที่ 2 การพัฒนารูปแบบการจัดกิจกรรม และระยะที่ 3 การนำรูปแบบไปทดลองใช้ ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขประกอบด้วย 1) องค์ประกอบ 5 ด้าน 2) กระบวนการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขซึ่งมีขั้นเตรียมขั้นเขียนโครงการ และขั้นประเมินผล 3) การติดตามผล ได้แก่ การติดตามผลผลิตและการติดตามผลลัพธ์

เมื่อพิจารณากระบวนการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขซึ่งมี 3 ขั้นตอน คือ ขั้นเตรียมขั้นเขียนโครงการและขั้นประเมินผล โดยแต่ละขั้นจะใช้เทคนิคการให้คำปรึกษาของพี่เลี้ยงซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานสาธารณสุขในพื้นที่ และตรวจสอบ กลั่นกรองโดยผู้เชี่ยวชาญจากคณะกรรมการกองทุน คอยให้คำแนะนำและช่วยตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมสอดคล้องกับ Buaphai et al. (2015) ซึ่งศึกษาวิจัยเรื่อง รูปแบบการพัฒนาศูนย์ด้านไอซีทีของครูผู้สอนรายวิชาพื้นฐานเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ระดับประถมศึกษาตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานที่ใช้เทคนิคพี่เลี้ยงเช่นเดียวกันในการสนับสนุน ช่วยเหลือและให้คำแนะนำจะทำให้เกิดความเข้าใจได้รวดเร็วและชัดเจน เนื่องจากมีลักษณะเหมือนกับการให้ข้อมูลย้อนกลับโดยทันที ผู้ร่วมโครงการสามารถปรับปรุงแก้ไขได้จนกว่าโครงการจะถูกต้องสมบูรณ์และสุดท้ายการติดตามผล ได้แก่ 1) ติดตามผลผลิต คือโครงการฉบับสมบูรณ์ที่แก้ไขปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ 2) ติดตามผลลัพธ์ คือโครงการที่ได้รับการอนุมัติเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพฯ ส่งผลให้ประชาชนในชุมชนได้รับประโยชน์ทางด้านสุขภาพตามความต้องการของชุมชนอย่างแท้จริง

3. วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 3 เพื่อตรวจสอบคุณภาพของรูปแบบการจัดทำโครงการ ผลการวิจัยพบว่า อสม.มีความรู้เรื่องการเขียนโครงการด้านสาธารณสุข หลังการทดลองดีกว่าก่อนทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$ และประสิทธิผลด้านการเขียนโครงการพบว่า ผู้เข้าร่วมทดลองใช้รูปแบบสามารถพัฒนาการเขียนโครงการมีคุณภาพโดยรวมอยู่ใน

ระดับ ดีมาก โดยพบว่า ผลงานของ อสม.ในแต่ละ อบท.ที่มีระดับคุณภาพดีและดีมาก ซึ่งมีโอกาสที่จะได้รับการอนุมัติเงินสนับสนุนโครงการ ตลอดจนผลจากการประเมินความคิดเห็นของ อสม. ที่มีต่อรูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขโดยรวมเห็นว่ามีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก แสดงว่ารูปแบบการจัดทำโครงการด้านสาธารณสุขครั้งนี้ มีความเหมาะสมในการนำไปใช้สำหรับการขอเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพระดับท้องถิ่นได้ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Niampradit & Mapudh (2012) ที่ตรวจสอบความเที่ยงตรงของรูปแบบโดยการทดลองใช้และประเมินประสิทธิผลโดยการประเมินสุขภาพกายและสุขภาพจิตหลังการทดลองดีกว่าก่อนการทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$ และผลการประเมินการใช้รูปแบบจากการสัมภาษณ์ การสังเกต และการสนทนากลุ่ม ซึ่งสรุปได้ว่ารูปแบบกิจกรรมการส่งเสริมสุขภาพมีผลทำให้สุขภาพกายและสุขภาพจิตดีขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 ด้านการปฏิบัติ อสม.และกลุ่มประชาชนทั่วประเทศสามารถนำผลการวิจัยไปใช้เป็นแนวทางในการเขียนโครงการสาธารณสุขด้านการส่งเสริมสุขภาพและการป้องกันโรค เพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพระดับท้องถิ่นในตำบลของตนได้

1.2 ด้านการบริหาร กระทรวงสาธารณสุขและกระทรวงมหาดไทยสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ในเชิงนโยบาย โดยให้สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดและองค์การบริหารส่วนท้องถิ่นร่วมกันนำรูปแบบนี้ไปใช้ในการออกแบบกระบวนการฝึกอบรมการเขียนโครงการเพื่อขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพระดับท้องถิ่นให้แก่ กลุ่มประชาชน อสม. ผู้นำชุมชน ชมรม สมาคม มูลนิธิต่าง ๆ ต่อไป

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบแกนกลางในการขอรับเงินสนับสนุนจากกองทุนหลักประกันสุขภาพในระดับท้องถิ่นของกลุ่มประชาชนหรือองค์กรชุมชนหรือกลุ่ม อสม. ในทุก อบท.ที่สมัครเข้าร่วมกองทุนหลักประกันสุขภาพทั่วประเทศ

2.2 ควรทำการศึกษาวิจัยแบบมีส่วนร่วมของชุมชน ในการจัดทำโครงการส่งเสริมสุขภาพและป้องกันโรคให้กับชุมชนอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเป็นเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงและขอขอบคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ช่วยตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ ขอขอบคุณสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดราชบุรี องค์การบริหารส่วนท้องถิ่น

ในอำเภอจอมบึงที่กรุณาให้ข้อมูล ตลอดจนขอขอบคุณ ผู้เชี่ยวชาญ และอสม. ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- Bardo, John, W. & Hartman, John, J. (1982). **Urban Sociology: A Systematic Introduction**. U.S.A.: F.E. Peacock Publishers, Inc.
- Buaphai, T., Arreerard, W., Arreerard, T. & Tayraukham, S. (2015). A Model of ICT Competency Training for Teachers in Basic Information Technology and Communications. Course primary level in the Basic Core Curriculum of the Basic Education B.E.2551 under the Office of the Basic Education Commission. **Technical Education Journal King Mongkut's University of Technology North Bangkok**. 6, (1), January-June 2015. 68-77. (in Thai)
- Ingwawant, K. (2015). Development of Healthy Behaviors Model of High School Students. **Academic Journal Institute of Physical Education**. 7, (1), 193-207. (in Thai)
- Jeamboonsri, P. (2014). **NHA365: National Health Assembly**". Media for National Health Assembly, 19, Retrieved February 24, 2014. from <http://www.samatcha.org/nha/website/subs/index/7/7/1>. (in Thai)
- Kaewcharutwirai, T. (2011). **Development of the Muaythai Curriculum in the Secondary Education Following the Basic Education Core Curriculum B.E. 2551**. Dissertation in Muaythai Study Program. Muban Chombueng Rajabhat University. (in Thai)
- Ministry of Public Health. (2012). **The 11th National Health Development Plan (2012-2016)**. Bangkok: War Veterans Organization of Thailand. (in Thai)
- National Health Security committee. (2014). **Announcement of national Security committee on Setting the criteria to support the local administration. Operate and manage the health insurance fund at the Local Health Security Fund, Date: February 19, 2014**. Bangkok: Author. (in Thai)
- National Health Security Office. (2015). Document at NHSO 3.18.15/00112. **Discuss the request for subsidy from the Nong Khao Municipality Health Fund**. (February, 29, 2015). 1-2. (in Thai)
- Niampradit, P. & Mapudh, C. (2012). **Development Model of Health Promotion Activities**

- for University Students in the Eastern Region of Thailand. **Journal of Education and Social Development**. 8, (1), 61-77. (in Thai)
- Pechkong, N. & Nimnatipun, S. (2015). Effects of Recreation Program on Quality of Elderly Life in King Mongkut Memorial Hospital , Phetchaburi Province. **The 17th National Community Health Conference “People of Behavioral Change”**. 17 (1), 298. (in Thai)
- Pengsawat, W. (2010). Medel Research Delvelopment. **Sakon Nakhon Rajabhat University Journal**, 2(4), July – December 2010. 1-15. (in Thai)
- Ployplaikeaw, S., Hroonkasseam, K., Pachuen, O. & Pattra, S. (2013). The self-health care development model of a community in Lopburi Province. **Journal of The Royal Thai Army Nurses**. 14 (1) 66. (in Thai)
- Powwattana, A., Kalampakorn, S., Lagampan, S.& Amnatsatsue, K. (2012). **Health promotion and disease prevention in community: An application of concepts and theories to practice**. 2nd Edition. Khon Kaen: Klangnavittaya Press. (in Thai)
- Rangchaiyakul Wiboonsorn, Y. (2010). **Measurement and Achievement Test**. 9th Edition. Bangkok: Search Results Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- Soonklang, S. (2008). **The Development of an In-Service Training Course to Enhance Fundamental Education Teachers in Professional Procedure Skills for Developing Whole–Students**. Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. (in Thai)
- Srisatidnarakul, B. (2007). **Research Methodology: How To Success**. Bangkok: U&I Inter Media. (in Thai)
- Sutthiphong, R. (2014). **The Delvelopment of Advanced Level Kru Muaythai Speacial Curriculum for high Performance Muaythai Boxers**. Dissertation in Muaythai Study Program. Muban Chombueng Rajabhat University. (in Thai)
- Tayraukham, S. (2010). **Researchmethodology for social sciences and humanities**. 4th Edition. Mahasarakham: Mahasarakham University. (in Thai)
- Willer, D. (1986). **Sciencetific Sociology:Theory and Method**. Englewood cliff, NJ.: Prentice-Hall.

การสังเคราะห์คอลลอยด์ของอนุภาคนาโนโลหะคู่
ที่มีอนุภาคโลหะเงินเป็นแกนกลางและโลหะทองเป็นเปลือกหุ้ม
ด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสำหรับตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์
แบบเปรียบเทียบสี

GREEN SYNTHESIS OF Ag@Au CORE-SHELL NANOPARTICLES
FOR COLORIMETRIC DETECTION OF CYANIDE

วรวรรณ เสาวรส และ เขมฤทัย ถามะพัฒน์

*ห้องปฏิบัติการสังเคราะห์และการใช้ประโยชน์จากเคมีสีเขียว ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด กรุงเทพฯ 10140

กลุ่มวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์และวิศวกรรมศาสตร์เพื่อคำตอบของสังคม คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด กรุงเทพฯ 10140

Worawan Saowaros and Kheamrutai Thamaphat*

*Green Synthesis and Application Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Bangkok 10140

Applied Science and Engineering for Social Solution, Faculty of Science,

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Bangkok 10140

*E-mail: s903607@yahoo.com

บทคัดย่อ

มันสำปะหลังเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างยิ่งของประเทศไทย โดยส่วนที่นิยมนำมาใช้หรือบริโภค คือ หัวมันสำปะหลังซึ่งเป็นรากที่โตขึ้นจากการสะสมอาหารในรูปของคาร์โบไฮเดรตหรือแป้ง อย่างไรก็ตามในหัวมันสำปะหลังมีสารประกอบไซยาไนด์ในจินกไกโคไซด์ ซึ่งจะสลายตัวเป็นกรดไฮโดรไซยานิกหรือไซยาไนด์ที่เป็นพิษ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้เสนอวิธีการตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังแบบรวดเร็ว ง่าย และมีความไวสูง โดยใช้คอลลอยด์อนุภาคนาโนโลหะคู่ที่มีอนุภาคโลหะเงินเป็นแกนกลางและโลหะทองเป็นเปลือกหุ้ม (Ag@Au core-shell NPs) สำหรับตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังด้วยวิธีการ

เปรียบเทียบสี โดยคอลลอยด์ของ Ag@Au core-shell NPs ที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจะมีสีม่วง อนุภาคที่ได้มีรูปร่างเป็นทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 22 nm เมื่อนำ Ag@Au core-shell NPs ที่สังเคราะห์ได้ไปใช้ในการตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ในสารละลาย สีของคอลลอยด์ Ag@Au core-shell NPs จะเปลี่ยนสีจากสีม่วง เป็นสีส้ม สีเหลือง และกลายเป็นสารละลายใสไม่มีสี เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เพิ่มขึ้น โดยมีช่วงในการตรวจวัดความเข้มข้นของไซยาไนด์ตั้งแต่ 0-0.8 mM ใช้เวลาในการตรวจวัด 5 นาที ซึ่งเป็นวิธีการตรวจวัดที่สะดวก รวดเร็ว และมีความเป็นพิษน้อยกว่าวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการตรวจปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังเพื่อการส่งออกและการจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังที่แบ่งออกเป็นพันธุ์หวานและพันธุ์ขมได้

คำสำคัญ: อนุภาคนาโนโลหะคู่ที่มีอนุภาคโลหะเงินเป็นแกนกลางและโลหะทองเป็นเปลือกหุ้ม ไซยาไนด์ การสังเคราะห์สีเขียว การตรวจวัดแบบเปรียบเทียบสี

ABSTRACT

Cassava is considered one of the most important economic crops in Thailand. Cassava roots are the most commonly consumed or processed because of high carbohydrate or starch contents. However, cassavas contain cyanogenic glucosides, which are enzymatically degraded to extremely toxic hydrogen cyanide or cyanide. This work proposed an alternative method for the cyanide detection, which was rapid, simple and highly sensitive, to meet agricultural and industrial demands. Based on a colorimetric sensing for cyanide, the green-synthesized colloidal Ag@Au core-shell nanoparticles (NPs) were transparent purple solution and metallic core-shell NPs had spherical shape with a diameter of approximately 22 nm. When cyanide was added to the Ag@Au core-shell NPs solution, cyanide ion would etch the gold shell followed by the silver core, leading to gradual change of the solution color from purple to orange, yellow, and finally to colorless. The changes of the solution color could be potentially utilized for the colorimetric sensing of cyanide in a range of 0 – 0.8 mM with a detection time within 5 minutes. This study therefore reported a successfully developed cyanide measurement technique that was suitable for utilization in import/export businesses and classification of cassava varieties between sweet and bitter types.

Keywords: Ag@Au core-shell nanoparticle, Cyanide, Green synthesis, Colorimetric detection

บทนำ

มันสำปะหลังถือเป็นพืชอาหารอันดับที่ 5 ที่สำคัญของโลก รองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง มันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตและเป็นอาหารหลักในกลุ่มประเทศทางซีกโลกตะวันตก เช่น แอฟริกา สหรัฐอเมริกา และแคริบเบียน และมีการบริโภคบ้างในบางส่วนของเอเชีย ดังนั้นเกษตรกรในหลายประเทศจึงนิยมปลูกมันสำปะหลังกันอย่างแพร่หลาย เพราะนอกจากจะใช้บริโภคได้โดยตรงแล้ว มันสำปะหลังยังสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้หลากหลาย เช่น มันเส้น มันอัดเม็ด และแป้งมัน อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบในการผลิตสำหรับภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั้งทางด้านพลังงาน เอทานอล อุตสาหกรรมกาว อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ หรือแม้แต่แปรรูปเป็นผงชูรส โดยประเทศกลุ่มที่มีกำลังผลิตสูง ได้แก่ ในจีนเรีย ไทย อินโดนีเซีย บราซิล และสาธารณรัฐประชาธิปไตยคองโก แม้ว่าประเทศไทยจะมีกำลังผลิตมันสำปะหลังอยู่ที่ 11% ของผลผลิตทั้งหมด เป็นอันดับที่ 2 รองจากในจีนเรียที่มีกำลังผลิต 21% (Limsila et al., 2004) แต่ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมากที่สุดในโลก ทั้งนี้เพราะประเทศที่มีกำลังผลิตสูงประเทศอื่น ๆ นำผลผลิตที่ได้ไปใช้เป็นอาหารของประชาชนภายในประเทศ ในขณะที่ประเทศไทยใช้มันสำปะหลังเพื่อการบริโภคน้อยมากเนื่องจากคนไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ดังนั้นมันสำปะหลังที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จึงถูกแปรรูปและส่งออกโดยมูลค่าการส่งออกของผลผลิตมันสำปะหลังในปี พ.ศ. 2560 มีมากกว่า 68,000 ล้านบาท (Thai Tapioca Starch Association, 2017) ดังนั้นมันสำปะหลังจึงเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างยิ่งของประเทศไทย

ในหัวมันสำปะหลังนอกจากจะมีแป้งซึ่งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตในปริมาณมาก ยังมีส่วนของกรดไฮโดรไซยานิก (hydrocyanic acid หรือ HCN) หรือไซยาไนด์ (cyanide) ที่เป็นพิษอยู่ด้วย โดยจะมีฤทธิ์ต่อระบบหัวใจและทางเดินโลหิต ขัดขวางการนำออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ต่าง ๆ ทำให้ปวดศีรษะ อาเจียน หายใจติดขัด ชักกระตุก กล้ามเนื้ออ่อนแรง หายใจลำบาก และอาจเสียชีวิตหากได้รับในปริมาณมาก แต่หากได้รับในปริมาณที่ไม่มากเซลล์จะสามารถเปลี่ยนสารนี้ไปเป็นสารอื่นที่ไม่เป็นพิษได้ และสารนี้สามารถสลายไปเมื่อสัมผัสกับความร้อน ในการปรุงหรือแปรรูปเพื่อบริโภค ปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังจะมีมากหรือน้อยแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ระยะเวลาและสภาวะแวดล้อมในการเจริญเติบโต บางสายพันธุ์อาจพบได้สูงถึง 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักมันสำปะหลังสด (mg HCN/kg weight หรือ ppm) บางสายพันธุ์อาจพบเพียง 10 ppm (Rojanaritphichet, 1989) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเพื่อความปลอดภัยในการผลิตตลอดจนการนำไปบริโภค โดยองค์การอาหารและเกษตรแห่งชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations หรือ FAO) กำหนดให้มีปริมาณไซยาไนด์ได้ไม่เกิน 10 ppm (Li et al., 2016) ดังนั้นกลุ่มบริษัทผู้ผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์

มันสำปะหลังเพื่อการบริโภคและการส่งออก ไม่ว่าจะเป็นมันเส้น มันอัดเม็ด แป้งมัน มันสด หรือ มันต้มแช่แข็ง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ ซึ่งหากเป็นโรงงานผลิต แป้งมันขนาดใหญ่อาจทำการตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ตั้งแต่ น้ำที่ใช้ในการล้างหัวมันสำปะหลัง ในแต่ละขั้นตอน แป้งมันที่ได้ ไปจนถึงน้ำเสียที่จะปล่อยออกจากโรงงาน ซึ่งอาจทำการตรวจวัด ปริมาณไซยาไนด์เบื้องต้นโดยตรงที่โรงงานหรือทำการส่งตัวอย่างไปใช้บริการจากหน่วยงาน ภายนอกเพื่อตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์เช่นเดียวกับโรงงานหรือผู้ผลิตขนาดเล็ก ซึ่งการตรวจวัด ปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังในประเทศไทยทำได้โดย ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบเปรียบเทียบสีซึ่งใช้เอนไซม์เป็นส่วนช่วย (enzymatic colorimetric method) ตามมาตรฐานของ O' Brien ที่จะทำการหาปริมาณไซยาไนด์โดยการสกัดสารตัวอย่าง จากผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในเอทานอล กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid หรือ H_3PO_4) และ เอนไซม์ลินามาเรส (linamarase) เพื่อย่อยไซยาโนจินิกไกลโคไซด์ (cyanogenic glycoside) ซึ่งเป็นโมเลกุลของไซยาไนด์ที่เชื่อมต่อกับโมเลกุลของแป้ง ก่อนจะทำการใส่สารเคมีที่ทำให้ เกิดการเปลี่ยนสีอย่าง คลอรามิน ที (chloramine T) หรือ ไพริดีน-ไพราโซลอน (pyridine-pyrazolone) และวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์จากสีของสารละลายตัวอย่าง ซึ่งถือเป็นการ ใช้เซนเซอร์ทางเคมี (chemosensor) ในการตรวจวัด (Piyachomkwan et al., 2005) แม้ว่า chemosensor จะเป็นวิธีที่มีความไวในการตรวจวัดและมีความจำเพาะสูง แต่มีข้อเสีย คือ chloramine T และ pyridine-pyrazolone มีความเป็นพิษ ซึ่งอาจก่อให้เกิดอาการแพ้ หอบหืด หรือหายใจลำบากเมื่อสูดดมเข้าไป หรือก่อให้เกิดอาการผิวหนังไหม้อย่างรุนแรงเมื่อสัมผัส เป็นอันตรายต่อผู้ที่ทำการตรวจวิเคราะห์และสิ่งแวดล้อม (Li et al., 2016) ดังนั้นผู้ประกอบการ และนักวิทยาศาสตร์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ในห้องปฏิบัติการจึงมีความต้องการ วิธีการตรวจวัดที่มีความปลอดภัยสูงกว่า ใช้งานง่าย และใช้เวลาในการตรวจวัดน้อย มาทดแทน วิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

อนุภาคนาโนโลหะมีสมบัติทางแสงที่ทำให้สีที่มองเห็นเปลี่ยนไปตามขนาดของ อนุภาคจากการเกิดปรากฏการณ์เชิงแสงที่เรียกว่า เซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance หรือ SPR) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างผิวของ อนุภาคนาโนโลหะกับตัวกลางของสารตัวอย่างที่เป็นสารไดอิเล็กทริก โดยอิเล็กตรอนที่อยู่ บริเวณผิวของอนุภาค (localized plasmon) สามารถสั่นด้วยความถี่ที่สอดคล้องกับความถี่ ของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาตกกระทบ ส่งผลต่อการมองเห็นสี เช่น คอลลอยด์ ของอนุภาคนาโนทอง (gold nanoparticles หรือ AuNPs) จะมีสีแดงแทนที่จะเป็นสีเหลืองวาว และคอลลอยด์ของอนุภาคนาโนเงิน (silver nanoparticles หรือ AgNPs) จะมีสีเหลืองแทนที่ จะเป็นสีเงินวาว (Smith & Dent, 2005) นอกจากนั้นขนาดของอนุภาคยังมีผลโดยตรงต่อการ เห็นสีของคอลลอยด์ ดังนั้นจึงมีหลายงานวิจัยพยายามนำ AuNPs หรือ AgNPs มาใช้ในการ

ตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ในสารตัวอย่างโดยสังเกตสีที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยตาเปล่า เนื่องจากไซยาไนด์มีความสามารถในการกัดกร่อน (etching) อนุภาคนาโนโลหะให้มีขนาดเล็กกลผ่านทางการก่อตัวเป็นสารประกอบโลหะไซยาไนด์ (metal-cyanide complex) ส่งผลให้สีของคอลลอยด์เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณไซยาไนด์ในสารตัวอย่าง กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เพิ่มมากขึ้น คอลลอยด์ของ AgNPs จะเปลี่ยนสีจากสีเหลือง ค่อย ๆ จางลง จนกระทั่งเป็นสารละลายที่ใสไม่มีสี สำหรับคอลลอยด์ของ AuNPs จะเปลี่ยนสีจากสีแดง ค่อย ๆ จางลง จนกระทั่งเป็นสารละลายที่ใสไม่มีสี (Panigrahi et al., 2005; Zeng et al., 2014) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนสีที่เกิดขึ้นนี้เป็นเพียงการเปลี่ยนสีในโทนสีเดียว จึงยากที่จะบอกปริมาณไซยาไนด์ที่ทำการตรวจวัดจากการสังเกตสีด้วยตาเปล่า ดังนั้นหากใช้อนุภาคนาโนโลหะคู่ (bimetallic) ในลักษณะที่มีโลหะชนิดหนึ่งเป็นแกนกลางและโลหะอีกชนิดเป็นเปลือกหุ้ม (core-shell nanoparticles) การเปลี่ยนสีของคอลลอยด์ดังกล่าวยังคงสัมพันธ์กับการเกิด SPR ของอนุภาค การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างชั้นเปลือกหุ้มและแกนกลาง (core-to-shell ratio) เพียงเล็กน้อยจะส่งผลต่อการมองเห็นสีที่เปลี่ยนแปลงไปของคอลลอยด์ได้อย่างชัดเจน และสามารถเปลี่ยนสีได้หลายโทนสีมากกว่าการใช้อนุภาคจากโลหะเพียงชนิดเดียว

หลายปีที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะคู่ที่มีอนุภาคโลหะทองเป็นแกนกลางและโลหะเงินเป็นเปลือกหุ้ม (Au@Ag core-shell NPs) (Zeng et al., 2014) เพื่อใช้ในการตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์แบบเปรียบเทียบสี โดยเริ่มต้นสีของคอลลอยด์ Au@Ag core-shell NPs จะมีสีเหลืองเนื่องจาก SPR ของชั้นโลหะเงินที่เป็นเปลือกหุ้ม และเมื่อมีการสัมผัสกับไซยาไนด์ ชั้นโลหะเงินที่เป็นเปลือกหุ้มจะถูกละลาย ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสีเหลืองไปสู่สีแดงเนื่องจาก SPR ของชั้นโลหะทองที่เป็นแกนกลาง และหากไซยาไนด์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แกนกลางที่เป็นอนุภาคโลหะทองจะถูกละลายต่อไปจนกระทั่งกลายเป็นสารประกอบโลหะไซยาไนด์จนหมด ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นใสไม่มีสี การเปลี่ยนสีในลักษณะนี้ทำให้ง่ายต่อการระบุปริมาณไซยาไนด์ที่ทำการตรวจวัดได้ด้วยตาเปล่า เพราะเกิดการเปลี่ยนสีได้มากถึง 2 โทนสีด้วยกัน อย่างไรก็ตามการใช้โลหะเงินเป็นเปลือกหุ้มอาจทำให้เกิดการออกไซด์ระหว่างน้ำและชั้นโลหะเงินที่เป็นเปลือกหุ้มของ Au@Ag core-shell NPs ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะคู่ที่มีอนุภาคโลหะเงินเป็นแกนกลางและโลหะทองเป็นเปลือกหุ้ม (Ag@Au core-shell NPs) เพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์ ทำให้คอลลอยด์มีความคงทน และมีเสถียรภาพมากขึ้น อีกทั้งการใช้ Ag@Au core-shell NPs ยังทำให้คอลลอยด์เกิดการเปลี่ยนโทนสีได้มากกว่าการใช้ Au@Ag core-shell NPs โดยนำหลักของเคมีสีเขียว (green chemistry) ที่เลือกใช้กระบวนการที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Sharma et al., 2009; Williams, 2001) มาใช้ในการสังเคราะห์ Ag@Au core-shell NPs สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ในน้ำดื่มหลังแบบเปรียบเทียบสี

วิธีการ

การทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ 1) การสังเคราะห์คอลลอยด์ของ Ag@Au core-shell NPs ด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (green synthesis) และการวิเคราะห์สมบัติทางแสงและสมบัติทางกายภาพของ Ag@Au core-shell NPs ที่สังเคราะห์ขึ้น และ 2) การตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ แบบเปรียบเทียบโดยใช้การเปลี่ยนสีของ Ag@Au core-shell NPs โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การสังเคราะห์ Ag@Au core-shell NPs ด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ในการสังเคราะห์คอลลอยด์ของ Ag@Au core-shell NPs นั้น ขั้นตอนแรกต้องทำการสังเคราะห์ AgNPs เพื่อใช้เป็นแกนกลางของอนุภาคนาโนโลหะคู่ หลังจากนั้นจึงสังเคราะห์ชั้นของโลหะทองเปลือกหุ้มเพื่อให้เกิดเป็น Ag@Au core-shell NPs ในการสังเคราะห์ AgNPs ทำได้โดยนำสารละลาย AgNO_3 (Poch) ความเข้มข้น 1 mM ผสมกับสารละลายสตาร์ช (Ajax) 1%w/v และสารละลายน้ำตาลมอลโทส (Sigma-Aldrich) ความเข้มข้น 0.5 M ในอัตราส่วน 1:1:1 แล้วทำการเติมสารละลาย NaOH จนกระทั่ง pH ของสารผสมเท่ากับ 8 หลังจากนั้นจึงนำสารผสมที่ได้มาเร่งปฏิกิริยาด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ (Samsung, ME711K) ความถี่ 2,450 MHz กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 800 W เป็นเวลา 3 นาที จะได้ AgNPs สำหรับใช้เป็นแกนกลางของอนุภาคนาโนโลหะคู่

สำหรับการสังเคราะห์ Ag@Au core-shell NPs นั้น ทำได้โดยนำคอลลอยด์ของ AgNPs ผสมกับสารละลายน้ำตาลมอลโทสความเข้มข้น 0.5 M และสารละลาย HAuCl_4 ความเข้มข้น 1 mM ในอัตราส่วน 2:1:0.5 แล้วกวนสารผสมต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำคอลลอยด์ที่ได้ไปวิเคราะห์สีและค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ (Avantes, Avaspec-EDU) และวิเคราะห์ขนาดและรูปร่างของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (JEOL, JEM-2100)

2. การตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์โดยใช้ Ag@Au core-shell NPs

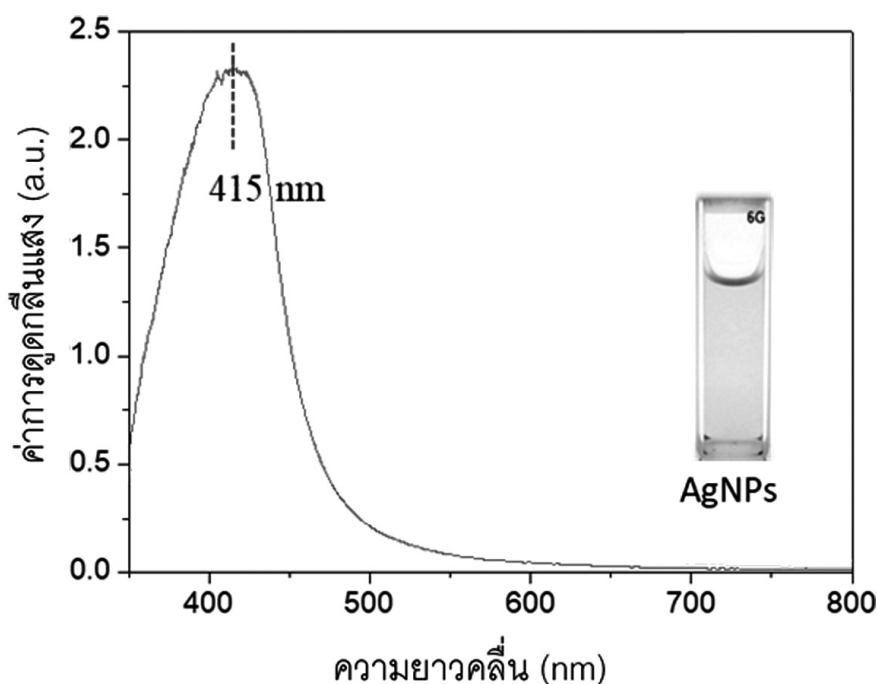
ในการตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ในสารละลายโดยใช้ Ag@Au core-shell NPs ด้วยวิธีการเปรียบเทียบสีนั้น ขั้นตอนแรกจะทำการหาเวลาในการตรวจวัดที่เหมาะสมก่อน โดยใส่สารละลายไซยาไนด์มาตรฐานที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.8 mM ลงในคอลลอยด์ของ Ag@Au core-shell NPs ที่สังเคราะห์ได้ ในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อทำการหาเวลาในการตรวจวัดที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 500 nm ของคอลลอยด์ Ag@Au core-shell NPs (เมื่อถูกเติมด้วยสารละลายไซยาไนด์มาตรฐานความเข้มข้นต่าง ๆ) กับเวลาในการทำปฏิกิริยา เมื่อทราบเวลาในการตรวจวัดที่เหมาะสมแล้ว หลังจากนั้นจึงนำคอลลอยด์ของ Ag@Au core-shell NPs มาเป็นตัวตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์

โดยผสมสารละลายไซยาไนด์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 mM กับคอลลอยด์ของ Ag@Au core-shell NPs ในอัตราส่วน 1:1 เป็นระยะเวลาเท่ากับ เวลาในการตรวจวัดที่เหมาะสม แล้วสังเกตสีที่เปลี่ยนแปลงไปพร้อมทั้งวัดค่าดูดกลืนแสง

ผลการทดลองและวิจารณ์

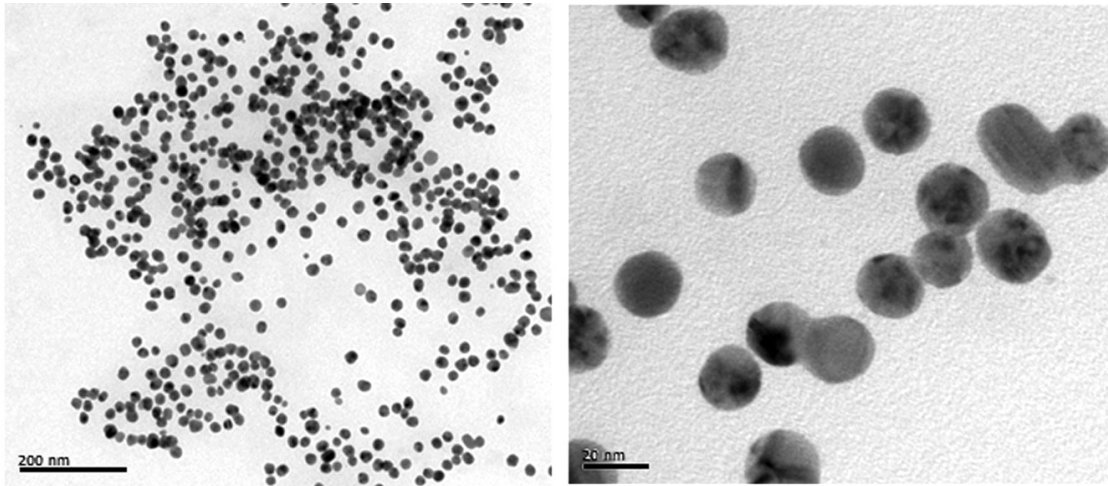
1. ผลการสังเคราะห์ Ag@Au core-shell NPs ด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ในการทดลองได้ทำการสังเคราะห์ Ag@Au core-shell NPs ด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยใช้สารละลายน้ำตาลมอลโทสทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) และ สารละลายสตาร์ซทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้คงตัว (stabilizing agent หรือ stabilizer) และใช้ ความร้อนจากไมโครเวฟเป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยา โดยโมเลกุลของน้ำจะดูดกลืนพลังงาน จากไมโครเวฟผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (dielectric heating) โมเลกุลที่มีขั้วจะเกิดการหมุนตามทิศการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าของไมโครเวฟ และเกิดการเสียดสีจนเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งทำให้มีการกระจายความร้อนทั่วทั้งสารละลายอย่างต่อเนื่องและคงตัว (Phetsahai et al., 2016) จากการทดลองพบว่าเมื่อนำสารผสมระหว่าง สารละลาย AgNO₃ สตาร์ซ และน้ำตาลมอลโทส มาให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 800 W เป็น เวลา 3 นาที พบว่าสารละลายจะเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีเหลืองโดยมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด



รูปที่ 1 สีและสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ AgNPs

ที่ความยาวคลื่น ($\lambda_{\max}$) เท่ากับ 415 nm ซึ่งอยู่ในย่านสีน้ำเงิน จึงทำให้เห็นสารละลายมีสีเหลืองตามหลักการวงล้อสีของแสง ดังแสดงในรูปที่ 1 การเปลี่ยนสีของสารละลายเป็นสีเหลืองนี้แสดงให้ เห็นว่ามี AgNPs เกิดขึ้นตามหลักการ SPR โดย AgNPs เกิดขึ้นเนื่องจาก AgNO_3 ที่ละลายในน้ำแตกตัวเป็น Ag^+ และหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ในโมเลกุลของมอลโทสจะรีดิวซ์ Ag^+ ให้กลายเป็น Ag^0 ซึ่งก็คือ AgNPs นั้นเอง (Phetsahai et al., 2016)

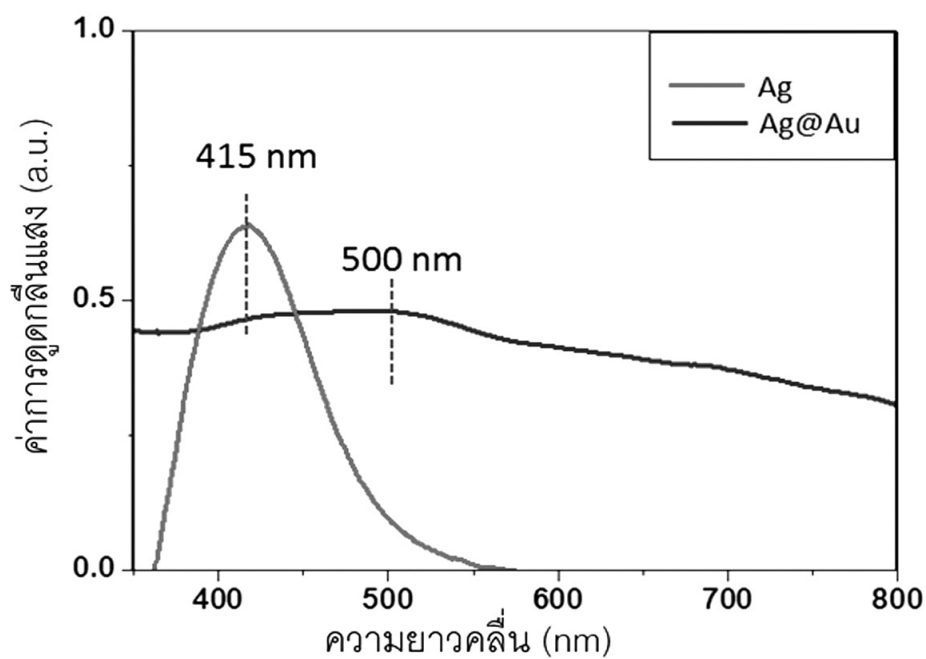


รูปที่ 2 ภาพถ่ายของ AgNPs จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

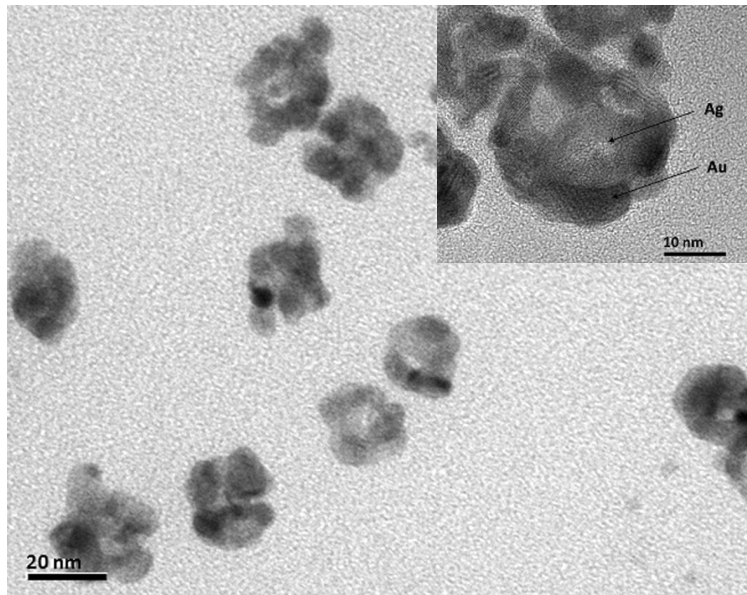
รูปที่ 2 แสดงภาพถ่ายของ AgNPs ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านพบว่า AgNPs มีลักษณะเป็นทรงกลมสม่ำเสมอและไม่เกาะกลุ่มกันซึ่งเป็นผลมาจากการเติมสารละลายสตาร์ชที่ป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาค และ AgNPs มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 22.3 ± 0.1 nm เมื่อนำไปใช้เป็นแกนกลางในการสังเคราะห์ Ag@Au core-shell NPs ผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมสารละลาย HAuCl_4 ลงในคอลลอยด์ของ AgNPs ทำให้สารละลายเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีจากสีเหลืองของ AgNPs เป็นสีม่วงอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยสีม่วงที่เห็นเป็นผลจากการเกิดปรากฏการณ์ SPR ของทองที่เป็นเปลือกหุ้ม เมื่อนำคอลลอยด์ของ Ag@Au core-shell NPs ที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืนแสง ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าค่า $\lambda_{\max}$ มีค่ามากขึ้น โดยเปลี่ยนจาก 415 nm ของคอลลอยด์ AgNPs ไปเป็น 500 nm ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดปรากฏการณ์ SPR ของทองที่เป็นเปลือกหุ้ม



รูปที่ 3 สีของคอลลอยด์ของ Ag@Au core-shell NPs



รูปที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ Ag@Au core-shell NPs



รูปที่ 5 ภาพถ่ายของ Ag@Au core-shell NPs
จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

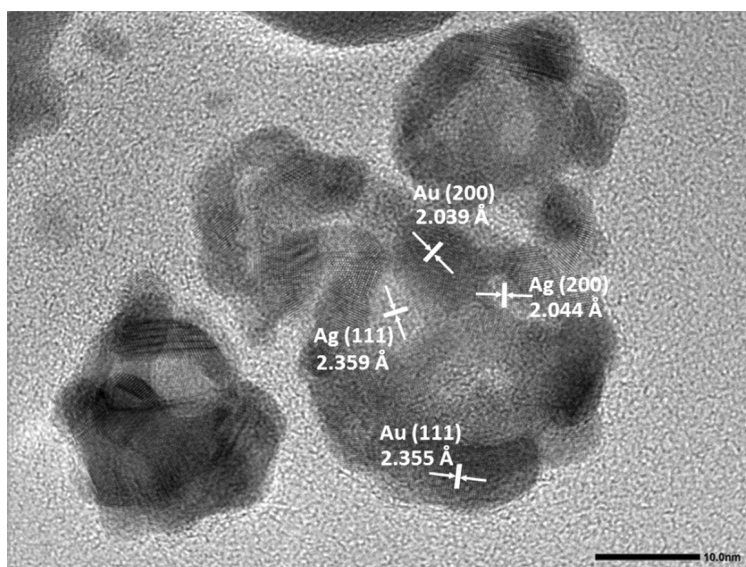
จากภาพถ่ายของ Ag@Au core-shell NPs ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าอนุภาคมีเปลือกหุ้มที่เป็นสีเข้มของโลหะทองและ มีแกนกลางที่มีสีอ่อนกว่าของโลหะเงิน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะที่เป็น core-shell NPs และพบว่ารูปร่างของอนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม โดย Ag@Au core-shell NPs ที่สังเคราะห์ขึ้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 22.2 nm ซึ่งชั้นของโลหะทองที่เป็นเปลือกหุ้มที่เคลือบอยู่บนผิว AgNPs เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างสาร 2 กลุ่มด้วยกัน โดยกลุ่มที่ 1 เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis reaction) และปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) ระหว่าง HAuCl_4 กับหมู่ไฮดรอกซิลในน้ำตาลมอลโทส ทำให้เกิดเป็น AuCl ดังแสดงในสมการที่ (1) จากนั้น AuCl จะเกิดปฏิกิริยาดิสพรอพพอชันเนชัน (disproportionation reaction) ต่อไปเป็น Au^0 ดังแสดงในสมการที่ (2)



และกลุ่มที่ 2 เกิดจากปฏิกิริยากัลวานีระหว่างสารละลาย HAuCl_4 และ AgNPs ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็น Au^0 เช่นกัน (Wanga et al., 2016) ดังแสดงในสมการที่ (3)



โดยการเกิดปฏิกิริยากันของ HAuCl_4 และ AgNPs เป็นสาเหตุที่ทำให้ Ag@Au core-shell NPs มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าขนาดของ AgNPs ที่เป็นแกนกลาง

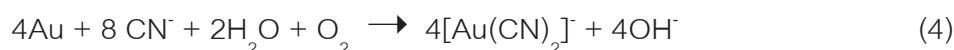


รูปที่ 6 ภาพถ่าย HRTEM ของ Ag@Au core-shell NPs

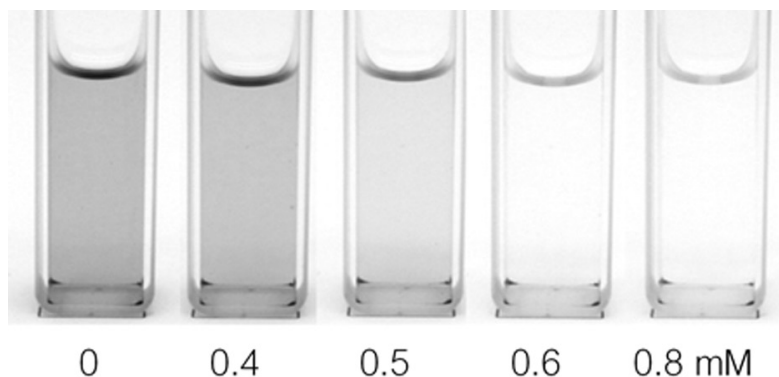
รูปที่ 6 แสดงภาพถ่ายของ Ag@Au core-shell NPs ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านความละเอียดสูง (high-resolution electron microscope หรือ HRTEM) ซึ่งให้เห็นถึงระยะห่างระหว่างระนาบ (d-spacing) ของบริเวณแกนกลางที่มีสีอ่อนกว่าของผลึกโลหะเงิน และเปลือกหุ้มที่เป็นสีเข้มของผลึกโลหะทอง โดยระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกโลหะเงินที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 2.359 Å และ 2.044 Å ตรงกับระนาบ (111) และ (200) ของฐานข้อมูลของ JCPDS หมายเลข 00-004-0783 ตามลำดับ ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกของโลหะเงินที่มีโครงสร้างเป็นแบบ FCC และระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกโลหะทองที่เป็นเปลือกหุ้มมีค่าเท่ากับ 2.355 Å และ 2.039 Å ตรงกับระนาบ (111) และ (200) ของฐานข้อมูลของ JCPDS หมายเลข 00-004-0784 ตามลำดับ ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกของโลหะทองที่มีโครงสร้างเป็นแบบ FCC สามารถยืนยันได้ว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะการเป็น Ag@Au core-shell NPs

2. ผลการตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์โดยใช้ Ag@Au core-shell NPs

เนื่องจากไซยาไนด์มีความสามารถในการละลายโลหะผ่านทางกรอกตัวเป็นสารประกอบโลหะไซยาไนด์ จึงสามารถใช้คอลลอยด์ของ Ag@Au core-shell NPs ที่สังเคราะห์ได้จากตอนที่ 1 เป็นตัวตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์แบบเปรียบเทียบสีได้จากการเกิด SPR ของอนุภาคเมื่อไซยาไนด์ละลายชั้นโลหะทองที่เป็นเปลือกหุ้มและชั้นโลหะเงินที่เป็นแกนกลางตามลำดับ โดยกลไกในการตรวจวัดขึ้นอยู่กับ 2 ปฏิกริยา ดังแสดงในสมการที่ (4) และ (5)

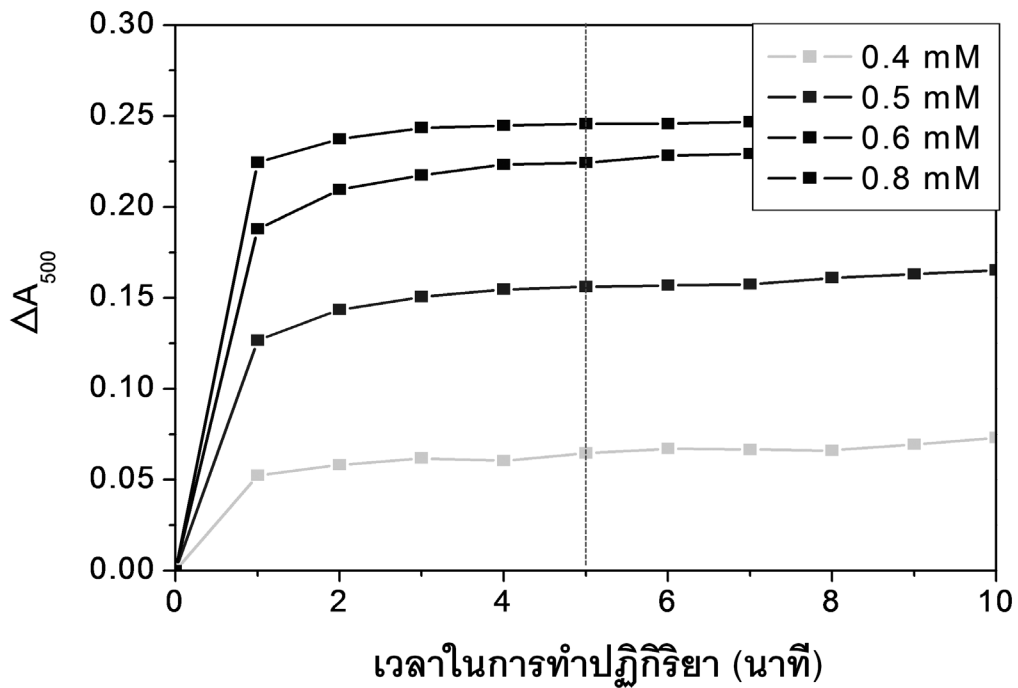


จากสมการที่ (4) - (5) แสดงให้เห็นว่าไซยาไนด์สามารถละลายโลหะทองและโลหะเงิน ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานี้นำไปสู่การเปลี่ยนแปลง core-to-shell ratio ของอนุภาค ก่อให้เกิดการเปลี่ยนสีและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ คอลลอยด์ Ag@Au core-shell NPs

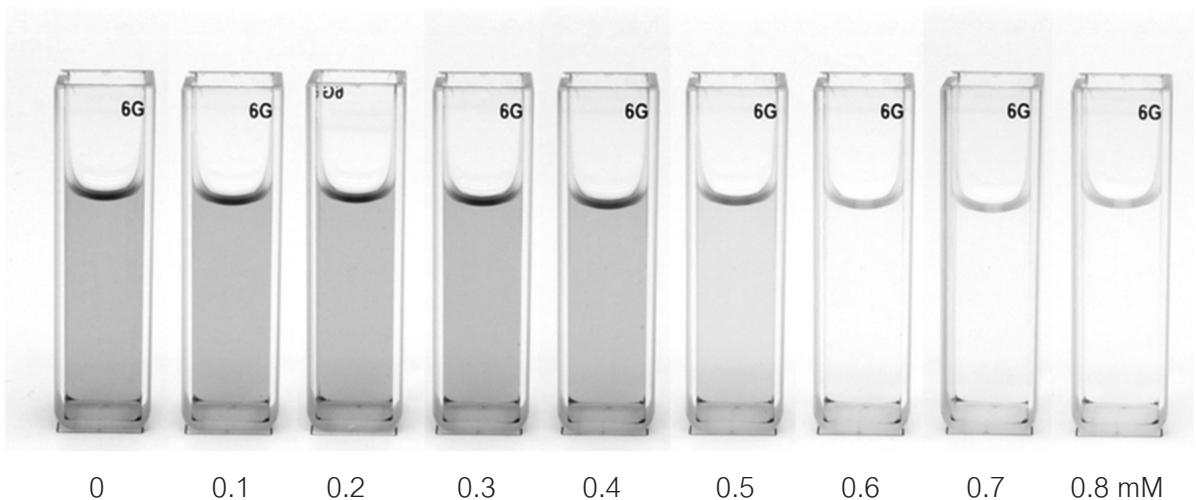


รูปที่ 7 การเปลี่ยนสีของคอลลอยด์ Ag@Au core-shell NPs
เมื่อถูกเติมด้วยสารละลายไซยาไนด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ในการตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์แบบเปรียบเทียบสีด้วยวิธีดังกล่าว ขั้นตอนแรกต้องทำการหาเวลาที่ปฏิกิริยาลิ้นสุดซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการตรวจวัด (detection time) โดยใส่สารละลายไซยาไนด์มาตรฐานความเข้มข้นเท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.8 mM ลงในคอลลอยด์ Ag@Au core-shell NPs ในอัตราส่วน 1 : 1 ผลการทดลองพบว่าสีของคอลลอยด์เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีส้ม สีเหลือง และใสไม่มีสีอย่างรวดเร็วตามความเข้มข้นของสารละลายไซยาไนด์ ดังแสดงในรูปที่ 7 ทั้งนี้ค่า λ_{max} ของ Ag@Au core-shell NPs ที่ตำแหน่งความยาวคลื่นเท่ากับ 500 nm มีค่าลดลง พร้อมทั้งเกิดการเลื่อนไปทางแสงสีน้ำเงิน (blue-shift) คือเลื่อนจาก 500 nm ไปเป็น 400 nm จึงสามารถใช้การลดลงของค่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 500 nm เพื่อบอกเวลาสิ้นสุดการเกิดปฏิกิริยาซึ่งเป็นเวลาในการตรวจวัดที่เหมาะสมได้ รูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าคอลลอยด์ Ag@Au core-shell NPs และสารละลายไซยาไนด์สามารถทำปฏิกิริยากันโดยสมบูรณ์ที่เวลา 4 นาที สังเกตได้จากความชันของกราฟมีค่าคงที่ แต่เพื่อความมั่นใจว่าปฏิกิริยาได้สิ้นสุดลงแล้วจริง จึงกำหนดให้ detection time ของการตรวจวัดเท่ากับ 5 นาที ดังนั้นจึงสามารถกำหนดเงื่อนไขในการตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์แบบเปรียบเทียบสีได้ โดยใช้คอลลอยด์ของ Ag@Au core-shell NPs ที่สังเคราะห์ขึ้น โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรของคอลลอยด์ต่อสารละลายไซยาไนด์เท่ากับ 1 : 1 และสังเกตสีของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเวลาในการผสมสารทั้งสองเท่ากับ 5 นาที



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง 500 nm (ΔA_{500}) ของคอลลอยด์ Ag@Au core-shell NPs เมื่อถูกเติมด้วยสารละลายไซยาไนด์มาตรฐานกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 9 การเปลี่ยนสีของคอลลอยด์ Ag@Au core-shell NPs ที่ใช้ในการตรวจวัดสารละลายไซยาไนด์ ความเข้มข้น 0-0.8 mM เมื่อใช้เวลาในการตรวจวัดเท่ากับ 5 นาที

ผลการตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์แบบเปรียบเทียบสีได้โดยใช้คอลลอยด์ของ Ag@Au core-shell NPs แสดงในรูปที่ 9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่สารละลายไซยาไนด์ลงในคอลลอยด์ของ Ag@Au core-shell NPs ไซยาไนด์จะทำการละลายชั้นของโลหะทองที่เป็นเปลือกหุ้มให้บางลง จนกระทั่งชั้นของโลหะทองหมดไป เหลือเพียงชั้นของ AgNPs ที่เป็นแกนกลาง และจะละลาย AgNPs ให้มีขนาดที่เล็กลงและหมดไปผ่านทางการก่อตัวเป็นสารประกอบโลหะไซยาไนด์ สีของคอลลอยด์จึงเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีส้ม สีเหลือง และใสไม่มีสี ตามลำดับ การที่เห็นสีของคอลลอยด์เป็นสีส้ม เกิดจากปรากฏการณ์ SPR ของโลหะทองเปลือกหุ้มที่ยังคงเหลือบางส่วน และ SPR ของโลหะเงินแกนกลางบางส่วนที่เผยออกมา จึงมองเห็นสีในลักษณะที่เป็นสีผสมระหว่างสีม่วงของโลหะทองและสีเหลืองของโลหะเงิน ซึ่งสีที่เปลี่ยนแปลงไปที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่านี้ สามารถบอกช่วงความเข้มข้นของไซยาไนด์ในสารละลายที่ต้องการตรวจวัดได้

สรุป

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถสังเคราะห์ Ag@Au core-shell NPs โดยใช้วิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ และสามารถนำ Ag@Au core-shell NPs มาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ในสารละลายโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบสีได้ ซึ่งมีช่วงในการตรวจวัดความเข้มข้นของไซยาไนด์ตั้งแต่ 0 - 0.8 mM และใช้เวลาในการตรวจวัดเพียง 5 นาที จัดเป็นวิธีการตรวจวัดที่สะดวก รวดเร็ว และราคาถูก โดยใช้ต้นทุนในการตรวจวัดเพียง 45 บาท/ตัวอย่าง ซึ่งมีราคาต่ำกว่าการซื้อแผ่นตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ในสารละลายที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการตรวจปริมาณไซยาไนด์แทนการใช้สารคลอรามิน ที หรือ ไพริดีน-ไพราโซลีน โดยสีของคอลลอยด์ Ag@Au core-shell NPs จะเปลี่ยนสีจากสีม่วง เป็นสีส้ม สีเหลือง และกลายเป็นสารละลายใสไม่มีสี เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เพิ่มขึ้น นอกจากจะใช้เพื่อบอกช่วงความเข้มข้นของไซยาไนด์ได้แล้ว ยังสามารถบอกความปลอดภัยในการผลิตตลอดจนการนำไปบริโภคและจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังที่แบ่งออกเป็นพันธุ์หวานและพันธุ์ขมได้ ดังนั้น หากสีของสารละลายยังคงเป็นสีม่วงแสดงว่ามีความเข้มข้นของไซยาไนด์ไม่เกิน 0.2 mM นั่นคือมันสำปะหลังหรือผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่นำมาตรวจวัดมีปริมาณไซยาไนด์ไม่เกิน 10 ppm สามารถส่งออกได้ตามมาตรฐานของ FAO หากสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีส้มหรือสีเหลือง แสดงว่ามีความเข้มข้นของไซยาไนด์ไม่เกิน 0.7 mM นั่นคือมันสำปะหลังหรือผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่นำมาตรวจวัดมีปริมาณไซยาไนด์ไม่เกิน 50 ppm จัดเป็นมันสำปะหลังพันธุ์หวาน และหากสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีใส แสดงว่ามีความเข้มข้นของไซยาไนด์มากกว่า 0.7 mM นั่นคือมันสำปะหลังหรือผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่นำมาตรวจวัดมีปริมาณไซยาไนด์สูงกว่า 50 ppm จัดเป็นมันสำปะหลังพันธุ์ขม ยิ่งไปกว่านั้นนอกจากจะใช้ Ag@Au core-shell NPs สำหรับตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังได้แล้ว ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการ

ตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ในสารละลายต่างๆ เพื่อการควบคุมคุณภาพการผลิตหรือการประเมินคุณภาพแหล่งน้ำได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลัง และแป้ง (Cassava and Starch Technology Research Unit) ที่ก่อตั้งภายใต้ความร่วมมือระหว่างศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ที่อนุเคราะห์ให้ข้อมูลและปัญหาที่พบเจอในปัจจุบันเกี่ยวกับการตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์

เอกสารอ้างอิง

- Li, Y., Wanga, Q., Zhou, X., Wena, C.Y., Yu, J., Hanb, X., Li, X., Yan, Z.F. & Zeng, J. (2016). A convenient colorimetric method for sensitive and specific detection of cyanide using Ag@Au core-shell nanoparticles. **Sensors and Actuators B**. 228(1), 366-372.
- Limsila, J., Limsila, A., Jaroenrat, S., Kathong, S., Tongklum, A., Wongkobrat, A., Junkhum, J., Sethasuk, J., Narintaraporn, P. & Thongsri, S. (2004). **Cassava**. 1st Edition. Bangkok: Idea Square Limited Partnership. (in Thai)
- Panigrahi, S., Kundu, S., Ghosh, S.K., Nath, S. & Pal. T. (2005). Sugar assisted evolution of mono- and bimetallic nanoparticles. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. 264(1-3), 133-138.
- Phetsahai, A., Thamaphat, K. & Nuntawong, N. (2016). Green synthesis of colloidal silver nanoparticles for surface-enhanced Raman scattering. **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)**. 11(1), 116-127. (in thai)
- Piyachomkwan, K., Wanlapatit, S., Chotineerarat, S. & Siroth, K. (2005). Transformation and balance of cyanogenic compounds in the cassava starch manufacturing process. **Starch/Stärke**. 57(2), 71-78.
- Rojanaritchet, J. (1989). **Plant culture, processing industry and utilization of cassava**. 1st Edition. Bangkok: Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University. (in Thai)

- Sharma, V.K., Yngard, R.A. & Lin, Y. (2009). Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. **Advances in Colloid and Interface Science**. 145(1-2), 83-96.
- Smith, E. & Dent, G. (2005). **Modern Raman spectroscopy - A practical approach**. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Thai Tapioca Starch Association (2017). **Exporting tapioca product**. Retrieved April 2, 2017, from http://www.thaitapiocastarch.org/th/information/statistics/export_tapioca_products (in thai)
- Williams, I. (2001). **Environmental chemistry: a modular approach**. Chichester: John Wiley & Sons.
- Zeng, J.B., Cao, Y.Y., Chen, J.J., Wang, X.D., Yu, J.F., Yu, B.B., Yan, Z.F. & Chen, X. (2014). Au@Ag core/shell nanoparticles as colorimetric probes for cyanide sensing. **Nanoscale**. 6(17), 9939-9943.

.....

ผลของการผลิตสตาร์ชทนย่อยด้วยเอนไซม์พุลูลาเนส
และการเกิดรีโทรเกรเดชันร่วมกับการดัดแปรความร้อน-ความชื้น
ของสตาร์ชถั่ว

EFFECT OF PRODUCTION RESISTANT STARCH
BY USING PULLULANASE ENZYME AND RETROGRADATION
WITH HEAT-MOISTURE TREATMENT ON LEGUME STARCH

ศศิพร รัตนสุวรรณ^{1*} และ สุนีย์ โชติเนียรนาท²

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
กรุงเทพมหานคร 10220

²หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ
กรุงเทพมหานคร 10900

Sasiporn Rattanasuwan^{1*} and Sunee Chotineeranat²

¹Department of Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok 10220

²Cassava and Starch Technology Research Unit, National Center for Genetic Engineering
and Biotechnology, Bangkok 10900

*E-mail: sasiporn@pnru.ac.th

บทคัดย่อ

แป้งและสตาร์ช เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของมนุษย์ เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกย่อยให้เป็นน้ำตาลและดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ซึ่งหากมีน้ำตาลในกระแสเลือดปริมาณมากส่งผลให้เกิดภาวะโรคอ้วน อาหารเพื่อสุขภาพโดยเฉพาะเส้นใยอาหารมีการใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของการผลิต สตาร์ชทนต่อการย่อยประเภทที่ 3 (Resistant Starch Type 3: RS3) จากสตาร์ชถั่วเขียว ถั่วดำและถั่วแดงหลวง โดยผ่านการตัดกิ่งตัวอย่างสตาร์ชถั่วด้วยเอนไซม์พุลูลาเนสปริมาณ 0.02 มิลลิลิตรต่อกรัมสตาร์ชที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 36 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยลดลง และเมื่อต้มตัวอย่างที่ผ่านการตัดกิ่ง

ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 1 3 7 และ 14 วัน ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) พบว่าสตาร์ชจากถั่วทั้งสามชนิด มีแนวโน้มของปริมาณสตาร์ชทนย่อยเพิ่มสูงขึ้น จากนั้นนำตัวอย่างสตาร์ชถั่วที่ผ่านการตัดกิ่งมาดัดแปรร่วมด้วยกระบวนการความร้อน - ความชื้น พบว่าสตาร์ชถั่วทั้งสามชนิดมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยเพิ่มสูงขึ้น ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ: แป้งทนย่อย สตาร์ชถั่ว เอนไซม์พูลูลูลานเนส การคืนตัว การดัดแปรความร้อนร่วมกับความชื้น

ABSTRACT

Flour and starch are importance of human energy source. It was digested to be sugar and absorbed while consuming to body. A high content of sugar in blood vessel caused an obesity. Functional food, especially food fiber have been used to be an ingredient in healthy food. The objective of this study was study of production of resistant starch (RS3) from mung bean, black bean and red kidney bean. Legume starches were debranched by Pullulanase enzyme of 0.02 ml/g of starch at the temperature of 50 °C for 36 h. The study found that resistant starch was reduced ($p \leq 0.05$). The debranched starches were then aged at 4 °C for 0, 1, 3, 7 and 14 days and were dried using freeze drying. The result showed that starch from 3 types of legume were higher of resistant starch ($p \leq 0.05$). The debranched starch was modified with heat-moisture treatment process and the result showed that increasing of resistant starch were observed in 3 type of legume starches.

Keywords: resistant starch, legume starch, pullulanase enzyme, retrogradation, heat-moisture treatment

บทนำ

ปัจจุบัน ผู้บริโภคมีวิถีการใช้ชีวิตที่เน้นความสะดวกสบาย ส่งผลให้มีพฤติกรรม การบริโภคเปลี่ยนแปลง โดยมีการบริโภคอาหารแบบตะวันตกมากขึ้น ทำให้มีโอกา สเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคอ้วนและโรค มะเร็ง บางชนิดทำให้ผู้บริโภคให้ความสนใจในสุขภาพมากขึ้น เพื่อลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคดังกล่าว ข้างต้น การเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการหรืออาหารเพื่อสุขภาพ (functional food) จึงมีแนวโน้มได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นคาร์โบไฮเดรตที่จัดอยู่ในอาหารสุขภาพ เช่น อาหารที่มี

ใยอาหารสูงหรืออาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตต่ำ สตार्ชเป็นแหล่งที่เก็บสะสมคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญของมนุษย์ เมื่อเกิดการย่อยจะให้พลังงาน แต่สตार्ชมีองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการย่อยและการดูดซึมพลังงานในลำไส้เล็กมีความเร็วหรือช้าที่แตกต่างกัน จึงทำให้สตार्ชและผลิตภัณฑ์จากสตार्ชสามารถจำแนกตามระดับการย่อยได้ ความแตกต่างในการย่อยของสตार्ชสามารถนำมาใช้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ และคุณสมบัติเชิงหน้าที่ในอาหาร เช่น อาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน

สตार्ชหรือแป้งทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ หรือสตार्ชที่ให้พลังงานต่ำ (Resistant starch, RS) คือ แป้งและผลิตภัณฑ์ของแป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์และถูกดูดซึมในลำไส้เล็กของมนุษย์ Resistant starch จึงมีคุณสมบัติเทียบเท่าเส้นใยอาหาร สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพได้มากขึ้น (Ranhotra et al., 1996b) โดยสตार्ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์แบบที่ 3 (RS type 3) เป็นสตार्ชที่มีสมบัติทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ที่เกิดจากการเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสายแอมิโลสระหว่างการทำให้เย็นของสตार्ชที่ผ่านการเกิดเจลในเซชัน (การเกิดรีโทรเกรดชัน) เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติที่มีความแข็งแรงและทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ได้มากขึ้น ป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ โดยกรดไขมันที่เกิดขึ้นจากการหมักของจุลินทรีย์ในลำไส้จะช่วยปรับค่าความเป็นกรดต่างภายในลำไส้ให้ลดต่ำลง (Alexander, 1995 : Ferguson et al., 2000) นอกจากนี้ สตार्ชทนย่อยยังจัดอยู่ในกลุ่มอาหารประเภทพรีไบโอติก และเป็นส่วนประกอบอาหารประเภทลดพลังงาน (low-calorie food ingredient) สตार्ชทนย่อยสามารถพบได้ในธรรมชาติในอาหารประเภทธัญพืช มันฝรั่ง เผือก ผักและผลไม้ อาหารจำพวกถั่ว (legume) ถั่วลิสงและอาหารที่ผ่านการแปรรูปบางชนิด เป็นต้น (Phakdeesriphan & Uriyaponson, 2010; Lunnand Buttriss, 2007) สำหรับพืชตระกูลถั่ว นอกจากเป็นพืชที่ให้โปรตีนแล้ว ยังมีปริมาณสตार्ชทนย่อยสูง Katyal et al. (2005) รายงานว่า อาหารประเภทถั่วที่ผ่านการแปรรูปจะมีปริมาณสตार्ชทนย่อยสูงกว่าที่พบในธัญพืช เช่นเดียวกันกับการรายงานของ Yadav et al. (2010) พบว่า พืชตระกูลถั่วมีปริมาณสตार्ชทนย่อยสูงกว่าธัญพืชประเภทข้าวสาลี ข้าวและข้าวบาร์เลย์ พืชตระกูลถั่วจึงเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจสำหรับใช้ศึกษาถึงปริมาณสตार्ชทนย่อยในประเทศไทยมีพืชตระกูลถั่วมากมายหลายชนิด เนื่องจากมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่ระหว่างร้อยละ 55 - 60) และมีปริมาณแอมิโลสในปริมาณสูง (ร้อยละ 48 - 50) การเพิ่มปริมาณสตार्ชทนย่อยโดยใช้เอนไซม์ฟูลลูแลนซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีความจำเพาะในการย่อยพันธะ α - 1, 6 glucosidic linkages ของโมเลกุลแป้งมีผลให้ปริมาณสตार्ชทนย่อยเพิ่มขึ้น (Surendra & Parimalavalli, 2018) โดย Zhang & Jin (2011) ได้ศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการตัดสายกิ่งสตार्ชข้าวโพดด้วยเอนไซม์ฟูลลูแลนสที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน (8, 16, 24, 32, 40 และ 48) พบว่าปริมาณสตार्ชทนย่อยมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 24 ชั่วโมง

ที่มีผลให้ปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงสุดคือร้อยละ 32.1 และการเพิ่มปริมาณสตาร์ชทนย่อยนอกจากการใช้เอนไซม์พุลูลาเนสตัดสายกิ่งสตาร์ชแล้ว ยังพบว่ามียธิพลอันเนื่องมาจากสภาวะการเก็บ (storage condition) สัมพันธ์กันระหว่างระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษา ซึ่งมีผลให้สตาร์ชเกิดรีโทรเกรเดชันโดยเฉพาะการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ Gonzalez-Soto et al. (2007) พบว่าระยะเวลาไม่มีผลต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของสตาร์ชกล้วยที่ไม่ผ่านการตัดกิ่ง ในขณะที่อุณหภูมิในการเก็บมีผลต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อยของ debranched banana starch อย่างมีนัยสำคัญ โดยการเก็บที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แสดงปริมาณสตาร์ชทนย่อยน้อยกว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 และ 32 องศาเซลเซียส

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อยในพืชตระกูลถั่ว และผลของการผลิตสตาร์ชทนย่อยด้วยกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์พุลูลาเนสซึ่งทำหน้าที่ตัดกิ่งของโพลีแซคคาไรด์ (de-branching) และผ่านการคินตัวร่วมกับการดัดแปรด้วยความร้อน-ความชื้นเพื่อตัดแปรสตาร์ชจากถั่วให้มีปริมาณสตาร์ชทนย่อยเพิ่มขึ้น เพื่อสามารถเพิ่มมูลค่าของพืชตระกูลถั่วที่ปลูกในไทยให้เป็นส่วนประกอบอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสูง และยังมีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารเพื่อสุขภาพ (functional foods)

วิธีการ

1. ศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดรีโทรเกรเดชันต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย

นำสตาร์ชถั่วเขียว สตาร์ชถั่วดำและสตาร์ชถั่วแดงหลวง มาผลิตเป็นสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (RS 3) โดยเตรียมสารแขวนลอยสตาร์ชถั่วเขียว สตาร์ชถั่วแดงหลวง และสตาร์ชถั่วดำ เข้มข้น ร้อยละ 5 ในสารละลาย 0.1 โมลาร์ อะซิเตทบัฟเฟอร์ พีเอช 5.2 นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที และให้ความร้อนต่อที่ระดับ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) (Hirayama, HVE-50, Japan) ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเติมเอนไซม์พุลูลาเนส (Pullulanase: Promozyme[®] D2, expressed in *Bacillus subtilis*) ปริมาณ 0.02 มิลลิลิตรต่อกรัมสตาร์ช จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 36 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำไปให้ความร้อนที่ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายสตาร์ชที่ได้ตั้งทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง (ดัดแปลงจาก Pongjanta et al., 2009) นำสตาร์ชทั้งสามชนิดมาศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดรีโทรเกรเดชัน โดยนำสารละลายสตาร์ชถั่วเขียว สตาร์ชถั่วดำและสตาร์ชถั่วแดงหลวงที่ผ่านการตัดสายกิ่งด้วยเอนไซม์พุลูลาเนส มาบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 1 3 7 และ 14 วัน แล้วนำตัวอย่างสตาร์ชไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dried) (FreeZone, Labconco, USA) นำมาบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้เป็นสตาร์ชที่ผ่านกระบวนการเกิดการรีโทรเกรเดชัน

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากถั่วเขียว ถั่วดำและถั่วแดงหลวง ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน (AOAC, 2000) และคาร์โบไฮเดรต โดยวิธีการคำนวณจากสูตร = $100 - (\text{ความชื้น} + \text{ร้อยละ} + \text{ถั่ว} (\text{ร้อยละ}) + \text{ไขมัน} (\text{ร้อยละ}) + \text{โปรตีน} (\text{ร้อยละ}) + \text{เยื่อใย} (\text{ร้อยละ}))$

วิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ตามวิธี colorimetric method (Juliano, 1971) และวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch) ด้วยชุดตรวจสอบปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch assay procedure K-RSTAR 05/2008, 100 assays per kit) บริษัท Megazyme ประเทศไอร์แลนด์ (AACC.1995)

2. ศึกษาการผลิตสตาร์ชทนย่อยที่ผ่านการตัดกิ่ง (de-branching) และเกิดรีโทรเกรเดชัน ร่วมกับการดัดแปรด้วยความร้อนความชื้นของสตาร์ชถั่ว

นำสตาร์ชจากข้อ 1 มาปรับให้มีระดับความชื้นร้อยละ 20 ด้วยน้ำกลั่น ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันใส่ในภาชนะปิดสนิท บ่มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 ชั่วโมง (Hoover and Manuel, 1996) จากนั้นนำออกจากภาชนะ อบแห้งให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

วิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch) ด้วยชุดตรวจสอบปริมาณสตาร์ชทนย่อย (resistant starch assay procedure K-RSTAR 05/2008, 100 assays per kit) บริษัท Megazyme ประเทศไอร์แลนด์ (AACC, 1995)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำวางแผนการทดลอง สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดรีโทรเกรเดชันต่อปริมาณสตาร์ชทนย่อย

สตาร์ชจากถั่วเขียว ถั่วดำและถั่วแดงหลวง (ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบไม่เปียก) มีองค์ประกอบทางเคมี (ดังแสดงตารางที่ 1) พบว่า สตาร์ชจากถั่วเขียว มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน ถั่ว และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 7.67 0.19 0.13 0.26 91.74 ตามลำดับ สตาร์ชจากถั่วดำมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน ถั่ว และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 9.06 0.25 0.11 0.35 และ 90.17 ตามลำดับ และสตาร์ชจากถั่วแดงหลวง มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน ถั่ว และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 7.79 0.31 0.12 0.39 และ 91.46 ตามลำดับ พืชตระกูลถั่วจัดว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก มีโปรตีนสูงและไขมันต่ำ

(Division of soil Biotechnology, 2007) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชถั่วเขียว สตาร์ชถั่วแดงหลวงและสตาร์ชถั่วดำ โดยวิธีการสกัดสตาร์ชนี้ส่งผลให้ปริมาณของโปรตีน และไขมันมีปริมาณลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชถั่วเขียว ถั่วแดงหลวงและถั่วดำ พบว่า สตาร์ชถั่วเขียวมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าสตาร์ชถั่วแดงหลวงและถั่วดำ ($p \leq 0.05$) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (โปรตีน ไขมัน และเถ้า) ของสตาร์ชทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีค่าน้อยกว่าร้อยละ 0.5 เป็นไปตามมาตรฐานของสตาร์ชจากถั่วเขียวซึ่งกำหนดปริมาณโปรตีนไม่เกินร้อยละ 0.4 (Ministry of Public health, 2013) และองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันของสตาร์ชจากถั่วทั้งสามชนิด เนื่องจากความแตกต่างกันของสายพันธุ์ถั่ว พื้นที่เพาะปลูก และสภาพแวดล้อม

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชถั่วเขียว สตาร์ชถั่วดำและสตาร์ชถั่วแดงหลวง

ค่าที่วิเคราะห์	สตาร์ชถั่วเขียว	สตาร์ชถั่วดำ	สตาร์ชถั่วแดงหลวง
ความชื้น	7.67 ^c ±0.03	9.06 ^a ±0.03	7.79 ^b ±0.05
โปรตีน ^{ns}	0.19±0.02	0.25±0.10	0.31±0.05
ไขมัน ^{ns}	0.13±0.05	0.11±0.03	0.12±0.05
เถ้า	0.26 ^c ±0.01	0.35 ^b ±0.01	0.39 ^a ±0.02
คาร์โบไฮเดรต	91.74 ^a ±0.05	90.17 ^c ±0.09	91.46 ^b ±0.04
แอมิโลส	52.83 ^a ±1.92	49.76 ^b ±0.47	48.85 ^b ±1.28
สตาร์ชทนย่อย	27.70 ^c ±0.35	33.95 ^b ±1.05	43.36 ^a ±0.60

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

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

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชทนย่อยของสตาร์ชถั่วทั้งสามชนิด พบว่า สตาร์ชถั่วแดงหลวงมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยสูงกว่าสตาร์ชถั่วดำและสตาร์ชถั่วเขียว ($p \leq 0.05$) ซึ่งสตาร์ชจากถั่วทั้งสามชนิดจัดอยู่ในกลุ่มที่มีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สูงมาก (มากกว่าร้อยละ 15) (Goni et al., 1996) ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับ Photinam (2016) ซึ่งเตรียมสตาร์ชจากถั่วเขียวด้วยวิธีการไม่เปียกและผ่านการปอกเปลือกออก ส่งผลให้สตาร์ชที่ได้มีความบริสุทธิ์ เป็นปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 99.12 และมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สูงถึงร้อยละ 55.87

จากการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดรีโทรเกรเดชันต่อปริมาณสตาร์ชทนน้อยของสตาร์ชถั่วที่ผ่านกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์ตัดกิ่ง (de-branching) พลูลูแลนสที่ความเข้มข้น 0.02 มิลลิลิตรต่อกรัมสตาร์ช เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมงและเกิดรีโทรเกรเดชันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 1 3 7 และ 14 วัน (ดังแสดงในตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณสตาร์ชทนน้อยของสตาร์ชถั่วเขียว สตาร์ชถั่วดำและสตาร์ชถั่วแดงหลวงที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ตัดกิ่งและเกิดรีโทรเกรเดชันที่ 4 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา	ปริมาณสตาร์ชทนน้อย (ร้อยละ)		
	สตาร์ชถั่วเขียว	สตาร์ชถั่วดำ	สตาร์ชถั่วแดงหลวง
0	24.16 ^{Ab} ±0.22	22.93 ^{ABc} ±0.15	21.55 ^{Bc} ±0.82
1	25.56 ^{Ab} ±0.48	23.22 ^{ABc} ±0.68	22.97 ^{Bb} ±0.40
3 ^{NS}	26.93 ^a ±0.92	25.57 ^b ±0.11	25.27 ^a ±0.63
7	27.17 ^{Aa} ±0.11	26.01 ^{ABb} ±0.56	25.12 ^{Ba} ±0.26
14 ^{NS}	28.28 ^a ±1.24	27.11 ^a ±0.36	25.44 ^a ±0.03

หมายเหตุ: ตัวอักษร^{a, b} ที่กำกับแตกต่างกันในแนวดังแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ตัวอักษร^{A, B} ที่กำกับแตกต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{NS} หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตาราง พบว่า สตาร์ชถั่วเขียว สตาร์ชถั่วดำและสตาร์ชถั่วแดง มีปริมาณสตาร์ชทนน้อยแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น พบว่า สตาร์ชทั้งสามชนิดมีปริมาณสตาร์ชทนน้อยเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับ Phrukwiwattanakul (2013) ที่รายงานว่า ปริมาณสตาร์ช ทนต่อการย่อยของสตาร์ชถั่วเขียวมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสตาร์ชทนน้อยของสตาร์ชถั่วเขียวมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 24.16 เป็น 28.28 ($p \leq 0.05$) สตาร์ชถั่วดำมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 22.93 เป็น 27.11 ($p \leq 0.05$) และสตาร์ชถั่วแดงหลวงมีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 21.55 เป็น 25.44 ($p \leq 0.05$) เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 0 วัน เป็น 14 วัน ปริมาณของสตาร์ชทนน้อยของสตาร์ชถั่วทั้งสามชนิด จัดอยู่ในกลุ่มของสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในระดับสูงมาก

ซึ่งกำหนดไว้ว่า มากกว่าร้อยละ 15) (Goni et al. 1996) และอยู่ในกลุ่มของสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ประเภทที่ 3 (Sajilata et al, 2006) ปริมาณสตาร์ชทนย่อยที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายสตาร์ชเพื่อทำให้สตาร์ชสุก แล้วทิ้งให้สตาร์ชเกิดการเย็นตัวลง โมเลกุลของสตาร์ชที่ละลายออกมาจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้เป็นผลึกที่แข็งแรงและสามารถทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ได้ส่งผลให้ปริมาณสตาร์ชทนย่อยเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้น (Sriroth & Piyajomkwan, 2003) นอกจากนี้ Shi et al. (2013) ได้รายงานไว้ว่า สตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวที่ผ่านการตัดสายกิ่งด้วยเอนไซม์พลูลูลาเนสและผ่านการรีโทรเกรเดชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีผลให้ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชดิบ (ไม่ผ่านการตัดสายกิ่งและการรีโทรเกรเดชัน) เมื่อพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 14 วัน พบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยของสตาร์ชทั้งสามชนิดไม่มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยสตาร์ชถั่วเขียวมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สูงกว่าสตาร์ชถั่วดำและถั่วแดงหลวง ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชถั่วเขียวมีค่าสูงกว่าสตาร์ชถั่วดำและถั่วแดงหลวง ซึ่งสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสสูงส่งผลให้โครงสร้างภายหลังจากการเกิดรีโทรเกรเดชันมีความแข็งแรงมากขึ้น (Noosuk, 2003) และสอดคล้องกับการทดลองของ Raddy et al. (2014) ซึ่งได้ทำการศึกษาปริมาณสตาร์ชทนย่อยของหัวบุก โดยนำสตาร์ชจากบุกมาผ่านกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์พลูลูลาเนส (40U/g) เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเก็บรักษาที่สภาวะแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยมีปริมาณเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$)

2. ผลการศึกษาการผลิตสตาร์ชทนย่อยที่ผ่านการตัดกิ่ง (de-branching) และเกิดรีโทรเกรเดชัน ร่วมกับการดัดแปรด้วยความร้อนความชื้นของสตาร์ชถั่ว

จากตารางที่ 3 แสดงปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ของสตาร์ชถั่วเขียว ถั่วดำและถั่วแดงหลวงซึ่งผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ตัดกิ่งไม่ผ่านการเกิดรีโทรเกรเดชัน และผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น พบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยของสตาร์ชถั่วเขียวเพิ่มขึ้นประมาณ 2.2 เท่า (จากร้อยละ 24.16 เป็นร้อยละ 53.62) สตาร์ชถั่วดำมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยเพิ่มขึ้นประมาณ 1.82 เท่า (จากร้อยละ 22.93 เป็นร้อยละ 41.64) และสตาร์ชถั่วแดงหลวงมีปริมาณสตาร์ชทนย่อยเพิ่มขึ้นประมาณ 2.42 เท่า (จากร้อยละ 21.55 เป็นร้อยละ 52.18) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสตาร์ชผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นแล้วส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวใหม่ โครงสร้างมีความแข็งแรงขึ้น ทำให้ปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Suling et al., (2011) ซึ่งดัดแปรสตาร์ชถั่วเขียวที่ระดับความชื้น 5 ระดับ คือร้อยละ 15 20 25 30 และ 35 ของน้ำหนักสตาร์ช รายงานว่า สตาร์ชถั่วเขียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยสูงขึ้น (จากสตาร์ชดิบเท่ากับ

ร้อยละ 11.2 เป็น 45.2) และที่ระดับความชื้นร้อยละ 20 มีปริมาณสารอาหารที่น้อยที่สุด เช่นเดียวกับ Sankhon et.al. (2014) ศึกษาผลของการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นของสารอาหาร (African locust bean) ที่ระดับความชื้นร้อยละ 15 20 25 และ 30 ของน้ำหนักสาร พบว่า ปริมาณสารอาหารที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์มีปริมาณสูงสุดที่ระดับความชื้นร้อยละ 20 (จากสารอาหารดิบเท่ากับร้อยละ 33.38 เป็น 50.14) นอกจากนี้ Jacobasch et. al. (2006) รายงานว่า แป้ง Novelose 330 ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณของ สารอาหารที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จากร้อยละ 40.4 เป็น 74.7

ตารางที่ 3 ปริมาณสารอาหารของสารสกัดข้าว ข้าวดำและข้าวแดงหลวงที่ผ่านการย่อย ด้วยเอนไซม์ตัดกิ่งและไม่เกิดรีโทรเกรเดชันร่วมกับการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

แหล่งของสารอาหาร	ปริมาณสารอาหาร (ร้อยละ)
สารสกัดข้าว	53.62 ^a ±0.74
สารสกัดข้าวดำ	41.64 ^c ±0.22
สารสกัดข้าวแดงหลวง	52.18 ^b ±0.48

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

นอกจากนี้ ผลการทดลองยังสอดคล้องกับการทดลองของ Pancha-arnon (2012) ศึกษาการดัดแปรแป้งข้าว พลาเวอร์ข้าวและเม็ดข้าวด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น พบว่า ที่ความชื้นร้อยละ 20 ให้มีผลให้ปริมาณสารอาหารเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่ทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้นโดยเกิดจากกระบวนการรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ของสารอาหาร (Lunn & Buttriss, 2007) ซึ่งจะเห็นว่าการเกิดรีโทรเกรเดชันแสดงในรูปของค่าการคืนตัวของเม็ดแป้ง (setback) ส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ สารอาหาร โดยสารอาหารจากพืชตระกูลถั่วที่มีค่าการคืนตัวสูง มีแนวโน้มที่ปริมาณสารอาหาร จะสูงตามไปด้วย (Kim et al., 2006) นอกจากนี้เหตุผลดังกล่าวข้างต้น ยังมีอีกเหตุผล บางประการที่ส่งผลให้ปริมาณสารอาหารมีปริมาณเพิ่มขึ้นโดยการนำสารอาหารมาผ่าน กระบวนการรีโทรเกรเดชันซ้ำหลาย ๆ รอบ ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Jagannadham et al., (2017) ศึกษาจำนวนครั้งของการเกิดรีโทรเกรเดชันของสารสกัดข้าวฟ่างคือ 24 48 และ 72 ชั่วโมง พบว่า เมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้น ปริมาณสารอาหารเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$)

สรุป

การผลิตสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จากถั่วเขียว ถั่วดำและถั่วแดงหลวง ด้วยกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์พอลิกลูกลานเนสที่ระดับความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อกรัมสตาร์ช เป็นผลให้ปริมาณสตาร์ชทนย่อยมีปริมาณที่ลดลง เมื่อเทียบกับสตาร์ชดิบ สตาร์ชที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ผ่านการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 1 3 7 และ 14 วัน พบว่า ปริมาณสตาร์ชทนย่อยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้น เลือกระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 0 วัน (ไม่เกิดรีโทรเกรเดชัน) มาศึกษาการดัดแปรด้วยความร้อนร่วมกับความชื้น (Heat moisture treatment) ที่ระดับความชื้นร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงพบว่า กระบวนการให้ความร้อนร่วมกับความชื้นมีผลให้สตาร์ชจากถั่วทั้งสามชนิดมีปริมาณ สตาร์ชทนย่อยเพิ่มขึ้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพในกลุ่มของเส้นใยอาหาร (dietary fiber) มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่ส่งเสริมประโยชน์ต่อสุขภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2558 และขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- AACC. (1995). *Test kit Resistant starch (AOAC official Method 2002.02; AACC Method 32-40.01)*. Ireland: Megazyme International.
- Alexander, R.J. (1995). Resistant starch - new ingredient for the food industry. *Cereal Foods World*. 40(6), 455 - 458.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17th ed. William Horwitz. U.S.A. Association of Official Analytical Chemist, Inc
- Division of soil Biotechnology. (2007). Protein, Fat and Calcium content from vegetable. Division of soil Biotechnology. Land Development Department. [in Thai].
- Ferguson, L.R., Tasman-Jones, C., Englyst, H. & Harris, P.J. (2000). Comparative effects of three resistant starch preparation on transit time and short chain fatty acid product in rats. *Nutrition and Cancer*. 36, 230 - 237.

- Goni, I., Garcia-Diz, L., Manas, E. & Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**. 56, 445 - 449.
- Gonzalez-Soto, R. A., Mora-Escobedo, R., Hernandez-Sanchez-Rivera, M. and Bello-Perez, L.A. (2007). The influence of time and storage temperature on resistant starch formation from autoclaved debranched banana starch. **Food Research International**, 40(2). 304 - 310.
- Hoover, R. & Manuel, H. (1996). Effect of heat - moisture treatment on the structure and physicochemical properties of legume starches. **Food Research International**. 29(8), 731 - 750.
- Jagannadham, K., Parimalavalli, R. & Surendra Babu, A. (2017). Effect of triple retrogradation treatment on chickpea resistant starch formation and its characterization. **Journal of Food Science and Technology**. 54 (4), 901 - 908.
- Jacobasch, G., Dongowski, G., Schmiedl, D. & Muller-Schmehl, K. (2006). Hydrothermal treatment of Novelose 330 results in high yield of resistant starch type 3 with beneficial prebiotic properties and decreased secondary bile acid formation in rats. **British Journal of Nutrition**. 95, 1063-1074.
- Juliano, B.O., (1971). A Simplified Assay for Milled-rice Amylose, **Cereal Science Today**. 16, 334 - 340.
- Kim, J.H., Tanhehco, E.J. & P.K.W. Ng. (2006). Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour. **Food Chemistry**. 99, 718 - 723.
- Katyal, D., Ghugre, P.S. & Udipi, S.A. (2005). Resistant starch in selected raw and processed legumes. **Journal of Food Science and Technology**. 42, 506 - 510.
- Li, S., Gao. & Ward, R. (2011). Physicochemical properties and in vitro digestibility of resistant starch from mung bean (*Phaseolus radiates*) starch. **Starch/Starke**. 63, 171 - 178.
- Lunn, J. & Buttriss, J. (2007). Carbohydrates and dietary fibre. **Journal of Compilation, British Nutrition Foundation, Nutrition Bulletin**. 32, 21 - 64.
- Ministry of Public health. (2013). Mung bean starch. No. 948-2556. Ministry of Public health. Thai industrial standards institute (TISI), Bangkok. [in Thai].
- Phrukwiwattankul, P. (2013). **Production of resistant starch from different types of starch and determination of their prebiotic properties**. Master of Science in Food Technology, Prince of Songkla University. 151p. [in Thai].

- Phakdeesriphan, S. & Uriyapongson, J. (2010). Effect of harvest season and variety on resistant content and pasting properties of Taro flour and starch. **Agricultural Science Journal**. 41(3/1) Supplement : 261-264. [in Thai].
- Photinam, R., Moongngram, A. & Paseephol, T. (2016). Chemical compositions and physical properties of mungbean and cowpea starch and application in cellophane noodles. **Khonkaen agricultural Journal**. 44 supplement 1, 1073 - 1079. [in Thai].
- Noosuk, P. (2003). **The assessment of the relationship between structure and functional properties of rice starch**. Ph.D. Science (Food Technology), Chulalongkorn University. Bangkok. 183p. [in Thai].
- Pongjanta, J., Utaipattanaceep, A., Naivikul, O. & Piyachomkwan, K. (2009). Debranching enzyme concentration effected on physicochemical properties and α -amylase hydrolysis rate of resistant starch type III from amylase rice starch. **Carbohydrate Polymer**. 78, 5 - 8.
- Raddy, C.K., Haripriya, S., Mohamad, A. & Suriya, M. (2014). Preparation and characterization of resistant starch III from elephant foot yam (*Amorphophallus paeonifolius*) starch. **Food Chemistry**. 155(15), 38 - 44.
- Ranhotra, G. S., Gelroth, J.A. & Glaser, B.K. (1996b). Energy value of resistant starch. **Journal of Food Science**. 61(2), 453 - 455.
- Sajilata, M. G., Singhal, R.S. & Kulkarni, P.R. (2006). Resistant starch - a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**. 5,1 - 17.
- Sankhon, A., Amadou, I., Yao, W., Wang, H., Qian, H. & Mlyuka, E. (2014). Effect of Different Heat-moisture Treatment on the Physicochemical properties of African Locust Bean (*Parkia biglobosa*) Starches. **Journal of Agricultural Science and Technology**. 16, 331-342.
- Puncha-arnon, S. (2012). **Hydrothermal treatment of rice starch/flour to reduce swelling and increase resistant content**. Bangkok: The Thailand Research Fund. [in Thai].
- Shi, M., Chen, Y., Yu, S. & Gao, Q. (2013). Preparation and properties of RS III from waxy maize starch with pullulanase. **Food Hydrocolloids**. 33, 19-25.
- Sriroth, K. & Piyachomkwan (2003). **Starch Technology**. 3rd Ed. Bangkok: Kasetsart University Publisher. [in Thai].

- Surendra, B.A. & Parimalavalli, R. (2018). Effect of pullulanase debranching and storage temperatures on structural characteristics and digestibility of sweet potato starch. **Journal of the Saudi Society of Agriculture Sciences**. 17, 208 - 216.
- Yadav, R.B., Sharma, A. & Yadav, R.B. (2010). Effect of storage on resistant starch content and in vitro starch digestibility of some pressure-cooked cereals and legumes commonly used in India. **International Journal of Food Science and Technology**. 45(12), 2449 - 2455.
- Zhang, H. & Jin, Z. (2011). Preparation of resistant starch by hydrolysis of maize with pullulanase. **Carbohydrate Polymers**. 83, (2), 865 - 867.
-

การศึกษาลักษณะเฉพาะของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา
และการใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสีย

STUDY ON CHARACTERISTIC OF ACTIVATED CARBON
PREPARED FROM TEA RESIDUE AND UTILIZATION
OF WASTEWATER TREATMENT

อรอุมา ปราชญ์ปรีชา^{1*}, ทศพล ปราชญ์ปรีชา² และ สงวน วงษ์ชวลิตกุล³

¹สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา 30000

²สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา 30000

³สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา 30000

Onuma Prachpreecha^{1*}, Thodsaphon Prachpreecha² and Sanguan Vongchavalitkul³

¹Department of General Science Teaching, Faculty of Education, Vongchavalitkul University,

Nakhonratchasima 30000

²Department of Computer Science, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University,

Nakhonratchasima 30000

³Department of Management Engineering, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University,

Nakhonratchasima 30000

*E-mail: onuma_pra@vu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมีของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในสถานะที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์ ค่าความหนาแน่นปรากฏ ปริมาณความชื้น สารระเหย แก๊สคาร์บอนคงตัว และศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ศึกษาลักษณะหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR ศึกษาธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค XRF ศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD และทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุลผลการศึกษาพบว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาโดยการคาร์บอนในเซชันเพื่อให้ได้ถ่านที่อุณหภูมิ

500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที พบการสั่นแบบยืด ของหมู่ฟังก์ชัน O-H และ C-O จากนั้นกระตุ้นทางความร้อนและเคมีด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปริมาณถ่าน :KOH เท่ากับ 1:2 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงสุด 769.36 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.63 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีคุณลักษณะอยู่ในเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐานมอก. 900-2547 กล่าวคือ ลักษณะพื้นฐานวิทยาของถ่านที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชันจะมีลักษณะของรูพรุนเกิดขึ้น และเมื่อถ่านผ่านการกระตุ้นทางความร้อนและเคมีจะทำให้พื้นที่ผิวและความพรุนเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน พบหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนเนต หมู่คาร์บอกซิเลต (COO^-) และแลกไทด์ $-\text{CH}_2-$ ที่เปลี่ยนรูปซึ่งเป็นโครงสร้างอะลิฟาติกในหมู่เมทิลีนและเมทิลของอัลเคนมีธาตุองค์ประกอบหลักในรูปของสารอินทรีย์ (C, H และ O) และธาตุองค์ประกอบรองในรูปของสารอนินทรีย์ของธาตุโพแทสเซียม และแคลเซียม มีลักษณะโครงสร้างเป็นผลึกและผลึกของสารระเหยง่ายในโครงสร้างจะเกิดการสลายไปหลังการคาร์บอนไนเซชันเกิดเป็นคาร์บอนอสัณฐาน สำหรับประสิทธิภาพของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบริ่งพบว่า มีประสิทธิภาพในการลดค่าปริมาณน้ำมันและไขมันได้ดีที่สุด คือ ร้อยละ 81.30 รองลงมา คือ ค่าบีโอดี ร้อยละ 73.85 และค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยร้อยละ 65.03 ตามลำดับ

คำสำคัญ: คาร์บอนกัมมันต์ กากชา ลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมี การบำบัดน้ำเสีย

ABSTRACT

The aim of this research was to study physicochemical properties of activated carbon prepared from tea residue on optimum conditions. The analysis included iodine number, apparent density, moisture content, volatile matter, ash content, carbon content. The study was done on morphology by SEM. The analysis of functional groups was conducted by FTIR technique. Investigation of elements in activated carbon was done by XRF technique, and the crystal structure was studied by XRD technique. The effectiveness of wastewater treatment was tested with the sample from the canteen of Vongchavalitkul University, Nakhonratchasima Province. The result showed that activated carbon prepared from tea residue by carbonization at the temperature 500 °C for 120 minutes showed chemical characteristic O–H stretching and C–O stretching. The heat and chemical activation with 1: 2 ratios of charcoal: KOH at 800 °C had highest iodine number at 769.36 mg/g and apparent density of 0.63 g/cm³ which were in the criteria according to the characteristic defined by the Thai Industrial Standard

(900-2004). In addition, the study on morphology showed that charcoal appearance of pore and activated carbon increased surface area and porosity. It was found that the specific position of carbonate function group, carboxylate (COO^-) and lactose- CH_2- (aliphatic structure of methylene and alkane) are major elements in the form of organic (C, H and O). The secondary components are inorganic elements of potassium (K) and calcium (Ca). Its structure was crystal and crystals of volatile compounds which was decomposed after carbonization, forming amorphous carbon. The effectiveness study of activated carbon prepared from tea residue for treatment of wastewater from the canteen in the system of batch model found that the quantity of oil and fat decreased at 81.30%, followed by BOD 73.85% and suspended solids 65.03%, respectively.

Keywords: Activated carbon, Tea residue, Physicochemical properties, Wastewater treatment

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ค่อนข้างร้อน และชาวยังเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพบวกกับกระแสตื่นตัวในการบริโภคเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ จึงมีการพัฒนารูปแบบของการบริโภคตั้งแต่ซื้อใบชามาชงดื่มเอง หรือซื้อในรูปแบบของน้ำชาเขียวสำเร็จรูปบรรจุขวด จึงมีการขยายตัวของธุรกิจร้านเครื่องดื่มประเภทชาชงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างสูงทั้งในกรุงเทพมหานครและจังหวัดใหญ่ ๆ ดังนั้น ในแต่ละวันปริมาณขยะที่มาจากกากชาหลังผ่านกระบวนการชงชาจึงมีปริมาณมากและไม่ได้นำกากชาเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ต่อ แต่มักนำไปทิ้งเป็นขยะจำนวนมากก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากกากของเสียประเภทนี้มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก จึงไม่สามารถทิ้งได้โดยตรง ทำให้หน่วยงานภาครัฐต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพื่อนำไปทำลายโดยการฝังกลบ (Tangmankongworakoon & Preedasuriyachai, 2013)

ดังนั้น ในปี พ.ศ. 2548 จึงได้มีการประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุเหลือใช้ โดยกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการในการจัดการวัสดุเหลือใช้ประเภทต่าง ๆ ซึ่งกากของเสียกลุ่มที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่นั้นจะประเมินตามหลักการ 3Rs ได้แก่ การลดการใช้ (Reduce) การนำกลับมาใช้ซ้ำ (Reuse) และการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีก (Recycle) (Department of Industrial Works, 2011) จึงได้มีการนำกากชาที่เหลือทิ้งเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น ทำปุ๋ยอินทรีย์ ทำผลิตภัณฑ์ดับกลิ่น และทำสีย้อมอาหาร เป็นต้น นอกจากนี้ ยังได้มีการศึกษาการนำเอากากชามาผลิตเป็นวัสดุดูดซับจากวัตถุดิบที่มีธาตุคาร์บอนเป็น

องค์ประกอบหลัก เนื่องจากพื้นผิวถูกทำปฏิกิริยาด้วยออกซิเจนส่งผลให้เกิดรูพรุน (Porosity) ขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิว (Surface Area) สูงมาก ส่งผลให้มีคุณสมบัติในการเป็น ตัวดูดซับที่ดี และถูกนำไปใช้ในการกรองเอาสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการออกจากของเหลว หรือก๊าซ เช่น การบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ การฟอกสีของเหลวต่าง ๆ การกรองกลิ่นและก๊าซที่ไม่ต้องการ เป็นต้น (Chatsiriwech, 2009; Tondiw, 2009) ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายลงมาก เมื่อเทียบกับการใช้คาร์บอนกัมมันต์ชนิดอื่น ๆ (Ahluwalia & Goyal, 2005) จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเลือกนำกากชาเหลือทิ้งจากร้านเครื่องดื่มประเภทชาซอง ซึ่งเป็นร้านแฟรนไชส์แบรนด์ดังในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา มาผลิตเป็นคาร์บอนกัมมันต์ โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัย คือ เตรียมคาร์บอนกัมมันต์จากกากชาในสภาวะที่เหมาะสม เพื่อศึกษา ลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมี (Physicochemical properties) ของคาร์บอนกัมมันต์ ที่เตรียมจากกากชา และนำมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหาร มหาวิทยาลัย วงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากวัสดุชีวมวลทางเลือกใหม่ที่มีคุณสมบัติ และประโยชน์ที่หลากหลาย อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณกากชาที่เป็นขยะของเสียในแหล่งชุมชน และสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ต่อไปในอนาคต

วิธีการวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ ประกอบด้วย กากชาเหลือทิ้งจากร้านเครื่องดื่ม ประเภทชาซอง เครื่องคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช ตู้อบไล่ความชื้น (Beschickung Loading รุ่น 100-800) ตู้อบไฟฟ้าความร้อนสูง (Electric Muffle Furnace รุ่น LEF-1035) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope รุ่น AURIGA ยี่ห้อ Carl Zeiss) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy รุ่น Tensor 27) เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence รุ่น AXIOS MAX) เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-Ray Diffractometer รุ่น D8 advance ยี่ห้อ Bruker)

2. การเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จากกากชา

สำหรับการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การ คาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) และวิธีการกระตุ้น (Activation) การคาร์บอนไนเซชัน ดำเนินการโดยการนำกากชาล้างให้สะอาดแล้วตากแดดให้แห้ง อบไล่ความชื้นในตู้อบที่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง (Prachpreecha et al., 2018) จากนั้น นำกากชาที่อบแห้ง 70 กรัม บรรจุในโถเซรามิก (ปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร) พร้อมปิดฝา ทำการเผาในตู้อบไฟฟ้าความร้อนสูง โดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง

อุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ คือ 300, 400, 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และคงไว้ที่อุณหภูมิทดสอบนั้น 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็น (Prachpreecha et al., 2017) จากนั้นนำถ่านที่ได้จากการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ มาทดสอบค่าไอโอดีนนัมเบอร์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D 4607-94 (American Society for Testing Materials, 2006) และคัดเลือกถ่านที่มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุดและทำการทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชัน โดยทดสอบในระยะเวลา 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที ตามลำดับ แล้วคำนวณร้อยละผลผลิตของถ่าน (Yield Percentage) (Rizhikovs et al., 2012)

การกระตุ้นทางความร้อนและเคมีดำเนินการโดยการคัดเลือกถ่านที่คาร์บอนในเซชันและมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุดมาบดให้ละเอียดและคัดขนาดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 900-2547 เรื่อง ถ่านกัมมันต์ชนิดผง กล่าวคือ สามารถผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมโครเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก (Thai Industrial Standard Institute, 2004) จากนั้นแช่ถ่านด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เข้มข้นร้อยละ 50 ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:0, 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 (ถ่าน:KOH) เพื่อให้เกิดการอิมตัว ล้างน้ำให้สะอาด และทำการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และชั่งตัวอย่างถ่านหนัก 70 กรัม บรรจุในโถเซรามิกพร้อมปิดฝา นำไปเผากระตุ้นในตู้อบไฟฟ้าความร้อนสูง โดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ คือ 600, 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมิทดสอบนั้น 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นและนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้นร้อยละ 5 ตามด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง จนมีค่า pH เท่ากับ 6.5 - 7.0 นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง (Prachpreecha et al., 2018) นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ผลิตได้มาทดสอบค่าไอโอดีนนัมเบอร์ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D 4607-94 (American Society for Testing Materials, 2006) คำนวณร้อยละผลผลิตโดยน้ำหนักของคาร์บอน กัมมันต์ (Yield Percentage) ดังสมการที่ (1) (Rizhikovs et al., 2012) แล้วนำไปศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมีต่อไป

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{น้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบตั้งต้น (กรัม)}} \quad (1)$$

3. การศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมี (Physicochemical properties) ใช้วิธีการวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis) ในการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (Moisture) เถ้า (Ash) สารระเหย (Volatile matter) และคาร์บอนคงตัว (Fix carbon) วิเคราะห์หาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine Number) ด้วยวิธีมาตรฐานของ ASTM D4607-94 (American Society for Testing Materials, 2006) การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) (Menendez-Diaz & Martin-Gullon, 2006) และศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานวิทยาศาสตร์ด้วยกล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) นอกจากนี้ลักษณะเฉพาะทางเคมี โดยศึกษาลักษณะหมู่ฟังก์ชัน (Functional groups) บนพื้นผิวของคาร์บอนกัมมันต์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR) ในช่วง $4000-400\text{ cm}^{-1}$ ศึกษาธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-Ray Fluorescence Spectrometry; XRF) และศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-Ray Diffraction; XRD)

4. การทดสอบประสิทธิภาพของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในการบำบัดน้ำเสีย

4.1 ตัวอย่างน้ำเสีย

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล มีพื้นที่ 1,032 ตารางเมตร ซึ่งจัดอยู่ในอาคารประเภท ข. (Ministry of Natural Resources and Environment, 2005) โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสีย 3 จุด ที่มีการระบายน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมนอกเขตพื้นที่ตั้งของอาคาร หรือจุดที่ระบาย น้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เก็บตัวอย่างน้ำเสียทุก ๆ 1 เดือน เป็นระยะเวลา 3 เดือน

4.2 การทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีและกลิ่นของตัวอย่างน้ำเสีย

สังเกตและบันทึกตัวอย่างน้ำเสียจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ในลักษณะเบื้องต้น คือ สี (โดยตาเปล่า, Naked eye observation) และกลิ่น (โดยการดม, Sensory test) โดยนำตัวอย่างน้ำเสียปริมาตร 30 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่บรรจุคาร์บอนกัมมันต์ในปริมาณที่แตกต่างกัน ปิดฝาหลอดทดลองทุกหลอด และบันทึกผลการทดลองโดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสี ที่เวลาเริ่มต้น, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 24 ชั่วโมง สำหรับคุณลักษณะของกลิ่น จะบันทึกผลที่เวลาเริ่มต้น และเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในปริมาณแตกต่างกัน คือ 0.5, 1, 2, 3, และ 4 กรัมต่อปริมาตรของตัวอย่างน้ำเสีย 30 มิลลิลิตร และระยะเวลาที่กักพักที่ 5, 10 และ 15 นาที เพื่อหาปริมาณและระยะเวลาที่เหมาะสม

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

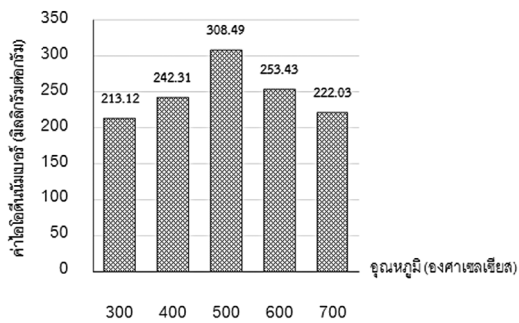
โดยการจำลองเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบแบตช์ (Batch) ด้วยการเติมตัวอย่างน้ำเสียจากโรงอาหารที่ยังไม่ผ่านการบำบัดลงในระบบบำบัดแบบแบตช์ (Batch) จำนวน 2 บ่อ บ่อที่ 1 คือ น้ำเสียจากโรงอาหารที่ยังไม่ผ่านการบำบัดปริมาตร 1 ลิตร เพื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีของตัวอย่างน้ำเสียก่อนการบำบัด ถือเป็นชุดควบคุมสำหรับการวิเคราะห์ค่าสารแขวนลอย (Suspended Solids) ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solids) และค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolve Solid) สำหรับบ่อที่ 2 เติมคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในปริมาณและระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.2 แล้วทำการ

ผสมกวนน้ำเสียประมาณ 40 รอบต่อนาที ให้เข้ากันแบบระบบสัมผัส (Contacting system) เพื่อกระจายคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับโดยรอบไม่ให้อัดแน่นและให้น้ำไหลผ่านได้ (Expanded bed) โดยเดินระบบแบบครั้งคราว (Batch) กรองคาร์บอนกัมมันต์ที่ใส่ลงไปในระบบบำบัดโดยใช้กระดาษกรอง (Disc cellulose) เบอร์ 103 ขนาดรูกรอง 20 ไมโครเมตร (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) (Lamdual et al., 2010) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าดัชนีของตัวอย่างน้ำเสีย หลังการบำบัดโดยใช้วิธีมาตรฐานของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (Ministry of Natural Resources and Environment, 2005) คือ การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) โดยใช้ pH Meter การตรวจสอบค่าบีโอดี (BOD) ใช้วิธีการ อะไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย (SS) โดยใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc) การตรวจสอบค่าตะกอนหนัก ใช้วิธีการกรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff Cone) ขนาดบรรจุ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรในเวลา 1 ชั่วโมง การตรวจสอบค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) ใช้วิธีการระเหยแห้งระหว่างอุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง และการตรวจสอบค่าไขมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease) โดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของไขมันและไขมัน แล้วหา ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของดัชนีที่วัดได้ระหว่างก่อนและหลังการบำบัดด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา

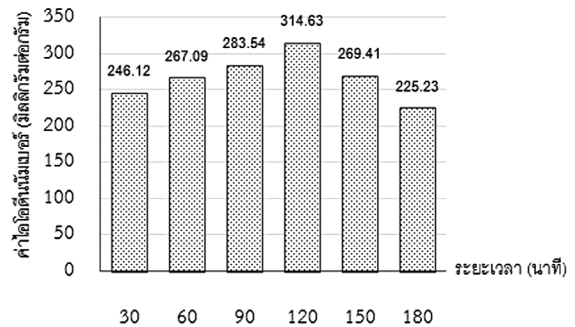
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. สภาพที่เหมาะสมในการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จากกากชา

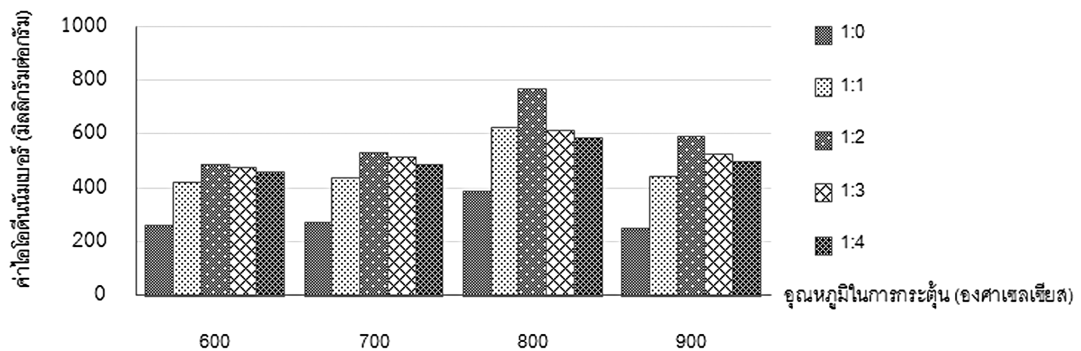
สำหรับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชัน พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการคาร์บอนในเซชัน จากอุณหภูมิ 300, 400, 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ถ่านมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงที่สุดเท่ากับ 308.49 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และค่าไอโอดีนัมเบอร์จะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 1 (ก) และในช่วงระยะเวลาในการคาร์บอนในเซชัน ตั้งแต่ 30-180 นาที พบว่า ถ่านมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงที่สุดเท่ากับ 314.63 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่เวลา 120 นาที ดังรูปที่ 1 (ข) ซึ่งการคาร์บอนในเซชันนั้นถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ เพราะเป็นการให้ความร้อนแก่สารชีวมวลจนเกิดโครงสร้างรูพรุนขนาดเล็กมากขึ้น และมีปริมาณสารระเหยง่ายลดลงไปอย่างมากระหว่างการให้ความร้อนจนได้ผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของแข็งที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูง เรียกว่า ถ่าน (Omri & Benzina, 2012) ดังนั้น สภาพที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชันจากกากชาให้เป็นถ่าน คือ การคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลา 120 นาที ผู้วิจัยจึงเลือกสภาวะดังกล่าวนี้ในการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์ต่อไป



(ก)



(ข)



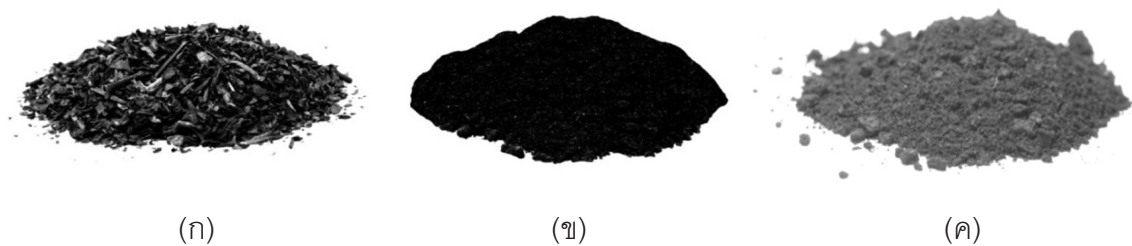
(ค)

รูปที่ 1 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จากกากชา

(ก) ผลของอุณหภูมิในการคาร์บอนไนซ์เซชัน (ข) ผลของระยะเวลาในการคาร์บอนไนซ์เซชัน

(ค) อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่าน: KOH และอุณหภูมิในการกระตุ้น

นอกจากนี้ อุณหภูมิและอัตราส่วนของสารเคมีที่เหมาะสมในการกระตุ้นทางความร้อนและเคมีพบว่า ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะเพิ่มสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเกิดรูพรุนในโครงสร้างของถ่านในสถานะ ที่ถูกกระตุ้นทางเคมีด้วย KOH ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่าน: KOH เท่ากับ 1:2 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส กล่าวคือ มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูงที่สุด 769.36 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังรูปที่ 1 (ค) ซึ่งถ่านที่ได้จากการคาร์บอนไนเซชันนั้นยังคงมีโครงสร้างรูพรุนเริ่มแรกไม่มากและยังใช้เป็นตัวดูดซับได้ไม่ดีพอ จึงต้อง มีการเพิ่มโครงสร้างรูพรุนด้วยการกระตุ้น (activation) ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกการกระตุ้นทางเคมี โดยใช้ KOH ซึ่งสารละลายที่มีไอออนของธาตุโพแทสเซียมจะแทรกเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของถ่าน เมื่อให้ความร้อน KOH ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในถ่าน โดย KOH จะสลายตัวเป็น K_2O และน้ำ ซึ่งเป็นสารทำให้คาร์บอนในถ่านเกิดปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชัน จากนั้นโพแทสเซียมออกไซด์ถูกรีดิวซ์ด้วยไฮโดรเจนหรือคาร์บอนกลายเป็นโลหะโพแทสเซียมในสถานะที่อุณหภูมิสูงโพแทสเซียมเป็นโลหะที่อ่อนตัวจึงสามารถแทรกเข้าไปในชั้นของอะตอมคาร์บอน ทำให้เกิดรูพรุนได้มากขึ้น (Otowa et al., 1993) และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ruttanapun et al. (2014) ที่พบว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากเปลือกมังคุดโดยการกระตุ้นทางเคมี มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เท่ากับ 703-895 มิลลิกรัมต่อกรัม ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ระยะเวลาในการคาร์บอนไนซ์ เซชัน และสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ดังนั้น การที่จะเลือกใช้อุณหภูมิ ระยะเวลา และสารเคมีใดในการเตรียมคาร์บอนกัมมันต์จึงขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปดูดซับอะไร การประยุกต์ใช้จึงจะเกิดประโยชน์สูงสุด แสดงลักษณะทางกายภาพได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพ (ก) กากชา (Tea Residue)

(ข) ถ่าน (Charcoal) จากการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา 120 นาที (ค) คาร์บอนกัมมันต์ (Activated carbon)

ที่ผ่านการกระตุ้นทางเคมีและความร้อน

เมื่อคำนวณร้อยละโดยน้ำหนักผลผลิต จากวัตถุดิบตั้งต้น (กากชา) 1,000 กรัม พบว่า ได้ผลิตภัณฑ์ถ่านหลังจากการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เท่ากับ 432.12 กรัม คิดเป็น ร้อยละ 43.21 โดยน้ำหนัก และหลังจากการกระตุ้นทางความร้อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และกระตุ้นทางเคมีด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่าน: KOH เท่ากับ 1: 2 พบว่า ได้ผลิตภัณฑ์ของคาร์บอนกัมมันต์ เท่ากับ 312.26 กรัม คิดเป็นร้อยละ 31.23 โดยน้ำหนัก ผลผลิตคาร์บอนจึงเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญมากสำหรับการกระตุ้นโดยเซลลูโลส ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสจะสลายไปในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน ทั้งนี้ ในการกระตุ้นหรือการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิสูง โครงสร้างพอลิเมอร์จะสลายและธาตุที่ไม่ใช่คาร์บอน ถูกขับออกไปเกือบหมด (Rizhikovs et al., 2012) ร้อยละผลผลิตของคาร์บอนกัมมันต์โดยการกระตุ้นด้วยวิธีต่าง ๆ จึงให้ร้อยละผลผลิตที่ต่างกัน โดยทั่วไปการกระตุ้นทางเคมีจะให้ร้อยละผลผลิตสูงกว่าการกระตุ้นทางกายภาพ (Avelar et al. 2010)

2. การศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมีของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา

2.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์และการวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ

การศึกษาคคุณลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา พบว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์ 769.36 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.63 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) 2547-900 เรื่อง ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Thai Industrial Standard Institute, 2004) ดังตารางที่ 1 และจากการวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ พบว่า มีปริมาณความชื้นร้อยละ 2.14 ปริมาณเถ้า ร้อยละ 3.37 ปริมาณสารระเหย ร้อยละ 17.60 และคาร์บอนคงตัว ร้อยละ 85.32 ซึ่งสมบัติทางกายภาพของคาร์บอนกัมมันต์ถือเป็นปัจจัยสำคัญมากในการเป็นสารดูดซับซึ่งบ่งบอกคุณภาพของคาร์บอนกัมมันต์สำหรับการนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ (Li et al. 2012) ทั้งนี้ ค่าไอโอดีนนัมเบอร์จะเป็นตัวบ่งบอกความจุของคาร์บอนกัมมันต์สำหรับการดูดซับสารต่าง ๆ ที่มีโมเลกุลเล็ก (Foo & Hameed, 2011) ค่าปริมาณเถ้า บ่งบอกถึงความบริสุทธิ์ ของคาร์บอน เพราะเถ้าเป็นสารอนินทรีย์ที่เหลืออยู่ในคาร์บอนกัมมันต์หลังจากการให้ความร้อนกับวัตถุดิบ ตั้งต้นและเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้มีการปนเปื้อนอยู่ในคาร์บอนกัมมันต์ (Dwivedi et al., 2008) สำหรับค่าความหนาแน่นของคาร์บอนกัมมันต์ขึ้นอยู่กับค่าความแข็งของวัตถุดิบเริ่มต้นที่ใช้ในการผลิต ซึ่งค่าความหนาแน่นนั้น เป็นตัวชี้วัดถึงคุณภาพของถ่าน โดยคาร์บอนกัมมันต์ที่มีความหนาแน่นสูงกว่าจะมีความจุการดูดซับสารมลพิษที่สูงกว่า และยังสามารถฟื้นฟูสภาพได้หลายครั้ง (Shende & Mahajani, 2002)

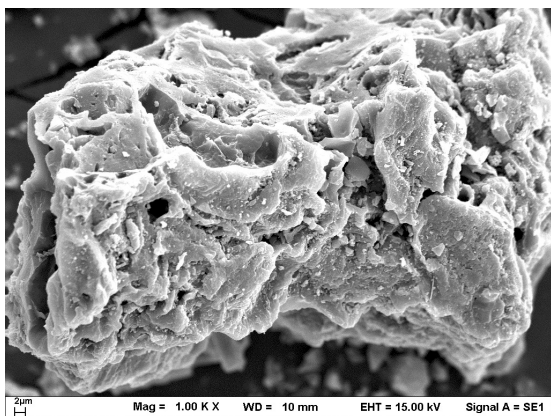
ตารางที่ 1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์และผลการวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ

คาร์บอน กัมมันต์	คุณลักษณะ	เกณฑ์ ที่กำหนด*	การ ทดสอบ	ร้อยละ ความชื้น	องค์ประกอบแบบประมาณ ร้อยละโดยน้ำหนัก		
					เถ้า	สาร ระเหย	คาร์บอน คงตัว
คาร์บอน กัมมันต์ ที่เตรียม จากกากชา	ค่าไอโอดีน (มิลลิกรัมต่อกรัม)	ไม่น้อยกว่า 600	769.36	2.14	3.37	17.60	85.32
	ค่าความหนาแน่น ปรากฏ (กรัมต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.2 ถึง 0.75	0.63				

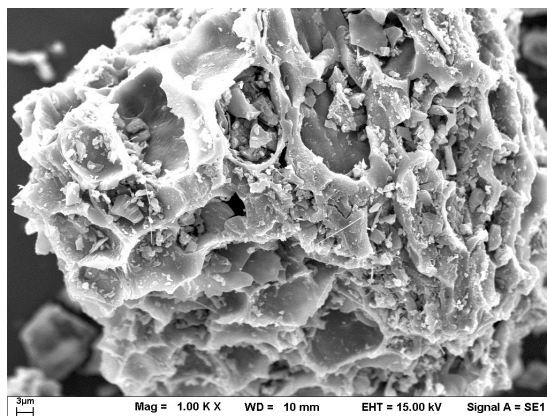
หมายเหตุ: * มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 900-2547 (Thai Industrial Standard Institute, 2004)

2.2 ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (SEM)

จากการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยา พบว่า ลักษณะของถ่านจากกากชา ที่ผ่านการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส สารที่ระเหยได้ง่ายจะสลายไปทำให้เกิดช่องว่างเป็นรูพรุนในถ่าน ดังรูปที่ 3 (ก) ส่วนลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้นทางความร้อนและเคมีด้วย KOH จะได้คาร์บอนกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวและความพรุนมากกว่า ดังรูปที่ 3 (ข) ซึ่งอัตราส่วนในการกระตุ้นทางเคมีนั้นมีผลอย่างมากต่อคาร์บอนกัมมันต์ หากกระตุ้นในอัตราส่วนที่สูงจะทำให้เกิดการเผาไหม้มากเกินไป และมีสารตกค้างได้ (Prachpreecha & Prachpreecha, 2017) และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Mopoung & Nogklai (2008) ได้ศึกษาการผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากเปลือกกล้วย โดยกระตุ้นทางเคมีด้วย KOH ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ ถ่าน:KOH เท่ากับ 1:5 พบว่า พื้นที่ผิวของคาร์บอนกัมมันต์ถูกทำลายไปมากและมีสารประกอบโพแทสเซียมตกค้างบนผิวของคาร์บอนกัมมันต์มากถึงร้อยละ 17.76



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 ภาพขยายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

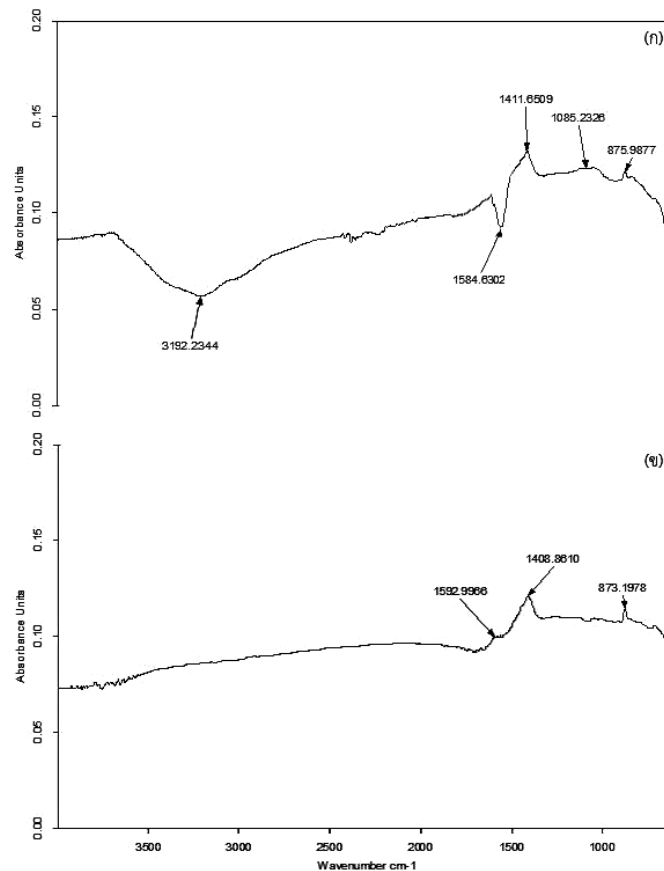
(ก) ถ่านจากกากชาที่ผ่านการคาร์บอนในเซชัน

(ข) คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาที่ผ่านการกระตุ้นทางความร้อนและเคมี

2.3 ผลการศึกษาลักษณะหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

การศึกษาลักษณะหมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR ซึ่งเป็นเทคนิคทางด้าน Infrared Spectroscopic ที่ศึกษาประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุลพบว่า คาร์บอนกัมมันต์ก่อนการกระตุ้นพบหมู่ฟังก์ชัน O-H และ C-O ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดที่ตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 3182\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1584\text{ cm}^{-1}$ และ $\sim 1411\text{ cm}^{-1}$ ตามลำดับ

เมื่อผ่านการกระตุ้นด้วย KOH พบว่า สเปกตรัมของตัวอย่างคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชามีพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 873\text{ cm}^{-1}$, $\sim 1408\text{ cm}^{-1}$ และ $\sim 1592\text{ cm}^{-1}$ ดังรูปที่ 4 (ข) โดยตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 873\text{ cm}^{-1}$ ถือเป็นการสั่น (out of plane) ของอะโรมาติก C-H แสดงถึงการเพิ่มความเป็นอะโรมาติก และที่ตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 1592\text{ cm}^{-1}$ จะเป็นการสั่นแบบยืดของ C=C วงอะโรมาติกที่เพิ่มขึ้นโดยหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้ว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Olorundare et al. (2012) ส่วนที่ตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 1408\text{ cm}^{-1}$ จะเป็นตำแหน่งลักษณะเฉพาะของหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนเนต หมู่คาร์บอกซิเลต (COO^-) และแลกโตน- CH_2 - ที่เปลี่ยนรูปซึ่งเป็นโครงสร้างอะลิฟาติกในหมู่เมทิลีนและเมทิลของอัลเคน ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Puziy et al. (2012)

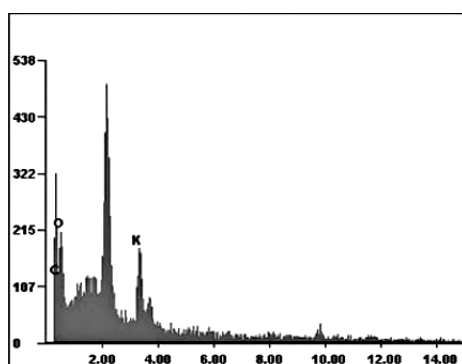


รูปที่ 4 สเปกตรัมทรานสมิชชัน FTIR (ก) ถ่านจากกากชาที่ผ่านการคาร์บอนไเซชัน
(ข) คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาที่ผ่านการกระตุ้นทางความร้อนและเคมี

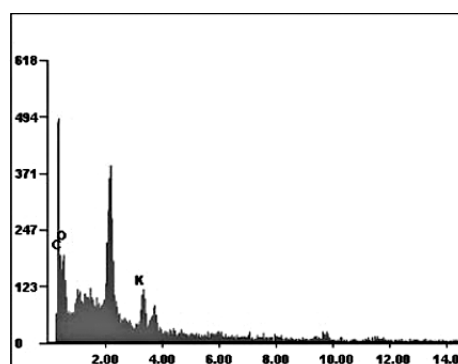
2.4 ผลการศึกษาธาตุองค์ประกอบ

จากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณของธาตุองค์ประกอบที่ตรวจพบในถ่านและคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา พบว่า มีธาตุองค์ประกอบหลักในรูปของสารอินทรีย์ (C, H และ O) แสดงดังรูปที่ 5 กล่าวคือ ปริมาณของธาตุในองค์ประกอบของคาร์บอนกัมมันต์เมื่อเทียบกับถ่านจะมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนและไฮโดรเจนลดลง ซึ่งเกิดจากการสลายออกไปในระหว่างการไพโรไลซิสและกระตุ้น จึงทำให้สารประกอบระเหยง่ายถูกขจัดออกไป (Avelar et al., 2010) และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Weerachanchai et al. (2010) พบว่า ธาตุคาร์บอนในคาร์บอน กัมมันต์จากชีวมวลจะมีปริมาณสูงกว่าธาตุองค์ประกอบอื่น ๆ และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบรอง ในรูปของสารอนินทรีย์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ (XRF) พบว่า มีสารประกอบออกไซด์ของธาตุโพแทสเซียม (K) มากที่สุด ร้อยละ 33.12 โดยน้ำหนัก รองลงมา คือ แคลเซียม (Ca)

ร้อยละ 31.01 โดยน้ำหนัก สำหรับสารประกอบออกไซด์อื่น ๆ จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย โดยสารประกอบออกไซด์อื่น ๆ ที่พบนั้น ประกอบด้วย แมงกานีส (Mn), ฟอสฟอรัส (P), อลูมิเนียม (Al), กำมะถัน (S), คลอรีน (Cl), เหล็ก (Fe), ซิลิคอน (Si), แมกนีเซียม (Mg), โซเดียม (Na), ไทเทเนียม (Ti), ซีเรียม (Ce), คอปเปอร์ (Cu), รูบิเดียม (Rb) และนิกเกิล (Ni) ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 ซึ่งการตรวจพบสารประกอบออกไซด์ของธาตุโพแทสเซียมในปริมาณมากนั้นอาจเป็นผลมาจากการตกค้างของธาตุโพแทสเซียมในขั้นตอนการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ KOH ทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอนของถ่าน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Mopoung et al., 2012)



(ก)



(ข)

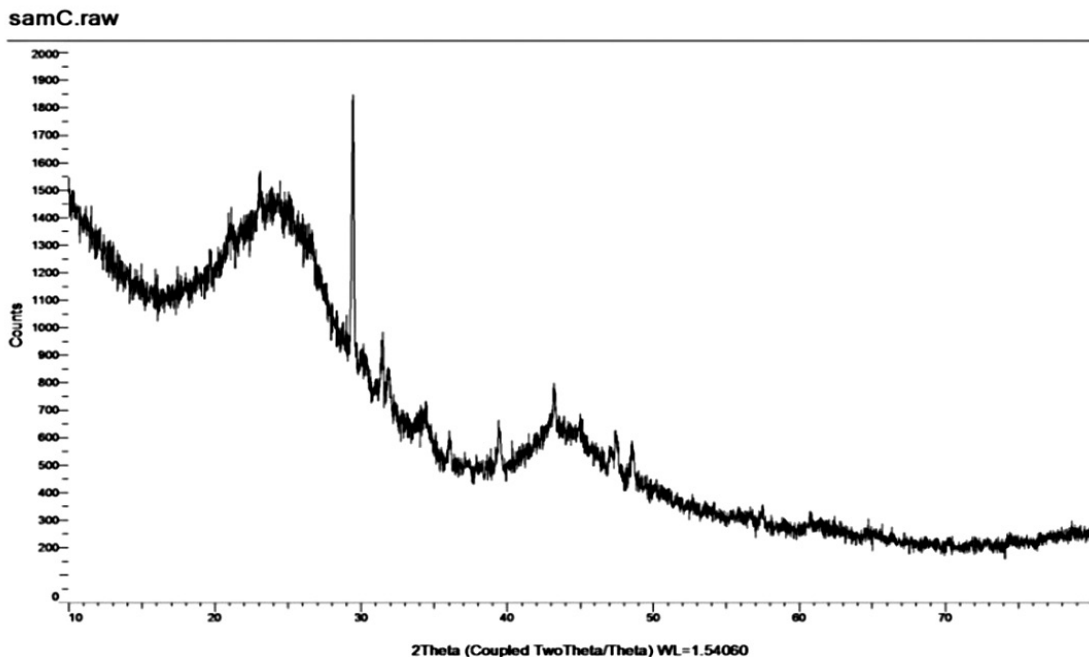
รูปที่ 5 ธาตุองค์ประกอบในรูปของสารอินทรีย์
(ก) ถ่าน และ (ข) คาร์บอนกัมมันต์

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุในองค์ประกอบของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ โดยน้ำหนัก	องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ โดยน้ำหนัก
K_2O	33.119	SiO_2	1.801
CaO	31.012	MgO	1.749
MnO	8.387	Na_2O	1.390
P_2O_5	6.899	TiO_2	0.265
Al_2O_3	4.694	CeO_2	0.243
SO_3	4.433	CuO	0.189
Fe_2O_3	2.915	Rb_2O	0.080
Cl	2.749	NiO	0.076

2.5 ผลการศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD)

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 1.54060 อังสตรอม ทำการวิเคราะห์ช่วงมุมการกระเจิงตามความเหมาะสม คือ 10° ถึง 90° พบว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา มีลักษณะโครงสร้างเป็นผลึก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงผลึกของกากชาในระหว่าง การคาร์บอนไนเซชันและการกระตุ้นจะมีผลทำให้ความเป็นผลึกของสารระเหยง่ายหายไปและแสดงความเป็นผลึกคาร์บอนลดลง (Mopoung et al., 2012) ดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า ผลึกของสารระเหยง่าย ในโครงสร้างของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาจะเกิดการสลายไปหลังการคาร์บอนไนเซชันเกิดเป็นคาร์บอนอสัณฐานมีพีค XRD ที่ 24° และ 43° ซึ่งหลังการกระตุ้นด้วยความร้อนและเคมี พบว่า คาร์บอนอสัณฐานจะมีความเป็นระเบียบน้อยลง (Smith et al., 2014)



รูปที่ 6 รูปแบบXRD ของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา
หลังการกระตุ้นด้วยความร้อนและเคมี

3. การใช้ประโยชน์ของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

ผลจากการสังเกตเบื้องต้น พบว่า ตัวอย่างน้ำเสียเป็นน้ำที่มีสีเหลืองเข้มใส มีตะกอนแขวนลอยของสารอินทรีย์ และมีกลิ่นเหม็นแรงมาก และผลการทดสอบเบื้องต้นในลักษณะของสีและกลิ่น พบว่า สีของตัวอย่างน้ำเสียที่ไม่มีคาร์บอนกัมมันต์จะมีสีเหลืองใส แต่สีของตัวอย่างน้ำเสียในหลอดทดลองที่มีคาร์บอนกัมมันต์จะมีความเข้มของสีลดลง และมีความใสเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง พบว่า น้ำทิ้งในหลอดทดลองที่มีคาร์บอนกัมมันต์จะมีสีใสกว่าตัวอย่างน้ำเสียในหลอดทดลองที่ไม่มีคาร์บอนกัมมันต์ กลิ่นของตัวอย่างน้ำเสียในหลอดทดลองที่ไม่มีคาร์บอนกัมมันต์จะแรงมาก และเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง มีกลิ่นอยู่ในระดับปานกลาง แต่กลิ่นของตัวอย่างน้ำเสียในหลอดทดลองที่มีคาร์บอนกัมมันต์จะมีกลิ่นอ่อนหรือจางมาก ดังรูปที่ 7 ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากตัวอย่างน้ำเสียเข้าไปแทนที่อากาศที่อยู่ในรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ เพราะคาร์บอนกัมมันต์ไปดูดซับสารในตัวอย่างน้ำเสีย เช่น สี สารแขวนลอย และกลิ่น โดยฟองอากาศจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อตัวอย่างน้ำเสียดูดซับสารในตัวอย่างน้ำเสียเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเต็ม โดยเฉลี่ยในเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง ฟองอากาศก็จะมี (Tatayanon et al., 2009) จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาที่เหมาะสมในการดูดซับสีต่อปริมาตรของตัวอย่างน้ำเสีย คือ 0.5 กรัมต่อปริมาตรของตัวอย่างน้ำเสีย 30 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาในการกักพัก 10 นาที



(ก)



(ข)

รูปที่ 7 การเปรียบเทียบลักษณะสีและกลิ่น
(ก) เวลาเริ่มต้น และ (ข) เวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขาในการบำบัดน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบแบตช์ (Batch) ใช้การทดลองที่ระยะเวลา 10 นาที โดยใช้ปริมาณคาร์บอนกัมมันต์ 16.67 กรัมต่อน้ำเสียจากโรงอาหารที่ยังไม่ผ่านการบำบัด ปริมาตร 1 ลิตร ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมจากการทดลองด้วยการสังเกตสีและกลิ่น ผลการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยของดัชนีทั้งหมดหลังจากที่บำบัดด้วยคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขานั้นมีค่าเฉลี่ยลดลง กล่าวคือ คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขามีประสิทธิภาพในการลดค่าปริมาณน้ำมันและไขมันได้ดีที่สุด คือ ร้อยละ 81.30 รองลงมา คือ ค่าบีโอดี ร้อยละ 73.85 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยร้อยละ 65.03 ค่าปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมด ร้อยละ 59.00 ค่าตะกอนหนัก ร้อยละ 37.50 และค่าความเป็นกรดต่างร้อยละ 5.10 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Lamdual et al. (2010) และ Mahadlek (2012) ที่พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดไขมันและน้ำมันออกจากน้ำเสียโรงอาหาร โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลจากดอกกุฎาชิใบแคบและกกกลม ในระบบน้ำเสียแบบแบตช์ สามารถกำจัดไขมันและน้ำมันได้เกินร้อยละ 80 เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถบำบัดมลสารอื่น ๆ ได้ด้วย คือ ซีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และสารแขวนลอย เป็นต้น และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Tatayanon et al., (2009) ที่พบว่า คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากชีวมวลของกะลามะพร้าวและซังข้าวโพด จะทำให้น้ำทิ้งจากร้านอาหารมีลักษณะของสี กลิ่น และความขุ่นลดลงอีกทั้ง ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มีการใช้ตัวกรองคาร์บอนในการขจัดสารพิษ และจุลินทรีย์อันตราย เพื่อบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แหล่งชุมชน เช่น การใช้คาร์บอนกัมมันต์แบบผงจากชีวมวลรวมในกระบวนการสร้างตะกอนและรวมตะกอนเพื่อบำบัดน้ำเสียสามารถลดค่าซีโอดี ได้ถึงร้อยละ 80 และลดสี ได้ร้อยละ 50 รวมทั้งลดความขุ่นของน้ำเสียได้ด้วย (Harrelkas et al., 2009)

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีของตัวอย่างน้ำเสียจากโรงอาหาร

ค่าดัชนี	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ก่อนการบำบัด	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) หลังการบำบัด	ประสิทธิภาพ การบำบัด ร้อยละ (%)
ค่าความเป็นกรดและด่าง	7.46	7.08	5.10
บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	19.50	5.10	73.85
ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	14.47	5.06	65.03
ค่าตะกอนหนัก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0.08	0.05	37.50
สารที่ละลายได้ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	93.48	38.32	59.00
น้ำมันและไขมัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1.23	0.23	81.30

สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัยสามารถสรุปผล โดยแบ่งเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา พบว่า ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที คือ สภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชัน กากชาเพื่อให้ได้ถ่าน จากนั้นนำมากระตุ้นทางความร้อนและเคมีด้วย KOH ในอัตราส่วน โดยน้ำหนักของถ่าน: KOH เท่ากับ 1:2 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสม ในกระตุ้นเพื่อให้ได้คาร์บอนกัมมันต์ และมีค่าไอโอดีนนมเบอร์สูงสุด 769.36 มิลลิกรัมต่อกรัม

2. ลักษณะเฉพาะทางกายภาพและเคมีของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของ มอก. 900-2547 กล่าวคือ มีค่า ไอโอดีนนมเบอร์ ไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าความหนาแน่นปรากฏ 0.2 ถึง 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และลักษณะสัณฐานวิทยาของถ่านที่ผ่านการคาร์บอนเซชัน จะลักษณะของรูพรุนเกิดขึ้น และเมื่อถ่านผ่านการกระตุ้นทางความร้อนและเคมีจะทำให้ถ่าน มีพื้นที่ผิวและความพรุนเพิ่มมากขึ้น อย่างชัดเจน นอกจากนี้ คุณลักษณะเฉพาะของหมู่ฟังก์ชัน พบว่า การคาร์บอนในเซชันเพื่อให้ได้ถ่าน ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที พบการสั่นแบบยืดของหมู่ฟังก์ชัน O-H และ C-O และคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา แสดงตำแหน่งลักษณะเฉพาะของหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนเนต หมู่คาร์บอกซิเลต (COO-) และ แล็กโตน (-CH₂-) ที่เปลี่ยนรูป ซึ่งเป็นโครงสร้างอะลิฟาติกในหมู่เมทิลีน และเมทิลของอัลเคน มีธาตุองค์ประกอบหลักในรูปของสารอินทรีย์ (C, H และ O) ธาตุองค์ประกอบรอง พบสารประกอบ ออกไซด์ของธาตุโพแทสเซียม (K) และแคลเซียม (Ca) ตามลำดับ สำหรับสารประกอบออกไซด์ อื่น ๆ จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย และมีลักษณะโครงสร้างเป็นผลึกและผลึกของสารระเหยง่าย ในโครงสร้างจะเกิดการสลายไปหลังการคาร์บอนในเซชันเกิดเป็นคาร์บอนอสัณฐาน

3. ประสิทธิภาพของคาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชาในการบำบัดน้ำเสีย จากโรงอาหาร พบว่า ตัวอย่างน้ำเสียที่มีคาร์บอนกัมมันต์จะมีความเข้มของสีและกลิ่นลดลง ในเวลา ที่เท่ากัน และ คาร์บอนกัมมันต์ที่เตรียมจากกากชามีประสิทธิภาพในการลดค่าปริมาณน้ำมัน และไขมันได้ดีที่สุด คือ ร้อยละ 81.30 รองลงมา คือ ค่าบีโอดี ร้อยละ 73.85 และค่าปริมาณ ของแข็งแขวนลอย ร้อยละ 65.03 ตามลำดับ นอกจากนี้ ปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าตะกอนหนัก ค่าความเป็นกรดและด่าง มีค่าเฉลี่ยลดลงทุกค่าดัชนีหลังบำบัดด้วยคาร์บอน กัมมันต์ที่เตรียมจากกากชา

ดังนั้น กากชาที่มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำมาผลิตเป็นคาร์บอนกัมมันต์ได้ และ นับว่าเป็นผลิตภัณฑ์จากวัสดุชีวมวลทางเลือกใหม่ที่มีคุณสมบัติและประโยชน์ที่หลากหลาย อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณกากชาที่เป็นขยะของเสียในแหล่งชุมชน สามารถพัฒนาเป็น ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไปได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- Ahluwalia, S. & Goyal D. (2005). Removal of heavy metals from waste tea leaves from aqueous solution. **Journal of Engineering Life Science**. 5: 152-162.
- American Society for Testing Materials. (2006). **Standard test method for determination of iodine number of activated carbon D4607-94**. Annual Book of ASTM Standard Sec.15.15(1).
- Avelar, F.F., Bianchi, M.L., Goncalves, M. & Gaspar da Mota, E. (2010). The use of piassava fiber (*Attalea funifera*) in the preparation of activated carbon. **Bioresource Technology**. 101: 4639-4645.
- Chatsiriwech, D. (2009). **Adsorption process**. Bangkok: Chulalongkorn University press.
- Department of Industrial Works. (2011). **Handbook and qualification criteria of waste for processed as fuel rods and blocks**. Bangkok.(in Thai)
- Dwivedi, C.P., Sahu, J.N., Mohanty, C.R., Raj Mohan, B. & Meikap, B.C. (2008). Column performance of granular activated carbon packed bed for Pb(II) removal. **Journal of Hazardous Materials**. 156: 596-603.
- Foo, K.Y. & Hameed, B.H. (2011). Factors affecting the carbon yield and adsorption capability of the mangosteen peel activated carbon prepared by microwave assisted K_2CO_3 activation. **Chemical Engineering Journal**. 180: 66-74.
- Harrelkas, F., Azizi, A., Yaacoubi, A., Benhammou, A. & Pons, M.N. (2009). Treatment of textile dye effluents using coagulation-flocculation coupled with membrane processes or adsorption on powdered activated carbon. **Desalination**. 235: 330-339.
- Lamdual, R., Wibuloutai, J. & Phonpimolthape, C. (2010). Efficiency of oil removal from cafeteria wastewater by using flower of *Typha Angustifoli* Linn. **Journal of Environmental Management**. 6(1): 42-51.(in Thai)
- Li, L., Sun, Z., Li, H. & Keener, T.C. (2012). Effect of activated carbon surface properties on the adsorption of volatile organic compounds. **Journal of the Air and Waste Management Association**. 62: 1196-1202.

- Mahadlek, J. (2012) . **Adsorption of fat and oil from canteen wastewater in Kasetsart University by *Typha angustifolia* Linn. and *Cyperus corymbosus* Rottb.** Master of Science. Kasetsart University. (in Thai)
- Menendez-Diaz, J.A. & Martin-Gullon, I. (2006).Types of carbon adsorbents and their production. **Interface Science and Technology**. 7: 1-47.
- Ministry of Natural Resources and Environment. (2005). **Standardization of effluent from certain buildings and some sizes**. Retrieved February 5, 2018, from http://www.pcd.go.th/law/3_41_water.pdf?CFID=2448846&CFTOKEN=49059898 (in Thai)
- Mopoung, S. & Nogklai, W. (2008). Chemical and surface properties of longan seed activated charcoal. **International Journal of Physical Sciences**. 3: 234-239.
- Mopoung, S., Sirikulkajorn, A., Dummun, D.& Luethanom P. (2012). Nanocarbonfibril in rice flour charcoal. **International Journal of Physical Sciences**. 7: 214-221.
- Olorundare, O.F., Krause, R.W.M., Okonkwo, J.O. & Mamba, B.B. (2012). Potential application of activated carbon from maize tassel for the removal of heavy metals in water. **Physics and Chemistry of the Earth**. 50-52: 104–110.
- Omri, A. & Benzina, M. (2012). Removal of manganese(II) ions from aqueous solutions by adsorption on activated carbon derived a new precursor: Ziziphusspina-christi seed. **Alexandria Engineering Journal**. 51: 343-350.
- Otowa, T. & Tanibata R, Itoh M. (1993). Production and adsorption characteristics of MAXSORB high-surface area active carbon. **Gas Separation & Purification**. 7(4): 241-245.
- Prachpreecha, O. & Prachpreecha, T. (2017). A study on kinetic adsorption of methyl orange dye by activated carbon prepared from banana waste. **Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University**. 7(1), 179-196.
- Prachpreecha, O., Prachpreecha, T. & Vongchavalitkul S. (2018). "Tea Residue" junk worthless and environmentally friendly products (Eco friendly). **Proceedings of ASSURE 2018 International Conference**; January 23, 2018; Songkhla,Thailand; p.9-21.
- Puziy, A.M., Poddubnaya, O.I., Martinez-Alonso. A., Suarez-Garcia, F. & Tascon, J.M.D.(2012). Synthetic carbons activated with phosphoric acid: 1. **Surface Chemistry and ion binding properties Carbon**. 40: 1493-1505.

- Rizhikovs, J., Zandersons, J., Spince, S., Dobeles, G. & Jakab, E. (2012). Preparation of granular activated carbon from hydrothermally treated and pelletized deciduous wood. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 93: 68-76.
- Rattanapan, S., Pengjam, P. & Kongsune, P. (2014). Preparation and characterization of mangoteen pell activated carbon. **Thaksin University Journal**. 17(3): 13-21.
- Shende, R.V. & Mahajani, V.V. (2002). Wet oxidative regeneration of activated carbon loaded with reactive dye. **Waste Management**. 22: 73-83.
- Smith, J.W.H., Mcdonald, M., Romero, J.V., Macdonald, L., Lee, J.R. & Dahn, J.R, (2014). Small and wide angle X-ray studies of impregnated activated carbon. **Carbon**. 75: 420-431.
- Tatayanon. S., Piriyaiotha, T., Boonyaem T. & Osot, C.(2009). **Feasibility study on the simple production of activated carbon from biomass**. Retrieved February 26, 2018, from <http://forprod.forest.go.th/forprod/ebook/Research18/04.pdf>. (in Thai)
- Tangmankongworakoon, N. & Preedasuriyachai, P. (2013). A study on how to utilize coffee residue and tea residue for the production of briquettes. **Journal of Srinakharinwirot University (Science and Technologies)**. 7(13): 15-26. (in Thai)
- Thai Industrial Standard Institute (TISI). (2004). **Thai Industrial Standard: Activated Carbon (900-2547)**. Bangkok: Thai Industrial Standard Institute. (in Thai)
- Tondiaw, O. (2009). **Treatment of zinc and copper in metal manufacture wastewater by tea residue**. Master of Science. Kasetsart University. (in Thai)
- Weerachanchai, P., Tangsathikulchai, C. & Tangsathikulchai, M.(2010). Comparison of pyrolysis kinetic models for thermogravimetric analysis of biomass. **Suranaree Journal of Science and Technology**. 17(4): 387-400.

.....

การประยุกต์ใช้แบคทีเรียโปรไบโอติก (*Lactobacillus plantarum*)
ในแหนมไก่

APPLICATION OF PROBIOTIC BACTERIA (*Lactobacillus plantarum*)
IN CHICKEN NHAM

อัฉรภา เฟื่อง และ สุภาพร เพ็งเลื้อ

โปรแกรมวิชาชีววิทยา และชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

จังหวัดสงขลา 90000

Atchara Phoem* and Supaporn Pengloh

*Program of Biology and Applied Biology, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University

Songkhla 90000

*E-mail: aphoem@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถของแบคทีเรียโปรไบโอติก คือ *Lactobacillus plantarum* ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียก่อโรค คือ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 และ *Salmonella* Typhimurium ATCC 13311 ทดสอบโดยวิธี agar spot พบว่า สภาวะที่ไม่จำกัดการสร้างสารยับยั้งเชื้อ *L. plantarum* (AP1) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 13311 มีค่าโซนการยับยั้งมากกว่าสภาวะที่จำกัดการสร้างสารยับยั้ง เมื่อทดสอบโดยวิธีการเพาะเลี้ยงร่วมกันพบว่า เชื้อ *L. plantarum* (AP1) สามารถทำให้จำนวนเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 13311 ลดลงจาก 5.52 เป็น 4.58 log CFU/mL และลดลงจาก 5.25 เป็น 4.30 log CFU/mL ตามลำดับภายในเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคในแหนมไก่พบว่า เชื้อ *L. plantarum* (AP1) สามารถทำให้จำนวนเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 13311 ลดลงจาก 5.78 เป็น 4.20 log CFU/g และลดลงจาก 6.27 เป็น 5.21 log CFU/g ตามลำดับภายในเวลา 72 ชั่วโมง

คำสำคัญ : โปรไบโอติก แหนมไก่ *Lactobacillus plantarum* *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 *Salmonella* Typhimurium ATCC 13311

ABSTRACT

Growth-inhibiting activities of the probiotic bacteria *Lactobacillus plantarum* were determined against the food poisoning bacteria *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 and *Salmonella* Typhimurium ATCC 13311 using the agar spot method. Results indicated that antibacterial activities of *L. plantarum* (AP1) against *S. aureus* ATCC 25923 and *S. Typhimurium* ATCC 13311 in condition of unlimited inhibitory substances were better than in condition of limited inhibitory substances. Using the co-culture technique, *L. plantarum* (AP1) inhibited growth of *S. aureus* ATCC 25923 and *S. Typhimurium* ATCC 13311 with decrease in their numbers from 5.52 to 4.58 log CFU/mL and 5.25 to 4.30 log CFU/mL, respectively within 24 h. Further investigation using chicken Nham indicated that *L. plantarum* (AP1) inhibited growth of *S. aureus* ATCC 25923 and *S. Typhimurium* ATCC 13311, with reduction in their numbers from 5.78 to 4.20 log CFU/g and 6.27 to 5.21 log CFU/g, respectively within 72 h.

Keywords: probiotic, chicken Nham, *Lactobacillus plantarum*, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Salmonella* Typhimurium ATCC 13311

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคหันมาสนใจดูแลสุขภาพของตนเองมากขึ้น เนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป และพฤติกรรมการบริโภคอาหารมีส่วนทำให้เกิดความเสี่ยงก่อเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคท้องร่วง เป็นต้น ดังนั้นผู้บริโภคจึงหันมาให้ความสนใจในการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น ผลิตภัณฑ์โปรไบโอติก และผลิตภัณฑ์พรีไบโอติก เป็นต้น โปรไบโอติก (probiotic) เป็นจุลินทรีย์ที่มีชีวิตก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภค เช่น *Bifidobacterium* และ *Lactobacillus* โดยช่วยปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร และสามารถสร้างสารมายับยั้งเชื้อก่อโรค (Vandenplas et al., 2015)

การผลิตแหนมในครัวเรือนและอุตสาหกรรมมีมากขึ้น แต่การผลิตยังคงอาศัยหัวเชื้อแบคทีเรียแลคติกที่มีอยู่ตามธรรมชาติในวัตถุดิบที่ใช้ในการหมัก ดังนั้น จึงไม่สามารถควบคุมคุณภาพการผลิตให้มีความสม่ำเสมอได้แนวทางหนึ่งที่น่าสนใจคือ การนำโปรไบโอติกมาเป็นหัวเชื้อในการผลิตแหนมไก่จะทำให้มีการหมักที่สม่ำเสมอและรวดเร็วสามารถยับยั้งเชื้อก่อโรค

ที่มีอยู่ในอาหารจำพวกเนื้อสัตว์เป็นสื่อ นำ เชื้อโรคถ่ายทอดมาสู่คนคือเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella* Typhimurium ได้อีกด้วย โดยเชื้อ *S. aureus* เป็นเชื้อที่สามารถสร้างสารพิษชนิดเอนเทอโรท็อกซิน (enterotoxin) และ *S. Typhimurium* ใช้ตัวเชื้อทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ เป็นตะคริวในช่องท้อง และอ่อนเพลีย การปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคอาหารเป็นพิษอาจมาจากวัตถุดิบเนื้อสัตว์ที่ใช้ทำแฮมและการบริโภคแฮมที่ไม่ผ่านความร้อนหรือผ่านความร้อนไม่เพียงพอจึงมีเชื้อก่อโรคเหลือรอด (Ahmad et al., 2017; Swetwiwathana et al., 2007) จากรายงานของ Swetwiwathana & Visessanguan (2015) พบว่ามีการใช้เชื้อ *Pediococcus pentosaceus* ที่สามารถสร้างแบคทีเรียโอซินมายับยั้งเชื้อก่อโรคอาหารเป็นพิษในแฮมเช่น *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* และ *S. aureus* โดยทำให้เชื้อลดจำนวนลง 2 log CFU/mL ในงานวิจัยครั้งนี้จึงสนใจที่จะใช้เชื้อกลุ่ม lactobacilli เพราะเป็นโปรไบโอติกที่มีความปลอดภัยสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้ (Generally Recognized as Safe: GRAS) โดยใช้เชื้อ *Lactobacillus plantarum* 2 สายพันธุ์ คือ AP1 และ AP2 ที่คัดแยกมาจากอุจจาระของคนที่มีสุขภาพดีและอาหารหมักประเภทปลาร้าตามลำดับ มีคุณสมบัติการเป็นโปรไบโอติกที่ดีคือ ทนต่อเกลือน้ำดีที่ระดับความเข้มข้น 0.5% ทนต่อกรดที่ระดับพีเอช 3 สามารถย่อยโปรตีนไขมันและแบ่งได้ (Phoem et al., 2017) ที่จะนำมาใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตแฮมไก ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อ *L. plantarum* (AP1 และ AP2) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 13311 ในแฮมไกเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้หัวเชื้อโปรไบโอติกในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพ (functional food) ประเภทอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและสุขภาพที่ดีของผู้บริโภคต่อไป

วิธีการ

1. เชื้อจุลินทรีย์

1.1 โปรไบโอติกได้รับความอนุเคราะห์จากงานวิจัยของ Phoem et al. (2017) ประกอบด้วยเชื้อ *L. plantarum* 2 สายพันธุ์ คือ AP1 แยกจากอุจจาระคนแก่ที่มีสุขภาพดี และ AP2 แยกจากปลาร้ามีคุณสมบัติการเป็นโปรไบโอติกที่ดีคือ ทนต่อเกลือน้ำดีที่ระดับความเข้มข้น 0.5 % ทนต่อกรดที่ระดับ พีเอช 3 และสามารถย่อยโปรตีนไขมัน และแบ่งได้

1.2 แบคทีเรียก่อโรคอาหารเป็นพิษคือ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 13311

2. การทดสอบความสามารถของเชื้อ *Lactobacillus plantarum* (AP1 และ AP2) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 และ *Salmonella* Typhimurium ATCC 13311

การเตรียมเชื้อ *L. plantarum* (AP1 และ AP2)

เตรียมหัวเชื้อ (inoculum) โดยเลี้ยงเชื้อแต่ละสายพันธุ์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ De Man Rogosa and Sharpe agar (MRS; Merck, Damstadt, Germany) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำโคโลนีที่บริสุทธิ์มาใส่ใน 0.85% Normal Saline Solution (NSS) แล้วปรับความขุ่นเชื้อให้ได้เท่ากับ 0.5 McFarland จะทำให้มีปริมาณเชื้อเป็น 1.5×10^8 CFU/mL แล้วเจือจางให้ได้ปริมาณเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^7 CFU/mL

การเตรียมเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 13311

เตรียม inoculum โดยเลี้ยงเชื้อแต่ละสายพันธุ์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Trypticase Soy broth (TSB; Merck, Damstadt, Germany) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำโคโลนีที่บริสุทธิ์มาใส่ใน 0.85% Normal Saline Solution (NSS) แล้วปรับความขุ่นเชื้อให้ได้เท่ากับ 0.5 McFarland จะทำให้มีปริมาณเชื้อเป็น 1.5×10^8 CFU/mL แล้วเจือจางให้ได้ปริมาณเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^7 CFU/mL

2.1 การทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อบนอาหารแข็งด้วยวิธี agar spot (ดัดแปลงจากวิธีการของ Spelhaug & Harlander, 1989)

1) การทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อในสภาวะที่ไม่จำกัดสารยับยั้ง

นำเชื้อ *L. plantarum* (AP1 และ AP2) ความเข้มข้นเชื้อ 10^7 CFU/mL หยดลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS agar (Merck, Damstadt, Germany) เชื้อละ 5 ไมโครลิตร จานละ 2 เชื้อ โดยทำจานละ 2 เชื้อทิ้งไว้ให้แห้ง บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาเททับด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ Brain Heart Infusion soft agar (BHI; Merck, Damstadt, Germany) มีวุ้น 0.7% ปริมาตร 10 มิลลิเมตร ซึ่งมีเชื้อก่อโรคแต่ละสายพันธุ์มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 10^6 CFU/mL บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตรวจผลการยับยั้งดูจากวงใสของการยับยั้ง (inhibition zone) จากขอบแบคทีเรียแลคติกจนสุดขอบวงใสของการยับยั้ง

2) การทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อในสภาวะที่จำกัดสารยับยั้ง

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1) แต่ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ MRS agar (มีน้ำตาลกลูโคส 0.2%) ใส่ใน anaerobic jar (Difco, Dickinson, USA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.2 การทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโดยวิธีการเพาะเลี้ยงร่วมกัน (ดัดแปลงจากวิธีการของ Gonzalez et al., 1993)

นำเชื้อก่อโรคแต่ละสายพันธุ์มาอย่างละ 200 ไมโครลิตร ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ BHI broth ผสมด้วย 0.5% yeast extract (Merck, Damstadt, Germany) ปริมาตร 2,000 ไมโครลิตร

จะได้ความเข้มข้นสุดท้ายของเชื้อเป็น 10^6 CFU/mL นำเชื้อ *L. plantarum* (AP1 และ AP2) มาอย่างละ 200 ไมโครลิตร ใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ BHI broth ผสมด้วย 0.5% yeast extract ปริมาตร 2,000 ไมโครลิตร จะได้ความเข้มข้นสุดท้ายของเชื้อเป็น 10^7 CFU/mL นำเชื้อทั้ง 2 กลุ่ม มาเพาะเลี้ยงร่วมกัน บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนชุดควบคุมจะไม่มี การเติมเชื้อโปรไบโอติก นำทุกชุดการทดลองมาตรวจนับเชื้อด้วยวิธี pour plate โดยใช้อาหาร เลี้ยงเชื้อ ดังต่อไปนี้ คือ Salmonella-Shigella agar (SS; Merck, Darmstadt, Germany) สำหรับเชื้อ *S. Typhimurium* และ Mannitol Salt agar (MSA; Merck, Darmstadt, Germany) สำหรับเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3. การทดสอบความสามารถของเชื้อ *Lactobacillus plantarum* (AP1) ในการ ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 และ *Salmonella Typhimurium* ATCC 13311 ในแฮมมูก (ดัดแปลงจากวิธีการของ Swetwathana et al., 2007)

การเตรียมส่วนผสมของเชื้อ *L. plantarum* (AP1 และ AP2)

นำเชื้อ *L. plantarum* (AP1) ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง เชื้อก่อโรคได้ดีที่สุดมาเป็นหัวเชื้อในการผลิตแฮมมูก นำเชื้อ *L. plantarum* (AP1) มาเลี้ยง ในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไป หมนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 8,000 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาทีเพื่อเก็บตัวเซลล์ นำตัวเซลล์มาใส่ใน 0.85% NSS ปรับความขุ่นเชื้อให้ได้เท่ากับ 0.5 McFarland จะทำให้มี ปริมาณเชื้อเป็น 1.5×10^8 CFU/mL แล้วเจือจางให้ได้ปริมาณเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^7 CFU/mL นำเชื้อใส่ผสมในแฮมมูกโดยมีอัตราส่วนเชื้อต่อแฮมมูกเป็น 1 mL : 1,000 g

การเตรียมส่วนผสมของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium*

นำเชื้อก่อโรคแต่ละสายพันธุ์มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปหมนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 8,000 g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาทีเพื่อเก็บตัวเซลล์ นำตัวเซลล์มาใส่ใน 0.85% NSS ปรับความขุ่นเชื้อให้ได้เท่ากับ 0.5 McFarland จะทำให้มีปริมาณเชื้อเป็น 1.5×10^8 CFU/mL แล้วเจือจางให้ได้ปริมาณเชื้อเริ่มต้นเป็น 10^6 CFU/mL นำเชื้อใส่ผสมในแฮมมูกโดยมีอัตราส่วน เชื้อต่อแฮมมูกเป็น 1 mL : 1,000 g

3.1 การเตรียมแฮมมูกเพื่อทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรค

นำเนื้อไก่มา 1 กิโลกรัมล้างให้สะอาด นำไปบดให้ละเอียดผสมกับข้าวสอย 3 ช้อนโต๊ะ กระเทียมบด 1 ช้อนโต๊ะ น้ำตาลทรายแดง 1/2 ช้อนโต๊ะ เกลือป่น 1 ช้อนโต๊ะ เติมหั้วเชื้อ ลงในแฮมมูกแบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เติมส่วนผสมของเชื้อ *L. plantarum* (AP1) ผสมกับ

ส่วนใสของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร กลุ่มที่ 2 เติมน้ำใสของเชื้อ *L. plantarum* (AP1) ผสมกับส่วนใสของเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 13311 ปริมาตรอย่างละ 1 มิลลิลิตร กลุ่มที่ 3 เติมน้ำใสของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (ชุดควบคุม) และกลุ่มที่ 4 เติมน้ำใสของเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 13311 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (ชุดควบคุม) นวดให้ส่วนผสมเข้ากันนำมาใส่ในถุงพลาสติก ใส่ฟริกซ์หนูสดลงไป ห่อละเม็ด ใส่อากาศออกให้หมด มัดปากถุงให้แน่น วางไว้ในตู้เย็นหมักหึ่งเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.2 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในแฮมไก่

1) การตรวจนับจำนวนเชื้อ

นำตัวอย่างของแฮมไก่ทั้ง 4 กลุ่มที่หมักไว้เป็นเวลา 0, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง มาชั่งน้ำหนักกลุ่มละ 10 กรัม แล้วเติม 0.85% NSS 90 มิลลิลิตร จากนั้นทำ 10-fold serial dilution นับจำนวนเชื้อโดยวิธี pour plate ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อตามข้อ 2.2 นำไปบ่มที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ (AOAC, 2005)

2) การวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติก

ตัวอย่างของแฮมไก่ทั้ง 4 กลุ่มที่หมักไว้เป็นเวลา 0, 24, 48 และ 72 ชั่วโมง นำแฮมไก่แต่ละกลุ่มมา 10 กรัมใส่น้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ดูดตัวอย่างใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) หยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยดไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Difco, Dickinson, USA) ความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งเกิดเป็นสีชมพู (AOAC, 2005) คำนวณหา % กรดแลคติกตามสูตร

$$\text{ปริมาณกรดแลคติก} = \frac{(N \times V_1 \times 90.08 \times 100)}{1000 \times V_2}$$

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (N)

V1 = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (mL)

V2 = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ไทเทรต (mL)

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ผลการทดลองที่ได้รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ ผลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลอง

1. การทดสอบความสามารถของเชื้อ *Lactobacillus plantarum* (AP1 และ AP2) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 และ *Salmonella Typhimurium* ATCC 13311

1.1 การทดสอบการยับยั้งบนอาหารแข็งด้วยวิธี agar spot

นำเชื้อ *L. plantarum* (AP1 และ AP2) มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 13311 โดยวิธี agar spot ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าสภาวะที่ไม่จำกัดการสร้างสารยับยั้งเชื้อ *L. plantarum* (AP1) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 13311 มีค่าโซนการยับยั้งเป็น 16.56 และ 14.72 มิลลิเมตรตามลำดับ ($p < 0.05$) สภาวะที่จำกัดการสร้างสารยับยั้งเชื้อ *L. plantarum* (AP1) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 13311 มีค่าโซนการยับยั้งเป็น 12.13 และ 12.00 มิลลิเมตรตามลำดับ ($p < 0.05$) จะเห็นได้ว่าสภาวะที่ไม่จำกัดการสร้างสารยับยั้งจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคได้ดีกว่าสภาวะที่จำกัดการสร้างสารยับยั้ง โดยที่เชื้อ *L. plantarum* (AP1) มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคทั้ง 2 ชนิดได้ดีกว่าเชื้อ *L. plantarum* (AP2)

ตารางที่ 1 ความสามารถของเชื้อ *Lactobacillus plantarum* (AP1 และ AP2) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 และ *Salmonella Typhimurium* ATCC 13311 โดยวิธี agar spot

จุลินทรีย์ที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ยโซนการยับยั้ง (มิลลิเมตร) $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	สภาวะที่ไม่จำกัดสารยับยั้ง		สภาวะที่จำกัดสารยับยั้ง	
	AP1	AP2	AP1	AP2
<i>S. aureus</i>	16.56 $\pm$ 1.07 ^{aA}	15.42 $\pm$ 1.36 ^{bA}	12.13 $\pm$ 1.05 ^{aA}	5.50 $\pm$ 0.00 ^{bA}
<i>S. Typhimurium</i>	14.72 $\pm$ 1.00 ^{aB}	12.40 $\pm$ 3.69 ^{bB}	12.00 $\pm$ 1.66 ^{aA}	5.47 $\pm$ 0.00 ^{bA}

ค่าเฉลี่ยของโซนการยับยั้ง $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวนอนที่ต่างกันคือ โซนการยับยั้งของเชื้อ AP1 และ AP2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแนวตั้งที่ต่างกันคือ โซนการยับยั้งของเชื้อ *S. aureus* และ *S. Typhimurium* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.2 การทดสอบการยับยั้งโดยวิธีการเพาะเลี้ยงร่วมกัน

นำเชื้อ *L. plantarum* (AP1 และ AP2) มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 13311 ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงร่วมกันดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า เชื้อ *L. plantarum* (AP1 และ AP2) มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคทั้ง 2 ชนิดได้ไม่แตกต่างกัน เชื้อ *L. plantarum* (AP1) จะทำให้จำนวนเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 ลดลงเหลือ 4.58 log CFU/mL เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีจำนวนเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 เป็น 8.12 log CFU/mL ที่เวลา 24 ชั่วโมง ($p < 0.05$) และ เชื้อ *L. plantarum* (AP1) จะทำให้จำนวนเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 13311 ลดลงเหลือ 4.30 log CFU/mL เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีจำนวนเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 13311 เป็น 8.06 log CFU/mL ที่เวลา 24 ชั่วโมง ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 ความสามารถของเชื้อ *Lactobacillus plantarum* (AP1 และ AP2) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 และเชื้อ *Salmonella Typhimurium* ATCC 13311 โดยวิธีเพาะเลี้ยงร่วมกัน

เชื้อก่อโรค	โปรไบโอติก	เวลา (ชั่วโมง)	จำนวนเชื้อก่อโรค (log CFU/mL)	
			ชุดควบคุม	ชุดทดสอบ
<i>S. aureus</i>	AP1	0	6.25±0.05 ^{aB}	5.52±0.04 ^{bA}
		24	8.12±0.10 ^{aA}	4.58±0.18 ^{bB}
	AP2	0	6.25±0.05 ^{aB}	5.09±0.19 ^{bA}
		24	8.12±0.10 ^{aA}	4.50±0.09 ^{bB}
<i>S. Typhimurium</i>	AP1	0	6.17±0.02 ^{aB}	5.25±0.24 ^{bA}
		24	8.06±0.06 ^{aA}	4.30±0.03 ^{bB}
	AP2	0	6.17±0.02 ^{aB}	5.01±0.11 ^{bA}
		24	8.06±0.06 ^{aA}	4.53±0.07 ^{bB}

ชุดควบคุม คือ เชื้อก่อโรคแต่ละสายพันธุ์ ชุดทดสอบ คือ *L. plantarum* (AP1 และ AP2) ผสมกับเชื้อก่อโรคแต่ละสายพันธุ์

ค่าเฉลี่ยของจำนวนเชื้อ $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวนอนที่ต่างกันคือ จำนวนเชื้อก่อโรคในชุดควบคุมและชุดทดสอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแนวตั้งที่ต่างกันคือ จำนวนเชื้อก่อโรคในแต่ละช่วงเวลาที่ทดสอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ส่วนเชื้อ *L. plantarum* (AP2) จะทำให้จำนวนเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 ลดลงเหลือ 4.50 log CFU/mL เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีจำนวนเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 เป็น 8.12 log CFU/mL ที่เวลา 24 ชั่วโมง ($p < 0.05$) และ เชื้อ *L. plantarum* (AP2) จะทำให้จำนวนเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 13311 ลดลงเหลือ 4.53 log CFU/mL เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีจำนวนเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 13311 เป็น 8.06 log CFU/mL ที่เวลา 24 ชั่วโมง ($p < 0.05$)

2. ทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคและการสร้างกรดแลคติกในแฮมไก

นำเชื้อ *L. plantarum* (AP1) มาทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 13311 และศึกษาการสร้างกรดแลคติกในแฮมไกดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า เชื้อ *L. plantarum* (AP1) จะทำให้จำนวนเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 ลดลงเหลือ 4.20 log CFU/g เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีจำนวนเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 เป็น 7.98 log CFU/g ที่เวลา 72 ชั่วโมง ($p < 0.05$) และเชื้อ *L. plantarum* (AP1) จะทำให้จำนวนเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 13311 ลดลงเหลือ 5.21 log CFU/g เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีจำนวนเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 13311 เป็น 8.17 log CFU/g ที่เวลา 72 ชั่วโมง ($p < 0.05$) และปริมาณกรดแลคติกของแฮมไกในชุดทดสอบมีค่ามากกว่าชุดควบคุมที่เวลา 72 ชั่วโมง ($p < 0.05$)

สรุปและวิจารณ์ผล

โปรไบโอติกมีความสามารถในการสร้างสารมายับยั้งเชื้อก่อโรค สามารถทำการทดสอบได้หลายวิธี เช่น การสร้างสารยับยั้งบนอาหารแข็งโดยวิธี agar spot และการสร้างสารยับยั้งในอาหารเหลวโดยวิธีการเพาะเลี้ยงร่วมกัน

1. การสร้างสารยับยั้งเชื้อก่อโรคโดยวิธี agar spot

การทดสอบความสามารถของเชื้อ *L. plantarum* (AP1 และ AP2) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 13311 ในสภาวะที่ไม่จำกัดการสร้างสารยับยั้ง โปรไบโอติกสามารถใช้น้ำตาลกลูโคส 2% ที่มีอยู่ในอาหาร MRS agar เปลี่ยนเป็นกรดแลคติกมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อก่อโรคได้ทั้งบวกและแกรมลบ โดยที่เชื้อ AP1 และ AP2 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแกรมบวกได้ดีกว่าแกรมลบ เนื่องจากเชื้อแกรมลบมี outer membrane ช่วยในการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับเชื้อ (Tejero-Sarina et al, 2012) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Leite et al. (2015) พบว่าเชื้อ *Lactobacillus paracasei* และ *Lactococcus lactis* ที่แยกจากเมล็ดคัสเฟอร์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Listeria* spp., *Salmonella* spp. และ *Escherichia coli*

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงจำนวนเชื้อก่อโรคและปริมาณกรดแลคติก (%) ในแหนมไก่

เชื้อก่อโรค	เวลา (ชั่วโมง)	จำนวนเชื้อก่อโรค (log CFU/g)		กรดแลคติก (%)	
		ชุดควบคุม	ชุดทดสอบ	ชุดควบคุม	ชุดทดสอบ
<i>S. aureus</i>	0	6.02±0.05 ^{aB}	5.78±0.77 ^{aA}	0.13±0.03 ^{aA}	0.47±0.03 ^{aA}
	24	8.15±0.10 ^{aA}	4.78±0.28 ^{bB}	0.17±0.09 ^{aA}	0.60±0.08 ^{aA}
	48	8.13±0.07 ^{aA}	4.39±0.69 ^{bB}	0.20±0.05 ^{aA}	0.72±0.12 ^{aA}
	72	7.98±0.07 ^{aA}	4.20±0.62 ^{bB}	0.31±0.04 ^{bA}	1.40±0.04 ^{aA}
<i>S. Typhimurium</i>	0	6.17±0.02 ^{aB}	6.27±0.10 ^{aA}	0.15±0.02 ^{aA}	0.51±0.08 ^{aA}
	24	8.16±0.06 ^{aA}	5.49±0.06 ^{bB}	0.22±0.07 ^{aA}	0.62±0.05 ^{aA}
	48	8.28±0.00 ^{aA}	5.34±0.06 ^{bB}	0.25±0.03 ^{aA}	0.75±0.03 ^{aA}
	72	8.17±0.07 ^{aA}	5.21±0.65 ^{bB}	0.36±0.05 ^{bA}	1.45±0.05 ^{aA}

ชุดควบคุม คือ แหนมที่เติมเชื้อก่อโรคแต่ละสายพันธุ์ ชุดทดสอบ คือ แหนมที่เติมเชื้อ *L. plantarum* (AP1) ผสมกับเชื้อก่อโรคแต่ละสายพันธุ์

ค่าเฉลี่ยของจำนวนเชื้อ/กรดแลคติก ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวนอนที่ต่างกันคือ ค่าที่ได้ในชุดควบคุมและชุดทดสอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแนวตั้งที่ต่างกันคือ ค่าที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาที่ทดสอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ได้ดี และงานวิจัยของ Hwanhlem et al. (2017) ทำการแยกเชื้อ *Enterococcus faecalis* จากลำไส้ไก่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* และ *S. Typhimurium* ได้ดี ส่วนสภาวะที่จำกัด การสร้างสารยับยั้งโดยลดปริมาณน้ำตาลกลูโคสในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS agar เหลือ 0.2% ทำให้มีการสร้างปริมาณกรดแลคติกลดลง และการบ่มใน anaerobic jar จะไปจำกัดการสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังนั้นโปรไบโอติกสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคโดยใช้สารยับยั้งชนิดอื่น เช่นแบคทีริโอซินจะทำให้เกิดบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เสียสมดุลขององค์ประกอบภายในเซลล์ และตายในที่สุด (Nuphet et al., 2004) จะเห็นได้ว่าเชื้อ *L. plantarum* (AP1 และ AP2) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคทั้ง 2 ชนิด ได้น้อยลงเมื่อเทียบกับการทดสอบในสภาวะที่ไม่จำกัดการสร้างสารยับยั้ง

2. การสร้างสารยับยั้งเชื้อก่อโรคในอาหารเหลวโดยวิธีการเพาะเลี้ยงร่วมกัน

การทดสอบความสามารถของเชื้อ *L. plantarum* (AP1 และ AP2) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 1331 พบว่าเชื้อ *L. plantarum* (AP1) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคทั้งสองชนิดได้ดีกว่า *L. plantarum* (AP2) เนื่องจากเชื้อ *L. plantarum* (AP1) อาจมีเอ็นในการควบคุมการสร้างสารยับยั้งได้หลากหลายชนิดและมีประสิทธิภาพในการยับยั้งที่ดี ซึ่งฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อก่อโรคเกิดจากการสร้างกรดแลคติกผ่านกระบวนการ Embden-Meyerhof Pathway (EMP) (Vandenplas et al., 2015) เชื้อ *L. plantarum* (AP1) สามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 ได้ดีกว่าเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 1331 เนื่องจากเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 1331 มี outer membrane ช่วยในการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับเชื้อ (Tejero-Sarina et al., 2012) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nuphet et al. (2004) ทำแยกเชื้อ *Lactobacillus* spp. จากเห็ดนำมาใช้ในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *E.coli* ATCC 25922 โดยวิธีการเพาะเลี้ยงร่วมกัน พบว่า เชื้อ *Lactobacillus* spp. สามารถยับยั้งเชื้อก่อโรคได้ 80-100%

3. การเปลี่ยนแปลงจำนวนเชื้อก่อโรคและปริมาณกรดแลคติกในแฮมไก่

จากการทดสอบการยับยั้งเชื้อก่อโรคโดยวิธี agar spot และเพาะเลี้ยงร่วมกัน พบว่า เชื้อ *L. plantarum* (AP1) มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อก่อโรคที่ดีจึงนำมาประยุกต์ใช้เป็นหัวเชื้อในแฮมไก่ที่หมักนานเป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยที่เชื้อ *L. plantarum* (AP1) สามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 ได้ดีกว่าเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 1331 และกรดแลคติกมีการสร้างในปริมาณที่มากกว่าชุดควบคุม มีกลไกการทำลายเชื้อก่อโรคโดยในสภาวะที่พีเอชลดลง กรดแลคติกอยู่ในรูปโมเลกุลที่ไม่แตกตัว จากนั้นโปรตอนจะออกมาทำให้เซลล์สูญเสียพลังงาน ATP เมื่อมีปริมาณโปรตอนมากเกินไปจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชภายในเซลล์ มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ เยื่อหุ้มเซลล์ การลำเลียงสารอาหาร กิจกรรมเมแทบอลิซึม และเซลล์ตายในที่สุด (Vandenplas et al., 2015) นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากส่วนผสมในแฮมไก่ คือ กระเทียมมีสารอัลลิซิน (allicin) ที่ช่วยในการยับยั้งเชื้อก่อโรค (Swetwathana & Visessanguan, 2015; Vandenplas et al., 2015) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Swetwathana et al. (2007) แยกเชื้อ *Pediococcus pentosaceus* จากแฮมสามารถยับยั้งเชื้อ *Salmonella anatum* ที่ปนเปื้อนในแฮมได้ดี และงานวิจัยของ Kingcha et al. (2012) แยกเชื้อ *Pediococcus pentosaceus* BCC 3772 จากแฮมหมักมายับยั้งเชื้อ *Listeria monocytogenes* โดยทำให้จำนวนเชื้อก่อโรคในแฮมลดลง 3.2 log CFU/g ภายในเวลา 72 ชั่วโมง นอกจากนี้ *L. plantarum* (AP1) ที่แยกมาจากอุจจาระของคนที่มีสุขภาพดีสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตแฮมไก่และเมื่อบริโภคเข้าสู่ร่างกายคน เชื้อนี้มีแนวโน้มที่จะเกาะติดในลำไส้และรอดชีวิตได้สูง ส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคในการคงไว้หรือช่วยปรับสภาพ

ความสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร และควรมีการนำหัวเชื้อ *L. plantarum* (AP1) ไปประยุกต์ใช้ในการหมักแหนมชนิดอื่นๆ เช่น แหนมปลา แหนมหมู เป็นต้น ซึ่งจะทำให้เกิดความหลากหลายของผลิตภัณฑ์มากขึ้น

จากการทดลองสรุปได้ว่าการทดสอบโดยวิธี agar spot เชื้อ *L. plantarum* (AP1 และ AP2) มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 และ *S. Typhimurium* ATCC 13311 ในสภาวะที่ไม่จำกัดการสร้างสารยับยั้งได้ดีกว่าสภาวะที่จำกัดการสร้างสารยับยั้ง การทดสอบโดยวิธีเพาะเลี้ยงร่วมกันพบว่า เชื้อ *L. plantarum* (AP1) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคทั้ง 2 สายพันธุ์ได้ดีกว่าเชื้อ *L. plantarum* (AP2) ที่เวลา 24 ชั่วโมง และเมื่อทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคทั้ง 2 สายพันธุ์ในแหนมไก่ พบว่า เชื้อ *L. plantarum* (AP1) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ATCC 25923 ได้ดีกว่าเชื้อ *S. Typhimurium* ATCC 13311 ที่เวลา 72 ชั่วโมง

เอกสารอ้างอิง

- Ahmad, V., Khan, M.S., Jamal, Q.M.S., Alzohairy, M.A. & Siddiqui, M.U. (2017). Antimicrobial potential of bacteriocins: in therapy, agriculture and food preservation. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 49(1), 1-11.
- A.O.A.C. (2005). *Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 16th edition. Virginia : The Association of Official Analytical Chemists Inc.
- Gonzalez, S.N., Apella, M.C., Romero, N.C., De maciae, M.E. & Oliver, G. (1993). Inhibition of enteropathogens by lactobacilli strain used in fermented milk. *Journal of Food Protection*. 56, 773-776.
- Hwanhlem, N., Ivanova, T., Biscola, V., Choiset, Y. & Haertle, T. (2017). Bacteriocin producing *Enterococcus faecalis* isolated from chicken gastrointestinal tract originating from Phitsanulok, Thailand: isolation, screening, safety evaluation and probiotic properties. *Food Control*. 78, 187-195.
- Kingcha, Y., Tosukhowong, A., Zendo, T., Roytrakul, S., Luxananil, P. & Visessanguan, W. (2012). Anti-listeria activity of *Pediococcus pentosaceus* BCC 3772 and application as starter culture for Nham, a traditional fermented pork sausage. *Food Control*. 25, 190-196.

- Leite, A.M.O., Miguel, M.A.L., Peixoto, R.S., Ruas-Madiedo, P., Mayo, B. & Delgado, S. (2015). Probiotic potential of selected lactic acid bacteria strains isolated from Brazilian kefir grains. **Journal of Dairy Science**. 98, 3622-3632.
- Nuphet, A. Kantachote, D. & Charernjiratrakul, W. (2004). Screening of probiotic lactic acid bacteria from Thai fermented foods for human. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**. 2(5), 659-670. (in Thai)
- Phoem, A., Witajitsomboon, N., Saedeh, F. & Mayiding, A. (2017). **Screening of probiotic lactic acid bacteria from traditional fermented foods and healthy elderly people 's faeces**. The 9th National conference on integrating research for sustainable community development, 31 May 2017, Phuket Rajabhat University, Phuket, Thailand. p.1578-1587. (in Thai)
- Spelhaug, S.R. & Halander, S.K. (1989). Inhibition of foodborne bacteria pathogens by bacteriocin from *Lactococcus lactis* and *Pediococcus pentosaceus*. **Journal of Food Protection**. 52, 856-862.
- Swetwiwathana, A., Lotong, N., Nakayama, J. & sonsrnoto, K. (2007). Maturation of Nham-A Thai fermented meat product: Effect of pediocin PA-1 producer (*Pediococcus pentosaceus* TISTR536) as starter culture, nitrate and garlic on *Salmonella anatum* during Nham fermentation. **Fleischwirtschaft International**. 22(3), 46-49.
- Swetwiwathana, A. & W. Visessanguan. (2015). Potential of bacteriocin-producing lactic acid bacteria for safety improvements of traditional Thai fermented meat and human health. **Meat Science**. 109, 101-105.
- Tejero-Sariñena, S., Barlow, J., Costabile, A., Gibson, G.R., & Rowland, I. (2012). In vitro evaluation of the antimicrobial activity of a range of probiotics against pathogens : evidence for the effects of organic acids. **Anaerobe**. 18(5), 530-538.
- Vandenplas, Y., Huys, G. & Daube, G. (2015). Probiotics: an update. **Journal of Pediatrics**. 91, 6-21.
-

การใช้ประโยชน์จากเศษน้ำย่อยแป้งที่เหลือจากโรงงานผลิตน้ำตาล
เพื่อผลิตชีวมวลยีสต์: สภาวะที่เหมาะสม และจลนพลศาสตร์

UTILIZATION OF STARCH HYDROLYZED WASTE
FROM SUGAR FACTORY FOR PRODUCING YEAST BIOMASS:
OPTIMUM CONDITION AND KINETICS

อัษฎาวุธ อารีศิริสุข*, ชุตินา รักกิจการพูล สุจยา ฤทธิศร และ จันทิมา ทีชะ

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

จังหวัดปทุมธานี 12110 ประเทศไทย

Atsawut Areesirisuk*, Chutima Rakkitkanphun, Sujaya Ritthisorn and Jantima Teeka

Division of Biology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,

Pathum Thani, 12110, Thailand

*E-mail: atsawut_a@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เศษน้ำย่อยแป้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตชีวมวลยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* และศึกษาอิทธิพลของอัตรา การให้อากาศในการเพาะเลี้ยงยีสต์ในระดับถังหมัก ผลการทดลองพบว่าปริมาณของแฉัง ที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}\text{Brix}$) ความเป็นกรดต่าง (pH) และความเข้มข้นของยีสต์สกัด (Yeast extract) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตชีวมวลยีสต์จากเศษน้ำย่อยแป้งอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ โดยได้สมการกำลังสองสำหรับทำนายสภาวะที่เหมาะสมคือ น้ำหนักชีวมวลยีสต์ (กรัมต่อลิตร) $= 2.38 + 0.36A + 1.13C - 0.021D + 0.052AC - 0.10AD - 0.042CD - 0.18A^2 - 0.76C^2 - 0.28D^2$ โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ ปริมาณของแฉังที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 16.73 องศาบริกซ์ ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.84 และความเข้มข้นของยีสต์สกัดเท่ากับ 8.78 กรัมต่อลิตร โดยได้ชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 2.95 กรัมต่อลิตร และการศึกษาการผลิตชีวมวล ยีสต์ในถังหมักขนาด 5 ลิตร พบว่าอัตราการให้อากาศมีอิทธิพลต่อการผลิตชีวมวลยีสต์โดยที่ อัตราการให้อากาศ 1.0 วีวีเอ็ม (vvm) มีน้ำหนักชีวมวลยีสต์สูงสุด และอัตราการผลิตชีวมวล

ยีสต์สูงสุดมากกว่าที่อัตราการให้อากาศ 0.5 วีวีเอ็ม ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าแบบหุ้ Logistic และแบบหุ้ประยุกต์ของ Gompertz สามารถใช้ในการเลียนแบบการเจริญของยีสต์ในเศษน้ำย่อยแบ่งได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: เศษน้ำย่อยแบ่ง ชีวมวลยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* อัตราการให้อากาศ แบบหุ้ทางคณิตศาสตร์

ABSTRACT

The aim of this research was to study the utilization of starch hydrolyzed waste (SHW) from glucose manufacturing as a raw material for producing yeast biomass *Saccharomyces cerevisiae*. Moreover, aeration rate of the yeast cultivation in fermenter scale was investigated. The result showed that total soluble solids, pH, and yeast extract affected to biomass production from SHW significantly. In addition, the quadratic equation for predicting the optimum condition was $Biomass (g/L) = 2.38 + 0.36A + 1.13C - 0.021D + 0.052AC - 0.10AD - 0.042CD - 0.18A^2 - 0.76C^2 - 0.28D^2$. The optimum condition was total soluble solids, pH, and yeast extract for 16.73 °Brix, 4.84, and 8.78 g/L, respectively. Under this condition, the highest biomass was obtained for 2.95 g/L of shaking flask scale. Biomass production in 5-L fermenter demonstrated that the aeration rate influenced the biomass production. The maximum biomass and maximum biomass production rate at 1.0 vvm were higher than at 0.5 vvm for 10% and 75% approximately, respectively. Furthermore, experimental result denoted that the Logistic model and modified Gompertz model could simulate the growth of yeast in SHW as well.

Keywords: Starch hydrolyzed waste, Yeast biomass, *Saccharomyces cerevisiae*, Aeration rate, Mathematical modeling

บทนำ

ยีสต์สปีชีส์ *Saccharomyces cerevisiae* เป็นยีสต์ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เอทานอล และโปรไบโอติก (Capozzi et al., 2015; Nuanpeng et al., 2018; Pinpimai et al., 2015) เนื่องจากมีความปลอดภัย และสามารถเพาะเลี้ยงในระดับขยายขนาดได้ง่าย (Fadel et al., 2017) นอกจากนี้ยังมีการนำชีวมวลของ *S. cerevisiae*

มาใช้เป็นอาหารคนและอาหารสัตว์ โดยผลิตเป็นสารสกัดจากยีสต์ สารเพิ่มรสชาติในอาหาร และโปรตีนเซลล์เดี่ยว (Najafpour, 2015) และในด้านสิ่งแวดล้อมมีการนำชีวมวลของยีสต์มาใช้ในการกำจัดโลหะหนักเนื่องจากผนังของเซลล์ยีสต์มีสารฟอสโฟแมนแนน (Phosphomannan) เป็นส่วนประกอบ และยังพบหมู่คาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล เอมีน ฟอสเฟต ไฮโดรซัลไฟด์ ที่โปรตีนบริเวณผนังเซลล์ซึ่งสามารถจับกับโลหะชนิด Double Valence ได้ (Veglio' & Beolchini, 1997; Zou et al., 2006)

อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยในการเป็นสินค้าส่งออก ปัจจุบันมีโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังจำนวนมากที่มีการผลิตรวมหลายล้านตันต่อปี (Pilot Plant Development and Training Institute, 2003) ในปัจจุบันมีการนำแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ (Starch-Based Product) โดยกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์ เช่น มอลโตเดกซ์ทริน น้ำตาลมอลโตส และน้ำตาลกลูโคส เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม โดยในระหว่างกระบวนการผลิตนั้นจะมีเศษน้ำย่อยแป้งที่เหลือจากกระบวนการผลิตปล่อยลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อบำบัดต่อไป ทั้งนี้เศษน้ำย่อยแป้งดังกล่าวยังมีองค์ประกอบที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเพาะเลี้ยงยีสต์เพื่อผลิตชีวมวลได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเพาะเลี้ยงยีสต์ในแหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกันยีสต์ก็จะมี การเจริญเติบโตและผลิตชีวมวลได้แตกต่างกัน (Ferreira et al., 2010; Li et al., 2009; Taccari et al., 2012) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยหลายชนิดที่ส่งผลต่อการเจริญของยีสต์ เช่น แหล่งไนโตรเจน ความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ และการให้อากาศ เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงยีสต์เพื่อให้ยีสต์สามารถเจริญเติบโตและผลิตชีวมวลได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงยีสต์โดยใช้เศษน้ำย่อยแป้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนหลัก เพื่อลดภาระของระบบบำบัดน้ำเสีย และเพิ่มมูลค่าของของเหลือจากกระบวนการผลิต และนำแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) มาใช้เลียนแบบ (Simulation) การเจริญของยีสต์ (Dodic et al., 2012; Zajšek & Goršek, 2010) เพื่ออธิบายพฤติกรรม การเจริญเติบโตของยีสต์ในเศษน้ำย่อยแป้ง

วิธีการ

1. ยีสต์ที่ใช้ในการศึกษา

Saccharomyces cerevisiae var. *montache*

2. การเตรียมวัตถุดิบ

นำเศษน้ำย่อยแป้งจากกระบวนการแปรรูปแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์จากบริษัท ดับเบิลยูจีซี จำกัด (WGC Co., Ltd) อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม มาปั่นเหวี่ยง

แยกกากแบ่งที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที เก็บส่วนใสไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดลองถัดไป

3. การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตชีวมวลยีสต์ด้วยการหมักแบบเบดเสรี ในเศษน้ำย่อยแบ่ง

เพาะเลี้ยงยีสต์ในอาหารเลี้ยงกล้าเชื้อ YM Broth โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายยีสต์ที่ได้ลงในเศษน้ำย่อยแบ่งที่ปลอดเชื้อ ซึ่งแปรผันปัจจัยทางเคมีและกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยวางแผนการทดลองแบบ Plackett-Burman Design (PBD) (ตารางที่ 2) (Zhou et al., 2011) ทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 72 ชั่วโมงและเก็บตัวอย่างมาวัดค่าความขุ่น (Optical Density; OD) ที่ 600 นาโนเมตร นำค่ามาคำนวณเป็นน้ำหนักรวมชีวมวลยีสต์ด้วยสมการ Biomass (g/L) = $OD_{600nm} / 1.736$ ซึ่งได้มาจากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและน้ำหนักรวมชีวมวลยีสต์ ($R^2 = 0.9930$) และคำนวณค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม Design Expert Version 7.0 คัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของยีสต์อย่างมีนัยสำคัญ เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนั้นในการทดลองถัดไป

4. การศึกษาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของยีสต์

เพาะเลี้ยงกล้าเชื้อยีสต์ในอาหาร YM Broth ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายยีสต์ลงในเศษน้ำย่อยแบ่งที่ฆ่าเชื้อแล้ว ซึ่งแปรผันปัจจัยต่าง ๆ ดังตารางที่ 3 โดยวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design (BBD) (Aslan & Cebeci, 2007) เมื่อสิ้นสุดการเพาะเลี้ยงที่ 72 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณชีวมวลยีสต์ และสร้างแบบพหุนาม (Model) ด้วยสมการ Polynomial Quadratic Equation และนำสมการมาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงยีสต์ต่อไป

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลต่อการเจริญของยีสต์

Variables	Symbol	Experimental value	
		Low value (-1)	High value (+1)
Total Soluble Solids (°Brix)	A	15	28
Ammonium Sulfate (g/L)	B	0	5
pH	C	3.0	5.0
Yeast Extract (g/L)	D	0	5
Shaking Rate (rpm)	E	100	200
Inoculums Size (% , v/v)	G	5	10
Temperature (°C)	H	25	30
Dummy	F, I, J, K	-1	1

ตารางที่ 2 แผนการทดลองแบบ PBD และการผลิตชีวมวลยีสต์ที่แปรรูปปัจจัยด้วย PBD

Run	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Biomass (g/L)
1	28	5	3.0	5	200	1	5	25	-1	1	-1	1.751
2	15	5	5.0	0	200	1	10	25	-1	-1	1	1.926
3	28	0	5.0	5	100	1	10	30	-1	-1	-1	2.219
4	15	5	3.0	5	200	-1	10	30	1	-1	-1	0.668
5	15	0	5.0	0	200	1	5	30	1	1	-1	0.381
6	15	0	3.0	5	100	1	10	25	1	1	1	0.776
7	28	0	3.0	0	200	-1	10	30	-1	1	1	0.586
8	28	5	3.0	0	100	1	5	30	1	-1	1	0.763
9	28	5	5.0	0	100	-1	10	25	1	1	-1	0.583
10	15	5	5.0	5	100	-1	5	30	-1	1	1	1.613
11	28	0	5.0	5	200	-1	5	25	1	-1	1	2.644
12	15	0	3.0	0	100	-1	5	25	-1	-1	-1	0.117

F, I, J และ K คือ Dummy 1, Dummy 2, Dummy 3, และ Dummy 4 ตามลำดับ

5. การศึกษาอิทธิพลของการให้อากาศต่อการผลิตชีวมวลของยีสต์ในถังหมัก 5 ลิตร ถ่ายกล้ำเชื้อปริมาตร 400 มิลลิลิตร ลงในเศษน้ำย่อยแบ่งที่ปรับองค์ประกอบให้เหมาะสม (พิจารณาจากการศึกษาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของยีสต์) และควบคุมอัตราการให้อากาศที่ 0.5 วีวีเอ็ม หรือ 1.0 วีวีเอ็ม ด้วยอัตราการทวน 400 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างเป็นระยะมาวัดค่าความขุ่น และนำมาคำนวณเป็นน้ำหนักชีวมวลยีสต์

6. การศึกษาจลนพลศาสตร์การเจริญของยีสต์ด้วยแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (Experimental Data) ในถังหมักมาประมาณค่าจลนพลศาสตร์ของยีสต์ด้วยวิธีการหาเส้นโค้งที่เหมาะสม (Curve Fitting) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (Maximum Specific Growth Rate, $\mu_{\max}$) เพื่ออธิบายการเจริญของยีสต์ด้วยแบบหุ่นโลจิสติก (Logistic Model) (สมการ (1) และ (2)) (Zajšek & Goršek, 2010) และศึกษาอัตราการผลิตชีวมวลสูงสุด (Maximum Biomass Productivity, $r_{\max}$) เพื่ออธิบายอัตราการผลิตชีวมวลด้วยแบบหุ่นประยุกต์ของ Gompertz (Modified Gompertz Model) (Dodic et al., 2012) (สมการ (3)) โดยทำการประมาณค่า $\mu_{\max}$ และ $r_{\max}$ ที่เหมาะสมด้วยฟังก์ชัน (Function) Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel (Version 2016)

ตารางที่ 3 การวางแผนทดลองแบบ BBD และผลการผลิตชีวมวลยีสต์จากแผนการทดลองแบบ BBD

Run	°Brix (A)	pH (C)	Yeast Extract (g/L) (D)	Biomass (g/L)
1	21.5 (0)	3.0 (-1)	0 (-1)	0.257
2	21.5 (0)	3.0 (-1)	10 (+1)	0.303
3	21.5 (0)	5.0 (+1)	0 (-1)	2.470
4	21.5 (0)	5.0 (+1)	10 (+1)	2.347
5	15 (-1)	4.0 (0)	0 (-1)	1.243
6	15 (-1)	4.0 (0)	10 (+1)	1.398
7	28 (+1)	4.0 (0)	0 (-1)	2.652
8	28 (+1)	4.0 (0)	10 (+1)	2.405
9	15 (-1)	3.0 (-1)	5 (0)	0.182
10	15 (-1)	5.0 (+1)	5 (0)	2.487
11	28 (+1)	3.0 (-1)	5 (0)	0.308
12	28 (+1)	5.0 (+1)	5 (0)	2.822
13	21.5 (0)	4.0 (0)	5 (0)	2.484
14	21.5 (0)	4.0 (0)	5 (0)	2.302
15	21.5 (0)	4.0 (0)	5 (0)	2.459
16	21.5 (0)	4.0 (0)	5 (0)	2.234
17	21.5 (0)	4.0 (0)	5 (0)	2.425

(-1) คือ ระดับต่ำ (0) คือ ระดับกลาง และ (+1) คือ ระดับสูง

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \left(1 - \frac{X}{X_{\max}}\right) X \quad (1)$$

$$X = \frac{X_0 \exp(\mu_{\max} t)}{1 - \left[\left(\frac{X_0}{X_{\max}}\right)(1 - \exp(\mu_{\max} t))\right]} \quad (2)$$

$$X = X_0 + \left[X_{\max} \cdot \exp \left[-\exp \left(\frac{r_{\max} \cdot \exp(1)}{X_{\max}} \right) (t_L - t) + 1 \right] \right] \quad (3)$$

เมื่อ	X	คือ	น้ำหนักชีวมวลยีสต์ (กรัมต่อลิตร)
	X_0	คือ	น้ำหนักชีวมวลยีสต์เริ่มต้น (กรัมต่อลิตร)
	$X_{\max}$	คือ	น้ำหนักชีวมวลยีสต์สูงสุด (กรัมต่อลิตร)
	$\mu_{\max}$	คือ	อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (ต่อชั่วโมง)
	$r_{\max}$	คือ	อัตราการผลิตชีวมวลยีสต์สูงสุด (กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง)
	t_L	คือ	ระยะเวลาพักตัว (ชั่วโมง)
	t	คือ	ระยะเพาะเลี้ยง (ชั่วโมง)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การคัดเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญของยีสต์ที่เพาะเลี้ยงในเศษน้ำย่อยแบ่ง
การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ที่เพาะเลี้ยงในเศษน้ำย่อย
แบ่งด้วยการวางแผนการทดลองแบบ PBD โดยมีปัจจัยที่ศึกษาทั้งหมด 7 ปัจจัย ผลการทดลอง
แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า การเพาะเลี้ยงยีสต์ในสภาวะที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อการเจริญเติบโต
ของยีสต์โดยสภาวะที่สามารถผลิตชีวมวลยีสต์ได้สูงที่สุด และต่ำที่สุดคือการทดลองที่ 11 และ 12
ตามลำดับ ซึ่งสามารถผลิต ชีวมวลยีสต์ได้เท่ากับ 2.644 กรัมต่อลิตร และ 0.117 กรัมต่อลิตร
ตามลำดับ จากงานวิจัยที่ผ่านมารายงานว่า การเพาะเลี้ยงยีสต์ด้วยปัจจัยที่แตกต่างกันจะส่งผล
ต่อกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์ยีสต์ต่างกันทำให้ยีสต์มีการเจริญเติบโตแตกต่างกัน
(Trigueros et al., 2016) และผลการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อการผลิตชีวมวลของยีสต์
เมื่อเพาะเลี้ยงด้วยเศษน้ำย่อยแบ่ง โดยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)
(ตารางที่ 4) พบว่า ปัจจัยปัจจัยแต่ละชนิดมีอิทธิพลต่อการผลิตชีวมวลของยีสต์แตกต่างกัน
เมื่อพิจารณาทางสถิติพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตชีวมวลของยีสต์สูงที่สุดคือ ความเข้มข้น
ของยีสต์สกัด (D) รองลงมาคือ ความเป็นกรดต่าง (C) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด
(A) ตามลำดับ โดยปัจจัยทั้งสามชนิดมีค่า สัมประสิทธิ์ (Coefficient) เท่ากับ 0.99 0.87 และ

0.57 ตามลำดับ และคิดเป็นสัดส่วนของอิทธิพล (Contribution) ที่มีต่อการผลิตชีวมวลยีสต์ เท่ากับ 31.95% 25.03% และ 10.62% ตามลำดับ

ตารางที่ 4 การศึกษาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อการผลิตชีวมวลยีสต์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย

Variables	Coefficients	Computed <i>t</i> -value	<i>p</i> -value	Contribution (%)
A	0.57	1.462	0.262	10.62*
B	0.11	0.282	0.817	0.38
C	0.87	2.231	0.115	25.03*
D	0.99	2.538	0.086	31.95*
E	0.35	0.897	0.467	4.02
G	-0.095	-0.244	0.838	0.29
H	-0.29	-0.744	0.541	2.78

*Independent variables which were selected for Box-Behnken Experimental Design.

ยีสต์สกัดเป็นแหล่งอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic Nitrogen Source) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงยีสต์ได้เนื่องจากมีกรดอะมิโน เปปไทด์ วิตามิน และเกลืออนินทรีย์เป็นองค์ประกอบ โดยยีสต์สามารถนำไปใช้ในกระบวนการสร้างโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์ และเอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายในเซลล์ยีสต์ (Li et al., 2017) ดังนั้นเมื่อมีการเติมยีสต์สกัดลงไปในเศษน้ำย่อยแบ่งมากขึ้น ยีสต์จึงสามารถเจริญเติบโตและผลิตชีวมวลได้มากขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษานี้ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของยีสต์สกัดมีอิทธิพลในทางบวก (Positive Effect) ต่อการผลิตชีวมวลของยีสต์

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงยีสต์พบว่าอิทธิพลในทางบวก (Positive Effect) (ตารางที่ 4) ซึ่งชีวมวลของยีสต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรดต่างของอาหารเพิ่มขึ้นจาก 3.0 เป็น 5.0 โดยระดับความเป็นกรดต่างของอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงยีสต์มีความสัมพันธ์กับปริมาณไฮโดรเจนไอออน (H ion) หรือโปรตอน (Proton) ซึ่งควบคุมความเข้มข้นของไฮโดรเจนภายในเซลล์ และความสามารถในการซึมผ่านเซลล์ของสารต่าง ๆ (Cell Permeability) โดยทั่วไปยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียในสภาวะการเพาะเลี้ยงที่เป็นกรด ทำให้มีโอกาสเกิดการปนเปื้อนในระหว่างการเพาะเลี้ยงยีสต์น้อย (Limtong, 2006) ความเป็นกรดต่างของอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงยีสต์ยังมีบทบาทสำคัญ

ต่อกิจกรรมของเอนไซม์ Glucose-6-Phosphate-Dehydrogenase (G6PDH) ในวิถีไกลโคไลซิส (Glycolysis) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการผลิตชีวมวลของยีสต์ *S. cerevisiae* (Trigueros et al., 2016) เศษน้ำย่อยแบ่งที่เหลือจากการผลิตน้ำตาลมีน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเศษน้ำย่อยแบ่งจากกระบวนการผลิตดังกล่าวมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด อยู่ในช่วงประมาณ 25 - 28 องศาบริกซ์ คิดเป็นความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสประมาณ 180 - 200 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณของแข็งชนิดอื่นอยู่ประมาณ 70 - 80 กรัมต่อลิตร จากองค์ประกอบนี้เศษน้ำย่อยแบ่งจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเพาะเลี้ยงยีสต์ เนื่องจาก *S. cerevisiae* สามารถเมตาบอไลต์ (Metabolite) น้ำตาลกลูโคส ในการเจริญเติบโตได้ดี (Limtong, 2006) สอดคล้องกับผลการทดลองนี้ซึ่งพบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเศษน้ำย่อยแบ่งมีอิทธิพลต่อการผลิตชีวมวลของยีสต์รองจากระดับความเป็นกรดต่างและยีสต์สกัด

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอิทธิพลของแอมโมเนียมซัลเฟต อัตราการเขย่า ปริมาณ กล้าเชื้อ และอุณหภูมิ ในช่วงที่ทำการทดลอง (Experimental Level) พบว่ามีอิทธิพลต่อการผลิตชีวมวลยีสต์น้อยกว่ายีสต์สกัด ความเป็นกรดต่าง (pH) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยมีสัดส่วนของอิทธิพลเท่ากับ 0.38 4.02 0.29 และ 2.78 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกยีสต์สกัด ความเป็นกรดต่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มาศึกษา ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในการทดลองถัดไป

2. การศึกษาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของยีสต์

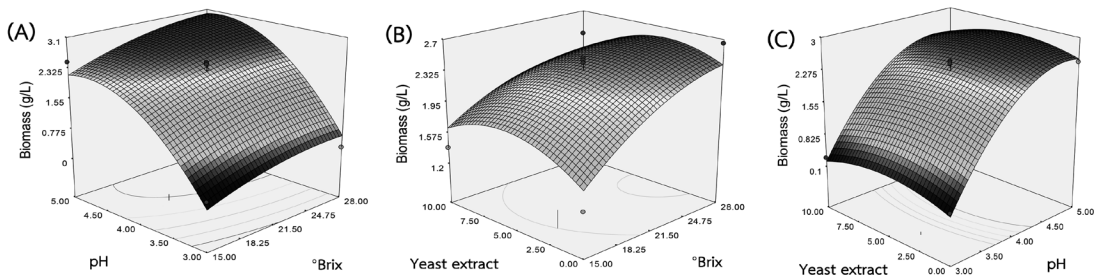
การออกแบบการทดลองแบบ BBD ใช้เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย ที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ ผลการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรดต่าง และความเข้มข้นของยีสต์สกัดที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญของยีสต์ โดยสภาวะที่สามารถผลิตชีวมวลยีสต์ได้น้อยที่สุด และสูงที่สุดคือการทดลองที่ 9 และ 12 โดยมีปริมาณชีวมวลยีสต์เท่ากับ 0.182 กรัมต่อลิตร และ 2.822 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลตามแผนการทดลองของ BBD โดยใช้สมการกำลังสอง (Quadratic Equation) เป็นแบบหุนเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตกับการสร้างชีวมวลของยีสต์จะได้ดังสมการที่ (4)

$$\begin{aligned} \text{ชีวมวลยีสต์ (กรัมต่อลิตร)} = & 2.38 + 0.36A + 1.13C - 0.021D + 0.052AC \\ & - 0.10AD - 0.042CD - 0.18A^2 - 0.76C^2 \\ & - 0.28D^2 \end{aligned} \quad (4)$$

เมื่อ A C และ D คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรดต่าง และความเข้มข้นของยีสต์สกัด ตามลำดับ

นอกจากนี้แบบจำลองของสมการที่ (4) (รูปที่ 1A-1C) สามารถนำไปใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงยีสต์เพื่อผลิตชีวมวลได้ โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 16.73 องศาบริกซ์ ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.84 และความเข้มข้นของยีสต์สกัดเท่ากับ 8.78 กรัมต่อลิตร ให้ค่าชีวมวลของยีสต์เท่ากับ 2.950 กรัมต่อลิตร จึงนำสภาวะดังกล่าวมาเตรียมสื่อน้ำย่อยแบ่งเพื่อศึกษาอิทธิพลของการให้อากาศต่อการผลิตชีวมวลของยีสต์ในระดับถึงหมักขนาด 5 ลิตรต่อไป

3. การศึกษาอิทธิพลของการให้อากาศต่อการผลิตชีวมวลของยีสต์ในถังหมัก 5 ลิตร การเจริญของยีสต์ในถังหมักที่มีอัตราการให้อากาศเท่ากับ 0.5 และ 1.0 วีวีเอ็ม แสดงดังรูปที่ 2(A) ผลการทดลองพบว่าการเจริญของยีสต์ที่อัตราการให้อากาศ 0.5 วีวีเอ็ม จะมีอัตราการเจริญเติบโตในช่วง Log phase ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 ถึง ชั่วโมงที่ 72 ของการเพาะเลี้ยงก่อนเข้าสู่ระยะคงที่ (Stationary phase) ในขณะที่อัตราการให้อากาศ 1.0 วีวีเอ็ม เซลล์มีการเจริญเข้าสู่ช่วง Log phase ในชั่วโมงที่ 4 ถึง ชั่วโมงที่ 36 และยังพบว่าที่อัตราการให้อากาศ 0.5 วีวีเอ็ม ยีสต์การเจริญเติบโตได้ช้ากว่าที่ 1.0 วีวีเอ็ม โดยมีการผลิตชีวมวลยีสต์เท่ากับ 6.11 (ที่ 72 ชั่วโมง) และ 6.13 (ที่ 36 ชั่วโมง) ตามลำดับ แสดงว่าการให้อากาศมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ได้ โดยอัตราการให้อากาศที่ระดับต่ำมีผลทำให้เกิดการละลายของออกซิเจนในอาหารเพาะเลี้ยงต่ำทำให้ยีสต์เจริญเติบโตได้น้อยกว่าสภาวะที่มีอัตราการให้อากาศสูง ดังนั้นการเพิ่มอัตราการให้อากาศ จะสามารถเพิ่มอัตราการสร้างชีวมวลยีสต์ได้มากขึ้น (Yen & Liu, 2014) และยังมีการศึกษาอิทธิพลของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในอาหารเลี้ยงเชื้อ (Dissolve Oxygen, DO) ต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ *Candida utilis* ที่อัตราการให้อากาศ 1.0 วีวีเอ็ม พบว่า เมื่อค่า DO เพิ่มขึ้นอัตราการผลิตชีวมวลของยีสต์ *C. utilis* ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และอัตราการผลิตชีวมวลของ *C. utilis* ไม่เพิ่มขึ้นเมื่อค่า DO มากกว่า 50% เนื่องจากที่อัตราการให้อากาศดังกล่าวเพียงพอต่อการผลิต Crude Protein ของเซลล์ทำให้เซลล์ไม่เพิ่มขึ้นเมื่อให้ DO ในระดับที่เกินพอ (Excess Level) (Rajoka et al., 2006) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการเพาะเลี้ยง *S. cerevisiae* ด้วยไฮโดรไลเซตของเปลือกผลไม้แห้ง (Hydrolysate of Empty Fruit Bunch) โดยพบว่าในสภาวะที่มีการให้อากาศ 0.5 วีวีเอ็ม ยีสต์จะเจริญเติบโตสูงกว่าสภาวะที่ไม่มีการให้อากาศ และที่อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1.0 วีวีเอ็ม เซลล์ยีสต์จะมีการเจริญเติบโตเข้าสู่ช่วง Stationary Phase เร็วกว่าที่อัตราการให้อากาศ 0.5 วีวีเอ็ม และให้ชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 1.04 กรัมต่อลิตร (Hermansyah et al., 2015) จากการวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการให้อากาศในระดับที่เหมาะสมจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของยีสต์ทำให้ยีสต์สร้างชีวมวลได้สูง และการให้อากาศมากเกินไปไม่ได้ช่วยส่งเสริมการผลิตชีวมวลของยีสต์ และยังเพิ่มต้นทุนการดำเนินการระบบการให้อากาศอีกด้วย

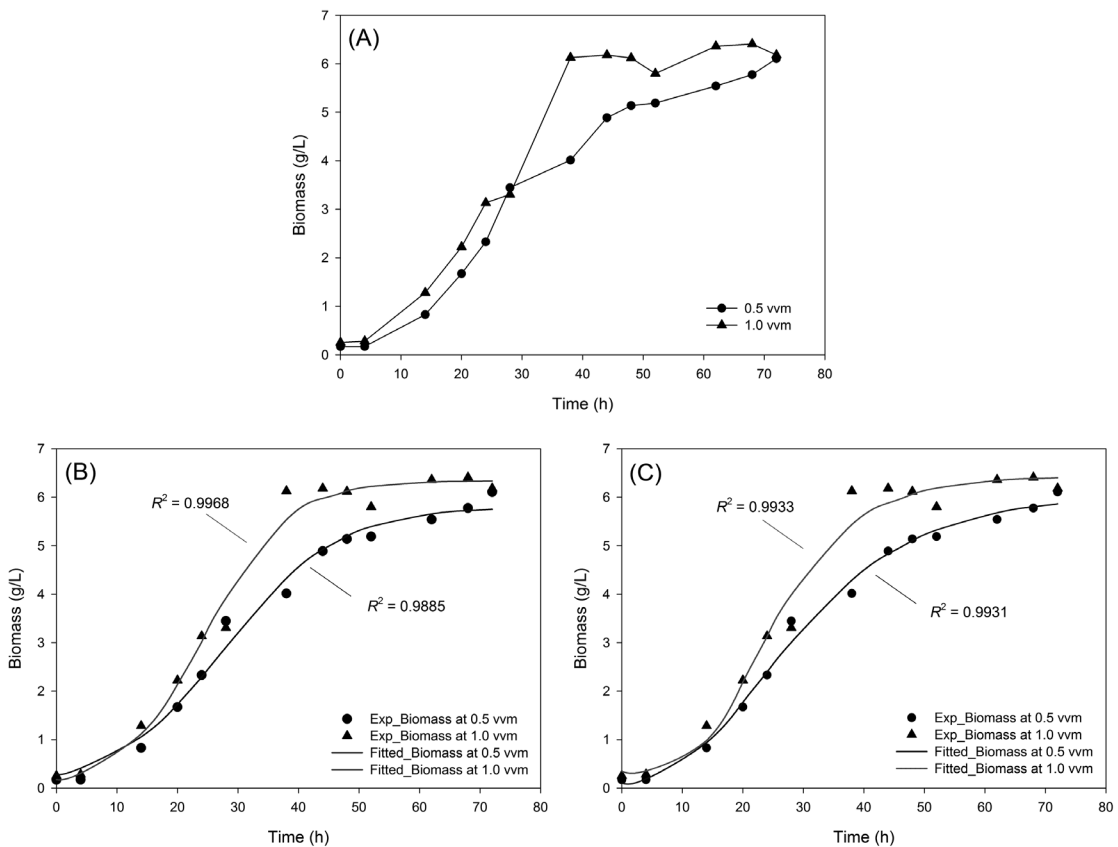


รูปที่ 1 อิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อการผลิตชีวมวลยีสต์

(A) ความเป็นกรดต่างและปริมาณของแข็งที่ละลายได้

(B) ยีสต์สกัดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และ

(C) ยีสต์สกัดและความเป็นกรดต่าง



รูปที่ 2 (A) การเจริญเติบโตของยีสต์ในถังหมักขนาด 5 ลิตร

(B) การเลียนแบบการเจริญของยีสต์ด้วยแบบหุ่น Logistic และ

(C) การเลียนแบบด้วยแบบหุ่นประยุกต์ของ Gompertz

4. การศึกษาจลนพลศาสตร์การเจริญของยีสต์ด้วยแบบหุ่ทางคณิตศาสตร์

ผลการเลียนแบบการเจริญของยีสต์ด้วยแบบหุ่ทางคณิตศาสตร์ได้แก่ แบบหุ่ Logistic และ แบบหุ่ประยุกต์ของ Gompertz แสดงดังรูปที่ 2(B) และ 2(C) และค่าจลนพลศาสตร์การเจริญของยีสต์จากแบบหุ่ดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 5 ผลการทดลองพบว่าแบบหุ่ทั้งสองแบบสามารถเลียนแบบการเจริญของยีสต์ได้เป็นอย่างดี โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย (Coefficient of Determination, R^2) มากกว่า 0.98 แสดงว่าแบบหุ่ทั้งสองสามารถเลียนแบบการเจริญของยีสต์ และประมาณค่าจลนพลศาสตร์ได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองจริงมาก เมื่อพิจารณาน้ำหนักชีวมวลยีสต์สูงสุด ($x_{\max}$) และอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด ($\mu_{\max}$) พบว่าที่อัตราการให้อากาศ 1.0 วีวีเอ็ม ยีสต์มีค่า $x_{\max}$ และ $\mu_{\max}$ สูงกว่าที่อัตราการให้อากาศ 0.5 วีวีเอ็ม โดยการประมาณค่า $x_{\max}$ ที่อัตราการให้อากาศ 0.5 วีวีเอ็ม และ 1.0 วีวีเอ็ม ด้วยแบบหุ่ Logistic พบว่ามีค่าเท่ากับ 5.802 กรัมต่อลิตร และ 6.362 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ $\mu_{\max}$ มีค่าเท่ากับ 0.108 ต่อชั่วโมง และ 0.164 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาการประมาณค่า $x_{\max}$ ด้วยแบบหุ่ประยุกต์ของ Gompertz ก็พบว่าให้ผลคล้ายคลึงกัน และจากแบบหุ่ดังกล่าวยังพบว่า ยีสต์มีอัตราการผลิตชีวมวลสูงสุด ($r_{\max}$) เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการให้อากาศสูงขึ้น โดยมีค่า ($r_{\max}$) เท่ากับ 0.157 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง และ 0.274 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และพบว่าแบบหุ่ทางคณิตศาสตร์ทั้งสองแบบสามารถอธิบายประสิทธิภาพการผลิตชีวมวลได้สอดคล้องกัน ซึ่งสนับสนุนว่าอัตราการให้อากาศส่งผลต่อการเจริญเติบโตของยีสต์

อย่างไรก็ตามเพื่อพิจารณาระยะเวลาพักตัว (t_L) ของยีสต์ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตก่อนเข้าสู่ช่วง Log phase พบว่าเมื่ออัตราการให้อากาศสูงขึ้นยีสต์จะมีระยะเวลาในการพักตัวมากขึ้น ซึ่งที่อัตราการให้อากาศ 0.5 วีวีเอ็ม และ 1.0 วีวีเอ็ม มีค่าเท่ากับ 9.20 ชั่วโมง และ 12.84 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อพ่นอากาศเข้าสู่ถังหมักด้วยอัตราการไหลที่สูงเกินไปในช่วงแรก จะทำให้ระยะเวลาของอากาศที่ถูกกับเก็บเอาไว้ภายในถังหมักสั้นลงเพราะอากาศเคลื่อนที่ออกจากถังหมักอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อัตราการแพร่ของออกซิเจนไปยังจุลินทรีย์น้อย แต่หลังจากนั้นอัตราการละลายของออกซิเจนในอาหารเลี้ยงเชื้อจะสูงขึ้น (Doran, 2013) ทำให้อัตราการเจริญจำเพาะและอัตราการผลิตชีวมวลของยีสต์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้หากต้องการให้ออกซิเจนละลายในอาหารเลี้ยงเชื้อมากขึ้นควรเพิ่มอัตราการกวนผสมของถังหมักด้วย

เมื่อเปรียบเทียบการใช้เศษน้ำย่อยแป้งเป็นแหล่งคาร์บอนในการเพาะเลี้ยงยีสต์กับของเสียชนิดอื่น (ตารางที่ 6) พบว่า ยีสต์สามารถผลิตชีวมวลในวัตถุดิบแต่ละชนิดได้แตกต่างกันโดยยีสต์สามารถผลิตชีวมวลในน้ำเสียจากการย่อยไม้ไผ่ (Bamboo Wastewater) (Li et al., 2009) ที่เหลือจากการทำกระดาศ และ Hydrolyzed Cheese Whey Permeates (Trigueros et al., 2016) ได้เท่ากับ 14.67 และ 8.20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการใช้เศษน้ำย่อยแป้งเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากเซลลูโลส (Cellulose) ในน้ำเสียจากการย่อยไม้ไผ่

ตารางที่ 5 ค่าจลนพลศาสตร์การเจริญของยีสต์ที่ได้จากแบบหุ่นทางคณิตศาสตร์

Parameters	Logistic model		Modified Gompertz model	
	0.5 vvm	1.0 vvm	0.5 vvm	1.0 vvm
X_0 (g/L)	0.273	0.130	0.070	0.353
$X_{\max}$ (g/L)	5.802	6.362	5.972	6.070
$\mu_{\max}$ (1/h)	0.108	0.164	NC	NC
$r_{\max}$ (g/Lh)	NC	NC	0.157	0.274
t_L (h)	NC	NC	9.20	12.84
R^2	0.9885	0.9968	0.9931	0.9933

NC = Not calculated

ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) ทำให้มีปริมาณน้ำตาลกลูโคส และไซโลสเพิ่มขึ้น โดยมีความเข้มข้นเท่ากับ 15.58 และ 21.64 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่สารละลาย Hydrolyzed Cheese Whey Permeates ซึ่งผ่านกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์เบต้า-กาแลคโตซิเดส (β -galactosidase) มีน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลกาแลคโตสรวมกันเท่ากับ 180 กรัมต่อลิตร ยีสต์จึงสามารถเจริญเติบโตในวัตถุดิบดังกล่าวได้ดีและผลิตชีวมวลได้สูง ในขณะที่เศษน้ำย่อยแป้งมีน้ำตาลกลูโคสอยู่ที่เท่ากับ 118.57 กรัมต่อลิตร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เปลือกผลไม้แห้ง (Empty Fruit Bunch Lignocellulosic Hydrolysate) ที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส มีความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 14.7 กรัมต่อลิตร (Hermansyah et al., 2015) ซึ่งน้อยกว่าในวัตถุดิบชนิดอื่นจึงทำให้ยีสต์ผลิตชีวมวลได้น้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม นอกจากแหล่งคาร์บอนที่มีในวัตถุดิบแล้ว จะต้องคำนึงถึงธาตุอาหารชนิดอื่นที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของยีสต์ได้อีกด้วย จากงานวิจัยนี้เห็นได้ว่าองค์ประกอบของวัตถุดิบมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการผลิตชีวมวลยีสต์ ดังนั้นควรมีการย่อยหรือปรับสภาพของวัตถุดิบด้วยกระบวนการที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงยีสต์ต่อไป

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบการผลิตชีวมวลยีสต์โดยใช้ของเหลือชนิดต่าง ๆ มาเป็นวัตถุดิบ

Carbon Source	Optimized Variable	Biomass (g/L)	References
1. Bamboo Wastewater	Initial pH 6.1, Fermentation Time 69 h and Yeast Extract 1.17 g/L	14.67	Li et al., 2009
2. Hydrolyzed Cheese Whey Permeates	(NH ₄) ₂ SO ₄ 1.93 g/L, MgSO ₄ 0.04 g/L, KH ₂ PO ₄ 0.06 g/L and Hydrolyzed CWP 40 g/L	8.20	Trigueros et al., 2016
3. Empty Fruit Bunch Lignocellulosic Hydrolysate	Temperature 30°C, Fermentation Time 24 h and Aeration Rate 1.0 vvm	1.04	Hermansyah et al., 2015
4. Starch Hydrolysate Waste	Total Soluble Solid 16.73°Brix, pH 4.84, Yeast Extract 8.78 g/L and Aeration Rate 1.0 vvm	6.13	This Study

สรุป

จากการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (A) ค่าความเป็นกรดต่าง (C) และสารสกัดจากยีสต์ (D) มีอิทธิพลต่อการผลิตชีวมวลยีสต์สูงสุด โดยสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตชีวมวลยีสต์คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 16.73 องศา บริกซ์ ความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 4.84 และสารสกัดจากยีสต์ เท่ากับ 8.78 กรัมต่อลิตร โดยสามารถผลิต ชีวมวลได้สูงสุดเท่ากับ 2.95 กรัมต่อลิตร และสามารถสร้างสมการกำลังสองได้ดังสมการที่ (4) ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9624 จากการศึกษา ยังพบว่าอัตราการให้อากาศมีอิทธิพลต่ออัตราการผลิตชีวมวลยีสต์ในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยที่อัตราการให้อากาศ 1.0 วีวีเอ็ม มีน้ำหนักรวมชีวมวลยีสต์ และอัตราการผลิตชีวมวลยีสต์สูงสุด ซึ่งสูงกว่าอัตราการให้อากาศ 0.5 วีวีเอ็ม เท่ากับ 10 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าแบบหุ่นของ Logistic และ แบบหุ่นประยุกต์ของ Gompertz สามารถใช้ในการเลียนแบบการเจริญของยีสต์ในถังหมักได้เป็นอย่างดี และข้อมูลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการและเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้แป้งเป็นวัตถุดิบได้ และยังช่วยลดภาระการกำจัดของเหลือทิ้งได้อีกทางหนึ่ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ดับเบิ้ลยูจีซี จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เศษน้ำย่อยแบ่งสำหรับการวิจัยนี้ ขอขอบคุณสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่อนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Aslan, N. & Cebeci, Y. (2007). Application of Box-Behnken design and response surface methodology for modeling of some Turkish coals. **Fuel**. 86(1-2), 90–97.
- Capozzi, V., Garofalo, C., Chiriatti, M. A., Grieco, F. & Spano, G. (2015). Microbial terroir and food innovation: The case of yeast biodiversity in wine. **Microbiological Research**. 181, 75-83.
- Dodic, J. M., Vucurovic, D. G., Dodic, S. N., Grahovac, J. A., Popov, S. D. & Nedeljkovic, N. M. (2012). Kinetic modelling of batch ethanol production from sugar beet raw juice. **Applied Energy**. 99, 192-197.
- Doran, P. M. (2013). **Bioprocess engineering principles**. 2nd edition. Amsterdam: Academic Press.
- Fadel, M., Hassanein, N. M., Elshafei, M. M., Mostafa, A. H., Ahmed, M. A. & Khater, H. M. (2017). Biosorption of manganese from groundwater by biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. **Housing and Building National Research Center Journal**. 13(1), 106-113.
- Ferreira, I. M. P. L. V. O., Pinho, O., Vieira, E. & Tavarela, J. G. (2010). Brewer's *Saccharomyces* yeast biomass: characteristics and potential applications. **Trends in Food Science & Technology**. 21(2), 77-84.
- Hermansyah, H., Putri Wisman, A., Firdaus, D., Arbianti, R., Utami, T. & Kurnia, A. (2015). Effect of aeration and nutrients on *Saccharomyces cerevisiae* cultivation using lignocellulosic hydrolysate from empty fruit bunch. **International Journal of Technology**. 6, 1110.
- Li, X., Ouyang, J., Xu, Y., Chen, M., Song, X., Yong, Q. & Yu, S. (2009). Optimization of culture conditions for production of yeast biomass using bamboo wastewater by response surface methodology. **Bioresource Technology**. 100(14), 3613-3617.

- Li, Z., Wang, D. & Shi, Y. C. (2017). Effects of nitrogen source on ethanol production in very high gravity fermentation of corn starch. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**. 70(Supplement C), 229-235.
- Limtong, S. (2006). **Yeasts: Biodiversity and Biotechnology**. Bangkok: KU Press. (in Thai)
- Mathur, G., Mathur, A., Sharma, B. M. & Chauhan, R. S. (2013). Enhanced production of laccase from *Coriolus* sp. using Plackett–Burman design. **Journal of Pharmacy Research**. 6(1), 151-154.
- Najafpour, G. D. (2015). **Biochemical Engineering and Biotechnology**. 2nd edition. Amsterdam: Elsevier.
- Nuanpeng, S., Thanonkeo, S., Klanrit, P. & Thanonkeo, P. (2018). Ethanol production from sweet sorghum by *Saccharomyces cerevisiae* DBKKUY-53 immobilized on alginate-loofah matrices. **Brazilian Journal of Microbiology**, In Press.
- Pilot Plant Development and Training Institute. (2003). **Surveying and collecting data of water utilization and energy in tapioca starch factories**. Thonburi: King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)
- Pinpimai, K., Rodkhum, C., Chansue, N., Katagiri, T., Maita, M. & Pirarat, N. (2015). The study on the candidate probiotic properties of encapsulated yeast, *Saccharomyces cerevisiae* JCM 7255, in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Research in Veterinary Science**. 102, 103-111.
- Rajoka, M. I., Khan, S. H., Jabbar, M. A., Awan, M. S. & Hashmi, A. S. (2006). Kinetics of batch single cell protein production from rice polishings with *Candida utilis* in continuously aerated tank reactors. **Bioresource Technology**. 97(15), 1934-1941.
- Taccari, M., Canonico, L., Comitini, F., Mannazzu, I. & Ciani, M. (2012). Screening of yeasts for growth on crude glycerol and optimization of biomass production. **Bioresource Technology**. 110(0), 488-495.
- Trigueros, D. E. G., Fiorese, M. L., Kroumov, A. D., Hinterholz, C. L., Nadai, B. L. & Assunção, G. M. (2016). Medium optimization and kinetics modeling for the fermentation of hydrolyzed cheese whey permeate as a substrate for *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. **Biochemical Engineering Journal**. 110, 71-83.

- Veglio', F. & Beolchini, F. (1997). Removal of metals by biosorption: a review. **Hydrometallurgy**, 44(3), 301-316.
- Yen, H. W., & Liu, Y. X. (2014). Application of airlift bioreactor for the cultivation of aerobic oleaginous yeast *Rhodotorula glutinis* with different aeration rates. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. 118(2), 195-198.
- Zajšek, K. & Goršek, A. (2010). Modelling of batch kefir fermentation kinetics for ethanol production by mixed natural microflora. **Food and Bioproducts Processing**. 88(1), 55-60.
- Zhou, J., Yu, X., Ding, C., Wang, Z., Zhou, Q., Pao, H. & Cai, W. (2011). Optimization of phenol degradation by *Candida tropicalis* Z-04 using Plackett-Burman design and response surface methodology. **Journal of Environmental Sciences**. 23(1), 22-30.
- Zou, W., Han, R., Chen, Z., Shi, J. & Liu. (2006). Characterization and properties of manganese oxide coated zeolite as adsorbent for removal of Copper(II) and Lead(II) ions from solution. **Journal of Chemical & Engineering Data**. 51(2), 534-541.
-

ISO 50001:2011 (ระบบมาตรฐานระบบการจัดการด้านพลังงาน)

ISO 50001:2001 (ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS)

สยาม อรุณศรีมรกต^{*}

^{*} คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170

Sayam Aroonsrimorikot^{*}

^{*} Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom, 73170.

^{*} E-mail: sayam.aro2560@gmail.com

บทคัดย่อ

มาตรฐาน ISO 50001: 2011 มาตรฐานระบบด้านการจัดการพลังงาน เป็นมาตรฐานสากลตามความสมัครใจที่ถูกพัฒนาโดย ISO (องค์การระหว่างประเทศเพื่อการมาตรฐาน) ให้กับองค์กรที่มีความต้องการสำหรับระบบการจัดการพลังงาน (EnMS) โดยมาตรฐาน ISO 50001: 2011 จะระบุข้อกำหนดสำหรับการสร้างการดำเนินงาน การบำรุงรักษาและการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงาน รวมทั้งปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การประหยัดพลังงาน การใช้พลังงานและปริมาณการใช้โดยมาตรฐาน ISO 50001 จะให้ประโยชน์สำหรับองค์กรขนาดใหญ่และขนาดเล็กทั้งในภาครัฐและเอกชนในการผลิตและการบริการในทุกส่วนภูมิภาคของโลก มาตรฐานฉบับนี้จะสร้างกรอบการทำงานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม การพาณิชย์ สถาบัน สถาน ที่ราชการ และองค์กรที่มีการจัดการพลังงาน การกำหนดเป้าหมายกว้างในภาคเศรษฐกิจของประเทศคาดว่ามาตรฐานฉบับนี้จะสามารถลดการใช้พลังงานของโลกลงให้ได้ประมาณร้อยละ 60 โดย ISO 50001: 2011 นั้นได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้เป็นอิสระสามารถเข้าร่วมกับระบบการจัดการอื่นและมีผลบังคับใช้กับองค์กรที่มีนโยบายด้านพลังงานสอดคล้องกับที่ระบุไว้

คำสำคัญ: ISO 50001: 2011 พลังงาน การจัดการด้านพลังงาน

ABSTRACT

ISO 50001: 2011, Energy management systems standard, is a voluntary standard developed by ISO (International Organization for Standardization) to help organizations that need a standardization for energy management systems (EnMS). The ISO50001: 2011 specifies requirements for establishing, implementing, maintaining and improving an energy management system including improvement of energy performance and energy efficiency, energy use and energy consumption. ISO 50001 provides benefits to both large and small organizations in both the public and private sectors in manufacturing and servicing in all regions of the world. This standard will create a framework for Industrial, Commercial, Institutional and Government office and organizations that have energy management. Targeting broad applicability across national economic sectors, it is expected that this standard will help to reduce global energy use by around 60 percent. ISO50001: 2011 is designed to be independent, compatible with other management systems and it is effective to organizations that have a consistent energy policy.

Keywords: ISO50001: 2011, Energy, Energy Management

บทนำ

มาตรฐาน ISO (International Organization for Standardization) คือ มาตรฐานในระดับสากลระหว่างประเทศ ที่เป็นที่รู้จักและเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางซึ่งมีสมาชิกเป็นตัวแทนที่ดูแลด้านมาตรฐานของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) เป็นตัวแทนทำหน้าที่สมาชิกในองค์กรแห่งนี้ด้วย

วิกฤติพลังงานเป็นประเด็นที่ทั่วโลกให้ความสำคัญเนื่องจากต้นทุนพลังงานปัจจุบันปรับตัวสูงขึ้นและมีแนวโน้มที่พลังงานจะหมดลง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ควบคุมการใช้พลังงานในองค์กรเกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งที่ผ่านมาโดยส่วนใหญ่แล้วองค์กรจะให้ความสำคัญกับการจัดการต้นทุนด้านอื่นมากกว่า เช่น วัตถุดิบ ยอดขาย แต่เมื่อราคาพลังงานสูงขึ้นทำให้องค์กรต่าง ๆ หันมาพัฒนาควบคุมการใช้พลังงานในองค์กรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จากปัจจัยดังกล่าวทำให้องค์กรระหว่างประเทศหลาย ๆ องค์กรที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมและพลังงานต่างหามาตรการแล้วกำหนดขึ้นมารองรับกับภาวะโลกที่เปลี่ยนแปลงไป อย่างเช่น องค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization : ISO) ได้มองถึงปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจึงได้จัดทำมาตรฐานระบบ

การจัดการด้านพลังงาน (Energy management systems – Requirements with guidance for use) หรือ ISO 50001 ขึ้น เพื่อใช้เป็นกรอบในการบริหารจัดการพลังงานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ธุรกิจการค้าและองค์กรต่าง ๆ โดยมีจุดมุ่งหมายในการลดการใช้พลังงานของโลกลงให้ได้ประมาณร้อยละ 60 (Management System Certification Institute (Thailand), n.d.) และเพื่อช่วยควบคุมและลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน รองรับกับวิกฤติด้านพลังงานและลดการส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

โดย ISO 50001 นั้นถูกประกาศใช้อย่างเป็นทางการจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ซึ่งเป็นหน่วยงานของภาครัฐที่รับผิดชอบด้านมาตรฐานระหว่างประเทศในวันที่ 15 มิถุนายน 2554 และในปี 2555 กระทรวงอุตสาหกรรมได้ประกาศใช้ มอก. 50001-2555 (ISO 50001: 2011) ระบบการจัดการพลังงาน รวมถึงออกข้อกำหนดและข้อแนะนำในการใช้สมทบเสริมออกมาให้องค์กร เพื่อให้องค์กรต่าง ๆ มีแนวทางพัฒนาระบบการจัดการพลังงานได้สะดวกขึ้น แต่ในปัจจุบันการได้รับรองมาตรฐาน ISO 50001 นั้นยังมีไม่มากนักเนื่องจากยังเป็นมาตรฐานใหม่ที่องค์กรและผู้ประกอบการส่วนใหญ่เพิ่งเริ่มศึกษาถึงเรื่องนี้ ซึ่งคาดว่าจะเริ่มเห็นองค์กรต่าง ๆ ทั้งกลุ่มธุรกิจและกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมให้ความสำคัญและได้รับรองมาตรฐาน ISO 50001 กันมากขึ้น

ด้วยองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) ได้จัดทำมาตรฐานระบบการจัดการด้านพลังงาน (Energy management systems – Requirements with guidance for use) หรือ ISO 50001 ขึ้น เพื่อใช้เป็นกรอบในการบริหารจัดการพลังงานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ธุรกิจการค้าและองค์กรต่าง ๆ โดยมีจุดมุ่งหมายในการลดการใช้พลังงานของโลกลงให้ได้ประมาณร้อยละ 60

วัตถุประสงค์

จุดมุ่งหมายสำคัญมาตรฐาน ISO 50001 ประกอบด้วยทั้งสิ้น 8 ประการ ได้แก่

1. เพิ่มประสิทธิภาพการจัดการด้านพลังงานขององค์กร โดยต้องเข้ากับระบบการจัดการมาตรฐาน ISO 14001 ที่องค์กรนั้น ๆ ดำเนินการอยู่
2. องค์กรนั้น ๆ ต้องมีการดำเนินการด้านการจัดการพลังงานที่เป็นรูปธรรม สามารถนำไปปฏิบัติได้จริงและก่อให้เกิดการปรับปรุงด้านพลังงานอย่างต่อเนื่อง
3. องค์กรนั้น ๆ ต้องปรับปรุงการใช้ทรัพยากรด้านพลังงานให้คุ้มค่ากับการลงทุนเพื่อลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต
4. สนับสนุนให้เกิดการใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ในด้านประสิทธิภาพพลังงาน
5. องค์กรนั้น ๆ ต้องควบคุมผู้ส่งมอบที่เกี่ยวข้องตลอดห่วงโซ่การผลิตเพื่อสนับสนุนให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

6. ใช้มาตรฐานนี้เพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับเกณฑ์มาตรฐานอื่นๆ (Benchmarking) การทดสอบ การวัด การจัดทำระบบเอกสารและการรายงานผลการปรับปรุงด้านพลังงานและการจัดการในโครงการที่เกี่ยวข้องกับการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกไป

7. สำหรับองค์กรที่มีสาขาอยู่มากกว่า 1 ประเทศ ควรมีแนวทางการดำเนินงานด้านการจัดการพลังงานที่เป็นรูปแบบเดียวกันทุกสาขา

8. จัดการส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดพฤติกรรมที่ดีและมีส่วนร่วมในการดำเนินการจัดการด้านพลังงาน

ความหมาย ISO 50001

ISO 50001 หมายถึง มาตรฐานด้านการจัดการพลังงานโดยผู้ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานนี้จะต้องมีแผนการในการลดใช้พลังงานภายในองค์กร ไม่น้อยกว่า 20% ไม่ว่าจะเป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานด้านน้ำมัน สาเหตุที่ต้องตั้งมาตรฐาน ISO 50001 ขึ้นมาเป็นผลมาจากปัญหาด้านราคาน้ำมันที่สูงขึ้น ประกอบกับภาวะโลกร้อนซึ่งเป็นผลมาจากการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง

ความร่วมมือ ความมีส่วนร่วมและการดำเนินการตามข้อกำหนดจากส่วนสำคัญดังในรูปที่ 1 โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

1. ผู้บริหารระดับสูง ต้องมีความมุ่งมั่นในการพัฒนาระบบ และพร้อมที่จะสนับสนุนทีมงานในด้านต่าง ๆ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายด้านต่าง ๆ

2. ทีมงานด้านเทคนิค ต้องมีความเข้าใจสภาพการใช้และรู้จักการควบคุมพลังงาน เพื่อให้องค์กรบรรลุเป้าหมายด้านพลังงานต่าง ๆ

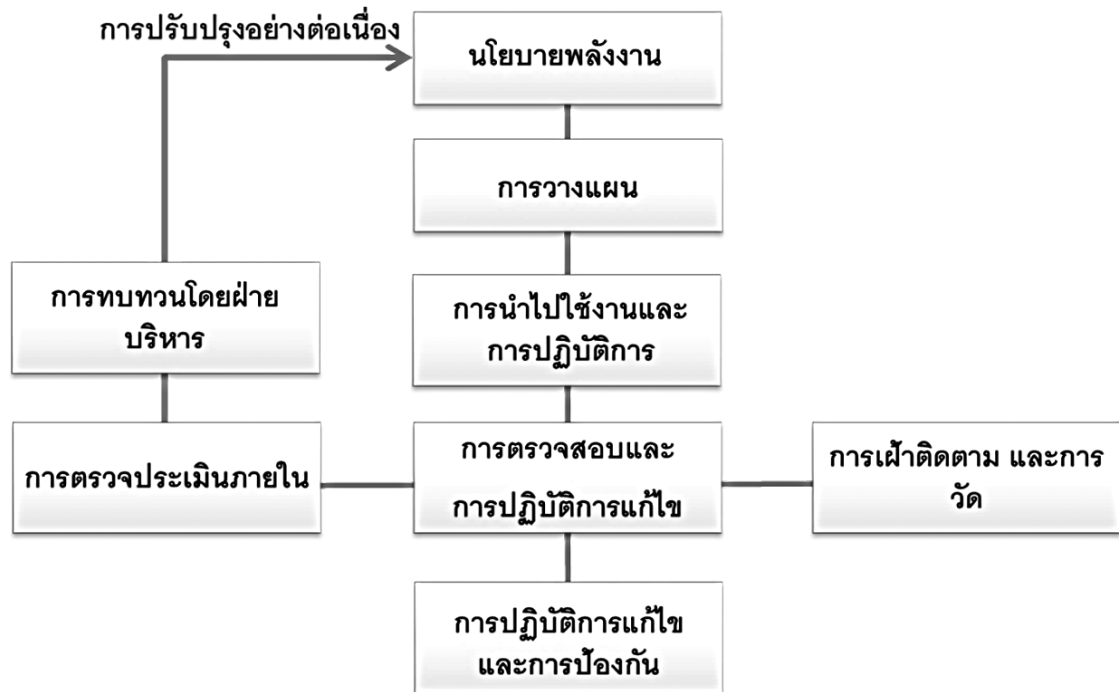
3. ผู้ใช้พลังงานในองค์กร (People) ต้องมีพฤติกรรมและจิตสำนึกในการอนุรักษ์พลังงาน



รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงความร่วมมือระหว่างผู้เกี่ยวข้องในการจัดทำ ISO 50001

ที่มา: Ruengduayltam (2011)

การจัดทำระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001:2011



รูปที่ 2 รูปแบบระบบการจัดการพลังงาน

ที่มา: Jirawaswong (2013)

จากรูปที่ 2 แสดงถึงองค์ประกอบหลัก ๆ ของระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐาน ซึ่งจะประกอบด้วย

1. นโยบายพลังงาน (Energy Policy): บทบาทหนึ่งที่สำคัญของผู้บริหารระดับสูง คือการกำหนดนโยบายพลังงาน (Energy policy) โดยนโยบายพลังงานจะแสดงถึงความมุ่งมั่นขององค์กรที่มีต่อการจัดการด้านพลังงาน ทั้งนี้นโยบายพลังงานจะต้อง

1.1 กำหนด และจัดทำเป็นเอกสารที่แสดงถึงขอบเขต และพื้นที่ทางกายภาพ สำหรับระบบการจัดการพลังงาน

1.2. เหมาะสมกับสภาพ และขนาด รวมถึงผลกระทบที่มีต่อการใช้พลังงานขององค์กร

1.3 ครอบคลุมถึงความมุ่งมั่นที่มีต่อการปรับปรุงสมรรถนะการดำเนินงานด้านพลังงานอย่างต่อเนื่อง

1.4 ครอบคลุมถึงการสร้างความพร้อมของข้อมูลสารสนเทศ และทรัพยากรที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุตามเป้าหมาย และวัตถุประสงค์

1.5 ครอบคลุมถึงการดำเนินการสอดคล้องตามข้อกำหนด และข้อกำหนดอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

1.6 ใช้เป็นกรอบการทำงานในการจัดทำ และทบทวนวัตถุประสงค์ รวมถึงเป้าหมายทางด้านพลังงาน

1.7 สนับสนุนต่อการจัดซื้อผลิตภัณฑ์ และบริการด้านพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.8 จัดทำเป็นเอกสาร สื่อสาร และทำความเข้าใจอย่างทั่วถึงในองค์กร และ

1.9 ได้รับการทบทวน และปรับปรุงให้ทันสมัยอยู่เสมอ

2. การวางแผน: เมื่อมีการกำหนดนโยบายพลังงานแล้ว ขั้นตอนถัดมาจะเป็นการวางแผนระบบการจัดการพลังงาน โดยในการวางแผน จะต้องมีการกำหนด

2.1 รายละเอียดพลังงาน (Energy Profile)

2.2 พลังงานอ้างอิง (Energy Baseline)

2.3 ดัชนีวัดสมรรถนะด้านพลังงาน (Energy Performance Indicator)

2.4 ข้อกำหนด และข้อกำหนดอื่นๆ

2.5 วัตถุประสงค์ เป้าหมาย และแผนปฏิบัติการ

3. การนำไปใช้งาน และการปฏิบัติการ: ในขั้นตอนของการนำระบบไปใช้งาน และการปฏิบัติการ จะประกอบด้วยกระบวนการย่อยๆ ได้แก่

3.1 ความสามารถ การฝึกอบรม และจิตสำนึก

3.2 เอกสารในระบบการจัดการพลังงาน

3.3 การควบคุมการปฏิบัติการ

3.4 การสื่อสาร

3.5 การออกแบบ

3.6 การจัดซื้อพลังงาน ผลิตภัณฑ์และบริการด้านพลังงาน

3.7 ความสามารถ การฝึกอบรม และจิตสำนึก

4. การตรวจสอบสมรรถนะการดำเนินงาน (Checking Performance): ในส่วนนี้จะประกอบด้วย

4.1 การเฝ้าติดตามผล การวัด และการวิเคราะห์

4.2 การตรวจประเมินภายใน

4.3 การปฏิบัติการแก้ไข และการป้องกัน

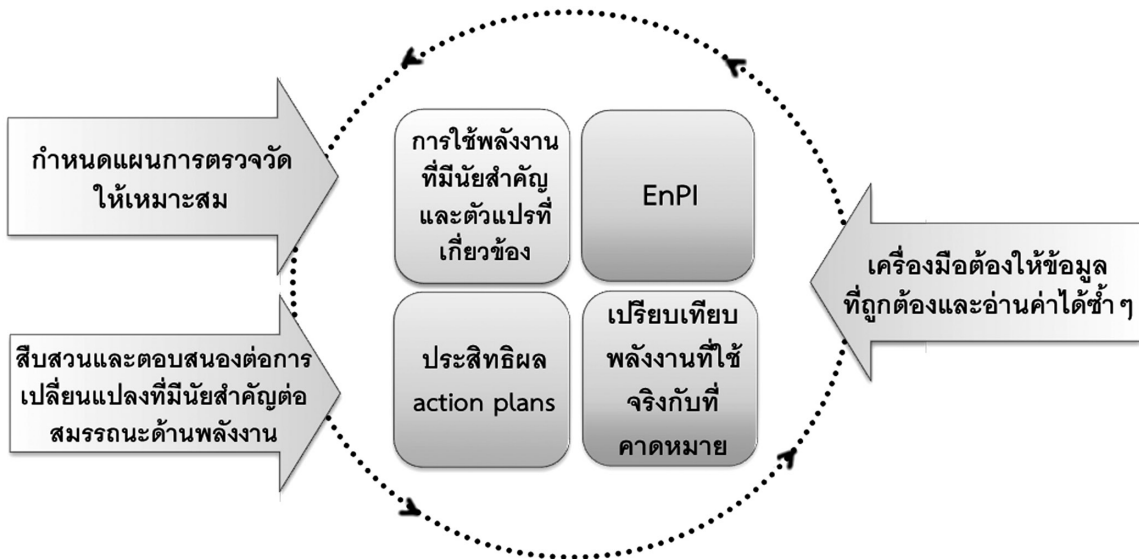
4.4 การเฝ้าติดตามผล การวัด และการวิเคราะห์

5. การทบทวนระบบการจัดการพลังงานโดยผู้บริหารระดับสูง: ผู้บริหารระดับสูงจะต้องทำการทบทวนผลการดำเนินงานของระบบการจัดการพลังงานขององค์กรตามช่วงเวลาที่ได้มีการกำหนดไว้ เพื่อให้มั่นใจได้ถึงความเหมาะสม ความเพียงพอ และความมีประสิทธิภาพของระบบอย่างต่อเนื่อง โดยจะต้องมีการจัดทำ และดูแลจัดเก็บบันทึกของการทบทวนโดยฝ่ายบริหารไว้ด้วย



รูปที่ 3 ระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001:2011

ที่มา: Anamtwach (n.d.)



รูปที่ 4 ระบบตรวจติดตามการจัดการพลังงาน ISO 50001:2011

ที่มา: Anamtawach (n.d.)

จากรูปที่ 3 และ 4 แสดงระบบการจัดการพลังงานและระบบตรวจติดตามการจัดการพลังงาน ISO 50001:2011

ประโยชน์ของ ISO 50001

1. ประโยชน์ต่อองค์กร

1.1 เกิดการจัดการพลังงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งหมายถึงทราบสภาพการใช้พลังงานของตนเอง รู้ว่าจะจัดการหรือควบคุมพื้นที่ใดที่ใช้พลังงานสูงหรือเกินค่าที่กำหนดจนเป็นผลให้เกิดการวางแผนในการปรับปรุงโดยการสร้างมาตรการต่าง ๆ ต่อไป

1.2 เกิดดัชนีชี้วัดสมรรถนะขององค์กร (Company Performance Indicator) ในด้านพลังงาน เพิ่มขึ้นให้กับองค์กร นอกเหนือจากดัชนีชี้วัดอื่น ๆ ที่ผู้บริหารมีอยู่แล้ว เช่น ด้านการเงิน ด้านยอดขาย ด้านบุคลากร เป็นต้น ซึ่งดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน (Energy Performance Indicator ; EnPI) นี้ จะเข้ามามีบทบาทในการที่ผู้บริหารสามารถใช้ติดตามการปฏิบัติต่าง ๆ ของทั่วพื้นที่ที่มีการใช้พลังงานในการควบคุมและจัดการการใช้พลังงานได้เป็นอย่างดี

1.3 เกิดการควบคุมการปฏิบัติงาน (Standard Operation Control ; SOP) ในเครื่องจักร/อุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน ซึ่งทำให้ผู้ปฏิบัติงานทราบการควบคุมให้เครื่องจักร/อุปกรณ์ทำงานในสถานะที่เหมาะสม และสามารถเฝ้าติดตาม รวมถึงปรับปรุงได้ในทันที

1.4 เกิดการตรวจวัดการใช้พลังงาน หรือ ประสิทธิภาพ ของเครื่องจักรอุปกรณ์ ที่สำคัญอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเฝ้าติดตาม หรือ ควบคุมให้อยู่ในสถานะที่เหมาะสม

1.5 เกิดการยอมรับในระดับสากลเป็นการเสริมภาพลักษณ์ให้กับองค์กรในด้าน CSR อีกทางหนึ่ง

1.6 เกิดการลดต้นทุนด้านพลังงานอย่างยั่งยืน ทำให้องค์กรสามารถเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในตลาด เป็นการเพิ่มความสามารถในการผลิตและบริการ

1.7 เกิดการติดตามกฎหมายที่องค์กรต้องปฏิบัติตามในด้านพลังงานต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ รวมถึงการควบคุมการปฏิบัติให้สอดคล้องและครบถ้วนตามที่กฎหมายกำหนด

1.8 เกิดความตระหนักและมีส่วนร่วมในการควบคุมและอนุรักษ์พลังงาน ในพนักงานทุกระดับ อันเป็นผลมาจากการมีกำหนดดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน เป้าหมาย และแผนงานต่าง ๆ ในแต่พื้นที่ที่มีการใช้พลังงานอย่างเป็นระบบ

2. ประโยชน์ต่อพนักงาน คือ เกิดการฝึกอบรมอย่างเป็นระบบทั้งด้านข้อกำหนดด้านเทคนิค และ ด้านจิตสำนึกอนุรักษ์พลังงานเป็นเพิ่มความรู้ความสามารถให้กับพนักงานที่เกี่ยวข้องที่ต้องปฏิบัติตามระบบจัดการพลังงานที่กำหนดเอาไว้

3. ประโยชน์ต่อประเทศไทย และประโยชน์ต่อโลก

3.1 เกิดการควบคุมการลดใช้พลังงานและการเปลี่ยนมาใช้พลังงานรูปแบบอื่นๆ อย่างเป็นระบบและยั่งยืนขององค์กรต่าง ๆ ทำให้ประเทศสามารถลดการนำเข้าพลังงาน และ เป็นการเพิ่มความมั่นคงทางพลังงานอีกทางหนึ่งด้วย

3.2 เกิดกลไกในการช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มเติมจากกลไกอื่น ๆ ที่มีอยู่แล้ว

สรุป

จากการได้ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับ ISO50001: 2011 มาตรฐานระบบการจัดการด้านพลังงาน ทำให้มองเห็นและเข้าใจถึงภาพรวมของความหมาย ขั้นตอน และประโยชน์ที่ได้จากมาตรฐานฉบับนี้ อีกทั้งยังทำให้ได้เห็นว่าในปัจจุบันผู้คนได้ให้ความสำคัญของพลังงานมากขึ้นเนื่องจากเป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นทั้งทางตรงและทางอ้อมเนื่องจากทุกวันนี้มีการใช้พลังงานกันอย่างมากมายซึ่งส่งผลให้องค์กรต่าง ๆ มีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับด้านพลังงานมากขึ้น ซึ่งการนำมาตรฐานเกี่ยวกับการจัดการพลังงานนี้มาใช้ก็นับเป็นจุดเริ่มต้นที่ดี ที่จะเป็นแนวทางให้องค์กรที่สนใจสามารถควบคุมและจัดการการใช้พลังงานของตนได้ซึ่งนอกจากจะช่วยในเรื่องค่าใช้จ่ายขององค์กรแล้ว ในระยะยาวยังส่งผลถึงความยั่งยืนของทรัพยากรพลังงานโลกได้อีกด้วย รวมทั้งองค์กรนั้น ๆ ยังนำมาใช้ประโยชน์ในการ

สร้างความเข้าใจและเชื่อมั่นแก่ผู้บริโภคด้านพลังงาน ช่วยเพิ่มโอกาสในการสร้างตลาดใหม่ๆ และลดอุปสรรคการค้าจากนโยบายด้านพลังงาน ทั้งยังทำให้เกิดความร่วมมือทางด้านวิทยาศาสตร์ และสามารถปรับนโยบายต่าง ๆ ให้สอดคล้องกัน เพื่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลด้านการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- Anamtwach, Ch. (n.d.). **ISO 50001:2011 Energy Management System**. Retrieved September 20, 2015, from <http://www.renewableenergy-asia.com/portals/0/seminar/ISO50001%E0%B9%82%E0%B8%8A%E0%B8%84%E0%B8%8A%E0%B8%B1%E0%B8%A2.pdf>. (in Thai)
- Jirawaswong, K. (2013) **ISO 50001 energy management**. Retrieved September 20, 2015, from http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=19224. (in Thai)
- Management System Certification Institute (Thailand). (n.d.). **Energy management systems - Requirements with guidance for use (ISO 15001)**. Retrieved September 20, 2015, from <http://masci.or.th/service/%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%90%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%94%E0%B9%89/>. (in Thai)
- Ruengduayltam, W. (2011). **ISO 50001 energy management**. Retrieved September 20, 2015, from <https://www.2bgreen4ever.com/15003066/iso-50001-%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%A2%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A>. (in Thai)



ภาคผนวก

รายละเอียดการเตรียมบทความเสนอการตีพิมพ์

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Preparation Process of PNRU Research Journal Science and Technology

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นวารสารราย 6 เดือน เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม จัดพิมพ์ขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและผลงานวิชาการในลักษณะบทความวิจัย (Research Article) บทความทางวิชาการ (Article) และ บทความปริทรรศน์ (Review Article) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แก่ นักวิจัย นักวิชาการ และบุคคลทั่วไปที่สนใจ

● ขั้นตอนการดำเนินงานจัดทำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. รับต้นฉบับจากผู้สนใจตีพิมพ์บทความผ่านระบบ ThaiJo (https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/login)

2. กองบรรณาธิการตรวจสอบความสมบูรณ์ความถูกต้องและคุณภาพของบทความต้นฉบับ

3. กองบรรณาธิการเตรียมต้นฉบับจัดส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviews) ที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง ไม่น้อยกว่าสองท่านต่อหนึ่งบทความ ทั้งนี้ ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้แต่ง (Authors) จะไม่ทราบชื่อซึ่งกันและกัน (Double-blind Peer Review) โดยบทความที่ลงตีพิมพ์ได้นั้นจะต้องผ่านความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งสองท่าน หรือสองในสามท่าน

ทั้งนี้ ความคิดเห็นเกี่ยวกับบทความมีดังนี้

- Accept Submission = รับตีพิมพ์บทความโดยไม่ต้องแก้ไข
- Revisions Required = แก้ไขบทความโดยให้บรรณาธิการพิจารณาอีกครั้ง
- Resubmit for Review = ผู้แต่งต้องแก้ไขบทความส่งกลับมาให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบอีกครั้ง
- Resubmit Elsewhere = ปฏิเสธรับตีพิมพ์บทความ กรณีที่ไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ ขอบเขตของวารสาร และการเตรียมบทความ ทั้งนี้ ให้ผู้แต่งส่งบทความตีพิมพ์ในวารสารอื่น

- Decline Submission = ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความ
- See Comments = พิจารณาข้อเสนอแนะของผู้ประเมินบทความ

4. กองบรรณาธิการส่งต้นฉบับที่ปรับแก้ไขแล้วพร้อมสรุปผลการประเมินคุณภาพต้นฉบับ และจัดส่ง ผู้แต่งเพื่อปรับแก้ไข พร้อมให้ชี้แจงการปรับแก้ไขกลับมายังกองบรรณาธิการ

5. กองบรรณาธิการตรวจสอบการปรับแก้ไขความถูกต้อง และรูปแบบการเขียนต้นฉบับ

6. บรรณาธิการตอบรับการตีพิมพ์และเผยแพร่ต้นฉบับดังกล่าวผ่านระบบฐานข้อมูลวารสารอิเล็กทรอนิกส์กลาง (https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/login) จากนั้น จะออกหนังสือตอบรับการตีพิมพ์บทความอย่างเป็นทางการจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร อีกครั้ง

7. กองบรรณาธิการรวบรวมต้นฉบับและตรวจสอบความถูกต้อง ก่อนจัดส่งโรงพิมพ์เพื่อจัดทำวารสารฉบับร่าง

8. กองบรรณาธิการตรวจสอบความถูกต้องของวารสารฉบับร่างจากโรงพิมพ์อีกครั้ง จากนั้นจึงส่งตีพิมพ์และเผยแพร่

9. กองบรรณาธิการเผยแพร่วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผ่านระบบฐานข้อมูลวารสารอิเล็กทรอนิกส์กลาง (https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/login) และจัดส่งวารสารฉบับตีพิมพ์ให้กับผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้แต่ง และหน่วยงานอื่น ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ทางวิชาการต่อไป

● หลักเกณฑ์ในการส่งบทความของวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. บทความที่ผู้แต่งส่งมาเพื่อตีพิมพ์จะต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ หรืออยู่ระหว่างการเสนอขอตีพิมพ์จากวารสารอื่น ๆ

2. เนื้อหาในบทความต้องไม่คัดลอก ลอกเลียน หรือไม่ตัดทอนจากบทความอื่น โดยเด็ดขาด (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่งเท่านั้น)

3. ผู้แต่งต้องเขียนบทความตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในระเบียบการส่งบทความวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

4. การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จะพิจารณาเฉพาะบทความที่ได้รับการประเมินให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิเท่านั้น

5. กรณีมีข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้แต่งต้องปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ และชี้แจงการแก้ไขต้นฉบับดังกล่าว มายังกองบรรณาธิการ

รายละเอียดการเตรียมบทความเสนอเพื่อตีพิมพ์

● วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

ด้วยสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ได้มีการเผยแพร่ผลงานวิชาการในรูปแบบของวารสาร เพราะเห็นว่าจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาความรู้ทางวิชาการ และเป็นสื่อกลางแลกเปลี่ยนข่าวสารสาระสำคัญ ประสพการณ์ด้านการวิจัยต่าง ๆ แก่นักวิชาการ และบุคคลทั่วไปที่สนใจ จึงได้จัดทำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยจัดทำเป็นวารสารราย 6 เดือน (ปีละ 2 ฉบับ) มกราคม-มิถุนายน และ กรกฎาคม-ธันวาคม ซึ่งมีการเผยแพร่ทั้งในรูปแบบวารสารตีพิมพ์เป็นรูปเล่มและลักษณะวารสารอิเล็กทรอนิกส์

● ขอบเขตของผลงานที่ตีพิมพ์

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Phranakhon Rajabhat Research Journal in Science and Technology ISSN : 1905-4963) พิจารณาตีพิมพ์บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาคณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์ โดยบทความที่ได้รับการตีพิมพ์จะต้องไม่เคยได้รับการตีพิมพ์หรือกำลังพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนี้จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) อย่างน้อย 2 ท่าน

● คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับ

รับการตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวหนังสือแบบ Cordia New กำหนดตั้งค่าน้ำกระดาษ ข้าง 1 นิ้ว ขวา 1 นิ้ว บน 1 นิ้ว ล่าง 1 นิ้ว โดยพิมพ์ต้นฉบับแบบขาว-ดำ ลงบนกระดาษขนาด A4 (210X297 mm) โดยความยาวของบทความควรเป็นดังนี้

1. บทความวิจัย (Research Article) ประมาณ 12 หน้า ต่อบทความ
2. บทความทางวิชาการ (Article) ประมาณ 7 หน้า ต่อบทความ
3. บทความปริทรรศน์ (Review Article) ประมาณ 8 หน้า ต่อบทความ

บทความภาษาไทยที่มีศัพท์เทคนิคหรือศัพท์เฉพาะ ให้ใช้คำทับศัพท์ และ/หรือ ศัพท์บัญญัติ พร้อมวงเล็บคำศัพท์ภาษาอังกฤษนั้น

สำหรับการอ้างอิงเอกสารต้องมีรูปแบบเดียวกันทั้งบทความ ทั้งนี้ให้ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมที่หัวข้อ **รูปแบบการพิมพ์เอกสารอ้างอิง**

เอกสารต้องมีรูปแบบเดียวกันทั้งบทความ ทั้งนี้ บทความประเภทต่างๆ ในวารสารเล่มนี้มีจำนวนหน้าต่อหนึ่งบทความแตกต่างกันโดยประมาณ ดังนี้

บทความวิจัย (Research Article) (รูปแบบที่ 1)	บทความวิจัย (Research Article) (รูปแบบที่ 2)
1. ชื่อเรื่อง (Title)	1. ชื่อเรื่อง (Title)
2. รายชื่อผู้เขียน (Authors)	2. รายชื่อผู้เขียน (Authors)
3. สถานที่ทำงาน (Addresses)	3. สถานที่ทำงาน (Addresses)
4. ที่อยู่อิเล็กทรอนิกส์ของตัวแทนนักวิจัย (E-mail Address)	4. ที่อยู่อิเล็กทรอนิกส์ของตัวแทนนักวิจัย (E-mail Address)
5. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ	5. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
6. บทนำ (Introduction)	6. บทนำ (Introduction)
7. วิธีการ (Methods)	7. วิธีการ (Methods)
8. ผลการทดลอง (Results)	8. ผลการทดลองและวิจารณ์ (Results and
9. สรุปและวิจารณ์ผล (Conclusion and Discussion)	Discussion)
10. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) - ถ้ามี	9. สรุป (Conclusion)
11. เอกสารอ้างอิง (References)	10. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) - ถ้ามี
	11. เอกสารอ้างอิง (References)

ชื่อเรื่อง : ควรกะทัดรัด ไม่ยาวจนเกินไป ถ้าบทความเป็นภาษาไทย ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ชื่อผู้แต่ง : ชื่อเต็ม-นามสกุลเต็ม ของผู้แต่งครบทุกคนทั้งบทความภาษาไทย และภาษาอังกฤษ

1. ชื่อผู้แต่ง ไม่ใช่ตำแหน่งทางวิชาการ ยศ ตำแหน่งทหาร สถานภาพทางการศึกษา หรือ คำนำหน้าชื่อหรือท้ายชื่อ เช่น นาย, นาง, นางสาว, ผศ.ดร., Ph.D., ร.ต.ต., พ.ต.ท.
2. ไม่ต้องระบุสถานภาพผู้แต่ง เช่น นักศึกษาปริญญาเอก, อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร., ผู้อำนวยการ..., คณบดีคณะ..., พยาบาลวิชาชีพ
3. ให้ใส่ตัวเลขเป็นตัวช่วยกำกับท้ายนามสกุลของผู้แต่งทุกคน และใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) เฉพาะผู้รับผิดชอบบทความ

หน่วยงานที่ทำวิจัย: ระบุหน่วยงาน จังหวัด รหัสไปรษณีย์ ประเทศ ทั้งนี้ให้สอดคล้องกับผู้แต่ง

อีเมล : ให้ใส่เฉพาะผู้รับผิดชอบบทความ

บทคัดย่อ : บทคัดย่อภาษาไทย และบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ต้องมีความยาวระหว่าง 200 ถึง 250 คำ

- คำสำคัญ :** ต้องมีคำสำคัญอย่างน้อย 3 ถึง 5 คำ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- เนื้อหา :** จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ บรรทัดแรกเว้น 1 Tab จากขอบกระดาษด้านซ้าย และพิมพ์ให้ชิดขอบทั้งสองด้าน
- รูปภาพ :** ขึ้นหน้าใหม่ให้มี 1 รูปต่อ 1 หน้า และแยกบันทึกเป็นไฟล์ภาพที่มีนามสกุล TIFFs, หรือ JPEGs ถ้าเป็นภาพถ่ายกรุณาส่งภาพต้นฉบับ เพื่อคุณภาพในการพิมพ์ หมายเลขรูปภาพและกราฟให้เป็นเลขอารบิก คำบรรยายและรายละเอียดต่างๆ อยู่ด้านล่างของรูปภาพและกราฟ
- ตาราง :** หมายเลขตารางให้เป็นเลขอารบิก คำบรรยายและรายละเอียดต่างๆ อยู่ด้านบนของตาราง
- เอกสารอ้างอิง :** การอ้างอิงให้มีเฉพาะที่ปรากฏในบทความโดยอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ หากยาวเกิน 1 บรรทัดให้ Tab 0.75 เซนติเมตร

● รูปแบบการพิมพ์เอกสารอ้างอิงในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การอ้างอิงเอกสารให้เขียนตามแบบ APA (American Psychological Association) หากรายการอ้างอิงเป็นหนังสือหรือบทความภาษาไทยที่มีบทแปลเป็นภาษาอังกฤษกำกับอยู่ก่อนแล้ว ให้ใส่บทแปลภาษาอังกฤษนั้นก่อน ตามด้วยรายการอ้างอิงภาษาไทยเดิมโดยวงเล็บท้ายรายการว่า (in Thai) สำหรับรายการอ้างอิงภาษาไทยที่ไม่ได้มีบทแปลภาษาอังกฤษไว้ก่อนให้ยึดตามประกาศราชบัณฑิตยสถาน เรื่อง หลักเกณฑ์การถอดอักษรไทยเป็นอักษรโรมันแบบถ่ายเสียง ทั้งนี้ ให้จัดเรียงลำดับตามลำดับตัวอักษรภาษาอังกฤษก่อน-หลัง

หลักเกณฑ์การอ้างอิงในเนื้อหา

กรณีการอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ให้ใส่สกุลผู้แต่งและปีที่พิมพ์ไว้ในวงเล็บ เช่น

ผู้แต่งเป็นคนไทย:

กาญจนา แก้วเทพ พิมพ์เป็น (Kaewthep, 2011)

กาญจนา แก้วเทพ และสมคิด สุทธิธารวัชช์ พิมพ์เป็น (Kaewthep & Soottitantawat, 2011)

กาญจนา แก้วเทพ สมคิด สุทธิธารวัชช์ และรัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง
พิมพ์เป็น (Kaewthep et al., 2011)

ผู้แต่งเป็นชาวต่างประเทศ: Arthur Asa Berger พิมพ์เป็น (Berger, 2011)

หากการอ้างอิงกล่าวถึงผู้แต่งไว้แล้ว ให้ใส่เฉพาะปีที่พิมพ์ไว้ในวงเล็บ เช่น

ผู้แต่งคนไทย กาญจนา แก้วเทพ ลงว่า Kaewthep (2011)

ผู้แต่งเป็นชาวต่างประเทศ Arthur Asa Berger ลงว่า Berger (2011)

ทั้งนี้ กรณีที่ผู้แต่งเป็นคนไทย ให้ใส่สกุลผู้แต่งเป็นภาษาอังกฤษ หากไม่ปรากฏว่าผู้แต่งคนดังกล่าวเคยเขียนสกุลเป็นภาษาอังกฤษมาก่อน อนุโลมให้ใช้หลักเกณฑ์การถอดอักษรไทยเป็นอักษรโรมันแบบถ่ายเสียงตามประกาศราชบัณฑิตยสถานได้

หลักเกณฑ์การอ้างอิงท้ายบทความ

1. อ้างอิงจากหนังสือ

รูปแบบ : ผู้แต่ง.// (ปี พ.ศ.ที่พิมพ์).// ชื่อหนังสือ.//ครั้งที่พิมพ์.(ถ้ามี)//เมืองที่พิมพ์.//สำนักพิมพ์.
ตัวอย่าง :

Liochanmongkhon, N., Saenbunthai, S. & Kengwinit, T. (1984). **Khumue Tuekthaeo**. Bangkok: Rongphim Nam-aksonkanphim. (in Thai)

Davis, C.V. (1980). **Handbook of applied hydraulics**. 3rd Edition. New York: McGraw – Hill.

Gunpai, K. (2008). **Psychology of communication**. Bangkok: Faculty of Communication Arts, Chulalongkorn Univeristy. (in Thai)

2. อ้างอิงจากวารสาร

รูปแบบ : ผู้แต่ง.// (ปี พ.ศ.ที่พิมพ์).// ชื่อบทความ.// ชื่อวารสาร.//ปีที่(ฉบับที่).//เลขหน้า-เลขหน้า.
ตัวอย่าง :

Ozaki, M., Adachi, Y., Iwahori, Y. & Ishii, N. (1998). Application of fuzzy theory to writer recognition of Chinese characters. **International Journal of Modeling and Simulation**. 18(2), 112-116.

Korbkeeratipong, K. & Taiphapoon, T. (2016). Branded content marketing communication in reality television program. **PNRU Research Journal Science and Technology**. 11(2), 1-11. (in Thai)

3. อ้างอิงจากวิทยานิพนธ์

รูปแบบ : ผู้แต่ง.// (ปี พ.ศ.ที่พิมพ์).// ชื่อวิทยานิพนธ์.// ชื่อปริญญา (เต็ม).//หน่วยงาน
ตัวอย่าง :

Roonkaseam, N. (2006). **Communication and practices of representation through the museums as texts in Thailand**. Ph.D. Program in Communication Arts. Faculty of Communication Arts, Chulalongkorn Univeristy. (in Thai)

Choomchuay, S. (1993). **Algorithm and architecture for Reed-Solomon Decoding**. Ph.D. Thesis, Imperial College, University of London, UK.

4. อ้างอิงจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

รูปแบบ : ผู้แต่ง //(ปี พ.ศ.ที่พิมพ์) //ชื่อเรื่อง //สืบค้นเมื่อ //, //สืบค้นจาก

ตัวอย่าง :

Wongmaneeroj, A. (2542). History of soil fertility studies. Retrieved June 7, 2016, from <http://web.sut.ac.th/farm/farm/index.php/th/2012-06-03-05-02-12/68-2012-06-22-09-24-9>

Noam, E.M. (1994). Telecommunication policy issue for the next century. Retrieved June 7, 2006, from gopher://198.80.36.../global/telcom.txt

Chuastapanasiri, T. (2009). Advertising literacy. Retrieved March 2, 2012, from <http://resource.thaihealth.or.th/system/files/documents/ruuethaathanokhsnaaaefng1.pdf> (in Thai)

5. อ้างอิงจากการสัมภาษณ์

รูปแบบ : ผู้ให้สัมภาษณ์ //ตำแหน่ง (ถ้ามี) //สัมภาษณ์ //วันที่/เดือน/ปี.

ตัวอย่าง :

Sthapitanonda, P. Dean, Faculty of Communication Arts, Chulalongkorn University. Interviewed on March 2, 2016. (in Thai)

Smith, M. Interview on January 31, 2008. Saengdounghae, J. Lecturer, Hatyai University. Interviewed on August 20, 2010. (in Thai)

● การส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผู้แต่งต้องส่งบทความผ่านทางระบบออนไลน์เท่านั้น โดยการสมัครสมาชิก (Register) วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในระบบฐานข้อมูลวารสารอิเล็กทรอนิกส์กลาง (https://www.tci-thaijo.org/index.php/PRRJ_Scitech/login) เพื่อขอรับ Username และ Password แล้วคลิกที่ปุ่ม Log In เพื่อเข้าสู่ระบบ ในกรณีที่เป็นการสมัครสมาชิกของวารสารแล้ว กรุณาเข้าสู่ระบบ log in และดำเนินการส่งบทความโดยดูตัวอย่างการส่งบทความได้ที่ ขั้นตอนการ SUBMISSION

หมายเหตุ:

1. กองบรรณาธิการฯ ขอสงวนสิทธิ์ ในการแก้ไขข้อความบางส่วนโดยไม่กระทบต่อเนื้อหาหลักของบทความ ทั้งนี้ เพื่อให้เป็นไปตามรูปแบบการตีพิมพ์ของวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2. บทความในวารสารฉบับนี้ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่งเท่านั้น

รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

MANUSCRIPT PREPARATION GUIDELINES FOR PUBLICATION IN PHRANAKHON RAJABHAT RESEARCH JOURNAL IN SCIENCE AND TECHNOLOGY

Cordia New
ขนาด 18 pt.
ตัวหนา

ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความคนที่ ^{1*} ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความคนที่ ² → Cordia New
ขนาด 14 pt. ตัวบาง

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220 → Cordia New
ขนาด 12 pt. ตัวบาง

Author^{1*}, Author² → Cordia New ขนาด 14 pt. ตัวบาง

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok, 10900,

²Department of Physics, Faculty of Science and Technology,

Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220

Cordia New
ขนาด 12 pt. ตัวบาง

E-mail: address@mailservice.com → Cordia New ขนาด 12 pt. ตัวบาง

1 นิ้ว

บทคัดย่อ (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

←→ การจัดพิมพ์เอกสารต้นฉบับ ต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัดตามรูปแบบที่กำหนด ในกรณีบทความเป็นภาษาไทยต้องมีบทคัดย่อเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ บทคัดย่อควรมีย่อหน้าเดียวไม่ควรเกิน 250 คำ บทคัดย่อควรกล่าวถึงวัตถุประสงค์หลักของบทความ ผลลัพธ์หรือ สรุปผลที่ได้จากการทำวิจัย คำสำคัญที่เป็นภาษาไทยไม่ต้องมีเครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างคำ → (ขนาด 16 pt. ตัวบาง)

คำสำคัญ: คำสำคัญ1 คำสำคัญ2 คำสำคัญ3 (ไม่เกิน 5 คำ) → (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

ABSTRACT (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

This is an instruction for manuscript preparation. Please follow this guideline strictly. For a Thai article, an abstract in English must accompany the Thai version. The

abstract should contain a single paragraph and its length should not exceed 250 words. It should be prepared in concise statement of objectives and summary of important results.————>(ขนาด 16 pt. ตัวบาง)

Keywords: keyword1, keyword2, keyword3 (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

บทนำ (16 pt. ตัวหนา)

Introduction (16 pt. bold)

....(Cordia Newขนาด 16 pt. ตัวธรรมดา).....

วิธีการ (16 pt. ตัวหนา)

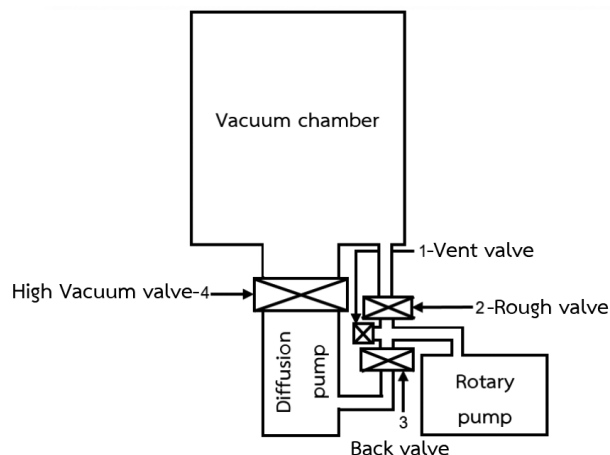
Methods (16 pt. bold)

....(Cordia Newขนาด 16 pt. ตัวธรรมดา).....

ผลการทดลอง หรือ ผลการทดลองและวิจารณ์ (16 pt. ตัวหนา)

Results or Results and Discussion (16 pt. bold)

....(Cordia Newขนาด 16 pt. ตัวธรรมดา).....



รูปที่ 1 โครงสร้างของระบบสุญญากาศและวาล์วทั้ง 4 ตำแหน่ง
(โปรดใช้รูปให้เหมาะสมกับการตีพิมพ์แบบขาว-ดำ หรือ Greyscale)

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร์ไอน้ำมัน

เวลาที่ใช้ (นาทิจ)	ความดัน (mbar)				ความดันเฉลี่ย (mbar)
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	
90	0.000061	0.000053	0.000037	0.000048	0.000050
95	0.000055	0.000053	0.000038	0.000044	0.000048
100	0.000055	0.000052	0.000037	0.000048	0.000048

หมายเหตุ : ในส่วนหมายเหตุใช้ Cordia New ขนาด 12 pt. ตัวธรรมดา

สรุปและวิจารณ์ผล หรือ สรุป (16 pt. ตัวหนา)

Conclusion and Discussion or Conclusion (16 pt. bold)

....(Cordia New ขนาด 16 pt. ตัวธรรมดา).....
.....
.....

กิตติกรรมประกาศ (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

ส่วนนี้อาจมีหรือไม่มีก็ได้ เขียนกิตติกรรมประกาศเพื่อแสดงความขอบคุณในกรณีที่งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากแหล่งทุน ขอขอบคุณผู้ให้ความช่วยเหลือในการทำการวิจัย เช่น อนุเคราะห์เครื่องมือ เครื่องใช้ หรือสถานที่ เป็นต้น (หากไม่มีกรณีดังกล่าวไม่จำเป็นต้องมีส่วนนี้)

เอกสารอ้างอิง (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

....(Cordia New ขนาด 16 pt. ตัวธรรมดา).....
.....
.....

Koktong, T., Suwannawaj, S. & Soodsang, N. (2014). The creation of digital photography art for the promotion of fashion goods on Facebook. **Art and Architecture Journal Naresuan University**. 5(1), 26-40. (in Thai)

Moertini, V.S. (2012). Small medium enterprises: On utilizing business-to-business e-commerce to go global. In International Conference on Small and Medium Enterprises Development with a Theme. **Procedia Economics and Finance**. 4(1). 13-22.

- Pansap, S. (2011). **Attitude and intention of the consumer in Bangkok when buying products on the Internet**. Research Report. Naresuan University. (in Thai)
- Saenkasame, J. (2002). **Business research**. Bangkok: Rongphim Pituckakson. (in Thai)
- Sriwichailamphan, T. (2012). **Teaching academic community economic development**. Chiang Mai University. (in Thai)
- Thai e-Commerce Association. (2014). **Introduction to e-commerce**. Retrieved February 6, 2014, from <http://www.thaiecommerce.org/index.php?lay=show&ac=article&Id=538636758&Ntype=6>. (in Thai)
- Wimonsantiroj, M. (2000). **Marketing mix factors affecting consumers purchasing decision on wooden furniture in Chiang Mai**. Master of Business Administration Program in Business Administration. Faculty of Business Administration. Chiang Mai University. (in Thai)
- Yasamut, K. & nantapeechakun, N. (2004). **Management system web commercial electronic processing plant tamarind Sarach Marketing Company Limited.**, Master of Business Administration Program in Business Administration. Faculty of Business Administration. Naresuan University. (in Thai)