วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2562

ISSN : 1905-4963 (Print) ISSN : 2672-9296 (Online)

PHRANAKHON RAJABHAT RESEARCH JOURNAL

(Science and Technology)

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2562 Vol.14 No.1 January - June 2019

ISSN : 1905-4963 (Print)

ISSN : 2672-9296 (Online)

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

วัตถุประสงค์

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

ที่ปรึกษา

ดร.ถนอม อินทรกำเนิด	อุปนายกสภามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ศาสตราจารย์ ดร.สนิท อักษรแก้ว	กรรมการสภามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.ผดุงชาติ สุวรรณวงศ์	กรรมการสภามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์ นพ.ชัชลิต รัตรสาร	มหาวิทยาลัยมหิดล
ศาสตราจารย์ ดร.พวงเพ็ญ ศิริรักษ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.เปรื่อง กิจรัตน์ภร	อธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รองศาสตราจารย์ ดร.จิตราภา กุณฑลบุตร	รองอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประกาศิต โสไกร	คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สืบตระกูล สุชาติ	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงศักดิ์ จักรกรณ์	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โองการ วณิชาชีวะ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ ศิริงาม	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.จุฬาลักษณ์ ชาญกูล	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ จันทวงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วศิน เลิศวัฒนารักษ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.ผ่องเพ็ญ จิตอารีย์รัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐ์ มากุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ชัย แนมจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขมฤทัย ถามะพัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา โพธิ์เอี่ยม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ เชียงกา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี ลี้มิ่งสวัสดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ทองคำ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรวัฒน์ วิสูตรศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พุฒทองศิริ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา กิ้มปาน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรนุช แก้ววิเศษ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตกำแพงแสน)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา ไม้สนธิ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อะเคื้อ กุลประสูติดิลก	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกายดาว ยิ่งสง่า	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย แพงาม	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันตกูล อินทรผดุง	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนันทา ศรีม่วง	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.ศีลาวุธ ดำรงศิริ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ดร.สมฤดี สาธิตคุณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.เมธินี รัตรสาร	กรมสอบสวนคดีพิเศษ
ดร.เปล่งสุรีย์ เที่ยงน้อย	มหาวิทยาลัยมหิดล (วิทยาเขตกาญจนบุรี)
ดร.กิตติพงษ์ เยาวาจา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (วิทยาเขตศรีราชา)
ดร.สมคิด สุทธิธารธวัช	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.วรวดี สุชัยยะ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.อธิยา รัตนพิทยาภรณ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เลขานุการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดา มัทธุรส	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.วิสุทธนา สมุทรศรี	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวสุธารัตน์ จุ้ยเจริญ	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ

นางเดือนเพ็ญ สุขทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวทัศนา ปิ่นทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวนวกมล พลบุญ	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวศุภราพร เกตุกลม	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นางสาวมัธนา เกตุโพธิ์ทอง	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นายรัชตะ อนวัชกุล	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
นายจักรพันธ์ ก้อนมณี	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ติดต่อกองบรรณาธิการ

สถาบันวิจัยและพัฒนา ชั้น 4 อาคารเบญจมวัฏ (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

หจก. ประยูรสาส์นไทย การพิมพ์ : เลขที่ 44/132 ถ.กำนันแม้น แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กทม. 10150
โทรศัพท์ : 0 - 2802 - 0377, 0 - 2802 - 0379, 08 - 1566 - 2540

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2562 ได้รวบรวมบทความ เพื่อเผยแพร่และแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิชาการของคณาจารย์ นักศึกษา และผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

เนื้อหาสาระในวารสารฉบับนี้มีจำนวน 13 เรื่อง ประกอบด้วยบทความในกลุ่มสาขาดังนี้ ชีววิทยา เคมี ชีวเคมี เทคโนโลยีการเกษตร วิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาศาสตร์-สุขภาพ วัสดุศาสตร์ ฟิสิกส์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม โดยทุกบทความได้ผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิประจำฉบับเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ทางวิชาการสำหรับนักวิชาการ นักวิจัย คณาจารย์ นักศึกษา และบุคคลทั่วไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โองการ วณิชาชีวะ
บรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Reviewers)
ประจำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

รองศาสตราจารย์ ดร.สุปิยนิตย์ ไม้แพ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พุฒทองศิริ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณพล อยู่บรรพต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจลักษณ์ เมืองมีศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนัญชิดาดุษฎี ทูลศิริ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทัยวรรณ ฉัตรธง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แสงโสม ตั้งสินพูลเพิ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อินทิรา ลิจันทร์พร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อะเคื้อ กุลประสูติดิลก	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย แพงาม	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา ไม้สนธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.ชัยรัตน์ เตชวุฒิพร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.สาธิต เหล่าวัฒนพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.ฉัตรชัย พะวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ดร.กนต์ธีร์ กิจเกียรติพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.อธิยา รัตนพิทยาภรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.วิสุทธนา สมุทธนาศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.จักรพงษ์ หรั่งเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.สุธาทิพย์ ทองเล่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร.วฤชา ประจงศักดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

สารบัญ

หน้า

บทบรรณาธิการ ..... ก
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ ..... ข
สารบัญ ..... ค

บทความวิจัย

- DEGRADATION KINETICS OF COLOR IN BUTTERFLY PEA (*Clitoria ternatea* L.) EXTRACT DRIED WITH SUGAR
  Jintana Wiboonsirikul 1
- EFFECT OF Lu_2O_3 CONTENT ON RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF Lu_2O_3-Na_2O-B_2O_3 GLASSES
  Kittisak Sriwongsa, Chanin Tinnakorn, Supakorn Laoarun, Punsak Glumglomchit, Sunantasak Ravangvong, Keerati Kirdsiri and Jakrapong Kaewkhao 12
- THE PASTEURIZATION OF MILK APPLYING OHMIC HEATING IN COMPARISON WITH CONVENTIONAL METHOD AND THE QUALITY ATTRIBUTES OF LACTOSE-FREE MILK
  Napat Suebsiri, Pasawut Kokilakanistha, Titti Laojaruwat, Titaporn Tumpanuvat and Weerachet Jittanit 25
- INVESTIGATION OF TREMATODE METACERCARIAE IN FERMENTED FISH FROM UDON THANI AND KALASIN PROVINCES, THAILAND
  Nipawan Labbunruang and Jutharat Kulsantiwong 36
- ปริมาณแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงด้วยวิธีการสกัดแบบอัลตราโซนิก
  ฐานิดา รองสุพรรณ์ และ สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม 47
- การเตรียมน้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์วุ้นกะทิ
  นรินทร์ภพ ช่วยการ 62
- การพัฒนาการเกิดสีเหลืองของผักคะน้า
  ประกายดาว ยิ่งสง่า และ ลดา มัทธุรส 76

หน้า

- ความสัมพันธ์ของภาวะซึมเศร้าต่อระดับความดันโลหิตในผู้ป่วยความดันโลหิตสูง ชนิดไม่ทราบสาเหตุ ในโรงพยาบาลเจ้าคุณไพบูลย์ พนมทวน.....
  พรชนก นันตะเสนีย์ และ ชวนชม ธนานิธิศักดิ์..... 91
- คุณสมบัติทางเคมีและกระบวนการหมักเอทานอลจากมันพื้นเมืองสกุล *Dioscorea* sp.
  ศศิกานต์ ปานปราณีเจริญ และ นุชจรี สิงห์พันธ์..... 105
- การพัฒนาเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา สำหรับงานเครื่องปั้นดินเผา
  สุทธิดา การะเวก ศศิธร คนทน อนันตกุล อินทรผดุง และ ธัชทฤต เทียมธรรม 117
- การประยุกต์ใช้เทคนิคพื้นผิวขยายสัญญาณรามานด้วยคอลลอยด์ ของอนุภาคนาโนเงินสำหรับจำแนกหมึกปากกาในงานตรวจพิสูจน์เอกสาร ทางนิติวิทยาศาสตร์
  อภิญญา เกตุก้อง เขมฤทัย ถามะพัฒน์ ศิริพร จันทขันธ์ และ นพดล นันทวงศ์..... 137
- การสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก จากหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน
  อุไรวรรณ คำภูแสน นพพร บึกแว่น รัฐพล สังคะสุข สุขุมาล เหรียญทอง และ ลักขณา ฤกษ์เกษม 156
- INNOVATIVE USE OF FINELY GRADED LIMESTONE FOR IMPROVING THE FRESH PROPERTIES OF SELF-CONSOLIDATING CONCRETE INCORPORATING UNTREATED RICE HUSK ASH
  Natt Makul and Gritsada Sua-iam..... 169
- ภาคผนวก..... 189

ขั้นตอนการดำเนินงานการจัดทำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร 190

รายละเอียดการเตรียมบทความเสนอเพื่อตีพิมพ์ 192

บทความวิจัย

DEGRADATION KINETICS OF COLOR IN BUTTERFLY PEA (*Clitoria ternatea* L.) EXTRACT DRIED WITH SUGAR

Jintana Wiboonsirikul*

*Program of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Technology,
Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi, 76000, Thailand.

*E-mail: wiboonsirikul@yahoo.com

Received: 2018-09-28
Revised: 2018-11-30
Accepted: 2019-01-15

ABSTRACT

The Butterfly pea extract dried with sugar is commonly well known as unchan juice powder in Thailand. However, it is subjected to discoloration during storage in laminate pouch at ambient temperature. The objective of this study is aimed at investigation of degradation rate of the extract dried with sugar stored in 3 different packed conditions under accelerated test at the temperature range of 40-55 °C. The degradation of chroma value of the butterfly pea extract dried with sugar was found to follow a first order kinetics and its dependence on temperature was modeled by Arrhenius equation. The visual pigment degraded from azure to maya blue during storage in the conditions of normal atmosphere and partial vacuum for several weeks. The *L*a*b** and hue angle values of the extract dried with sugar increased with longer storage time. The butterfly pea extract dried with sugar was subjected to the slowest discoloration when it was kept in laminated aluminium pouch (PE/Al/PET) under normal atmospheric condition and the activation energy of the reaction was higher than that when it was kept under vacuum condition. The estimated half-life of the reaction was 55 days at 30 °C and the observed shelf-life of the extract dried with sugar kept at the same condition under ambient temperature (27-33°C) was 64 days.

Keywords: Butterfly pea, sugar, degradation kinetics

Introduction

Butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) known as un-chan is a blue and purple flower grown widely in Thailand and other countries in Southeast Asia. It is commonly used as a natural food coloring and extracted for juice, which is added with sugar during pasteurization. After water evaporation from the juice, the butterfly pea extract dried with sugar is turned into the crystallized particles and can keep in some types of laminated pouches at room temperature for several weeks. Major pigments of the butterfly pea flowers are anthocyanins, which are water soluble and stable in mild acid solution as well as gives out the blue color (Kungsuwan, Singh, Phetkao, & Utama-ang, 2014; Mohamad, Nasir, & Sarmidi, 2011). However, anthocyanins have still been limited use in food industries because of low stability during processing, formulation and storage. The anthocyanin stability is not only a function of the processing temperature but also is affected by the intrinsic properties of the products and the process such as pH, storage temperature, chemical structure, anthocyanin concentration in the presence of light, oxygen, enzymes, proteins, sugars, and metallic ions (Patras, Brunton, Donnel & Tiwari, 2010).

Nikkhah, Khayamy, Heidari, & Jamee (2007) report that increase in the sugar concentration has adverse affected on the stability of anthocyanin solution. When the sugar concentration is higher from 20% to 60%, the protective effect on anthocyanin is less. In addition, anthocyanin solution keeping in darkness has longer shelf-life than the one in a refrigerator. In addition, several researchers report that anthocyanins degrade faster at high temperature than at low one (Kirca, Özkan, & Cemeroglu, 2003).

Kinetic modeling is generally used to predict influence of processing and storage conditions on critical quality parameters. Knowledge of degradation kinetics including reaction order, rate constant, and activation energy is very important to predict food quality loss during storage. Anthocyanin degradation in both solutions and foods under isothermal heating are reported to obey first order kinetics (Mohamad, Nasir, & Sarmidi, 2011; Verbeyst, Van Crombruggen, Van der Plancken, Hendrickx, & Van Loey, 2011). Although the butterfly pea extract dried with sugar is dry, some of them in a packaging are subjected to degradation and consequently loss of good appearance quality for consumers. The objective of this study is to estimate stability

of butterfly pea extract dried with sugar stored in different laminated pouches and conditions by using kinetic modeling and accelerated shelf-life testing.

Methods

1. Preparation of butterfly pea extract dried with sugar and accelerated storage conditions

Butterfly pea flowers were obtained from a local market of Phetchaburi province, washed thoroughly and removed superficial water with paper sheet. Ten grams of flowers were added to 150 g of boiling water. The mixture was maintained to boil for 5 min. After filtration with sheet clot, the deep blue extract was collected and again boiled before addition of 300 g of table sugar. The mixture was stirred under heat until the sugar was crystallized. After sifting through 4-mm sieve, the butterfly pea extract dried with sugar was divided into 3 portions of 100 g each and then packed into the following 3 types of packing conditions. Pouch A was composed of laminated pouch with a clear side of oriented polypropylene (OPP) and the other opaque side with metallized cast polypropylene (OPP-MCPP). Pouch B was composed of opaque laminated film with polyester aluminium and polyethylene (PE/Al/PET) for both sides. After placing the extract dried with sugar into the pouch A and pouch B, they were sealed under atmospheric condition using a hand sealer (PFS-200, China). Pouch C was the same compositions as pouch B but sealed under vacuum condition using a vacuum sealer (DZ-260, China) after placing the extract dried with sugar into the pouch. All pouches were stored in an environment maintained at 85±3% relative humidity and 40, 45, 50, and 55 ^{o}C. One of the pouches from every condition was randomly taken out of the control environment for every 2-7 days and was evaluated for color using colorimeter (Colorflex, Reston, VA) in terms of Hunter L^* (lightness), a^* (greenness, -a^* to redness, +a^*), and b^* (blueness, -b^* to yellowness, +b^*). The instrument was calibrated with standard white and black tiles. All experiments were conducted in triplicates and for each sample, ten Hunter L^*, a^*, b^* values were recorded by rotating the glass cuvette between 0 and 360°. The chroma value and hue angle were obtained from the equation (1) and (2), respectively. The average of 10 readings of each Hunter color value was taken for the kinetic analysis.

$$\text{Chroma value} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

$$\text{Hue angle} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (2)$$

2. Kinetic calculations

Degradation of visual color has been found to follow first order reaction kinetics according to the model as follows (Fernando Reyes & Cisneros-Zevallos, 2007; Patras, Brunton, Ó Donnel, & Tiwari, 2010):

$$ln\ (C/C_0) = -kt \quad (3)$$

where C is the evaluated chroma values at any time t, C_0 is the evaluated chroma value at time zero, k is the temperature dependent rate constant (day^{-1}), and t is the storage time (day).

Dependence of degradation rate constant (k) on temperature is quantified by Arrhenius equation (4):

$$k = k_0\ exp(-E_a/RT) \quad (4)$$

where k is the rate constant at temperature T, k_0 is the frequency factor (day^{-1}), E_a is the activation energy (KJ/mol), R is the universal gas constant (8.314 J/mol.K), and T is the absolute temperature (K). Half life ($t_{1/2}$, days) was calculated by the equation (5).

$$t_{1/2} = ln0.5/k \quad (5)$$

3. Statistical analysis

A completely randomized design was used to schedule the experiments and collect data of color values. The effect of storage conditions were determined by analysis of variance (ANOVA) and graph using Microsoft Excel® 2013. The kinetic data were analyzed by linear regression analysis between each color value and time to obtain the suitable equations and coefficient of determination (R^2).

Results and Discussion

Butterfly pea flowers are dark purple. The major blue pigment of butterfly pea extract dried with sugar was resulted from anthocyanins as shown in Fig. 1(a), which were subjected to degrade during storage (Kungsuwan, Singh, Phetkao, & Utama-ang, 2014; Mohamad, Nasir, & Sarmidi, 2011) and resulted in light blue as shown in Fig. 1(b).



(a) (b)

Figure 1 Appearance of the butterfly pea extract dried with sugar packed in pouch A (a) before storage and (b) after storage for several weeks at ambient temperature.

1. Effect of storage conditions on visual color degradation

Degradation of the butterfly pea extract dried with sugar occurred as discoloration of the blue pigment from azure to maya blue as shown in Fig. 1(a)-(b). The L^*, $-a^*$, $-b^*$, and hue angle values increased but the chroma value decreased with longer storage time as shown in Table 1. During degradation of the pigment among the visual color parameters of L^*, a^*, b^*, chroma, and hue angle values, the color degradation rate was controlled by the chroma value with highest rate constant of the first order kinetic equation and R^2 at the same storage temperature. This result was in agreement with the other report (Mohamad, Nasir, & Sarmidi, 2011). In addition, color degradation of the butterfly pea extract dried with sugar indicated decrease in anthocyanin contents and the longer the storage time, the more the anthocyanin contents decreased (Fernando Reyes & Cisneros-Zevallos, 2007; Wesche-Ebeling, Argaíz-Jamet, Hernández-Porras, López-Malo, 1996).

Table 1 *L**, *a**, *b**, chroma value, and hue angle of the butterfly pea extract dried with sugar before and after storage for several weeks.

Color values	Pouch A		Pouch B		Pouch C	
	before	after	before	after	before	after
*L**	*52.02*	*54.58*	*53.53*	*54.48*	*53.53*	*60.11*
*a**	*-4.92*	*-0.89*	*-4.86*	*-2.0*	*-4.86*	*-2.85*
*b**	*-17.49*	*-12.75*	*-19.36*	*-15.99*	*-19.36*	*-12.90*
Chroma	*18.17*	*12.78*	*19.96*	*16.11*	*19.96*	*13.21*
Hue angle	*254.28*	*266.02*	*255.88*	*262.89*	*255.88*	*257.53*

The degradation data were analyzed using the equation (3) and linear regression to determine the rate constant for the degradation reaction. Destruction of color in the butterfly pea extract dried with sugar during storage is shown in Fig. 2a-2c. The chroma value decreased continuously with longer storage time. The reaction followed the first-order kinetics and the rate constant (*k*) of the reaction are shown in Table 2. The higher the rate constant, the higher the degradation rate is (Van Boekel, 2009). Decrease in chroma values as a function of storage temperature and time was in agreement with the reports of the other researchers (Pratras, Brunton, Tiwari, & Butler, 2011; Wesche-Ebeling, Argaíz-Jamet, Hernández-porras & López-Malo, 1996)

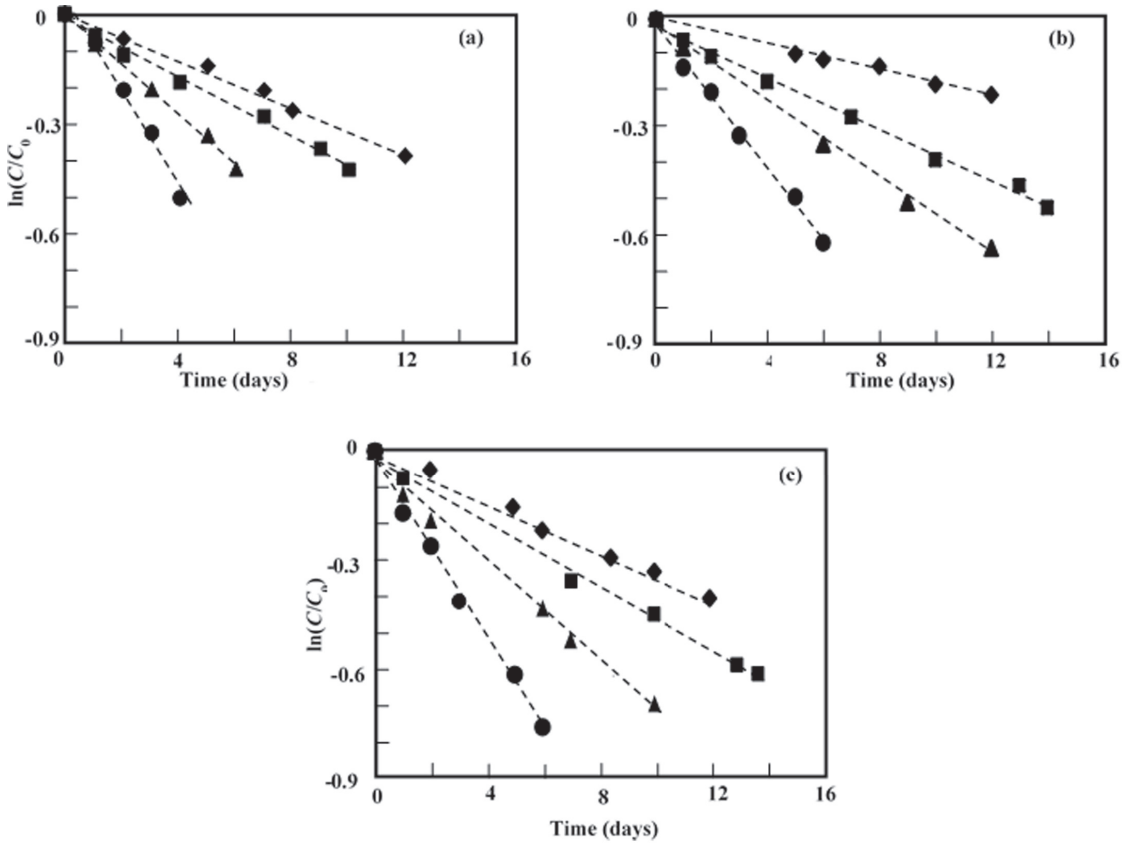


Figure 2 The first-order kinetic plots of changes in chroma values of the crystallized butterfly pea extract dried with sugar at various packing conditions of (a) pouch A, (b) pouch B, and (c) pouch C at the storage temperatures of (◆) 40°C, (■) 45°C, (▲) 50°C, and (●) 55°C.

According to Figure 2, the degradation rates of chroma values at the same temperature under vacuum condition of pouch C were higher than those under normal atmospheric condition of pouch A and pouch B and the degradation rates of both pouches were close together. This reason may be explained that some outer oxygen could more diffuse into the pouch A through the clear plastic side than into the pouch B due to higher oxygen permeability of the OPP film than the laminated aluminium film and participated in oxidation reaction (Siracusa, 2012).

Table 2 Effects of packing conditions and storage temperatures on the rate constant (*k*) and activation energy (*E*a) on color degradation of crystallized butterfly pea extract dried with sugar.

Packing conditions	Storage temperature (°C)	$k \times 10^2$ (day^{-1})	$t_{1/2}$ *(days)*	R^2	$*E_a$ (KJ/mol)
Pouch A	40	3.253	21.44±2.239	0.9939	78.46±2.235[b]
	45	4.035	17.31±1.944	0.9928	
	50	6.864	10.18±1.238	0.9866	
	55	12.65	5.508±0.5603	0.9831	
Pouch B	40	1.763	39.57±3.815	0.9907	95.61±4.571[c]
	45	3.554	19.61±1.875	0.9941	
	50	5.292	13.25±1.983	0.9957	
	55	9.964	6.992±0.6751	0.9947	
Pouch C	40	3.495	20.14±3.346	0.9936	71.97±3.027[a]
	45	4.373	16.14±3.031	0.9844	
	50	6.781	10.36±1.708	0.9831	
	55	12.34	5.669±0.7666	0.9802	

*Values followed by different letters are significantly different at $p < 0.05$.

2. Temperature dependence

Effect of temperatures on the rate constants was fitted to an Arrhenius-type equation according to Equation (4). The dependence of color degradation of the crystallized butterfly pea extract dried with sugar on storage temperatures at different packing conditions was presented in Fig. 3. Estimated activation energy (E_a) for the degradation of color in the crystallized butterfly pea extract dried with sugar stored in the pouch B was higher than in the pouch A and C, which indicated the color degradation in the pouch B was less sensitive to storage temperature or the color of the extract dried with sugar was more difficult to degrade than that in the other pouches. As the intensity of blue color is related to the anthocyanin contents, the darker blue at a specific pH, the higher the anthocyanin contents were (Mohamad, Nasir, & Sarmidi, 2011; Patras, Brunton, Tiwari, & Butler, 2011).

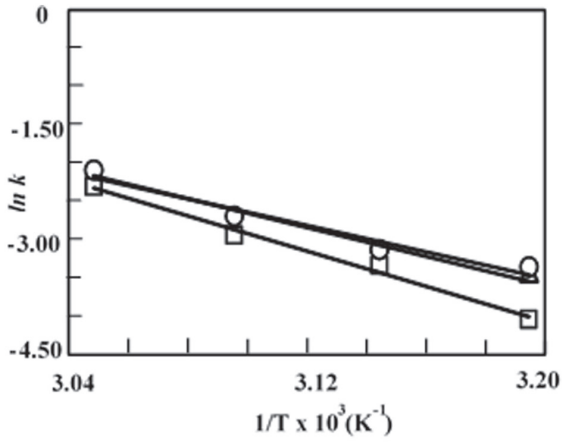


Figure 1 The Arrhenius plots for color degradation in crystallized butterfly pea extract dried with sugar in storage conditions of (△) pouch A, (○) pouch B, and (□) pouch C.

It should be noted that storage of the butterfly pea extract dried with sugar under vacuum condition caused faster color degradation than that under other packing conditions. The reason may be attributed to the particles of the butterfly pea extract dried with sugar under vacuum was subjected to caking phenomenon started from bridging, agglomeration, and finally compaction. Reduction of the interparticle spaces resulted in clumped particles (Aguilera, del Valle, & Karel,1995). The caking phenomena may be responsible for faster color degradation (Barbosa-Cánovas, Ortega-Rivas, Juliano, & Yan, 2005; Shirkole, & Sutar, 2018).

The packing condition of the pouch B was selected to conduct the stability of the crystallized butterfly pea extract dried with sugar under storage at ambient temperature (27-33°C). In order to validate the rate constant at 30°C, the predicted rate constant was obtained from the Arrhenius plots according to Fig. 3 using extrapolation method, which was 0.0107 day^{-1} and the half-life ($t_{1/2}$) calculated from the equation (5) was 55 days. The observed shelf-life of the crystallized butterfly pea extract dried with sugar stored at ambient temperature was 64 days.

Conclusions

Estimation of color degradation using change in chroma values of the crystallized butterfly pea extract dried with sugar stored in different laminated pouches

and conditions followed well the first order kinetics with the coefficients of determination (R^2) of 0.98 or higher for all accelerated temperatures from 40 to 55°C. The crystallized butterfly pea extract dried with sugar stored in the pouch C (PE/Al/PET) degraded faster than in pouch A and pouch B with the activation energies of 71.97, 78.46, and 95.61 KJ/mol, respectively. Thus, the appropriate storage condition for the butterfly extract dried with sugar should be at as low temperature as possible and under atmospheric condition not under vacuum condition. The results from this kinetic study under different conditions may use for suggestion of the suitable packaging and condition to store other herb extracts to extend their shelf-life to be as long as possible.

Acknowledgements

This project is funded under Phetchaburi Rajabhat University. Author thanks to Ms. Chantana Uanchai and Ms Ariya Kamkrob for their help in collecting experimental data.

References

Aguilera, J.M., del Valle, J.M., & Karel, M. (1995). Caking phenomena in amorphous food powders. **Trends in Food Science & Technology**. 6, 149-155.

Barbosa-Cánovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., & Yan, H. (2005). **Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality**. New York: Kluwer Academic/Plenum.

Fernando Reyes, L., & Cisneros-Zevallos, L. (2007). Degradation kinetics and colour of anthocyanins in aqueous extracts of purple- and red-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.). **Food Chemistry.** 100, 885-894.

Kirca, A., Özkan, M., & Cemeroglu, B. (2003). Thermal stability of black carrot anthocyanins in blond orange juice. **Journal of Food Quality**. 26, 361-366.

Kungsuwan, K., Singh, K., Phetkao, S., & Utama-ang, N. (2014). Effects of pH and anthocyanin concentration on color and antioxidant activity of *Clitoria ternatea* extract. **Food and Applied Bioscience Journal**. 2, 31-46.

Mohamad, M.F., Nasir, S.N.S., & Sarmidi, M.R. (2011). Degradation kinetics and colour of anthocyanins in aqueous extracts of butterfly Pea. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**. 4, 306-315.

Nikkhah, E., Khayamy, M., Heidari, R., & Jamee, R. (2007). Effect of sugar treatment on stability of anthocyanin pigments in berries. **Journal of Biological Science**. 7(8),1412-1417.

Patras, A., Brunton, N. P., Ó Donnel, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. **Trends in Food Science & Technology**. 21(3), 3-11.

Patras, A., Brunton, N. P., Tiwari, B. K., Butler, F. (2011). Stability and degradation kinetics of bioactive compounds and colour in strawberry jam during storage. **Food Bioprocess Technology.** 4, 1245-1252.

Shirkole, S.S., & Sutar, P.P. (2018). Modeling sorption phenomena and moisture migration rates in paprika (*Capsicum annumm* L.) using physicochemical characteristics. **Journal of Food Science and Technology.** 55, 678-688.

Siracusa, V. (2012). Review: Food packaging permeability behavior: A report. **International Journal of Polymer Science.** 1, 1-11.

Van Boekel, M.A.J.S. (2009). Kinetic modeling of reaction in foods. Florida: CRC Press.

Verbeyst, L., Van Crombruggen, K., Van der Plancken, I., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2011). Anthocyanin degradation kinetics during thermal and high pressure treatments of raspberries. **Journal of Food Engineering.** 105, 513-521.

Wesche-Ebeling, P., Argaíz-Jamet, A., Hernaíz-Jamet, A., Hernández-Porras, L.G., & López-Malo, A. (1996). Preservation factors and processing effects on anthocyanin pigments in plums. **Food Chemistry**. 57, 399-403.

บทความวิจัย

EFFECT OF Lu_2O_3 CONTENT ON RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF Lu_2O_3-Na_2O-B_2O_3 GLASSES

Kittisak Sriwongsa[1], Chanin Tinnakorn[2], Supakorn Laoarun[2], Punsak Glumglomchit[3, 5*], Sunantasak Ravangvong[4], Keerati Kirdsiri[5, 6] and Jakrapong Kaewkhao[5, 6]

[1]Lecturers responsible for Bachelor of Education Program in Physics, Faculty of Education, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

[2]The demonstration school of Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

[3]Huahin Vitthayalai School, Hua–Hin, Prachuap Khiri Khan, 77110, Thailand

[4]Division of Science and Technology, Faculty of Science and Technilogy, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi, 76000, Thailand

[5*]Physic Program, Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

[6]Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

[*]E-mail: Sriwongsa_k@silpakorn.edu

Received: 2018-09-23
Revised: 2019-01-16
Accepted: 2019-01-30

ABSTRACT

The glasses with composition xLu_2O_3-$20Na_2O$-$(80-x)B_2O_3$, where x = 5, 10, 15 and 20 mol% concentration variations of Lu_2O_3, were measured shielding radiation properties at different photon energies from 1 keV-100 GeV by using WinXCom software program. The values of mass attenuation coefficient, effective atomic number and electron density were found to increase with increasing energy and Lu_2O_3 content. The comparison results of glass systems with ordinary and hematite-serpentine concrete in terms of mass attenuation coefficient, half value layer, mean free bath and Removal cross sections for fast neutrons to test the accuracy of glass systems are about radiation protection. The results indicate that glass systems can be developed as radiation shielding materials.

Keywords: Borate glass, Lutetium, Radiation shielding properties.

Introduction

Due to the increased utilization of gamma rays isotopes in many industries such as nuclear reactors, food irradiation, agriculture, engineering, medical treatment, medical diagnostics, accelerator technologies, and manufacture. These gamma radiations are very damaging not only for personal but include laboratory appliance and environment. To handle with these problems, innovation, and exploration of new effective and feasible radiation shielding material is very important (Chanthima, N., and Kaewkhao, J. 2013, Issa et al., 2017, El-bashir et al., 2017). Concretes are basically used as shielding radiation materials whereas they have many limitations which including; (i) Concretes shielding properties are continuously modified by the escalation of humidity content. (ii) They can't look perpetually concrete because they are not transparent to visible light. (iii) Crack structures occur after exposure to nuclear radiations and prolonged deterioration. (iv) The interaction between nuclear radiations and concrete will cause heat which effects to concretes are a loss of water (Kaur et al., 2014). Glass, once of amorphous materials which normally appropriate properties because of they are an excellent transmission of visible light, easy to modify composition, good transparency, hard and great homogeneity (Kaur et al., 2014, Sayyed, M.I. 2016, El-bashir et al., 2017).

Among many glass materials, B_2O_3 is one of the popular, commonly and excellent glass formers. It can form glass by itself at lower melting points with lower cation size, higher bond strength, good rare-earth ion solubility, thermal stability, high chemical durability, good transparency, and their coordination geometry. It mostly stable configuration in trigonal $[BO_3]^{3+}$ and tetrahedral $[BO_4]^{3+}$ units (Kaur et al., 2012, Singh et al., 2014, Sayyed, M.I., 2016). Sodium-borate glasses have been used wildly as host matrices of lanthanide ions because of their properties, such as good rare-earth ion solubility, high thermal stability, high transparency, and low melting point. Accordingly, Na_2O has been mixed to increase homogenization and reduce melting temperature, of host glass as well as decrease bubbles and breakage (Rajagukguk et al., 2016).

In recent years, research focus on lutetium oxide doped glasses, which have been studied such as luminescent phosphors, single crystal, bioimaging probe, transparent film, up-conversion phosphor, and glass. Lu_2O_3 from RE-O group can be

found generally such as energy-saving lamps, color televisions, fluorescent lamps and glasses. It has a highest atomic number of REE (Z = 71), phase stability, low thermal expansion, high melting point and low phonon energy (Locardi et al., 2017, Liqiong et al., 2008, Legendziewicz, J. and Sokolnicki, J., 2008, Faridbod et al., 2015)

Herein, glass systems investigate shielding radiation properties at photon energy from 1 keV-100 GeV of borate glasses contain Lu_2O_3 and Na_2O. In term of HVL and mfp for glass systems are compares with ordinary and hematite–serpentine concrete at photon energy 1 keV-100 GeV.

Methods

A glass systems of Lu_2O_3-Na_2O-B_2O_3 were prepared 4 samples with chemical composition xLu_2O-$20Na_2O$-$(80-x)$ B_2O_3, (x = 5, 10, 15 and 20 mol%), each batch as 10 g. The raw materials H_3BO_3, Lu_2O_3, and Na_2CO_3 were mixed and melted in the electric furnace by melt quenching technic at 1500 °C for 3 h. After that, quickly poured in the block and annealed for 3 h. at 500 °C. In the end, cut and polished the glass systems. Archimedes method was applied to determine the density of the glass systems. A 4-digit sensitive microbalance (A&D, HR-200) was used to investigate the weights of glass systems in air and water, by using the formula ρ (g/cm^3) = (W_a X ρ_b) /(W_a – W_b). While W_a and W_b are weighed the weight of glass systems in air and water respectively, and ρ_b is referred to the density of water at the room temperature (25 °C) that was found to be 1.000 g/cm^3. The shielding radiation properties were measured at different photon energies from 1 keV-100 GeV by using WinXCom software program.

The basic quantities which describe the interaction of gamma rays with shielding radiation mediums are mass attenuation coefficient (μ_m), effective atomic number (Z_{eff}), electron density (N_{el}), mean free path (MFP) and half value layer (HVL) (Chanthima, N., and Kaewkhao, J. 2013,. Sayyed, M.I. 2016). When mono-energetic gamma rays are adapt to a narrow beam and pass into medium, there are interactions between gamma rays photon with the medium. This interaction may be occurred absorbed or scattering of photon. The probability of interactions of photon with the medium can investigate by mass attenuation coefficient (μ_m) in (cm^2/g). For event of mixture or compound of elements, μ_m can be calculated by (Chanthima, N., and Kaewkhao, J., 2013):

$$\mu_m = \sum_i w_i (\mu_m)_i \quad (1)$$

here wi and $(\mu_m)_i$ are weight fraction and mass attenuation coefficient of element i, respectively. For glass systems, μ_m has been determined by using WinXcom software at energy from 1keV–100 GeV.

The effective atomic number (Z_{eff}) is appropriate quantity for explaining interactions of gamma-ray and can be defined by following (Dong et al., 2017):

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_{t,a}}{\sigma_{t,el}} \quad (2)$$

The total atomic cross-section ($\sigma_{t,a}$) was evaluated by using equation [14]:

$$\sigma_{t,a} = \frac{\mu/\rho}{N_A \sum_i (w_i/A_i)} \quad (3)$$

here μ, ρ and N_A respectively are linear attenuation coefficient (cm^2/g), the density of the medium (g/cm^3), and Avogadro's number (6.0221415×10^{23} atom/mol).

The total electron cross-section ($\sigma_{t,el}$) of the element can be expressed by (Dong et al., 2017):

$$\sigma_{t,el} = \frac{1}{N_A} \sum_i \frac{f_i A_i}{Z_i} (\mu/\rho)_i \quad (4)$$

here Z_i and f_i denoted atomic number and fractional abundance of mixture element i, respectively.

The electron density (N_{el}) is the number of electrons per unit mass and calculated by (Chanthima, N. et al., 2017):

$$N_{el} = (\mu/\rho)/(\sigma_{t,el}) \quad (5)$$

The half value layer (HVL) is thickness of medium which reduces photon intensity to half of the incident intensity (I_0), and computed by using formula (Kaur et al., 2016):

$$HVL = \frac{0.693}{\mu} \quad (6)$$

Mean free path (MFP) is the average distance between two successive interactions is given by (Chanthima, N., and Kaewkhao, J., 2013):

$$MFP = \frac{1}{\mu} \quad (7)$$

Furthermore, effective removal cross–section for compounds and homogeneous mixtures can be computed from value Σ_R (in cm^{-1}) or $\Sigma_{R/\rho}$ (in cm^2/g) for various elements in compounds or mixtures by using formula (Singh et al., 2014):

$$\Sigma_R = \sum_i \rho i \, (\Sigma_R/\rho)_i \quad (8)$$

here ρ_i is partial density and $\Sigma_{R/\rho}$ is mass removal cross–section of ith constituent. $\Sigma_{R/\rho}$ values of elements apply from Kaplan and Chilton (Singh et al., 2014).

Results and discussion

This work, glass systems which varied Lu_2O_3 at 5, 10, 15 and 20 mol% content were melted by quenching technique and all glass samples are good transparency which exhibited in Fig.1. Density is tool in indicating the degree of adjusting information with remodeling in glass composition in order to know molecular packing inside medium (Mohd Zaid et al., 2016). Densities of glass systems were applied Archimedes technique and shown in Table 1. From Table 1 density of glass, system was increased with increasing Lu_2O_3 content that because of replacing of B_2O_3 by Lu_2O_3 which Lu_2O_3 has a molecular weight higher than B_2O_3.

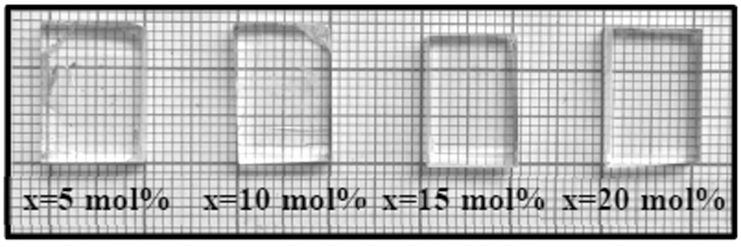


Figure 1 Photograph of Lu2O3 based glass systems

Table 1: Chemical compositions of the glass systems (mol%)

$[Lu_2O_3]$ (mol%)	Glass samples	Density (g/cm^3)
5	$5Lu_2O_3:20Na_2O:75B_2O_3$	2.7090 ± 0.0015
10	$10Lu_2O_3:20Na_2O:70B_2O_3$	3.1593 ± 0.0034
15	$15Lu_2O_3:20Na_2O:65B_2O_3$	3.3981 ± 0.0012
20	$20Lu_2O_3:20Na_2O:60B_2O_3$	3.7946 ± 0.0023

1. **Mass attenuation coefficients**

The variation of μ_m with energy from 1 keV-100 GeV for glass systems is exhibited in **Figure 2**

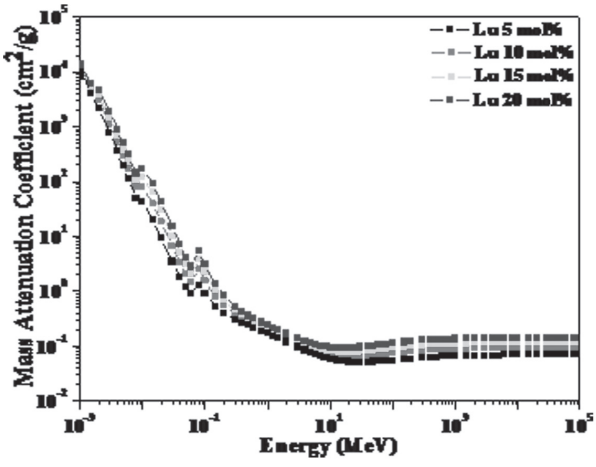


Figure 2 μ_m of glass systems with energy from 1 keV-100 GeV

Clearly, from **Figure 2**, μ_m for glass systems, decrease exponentially with the increase of photon energy. It is noted that, at low energy range (E < 500 keV), μ_m values of glass systems are very large and decrease rapidly with increasing energy. So, in this energy range, μ_m values were discontinuities due to absorption edge of lutetium at M (M_5: 1.588×10^{-3} MeV, M_4: 1.639×10^{-3} MeV, M_3: 2.024×10^{-3} MeV, M_2: 2.263×10^{-3} MeV, M_1: 2.491×10^{-3} MeV), L (L_3: 9.244×10^{-3} MeV, L_2: 1.035×10^{-2} MeV, L_1: 1.087×10^{-1} MeV) and K (6.331×10^{-2} MeV) energy level and absorption edge

of sodium K (1.072 X 10^{-3} MeV) energy level. In intermediate energy range (500 keV < E < 1 MeV), μ_m values decrease at slower rate, while for E > 1 MeV, μ_m values become nearly constant with increase of energy. These variations in μ_m values can be discussed by applying three partial photon interactions with the medium. The photoelectric effect and pair production processes appearing at lower and higher energy range. For intermediate energy range, Compton scattering process is the main interaction process. It is noted that μ_m values increase with increment in Lu_2O_3 concentration in glass systems. From Figure 2 μ_m values for glass sample with 20 mol% Lu_2O_3 are largest in glass systems; hence, this sample is excellent gamma ray shielding glasses.

2. Effective atomic number and electron density

The variation of Z_{eff} and N_{el} with energy for glass systems has been exhibited in Figure 3 and 4, respectively. Z_{eff} values for glass systems increases with increasing of energy. From Figure 3, Z_{eff} values acute shift occurs at 15 keV and 80 keV that can be discussed on knowledge of K edge absorption of Lu and Na respectively. Whereas, for glass systems at energies ranging from 80 keV-500 keV, Z_{eff} rapid decrease with increasing energy which can be discussed on basic of the dependence of cross–section of photoelectric effect which varies inversely with photon energy as $E^{3.5}$. Besides, glass systems at energy range from 0.5-7.0 MeV, Z_{eff} values are nearly independent of energy. That may be because of Compton scattering is the main process. At energy increases over 7.0 MeV, Z_{eff} values increases slowly and starts nearly constant over 80 MeV. That can discuss base on of pair production is dominance in higher energy range.

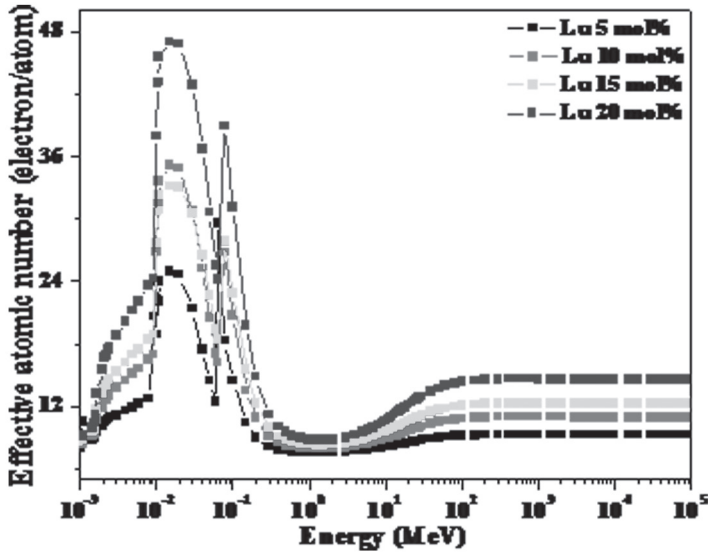


Figure 3 Z_{eff} of glass systems with energy from 1 keV-100 GeV

Figure 4 the variation of N_{el} with energy, in the range 1 keV-100 GeV, has indicated identical behavior of Z_{eff}.

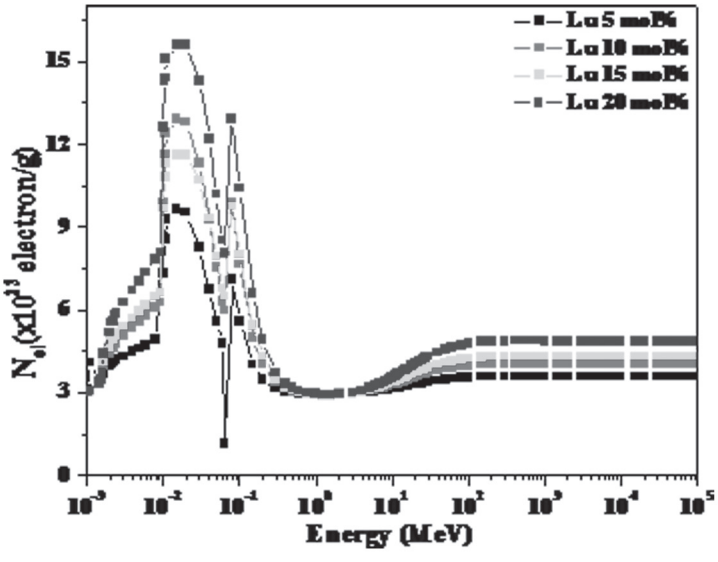


Figure 4 N_{el} of glass systems with energy from 1 keV-100 GeV

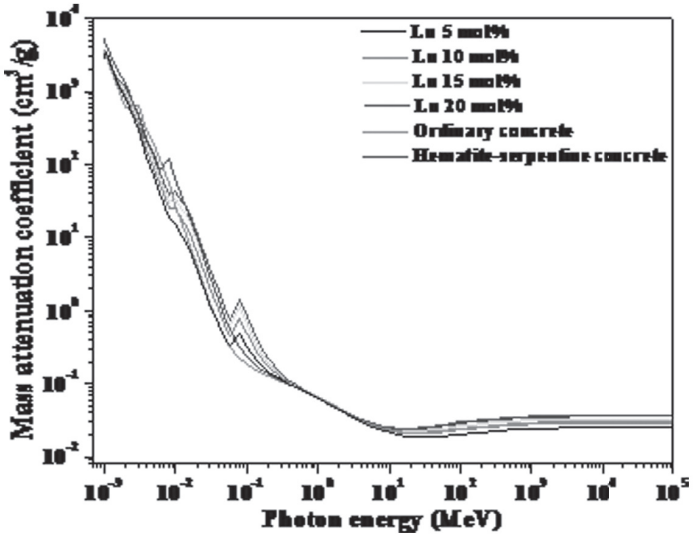


Figure 5 μ_m of glass systems, ordinary and hematite serpentine concrete with energy from 1 keV-100 GeV

Figure 5 exhibits μ_m of glass systems compared with ordinary and hematite-serpentine concrete (Bashter, I.I., 1997). From Fig. 5, μ_m of glass systems had a little higher values compared with some standard concrete mentioned earlier at intermediate energy range where Compton scattering is the main process.

3. Half-value layer and mean free path

The half value layer (HVL) is the parameter to describe radiation attenuation for the medium which medium has lower HVL values that are indicated better radiation shielding. Figure 6 exhibited results of comparison for glass systems with ordinary and hematite-serpentine concrete (Bashter, I.I., 1997).

From Figure 6, HVL values of glass systems increases up to 10 MeV and start nearly constant with increasing energy. The effect of increasing Lu_2O_3 content, HVL of glass systems were decreased that indicted gamma-ray shielding improves with the increment of Lu_2O_3 content. In part of comparison HVL, glass samples contained Lu_2O_3 at 10, 15 and 20 mol% have lower HVL values than ordinary and hematite-serpentine concrete. At energy lower 40 MeV, glass sample contained Lu_2O_3 at 5 mol% has HVL values lower than ordinary concrete after that it has HVL values higher than.

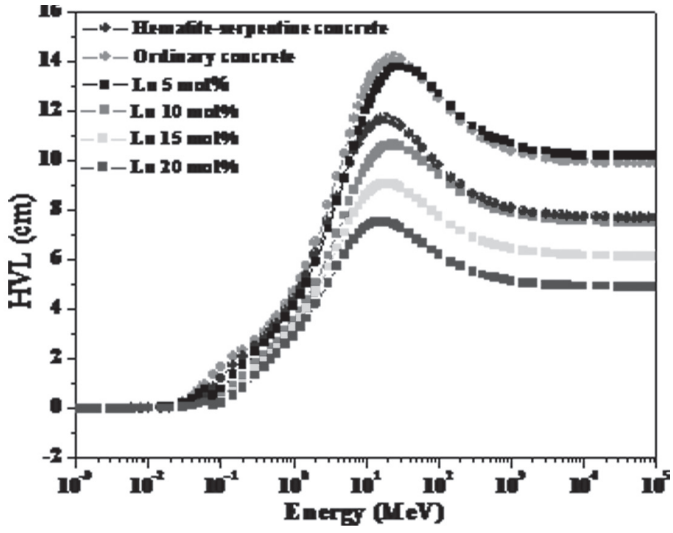


Figure 6 HVL of glass systems, ordinary and hematite-serpentine concrete with energy from 1 keV-100 GeV

The comparison means free path (mfp) values for glass systems, ordinary and hematite-serpentine concrete are exhibited in Fig. 7. From the figure, glass samples contained Lu_2O_3 at 10, 15 and 20 mol% have lower MFP values than all mentioned concretes. For glass contained Lu_2O_3 at 5 mol% at energy lower 40 MeV has MFP values lower than ordinary concrete after that it has MFP values higher than. So glass systems ability to be applied as the radiation shielding material.

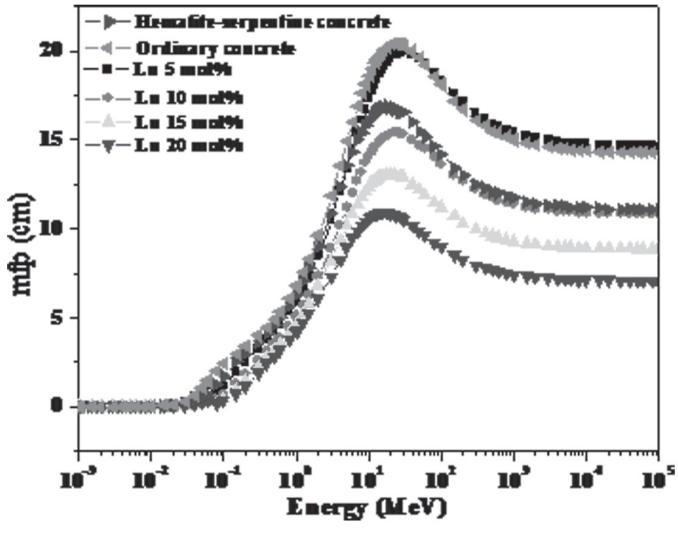


Figure 7 MFP of glass systems, ordinary and hematite serpentine concrete with energy from 1 keV-100 GeV

4. Removal cross-section for fast neutron

Table 2 Removal cross sections for fast neutrons Σ_R (cm^{-1}) for glass systems, ordinary and hematite-serpentine concrete.

Sample	Σ_R (cm^{-1})	Reference
$5Lu_2O_3:20Na_2O:75B_2O_3$	0.1144	This work
$10Lu_2O_3:20Na_2O:70B_2O_3$	0.1285	This work
$15Lu_2O_3:20Na_2O:65B_2O_3$	0.1329	This work
$20Lu_2O_3:20Na_2O:60B_2O_3$	0.1425	This work
Ordinary concrete	0.0937	[17]
Hematite-serpentine concrete	0.0967	[17]

The removal cross-section for fast neutron (Σ_R) for glass systems is exhibited in Table 2. It was found that Σ_R values for glass systems increase with the increase in Lu_2O_3 content. This result occurs replacement of B_2O_3 by Lu_2O_3 and Σ_R for glass systems found higher than ordinary and hematite–serpentine concrete.

Conclusions

In this work, density of glass systems was increased with increasing Lu2O3 content. The values of μ_m, Z_{eff}, N_{el}, HVL, and MFP for glass systems were measured for total photon interaction by using WinXCom software program at energy range from 1 keV-100 GeV. The values of μ_m, Z_{eff} and N_{el} were found to increase with increasing energy and Lu_2O_3 content. The comparison results of glass systems with ordinary and hematite-serpentine concrete in terms of μ_m, HVL, MFP, and Σ_R to test the accuracy of these glass systems are about radiation protection. Glass systems can be developed for radiation shielding materials.

Acknowledgement

The financial support from Nakhon Pathom Rajabhat University is gratefully acknowledged.

References

An, Liqiong., Zhang, Jian., Liu, Min. & Wang, Shiwei. (2008). Upconversion luminescence of Tm^{3+} and Yb^{3+}–codoped lutetium oxide nanopowders. **Journal of Alloys and Compounds**. 451, 538–541.

Bashter, I.I. (1997). Calculation of radiation attenuation coefficients for shielding concretes. **Annals of Nuclear Energy**. 24, 1389–1401.

Chanthima, N., and Kaewkhao, J. (2013). Investigation on radiation shielding parameters of bismuth borosilicate glass from 1 keV to 100 GeV. **Annals of Nuclear Energy**. 55, 23–28.

Chanthima,N.,Kaewkhao,J.,Limkitjaroenporn,P.,Tuscharoen,S.,Kothan,S.,Tungjai,M., Kaewjaeng, S., Arachai, S. & Limsuwan, P. (2017). Development of BaO–ZnO–B_2O_3 glasses as a radiation shielding material. **Radiation Physics and Chemistry**. 137, 72–77.

Dong, M.G., Sayyed, M.I., Lakshminarayana, G., Çelikbilek Ersundu, M., Ersundu, A.E., Nayar, Priyanka. & Mahdi, M.A. (2017). Investigation of gamma radiation shielding properties of lithium zinc bismuth borate glasses using XCOM program and MCNP5 code. **Journal of Non-Crystalline Solids**. 468, 12–16.

El-bashir, B.O., Sayyed, M.I., Zaid, M.H.M. & Matori, K.A. (2017). Comprehensive study on physical, elastic and shielding properties of ternary BaO–Bi_2O_3–P_2O_5 glasses as a potent radiation shielding material. **Journal of Alloys and Compounds**. 708, 294–300.

Faridbod, F., Sedaghat, M., Hosseini, M., Ganjali, M.R., Khoobi, M., Shafiee, A. & Norouzi, P. (2015). Turn–on fluorescent chemosensor for determination of lutetium ion. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular**. 137, 1231–1234.

Issa, Shams A.M. & Mostafa, A.M.A. (2017). Effect of Bi_2O_3 in borate–tellurite-silicate glass system for development of gamma–rays shielding materials. **Journal of Alloys and Compounds**. 695, 302–310.

Kaur, Gurbinder., Pandey, O.P. & Singh, K. (2012). Effect of modifiers field strength on optical, structural and mechanical properties of lanthanum borosilicate glasses. **Journal of Non-Crystalline Solids**. 358, 2589–2596.

Kaur, Sandeep. & Singh, K.J. (2014). Investigation of lead borate glasses doped with aluminium oxide as gamma ray shielding materials. **Annals of Nuclear Energy**. 63, 350–354.

Kaur, Kulwinder., Singh, K.J. & Anand, Vikas. (2016). Structural properties of Bi_2O_3–B_2O_3–SiO_2–Na_2O glasses for gamma ray shielding applications. **Radiation Physics and Chemistry**. 120, 63–72.

Legendziewicz, J. & Sokolnicki, J. (2008). Spectroscopy and structural characteristic of Yb^{3+} and Nd^{3+} ions doped nanostructured Lu_2O_3 and sol–gel derived silica host materials. **Journal of Alloys and Compounds**. 451, 600–605.

Locardi, F., Gianotti, E., Nelli, I., Caratto, V., Martinelli, A., Ferretti, M., Costa, G.A., Canesi, L., Balbi, T., Fasoli, M., Martini, M., Estevão, B.M. & Miletto, I. (2017). Facile synthesis of NIR and Visible luminescent Sm^{3+} doped lutetium oxide nanoparticles. **Materials Research Bulletin**. 86, pp. 220–227.

Mohd Zaid, Mohd Hafizd., Matori, Khamirul Amini., Ab Aziz, Sidek Hj., Kamari, Halimah Mohamed., AbdulWahab, Zaidan., Effendy, Nuraidayani. & Alibe, Ibrahim Mustapha. (2016). Comprehensive study on compositional dependence of optical band gap in zinc soda lime silica glass system for optoelectronic applications. **Journal of Non-Crystalline Solids**. 449, 107–112.

Sayyed, M.I. (2016). Bismuth modified shielding properties of zinc boro–tellurite glasses. J. **Alloys Compds**. 688, 111-117.

Singh, Vishwanath P., Badiger, N.M. & Kaewkhao, J. (2014). Radiation shielding competence of silicate and borate heavy metal oxide glasses: Comparative study. **Journal of Non-Crystalline Solids**. 404, 167–173.

Rajagukguk, J., Kaewkhao, J., Djamal, M., Hidayat, R., Suprijadi & Ruangtaweep, Y. (2016). Structural and optical characteristics of Eu^{3+} ions in sodium–leadzinc–lithium–borate glass system. **Journal of Molecular Structure**. 1121, 180–187.

.....

บทความวิจัย

THE PASTEURIZATION OF MILK APPLYING OHMIC HEATING IN COMPARISON WITH CONVENTIONAL METHOD AND THE QUALITY ATTRIBUTES OF LACTOSE-FREE MILK

Napat Suebsiri, Pasawut Kokilakanistha, Titti Laojaruwat, Titaporn Tumpanuvat and Weerachet Jittanit*

Department of Food Science and Technology, Faculty of Argo-Industry, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

*E-mail: fagiwcj@ku.ac.th

Received: 2018-10-01
Revised: 2019-01-22
Accepted: 2019-01-23

ABSTRACT

So far, there has been an increasing number of people with lactose intolerance reported in Thailand. The main objective was to determine the potential of applying ohmic method in the pasteurization of both normal and lactose-free milks. The lactose-free milk was prepared from the cow milk using lactase enzyme. The electrical conductivities of both normal and lactose-free milks obtained from various conditions were measured applying ohmic heating apparatus. Furthermore, the chemical and physical properties of milk samples pasteurized at 63 °C for 30 min by conventional method and ohmic method were compared. It appeared that the electrical conductivities of milk samples were in the range of 0.635-1.230 $S \cdot m^{-1}$ indicating that they could be efficiently heated by ohmic method. Moreover, the electrical conductivities of normal and lactose-free milks were insignificant different. There was no significant difference in aspects of protein content, total acidity and specific gravity between the milk samples pasteurized by conventional and ohmic methods. In summary, the ohmic method showed its potential for the milk pasteurization.

Keywords: free lactose milk, ohmic heating, electrical conductivity

Introduction

Ohmic heating is an innovative thermal processing method that does not rely on heat conduction, convection and radiation mechanisms. The electrical energy conducted through the food is converted into thermal energy owing to the electrical resistance of food (Joule's Law) leading to the volumetric and instantaneous heating. The heat power generation during ohmic heating is directly proportional to the square of applied electrical field strength and the electrical conductivity of food (Cappato et al., 2017). The main mechanism of microbial inactivation caused by ohmic heating is the thermal effect on membrane and enzyme of microorganism (Sun et al., 2008). On the other hand, Previous studies reported that microbial inactivation caused by ohmic heating was due to the electroporation of cell membranes by electric current (non-thermal effect) (Yoon et al., 2002). Palaniappan et al., (1992) reported that no difference between effects of ohmic heating and conventional under same thermal history conditions on the death kinetic of yeast cell. Otherwise, Pereira et al. (2008) investigated effect on microbial inactive in dairy product by using ohmic method in comparison with conventional method under same temperature profile (63 and 65 ºc), and reported that D and Z value by ohmic method are lower than those by conventional method under same condition. The electrical conductivity of food usually depends on temperature, ionic mobility and the percentage of non-conductive components, such as fat, sugar and gases (Cappato et al.,2017). The effect of fat content on the electrical conductivity of ice cream was investigated and found that the Maras type ice cream (fat content of 3.3%) had higher electrical conductivity and consequently the faster heating rates than those of traditional ice cream in Turkey (fat content of 9.8%) (Kim and Kang, 2005). Moreover, they found that the increase in fat content led to a non-homogeneous heat distribution within the samples. Shivmurti et al. (2014) compared the chemical properties of milk heated by conventional and ohmic methods. They found that the ohmically heated milk had total acidity, fat, solid-non fat, protein, total solids contents of 0.063, 6.003, 5.840, 2.777, and 11.840% respectively that were not significantly different from those of conventionally heated sample.

The application of ohmic heating technology has several advantages over the conventional process due to the possibility to promote fast and even heating in the product if the electrical conductivity of product is sufficiently high and uniform.

Therefore, this technique has the potential to reduce the impact of the heat treatment on food product quality. The range of electrical conductivity of food that is suitable for ohmic heating is 0.01 to 10 $S \cdot m^{-1}$ (Shivmurti et al., 2014). Moreover, the other advantages of ohmic heating consist of the ease of process control, higher energy efficiency, fouling reduction at the heating surface and no steam boiler requirement (Cappato et al., 2017).

Person with lactose intolerance are unable to digest lactose due to a genetically deficient amount of the enzyme lactase. Common symptoms include abdominal pain and bloating, excessive flatus, and watery stool following in the digestion of foods containing lactose. Lactose deficiency is present in up to 15 percent of people in northern European, up to 80 percent of blacks and Latinos (Daniel et al., 2002) and between 65-85% of adults in East Asian and African (Heaney, 2013). Treatment usually consists of avoiding lactose-containing foods and taking lactase enzyme supplements (Daniel et al., 2002). The degree of lactose malabsorption greatly varies among patients with lactose intolerance; however, most of them can consume up to 12 oz. of milk daily without symptoms (Daniel et al., 2002). In this study, the lactose-free milk was prepared from the cow milk using lactase enzyme. The electrical conductivities of both normal and lactose-free milks were measured in order to realize the effect of lactose digestion on the electrical conductivity of milk and subsequently the ohmic heating applicability. Furthermore, the properties of milk samples pasteurized by conventional and ohmic methods were compared. The key objective was to determine the potential of applying ohmic method in the pasteurization of both normal and lactose-free milks.

Methods

Milk sample preparation

The raw cow milk was purchased from KU Dairy Center, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. Raw milk was preheated at 50 °C using a double jacket kettle (Cleveland, model KET-6-T, USA) and then holding for 5 min prior to homogenization by a two stage homogenizer (APV, model 15MR-8TA, UK) at the $1^{st}/2^{nd}$ stage pressures of 2,500/500 psi. The homogenized milk was divided into 2 portions. The 1st part was pasteurized by conventional method using double jacket kettle whereas the ohmic method was applied for pasteurizing the 2nd portion. The schematic diagram of the

ohmic heating apparatus for milk pasteurization is shown in Fig. 1. The ohmic cell was made of glass with the inside diameter of 195 mm and height of 300 mm. The two curved rectangular electrodes placed inside the cell were made of titanium plate Gr-2 with their width and height of 70 and 240 mm, correspondingly. The distance between the centers of the electrodes was 95 mm. The sample temperature was measured using Type-T thermocouple located at the center of ohmic cell and recorded by a data logger (Yokogawa, model DX 1012, Japan). The electrical voltage and current were measured by a digital multimeter (Fluke, model 8808 A, USA). The pasteurization condition for both method was specified at temperature of 63°C and holding for 30 min. It must be noted that the temperature profile of sample during heated by ohmic method was controlled to be similar to that of conventional heating method by regulating the variable transformer (AC power supply) along the ohmic heating process. After pasteurization, the milk samples were immediately cooled down to around 4 °C using ice water before cold storage.

A portion of the pasteurized milk samples obtained from both conventional and ohmic methods were also processed to be lactose-free milk using lactase enzyme supplied by Institute of Nutrition, Mahidol University at Salaya, Thailand. For the lactose-free milk processing, the lactase enzyme was added into the pasteurized milk at the specified amount (1 mL per 1 L of milk) and then storing the samples at the temperature range of 0-4 °C for 18 h for the enzymatic reaction.

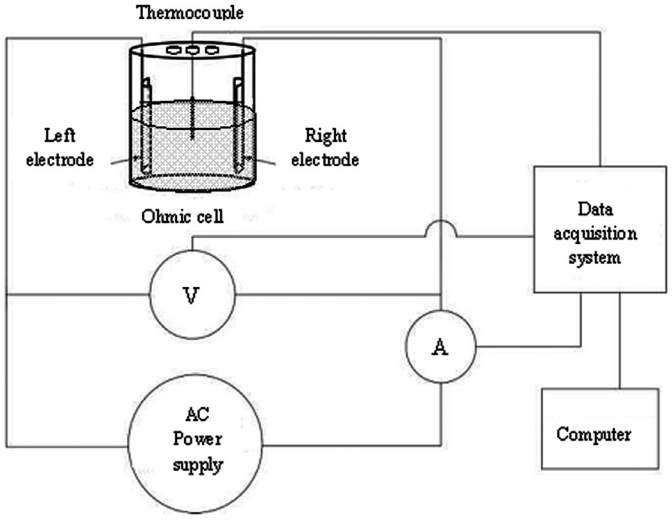


Figure 1 Schematic diagram of the ohmic heating device for pasteurization

Pasteurized milk measurement

Milk samples pasteurized by conventional and ohmic methods were checked their pasteurization completeness via the detection of alkaline phosphatase in the pasteurized milk products. The Macherey-Nagel™ Phosphatesmo MI Qualitative Test Paper (Macherey-Nagel™, model Macherey-Nagel™ 90612, Germany) was used. This test strip allows the specific detection of alkaline phosphatase in milk and commonly applied in dairy industry. The strips were dipped into the milk and incubated at 36 °C for 10 min. If the paper remained white, it indicated that the milk was completely pasteurized.

Electrical conductivity measurement

The milk samples including (1) raw milk, (2) milk pasteurized by conventional method, (3) lactose-free milk pasteurized by conventional method and (4) lactose-free milk pasteurized by ohmic method (Milk pasteurized by ohmic method was not measured electrical conductivity. Because the main purpose was to determine the factors that effect to the electrical conductivity. The factors are both type of milk (raw milk, milk pasteurized by conventional method, lactose-free milk) and pasteurized method (ohmic method and conventional method). The study investigated the result of lactose free milk pasteurized by ohmic and conventional method) were measured their electrical conductivities using a static ohmic heating device that was built at the Department of Food Science and Technology, Kasetsart University, Thailand (Tumpanuvatr et al., 2015). The schematic diagram of the apparatus is presented in Fig. 2. The cylindrical ohmic cell was made from acrylic pipe and the electrodes were stainless steel grade 316. The diameter of electrode was 0.0215 m while the distance between electrodes was 0.085 m. The electrical field strength applied in this measurement was in the range between 11-13 $V \cdot cm^{-1}$. The sample temperature was measured using Type-T thermocouple located at the center of ohmic cell and recorded by a data logger. The electrical voltage and current were measured by a digital multimeter. The experiment was conducted in triplicate for each type of sample. The electrical conductivity of sample was calculated applying Equation (1).

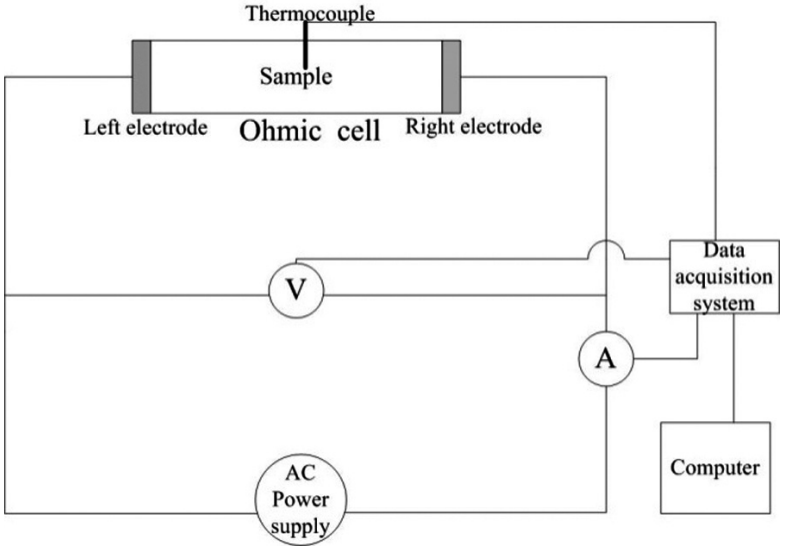


Figure 2 Schematic diagram of the ohmic heating device for electrical conductivity measurement

$$\sigma = IL/AV \quad (1)$$

where σ = Electrical conductivity ($S \cdot m^{-1}$), A = Cross sectional area of electrode (m^2), I = Electrical current (Ampere), L = Distance between the electrodes (m), V = Applied voltage (Volt).

Determination of chemical and physical properties of milk samples

The protein contents of milk samples including (1) raw milk, (2) milk pasteurized by conventional method, (3) milk pasteurized by ohmic method, (4) lactose-free milk pasteurized by conventional method and (5) lactose-free milk pasteurized by ohmic method were determined following the Manual Method of Analysis of AOAC International Official Methods 2012 (Laporte and Paquin, 1999). Furthermore, these samples were measured their color values using a colorimeter (MiniScan XE, HunterLab, USA) in the L*, a*, b* scale. L* represents lightness ($0 \leq L^* \leq 100$, while a*(+), a*(-), b*(+) and b*(-) represent redness, greenness, yellowness, and blueness correspondingly (Thoh et al., 2017). The total acidity values of all pasteurized *milk* samples were determined following the Official Methods of Analysis of AOAC International Official Methods 2012 (Laporte and Paquin, 1999). Also, their specific gravity values were measured applying a hydrometer. All the measurements were conducted in triplicate.

Milk samples pasteurized by conventional and ohmic methods were checked their pasteurization completeness via the detection of alkaline phosphatase in the pasteurized milk products. The Macherey-Nagel™ Phosphatesmo MI Qualitative Test Paper (Macherey-Nagel™, model Macherey-Nagel™ 90612, Germany) was used. This test strip allows the specific detection of alkaline phosphatase in milk and commonly applied in dairy industry. The strips were dipped into the milk and incubated at 36 °C for 10 min. If the paper remained white, it indicated that the milk was completely pasteurized.

Results and Discussion

The photograph of the test strips after testing the alkaline phosphatase in the milk pasteurized by conventional and ohmic methods are illustrated in Fig. 3. The white color of both strips indicated that both milk samples were completely pasteurized. The alkaline phosphatase in the pasteurized milk samples was inactivated. This result confirmed that the application of ohmic method in milk pasteurization provided the comparable effect to that of conventional heating method. Similarly result has been reported for yeast cell (Palaniappan et al., 1992).

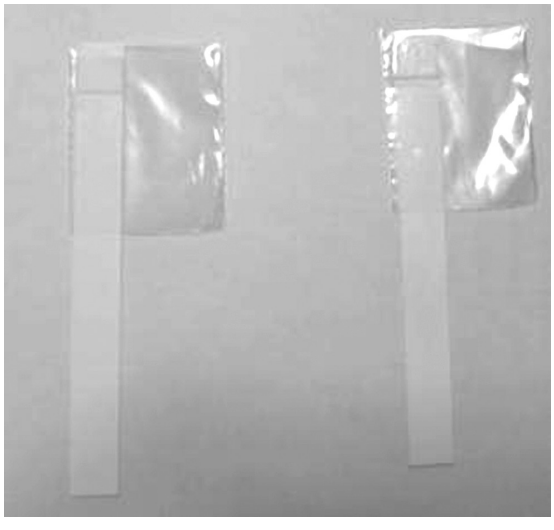


Figure 3 The test strips after the detection of alkaline phosphatase for the milk pasteurized by conventional and ohmic methods

The results of the electrical conductivity measurement of milk samples at the temperatures between 30 and 80 °C were illustrated in Fig. 4. It appeared that the electrical conductivities of samples ranged between 0.635-1.230 $S \cdot m^{-1}$. No difference was found in the result of the electrical conductivity on 3 type of milk and no difference was found in term of pasteurization method between lactose-free milk pasteurized by conventional method and lactose-free milk pasteurized by ohmic method. Referring to Lyng and McKenna (2006), the food materials with electrical conductivities in the range of 0.01-10 $S \cdot m^{-1}$ are suitable for ohmic heating. Obviously, the electrical conductivity values increased along the rising temperature. It is unsurprising because the electrical conductivity of sample depended on the ionic mobility within the sample. At the higher temperature, the ions could move more rapid due to its high potential energy causing the increase of electrical conductivity. Moreover, it appeared that the electrical conductivities of all samples were similar implying that the degradation of lactose by lactase enzyme did not apparently affect the electrical conductivity of milk.

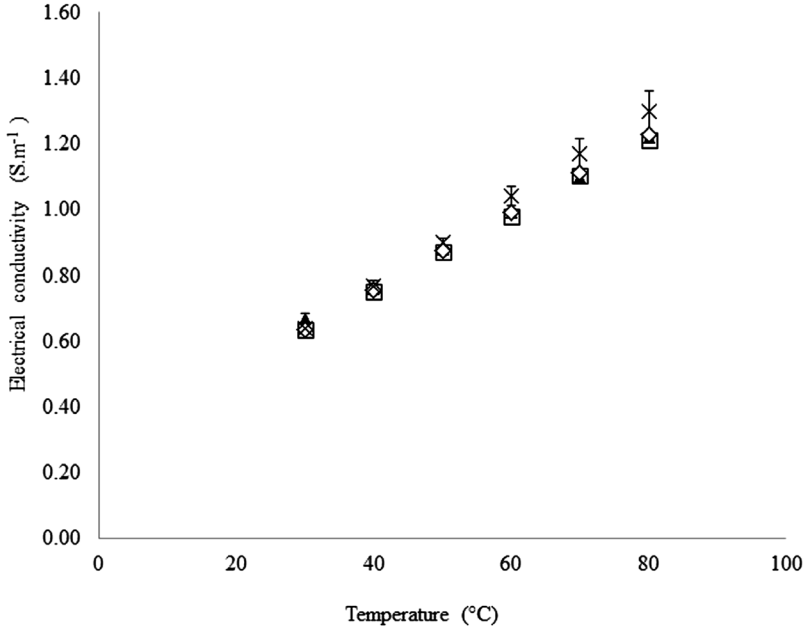


Figure 4 Electrical conductivity values of milk samples.
(× = Raw milk, ◇ = Milk pasteurized by conventional method,
□ = Lactose-free milk pasteurized by conventional method,
▲ = Lactose-free milk pasteurized by ohmic method)

The protein contents and color values of milk samples are presented in Table 1. It appeared that the protein contents of samples were insignificantly different. Although the enzyme used for the lactose digestion can be categorized as protein, it did not result in the increase of protein content in the lactose-free milk samples because only the little amount of enzyme was used. In addition, this result implied that the protein lose as the fouling on the surface of electrodes in the ohmic heating was comparable to that on the heating contact surface in the conventional heating. The lightness values of pasteurized samples were significantly lower than that of raw milk while the a* and b* values of raw milk were significantly different from those of pasteurized milk specimens. It can be explained that the heat treatment during pasteurization caused the browning reactions such as Maillard reaction leading to the more intense color. However, the color values of samples pasteurized by different heating methods were similar.

The total acidity and specific gravity values of all pasteurized milk samples are shown in Table 2. It is clear that their total acidity and specific gravity values were insignificantly different. This result demonstrated that the applications of lactase enzyme and different heating methods did not influence to the total acidity and specific gravity values of milk samples.

Table 1 The protein contents and color values of milk samples

Sample	Protein content (%)	Color		
		L*	a*	b*
Raw milk*	3.01	$93.96^{a} \pm 0.05$	$0.38^{d} \pm 0.05$	$13.59^{e} \pm 0.19$
Milk pasteurized by conventional method	$2.92^{ns} \pm 0.18$	$95.09^{b} \pm 0.83$	$-1.57^{ab} \pm 0.02$	$9.91^{a} \pm 0.15$
Milk pasteurized by ohmic method	$2.93^{ns} \pm 0.01$	$95.09^{bc} \pm 0.83$	$-1.44^{c} \pm 0.03$	$10.39^{bc} \pm 0.10$
Lactose-free milk pasteurized by conventional method	$2.99^{ns} \pm 0.02$	$96.27^{d} \pm 0.48$	$-1.61^{a} \pm 0.06$	$10.47^{c} \pm 0.17$
Lactose-free milk pasteurized by ohmic method	$2.90^{ns} \pm 0.02$	$95.66^{bcd} \pm 0.17$	$-1.43^{c} \pm 0.04$	$10.44^{bc} \pm 0.13$

Remark: The superscript "ns" means not significantly different ($p \geq 0.05$).

*Raw milk sample was determined its protein content using Lactostar (Funke gerber, Lactostar model 3510, Germany) at KU Dairy Center, Kasetsart University.

Table 2 The total acidity and specific gravity values of all pasteurized milk samples

Sample	Total acidity (%)	Specific gravity (%)
Milk pasteurized by conventional method	$0.17^{ns} \pm 0.01$	$1.03^{ns} \pm 0.00$
Milk pasteurized by ohmic method	$0.17^{ns} \pm 0.01$	$1.03^{ns} \pm 0.00$
Lactose-free milk pasteurized by conventional method	$0.17^{ns} \pm 0.01$	$1.04^{ns} \pm 0.00$
Lactose-free milk pasteurized by ohmic method	$0.17^{ns} \pm 0.00$	$1.03^{ns} \pm 0.00$

Remark: The superscript "ns" means not significantly different ($p \geq 0.05$)

Conclusion

The normal and lactose-free milk samples can be heated by ohmic method due to their suitable electrical conductivities. The electrical conductivities of normal and lactose-free milk samples were not significantly different. The protein contents of all pasteurized samples were insignificantly different implying that the protein lose as the fouling on the surface of electrodes in the ohmic heating was comparable to that on the heating contact surface in the conventional heating. The applications of lactase enzyme and different heating methods did not influence to the total acidity and specific gravity values of milk samples. The result of alkaline phosphatase test showed that both conventionally and ohmically heated milk samples were completely pasteurized confirming that the application of ohmic method provided the comparable effect to that of conventional heating method. The ohmic method has the potential for applying in the lactose free milk pasteurization.

References

Cappato, L., Ferreira, M., Guimaraes, J., Portela, J., Costa, A., Freitas, M., Cunha, R., Oliveira, C., Mercali, C., Marzack, L. & Cruz, A. (2017). Ohmic heating in dairy process: Relevant aspects for safety and quality. **Trends in Food Science and Technology**. 62, 104-112.

Daniel, S., Anne, W. & Robert, K. (2002). Lactose intolerance. **American Family Physician**. 66, 1845-1850.

Heaney R. (2013). Dairy intake, dietary adequacy, and lactose intolerance. **Advances in Nutrition**. 4, 151-156.

Kim, S. & Kang, D. (2005). Effect of milk fat content on the performance of Ohmic heating for inactivation Escherichia coli O157:H7, Salmonella enterica Serovar Typhimurium and Listeria monocytogenes. **Journal of Applied Microbiol**. 119, 475-486.

Laporte, M. & Paquin, J. (1999). Near-Infrared Analysis of Fat, Protein, and Casein in Cow's Milk. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 47, 2600-2605.

Lyng, G. & McKenna, M. (2007). **Dairy and Food Machinery**. 2rd Edition. New York: Academic Press.

Palaniappian, S., Sastry, S.K. & Richer, E. R. (1992). Effects of electro conductive heat treatment and electrical pretreatment on thermal death kinetics of selected microorganism. **Biotechnol. Bioeng**. 39, 225-232.

Pereira, R., Martins, R.C. & Vincente, A. (2008). Goat milk free fatty acid characterixation during conventional and ohmic heating pasteurization. **Journal of Dairy Science**. 91, 2925-2937.

Shivmurti, S., Harshit, P., Rinkita, P. & Smit, P. (2014). Comparison of chemical properties of milk when conventionally and ohmically heated. **International Food Research Journal**. 21.

Sun, H., Kawamura, S., Himoto, J, -i., Ioth, K., Wada, T. & Kimura, T. (2011). Effects of ohmic heating on microbial counts and denaturation of protein in milk. **Food Science and Technology Research**. 14. 117-123.

Thoh, D., Pakdeechanuan, P. & Chanjula, P. (2017). Effect of supplementary glycerin on milk composition and heat stability in dairy goats. **Asian-Australasian Journal of Animal sciences**. 30, 1711-1717.

Tumpanuvatr, T., Jittanit, W., Keawchutong, S, Jan-Ob, O., Pham, H. & Sajjaanantakul, T. (2015). Comparison Between Ohmic and Conventional Heating of Pineapple and Longan in Sucrose Solution. **Kasetsart Journal. (Natural.Science.)**. 49, 615-625.

Yoon, S., Yung, C., Lee, K., & Lee, C.H. (2002). Leakage of cellular materials from Saccharomyces cerevisiae. **Journal Microbiology Biotechnology**. 12, 183-188

บทความวิจัย

INVESTIGATION OF TREMATODE METACERCARIAE IN FERMENTED FISH FROM UDON THANI AND KALASIN PROVINCES, THAILAND

Nipawan Labbunruang* and Jutharat Kulsantiwong

Department of Biology, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University, Udon Thani, Thailand, 41000

*E-mail: nipawan7585@gmail.com

Received: 2018-09-23
Revised: 2019-01-22
Accepted: 2019-03-12

ABSTRACT

Food-borne disease is an important public health problem in South East Asia including Opisthorchaiasis which endemic in Thailand, Laos PDR and Cambodia. Infective stage of Trematode is the metacercariae which encysted in the muscles of Cyprinoid fish. The parasite transmission is caused by consuming of uncooked or raw infected fish. In this study, two products of fermented fish were collected from five districts of Udon Thani province and seven districts of Kalasin province. All samples were digested with 0.25% pepsin solution with 37°C for 1 hour, after that filtered through the various sizes of sieves. The trematode metacercariae were identified under a stereo microscope and a compound microscope. A total of 31 metacercariae (Mc) were found in *Pla-ra* (9 Mc) and *Pla-som* (22 Mc) with shorter fermentation period which collected from Kumphawapi Kumphawapi, Mueang Udon Thani, and Kut Chap districts. The average numbers of metacercariae were 0.038 Mc/g to 0.006 Mc/g. The percentage of positive sample sites was 9.1 % (1/11) for *Pla-ra* and 42.9% (3/7) for *Pla-som*. The infected fish species were *Barbodes aurotaeniatus* and *Barbonymus gonionotus*. This observation is useful for the public health organization in terms of parasitic disease awareness and prevention.

Keywords: Trematode metacercariae, Fermented Fish, Cyprinoid fish

Introduction

Metacercariae are the infective stage of trematodes or flat worm parasites which cause a serious public health problem in many countries in South East Asia (WHO., 2004). The main species are *Opisthorchis viverrini, Clonorchis sinensis* and members of the family Heterophyidae. This encysted stage of the parasites is found in muscles of infected cyprinoid fish. Generally, people are infected by ingestion of raw fish or undercooked fish (Sripa et al., 2010).

Numbers of trematode metacercariae in cyprinoid fish have been reported from several provinces in Thailand, for example Chiang Mai, Nakhon Ratchasima, and Phitsanulok (Sukontason et al., 2001, Nithiuthai et al., 2002, Noikong et al., 2011).

O. viverrini metacercariae were detected in the cyprinoid fish species *Cyclocheilichthys repasson*, *C. armatus, Henicorhynchus lineatus, Puntioplites proctozysron, Hampala dispar*, and *Osteochilus waandersii* (Manivong et al., 2009). Metacercariae of Heterophyidae were positive in *Puntius leiacanthus, Cyclocheilichthys armatus*, and *Hampala dispar* (Nithiuthai et al., 2002). The popular traditional cyprinoid fish dishes among northeastern people are salt-fermented fish (*Pla-ra*), sticky rice-fermented fish (*Pla-som*), and raw fish salad (*Koi-pla*) (Prasongwatana et al., 2012). The infected cyprinoid fish will cause the parasitic disease of local people who consume the uncooked fish dishes. Opisthorchiasis has been reported in many regions of Northeast Thailand (Sithithaworn and Haswell-Elkins, 2003, Thaewnongiew et al., 2014).

Udon Thani and Kalasin provinces have large fresh water reservoirs and the local residents consume fish as a protein source. *Pla-ra* and *Pla-som* are the well-known local products of some districts in both provinces such as Nong Kung Si districts (Department of Cultural Promotion, 2019). Negative results were reported for metacercariae in cyprinoid fish from Udon Thani province and Kalasin province (Pinlaor et al., 2013). However, the prevalence of Opisthorchiasis remains a health problem in both areas (Thaewnongiew et al., 2014, Yahom et al., 2013). Therefore, the infection of fish products should be concerned. The aim of this study is to investigate the trematode metacercariae in fermented fish from Udon Thani province and Kalasin province. The demonstration of trematode infective metacercariae in fermented fish will support a campaign to consume only properly cooked fish in Northeast Thailand.

Methods

1. Sample collection

The study was conducted at 5 districts of Udon Thani province namely Sang Khom, Mueang Udon Thani, Kumphawapi, Nong Wua So, Kut Chap and 7 districts of Kalasin province including Mueang Kalasin, Tha Khantho, Nong Kung Si, Khong Chai, Yang Talat, Sahatsakhan and Kamalasai Northeast Thailand during July, 2017 to February, 2018 (Table 1). The samples consisted of two kinds of fermented fish namely *Pla-ra* and *Pla-som. Pla-ra* is produced from high salt-fermentation. This process needs more time of incubation (roughly 2 months to a year) whereas *Pla-som* is made from sticky rice-fermentation which consume less time of incubation (roughly 3 days to 12 days). Roughly half of kilogram to two kilograms of samples were randomly purchased from local markets, the sample quantities were different depend on the products were purchased from the villagers or vendors. Each sample was labelled with name of districts and time period of fermentation. The products were made from various fish species such as *Barbodes aurotaeniatus, Henicorhynchus siamensis* etc. All fish species are shown in table 2.

Table 1 Sample collection sites and fermented fish sample

Site	Province	Districts	Fermented Fish	
			Pla-ra	*Pla-som*
1	Udon Thani	Sang Khom	✓	✓
2		Mueang	✓	✓
3		Kumphawapi	✓	✓
4		Nong Wua So	✓	-
5		Kut Chap	✓	✓
6	Kalasin	Mueang	✓	-
7		Tha Khantho	✓	✓
8		Nong Kung Si	✓	-
9		Khong Chai	✓	✓
10		Yang Talat	✓	-
11		Sahatsakhan	-	✓
12		Kamalasai	✓	-

Table 2 Time period of fermentation of *Pla-ra* and *Pla-som*

Districts	*Pla-ra*		*Pla-som*	
	<3 months	>3 months	<1 week	>1 week
Sang Khom	-	✓	✓	✓
Mueang Udon Thani	-	✓	✓	-
Kumphawapi	✓	-	✓	-
Nong Wua So	-	✓	-	-
Kut Chap	-	✓	✓	-
Mueang Kalasin	-	✓	-	-
Sahatsakhan	-	-	-	✓
Tha Khantho	✓	-	-	✓
Nong Kung Si	-	✓	-	-
Khong Chai	-	✓	✓	-
Yangtalat	-	✓	-	-
Kamalasai	-	✓	-	-

2. Identification of trematode metacercariae

The species of fermented fishes were identified by morphological identification (Saenjundaeng, 2014). Fish were minced and weight on the electronic balance then thoroughly mixed with pepsin solution (0.25% pepsin in 1.0% HCl) and incubated at 37°C for 60 minutes, manually stir in every 10 minutes (modified from Waikagul, 1998). The digested samples were filtered through a sieve with mesh size 850 µm and washed with 0.85% NaCl. Afterwards, each sample was allowed to settle in a sedimentary jar and then filtered through a series of sieves with mesh sizes of 300, 150, and 45 µm. The sediment was observed under a stereo microscope. The wet mount slide was prepared for each metacercaria and observed under a compound microscope. Trematode metacercariae were identified using morphological examination according to Scholz et al., 1991 and Sohn et al., 2009.

Results

1. Fish species

Pla-ra and *Pla-som* were produced from five fish species namely, *Henicorhynchus siamensis*, *Osteochilus vittatus*, *Barbonymus schwanenfeldii*,

Barbodes aurotaeniatus and *Labibarbus leptocheilus* (Tables 3). Only *Barbodes aurotaeniatus* and *Barbonymus gonionotus* were contaminated with trematode metacercariae (Tables 4 and 5). Representative images of the fermented fish samples are shown in Figure 1.

Table 3 Fish species in Fermented fish samples

Districts	Fish species	
	Pla-ra	*Pla-som*
Sang Khom	*Osteochilus vittatus*	*Henicorhynchus siamensis*
Mueang Udon Thani	*Barbonymus schwanenfeldii*	*Barbodes aurotaeniatus*
	Barbodes aurotaeniatus	
Kumphawapi	*Barbodes aurotaeniatus*	*Barbonymus gonionotus*
Nong Wua So	*Henicorhynchus siamensis*	-
Kut Chap	*Barbodes aurotaeniatus*	*Barbodes aurotaeniatus*
Mueang Kalasin	*Henicorhynchus siamensis*	-
Sahatsakhan	-	*Henicorhynchus siamensis*
Tha Khantho	*Labibarbus leptocheilus*	*Henicorhynchus siamensis*
Nong Kung Si	*Henicorhynchus siamensis*	-
Khong Chai	*Barbonymus schwanenfeldii*	*Henicorhynchus siamensis*
Yangtalat	*Henicorhynchus siamensis*	-
Kamalasai	*Henicorhynchus siamensis*	

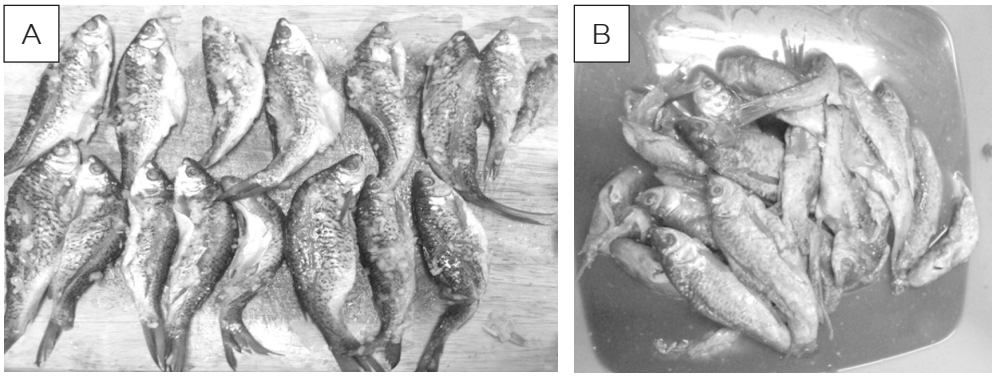


Figure 1 Fermented fish made from Cycrinoid fish. *Pla-som* from Sang Khom, Udon Thani province (A) and *Pla-ra* from Mueang Kalasin (B)

2. Identification of Trematode Metacercariae

A total of 6997 grams *Pla-ra* and 4194 grams *Pla-som* were analysed. There were various quantities (104 grams to 1,242 grams) of minced *Pla-ra* and *Pla-som* in each sampling site which revealed in table 4 and 5. A total of 31 inactive metacercariae were found, 9 metacercariae were discovered in *Pla-ra* (Table 4) and 22 metacercariae were detected in *Pla-som* (Table 5). The average number of metacercariae in *Pla-ra* from Kumphawapi was 0.013 metacercariae per gram (Mc/g) and *Pla-som* were 0.038, 0.016, 0.006 Mc/g from Kut Chap, Kumphawapi, Mueang Udon Thani districts, respectively. Trematode metacercariae were found in the shorter incubation process of both products which *Pla-ra* less than 3 months and *Pla-som* less than 1 week. (Tables 4 and 5). Metacercariae from *Pla-ra* and *Pla-som* were inactive metacercariae which no movement of juvenile inside the cyst. However, the oral sucker and excretory bladder of metacercariae were seen (Fig. 2). The percentage of positive sample sites was 9.1 % (1/11) for *Pla-ra* and 42.9% (3/7) for *Pla-som*. All positive samples were collected from Udon Thani province which totally 3704 grams of *Pla-ra* and 2345 grams of *Pla-som*. The percentage of positive sample sites in Udon Thani province was 20% (1/5) for *Pla-ra* and 80% (3/4) for *Pla-som*.

Table 4 The number of metacercariae determined in *Pla-ra*.

Districts	Fish Species Fermented fish : *Pla-ra*			
	Species	Weight (grams)	Fermented Period	Number of Metacercariae (Mc/g)
Sang Khom	*O. vittatus*	442	>3 months	-
Mueang Udon Thani	*B. schwanenfeldii and B. aurotaeniatus*	301	>3 months	-
Kumphawapi	*B. aurotaeniatus*	689	<3 months	9 (0.013)
Nong Wua So	*H. siamensis*	1,242	>3 months	-
Kut Chap	*B. aurotaeniatus*	1,030	>3 months	-
Mueang Kalasin	*H. siamensis*	442	>3 months	-
Tha Khantho	*L. leptocheilus*	701	<3 months	-
Nong Kung Si	*H. siamensis*	403	>3 months	-
Khong Chai	*B. schwanenfeldii*	610	>3 months	-
Yangtalat	*H. siamensis*	664	>3 months	-
Kamalasai	*H. siamensis*	473	>3 months	-
Total		6,997		9 (0.0013)

Table 5 Number of metacercariae found in *Pla-som* samples.

Sites	Fermented fish : *Pla-som*			
	Species	Weight (grams)	Fermented Period	Number of Metacercariae (Mc/g)
Sang Khom	*H. siamensis*	607	>1 week	-
Mueang Udon Thani	*B. aurotaeniatus*	811	<1 week	5 (0.006)
Kumphawapi	*B. gonionotus*	823	<1 week	13 (0.016)
Kut Chap	*B. aurotaeniatus*	104	<1 week	4 (0.038)
Sahatsakhan	*H. siamensis*	270	>1 week	-
Tha Khantho	*H. siamensis*	850	>1 week	-
Khong Chai	*H. siamensis*	729	<1 week	-
Total		4,194		22 (0.0052)

Table 6 Number of metacercariae in *Pla-ra* and *Pla-som* from Udon Thani province

Sites	Districts	Fermented Fish (grams)		Number of Metacercariae
		Pla-ra	*Pla-som*	
1	Sang Khom	442	607	-
2	Mueang	301	811	5[a]
3	Kumphawapi	689	823	22[b]
4	Nong Wua So	1,242	-	-
5	Kut Chap	1,030	104	4[a]
Total		3,704	2,345	31[b]

a : Metacercariae obtained from *Pla-som*

b : Metaceecariae obtained from *Pla-ra* and *Pla-som*

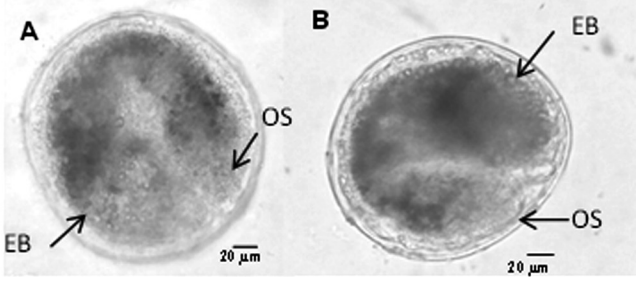


Figure 2 Inactive Trematode Metacercariae from *Pla-ra* (A) and *Pla-som* (B) OS: Oral sucker, EB: Excretory Bladder

Conclusion and Discussion

In this study, we investigated trematode metacercariae in fermented fish which is the favorite dish for local people in Northeast Thailand. We found a total of 31 metacercariae in the fermented fish from Udon Thani province. This result is consistent with a previous study ([b]Onsurathum et al., 2016) which had shown positive results in *Pla-som* from Udon Thani but had not detected metacercariae in fermented fish from Kalasin.

The highest average number of metacercariae was 0.038 in *Pla-som* from Kut Chap and the lowest number was 0.006 in *Pla-som* from Mueang Udon Thani. The small quantities of samples per sites, is a possible cause of this low number of metacercariae. The acidicity and salt concentration of preservation process also effects to the *O. viverrini* metacercariae (Sriraj et., 2013, Onsurathum et al.,2016). Moreover, the infected fish species of this study were *B. aurotaeniatus* and *B. Gonionotus* which dissimilar to another study that discovered the metacercariae in *H. siamensis, P. bimaculatus, H. dispar and P. orphoides.* (Onsurathum et al.,2016). Finally, the cyprinoid fish from Udon Thani and Kalasin provinces were reported for absence of metacercariae (Pinlaor et al., 2013).

Trematode metacercariae shown in *Pla-ra* with 9.09% (1/11) of sampling sites whereas *Pla-som* were contaminated with metacercariae with 42.86% (3/7) of sampling sites. Only Udon Thani province, metacercariae were detected. The higher percentage of positive sampling site as 20% (1/5) for *Pla-ra* and 80% (3/4) of *Pla-som* were calculated*. Pla-som* was more often found contaminated with metacercariae than *Pla-ra*. This result is different from previous study which reported higher prevalence in *Pla-ra* than *Pla-som* (Onsurathum et al.,2016). The metacercariae in both fish products were inactive by morphological observation. In order to investigate the metacercariae infectivity, the animal infection is required (Aukkanimart et al.,2017). The shorter fermentation provided the positive of parasite in *Pla-ra* and *Pla-som* in current study which related to previous experiment. They indicated that *Pla-ra* can kill *O. viverrini* metacercariae within 3 days and *Pla-som* with sticky rice fermentation will destroy metacercariae after 69 hours of fermentation (Prasongwatana et al., 2012).

Positive metacercariae infection occurred in Kumphawapi and Kut chap where located nearby the large fresh water reservoir which are Lam Pao dam and

Huai Luang Dam. The fish material for *Pla-ra* and *Pla-som* were caught from both dams. This result is in agreement with another study that had shown *O. viverrini* metacercariae were found in dams more than lakes and rivers (Pinlaor et al., 2010).

The samples of this study were obtained from some districts of Udon thani and Kalasin provinces with small amount of samples (totally 11,191 grams of minced fish). This small scale study revealed only 31 metacercariae in fermented fish. Therefore, a large scale of areas and sample sizes investigation is advised. Although our study provides the low percentage of infected fish products, it represents a chance of parasite infection in people who usually consume uncooked fish. The patients who infected with small amount of *O. viverrini* but long lasting infection, it also leads to development of cholangiocarcinoma (CCA) or bile duct cancer (Sripa et al., 2010).

Acknowledgements

This research was supported by Udon Thani Rajabhat University. We appreciate the work of all research assistants: Miss Wilawan Tammuangpak, Miss Onnicha Nantiprapha, Miss Nualta Yalee, and Miss Karnjana Ngosorn.

References

Aukkanimart, R., Boonmars, T., Sriraj, P. et al. (2017). Carcinogenic liver fluke and others contaminated in pickled fish of Northeastern Thailand. **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**. 18, 529-533.

Department of Cultural Promotion. Retrieve from **www.culture.go.th**. On January, 2019.

Manivong, K., Komalamisra, C., Waikagul, J., & Radomyos, P. (2009). *Opisthorchis viverrini* metacercariae in cyprinoid fish from three rivers in Khammouane province, Lao PDR. **The Journal of Tropical Medicine and Parasitology**. 32, 23-29.

Nithiuthai, S., Suwansaksri, J., Wiwanitkit, V., & Chaengphukeaw, P. (2002). A survey of metacerariae in cyprinoid fish in Nakhon Ratchasima, Northeast of Thailand. **The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**. 33, 103-105.

Noikong, W., Wongsawad, C. & Phalee, A. (2011). Seasonal variation of metacercariae in cyprinoidfish from Kwae Noi Bamroongdan Dam, Phitsanulok province,

Northern Thailand. **The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health.** 42, 59-62.

[a]Onsurathum, S., Pinlaor, P., Haonon, O., Chaidee, A., Charoensuk, L., Intuyod, K., Boonmars, T., Laummaunwai, P. & Pinlaor, S. (2016). Effects of fermentation time and low temperature during the production process of Thai pickled fish (pla-som) on the viability and infectivity of *Opisthorchis viverrini* metacercariae. **International Journal of Food Microbiology.** 218, 1–5.

[b]Onsurathum, S., Pinlaor, P., Charoensuk, L., Haonon, O., Chaidee, A., Intuyod, K., Laummaunwai, P., Boonmars, T., Kaewkes, W. & Pinlaor, S. (2016). Contamination of *Opisthorchis viverrini* and *Haplorchis taichui* metacercariae in fermented fish products in northeastern Thailand markets. **Food Control.** 59, 493-498.

Parkin, D.M., (2006.). The global health burden of infection-associated cancers in the year 2002. **International Journal of Cancer**. 118, 3030–3044.

Pinlaor, S., Onsurathum, S., Boonmars, T., et al. (2013). Distribution and abundance of *Opisthorchis viverrini* metacercaria in cyprinoid fish in Northeastern Thailand. **The Korean Journal of Parasitology,** 51, 703-710.

Prasongwatana, J., Laummaunwai, P., Boonmars, T. & Pinlaor, S. (2012). Viable metacercariae of *Opisthorchis viverrini* in northeastern Thai cyprinid fish dishes—as part of a rational program for controlof *O. viverrini*-associated cholangiocarcinoma. **Parasitology Research**. Short communication.

Rangsin, R., Mungthin, M., Taamasri, P., et al. (2009). Incidence and risk factors of *Opisthorchis viverrini* infections in a rural community in Thailand. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene.** 6, 152–155.

Saenjundaeng, P. (2014). **Encyclopedia of fresh water fish of Thailand**. Klangnana Witaya, Khonkaen. (In Thai)

Scholz, T., Ditrich, O. & Giboda, M., (1991). Differential diagnosis of opisthorchiid and heterophyid metacercariae (Trematoda) infecting flesh of cyprinid fish from Nam Ngum Dam Lake in Laos. **The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health.** 22 (suppl), 171-173.

Sithithaworn, P. & Haswell-Elkins, M. (2003). Epidemiology of *Opisthorchis viverrini.* **Acta Tropica**. 88, 187-94.

Sripa, B., et al., (2010). Opisthorchiasis and Opisthorchis-associated cholangiocarcinoma in Thailand and Laos. **Acta Tropica**. 120 (Suppl), 158-168.

Sriraj, P., Aukkanimart, R., Boonmars, T., Wonkchalee, N., Juasook, A., Sudsarn, P., et al. (2013). Alcohol and alkalosis enhance excystation of *Opisthorchis viverrini* metacercariae. **Parasitology Research**, 112(6), 2397e2402.

Sohn, W.M., Eom, K.S., Min, D.Y., et al. (2009). Fishborne trematode metacercariae in freshwater fish from Guangxi Zhuang autonomous region, China. **The Korean Journal of Parasitology**. 47, 249-257.

Sukontason, K.L., Sukontason, K., Boonsriwong, N., Chaithong, U. & Piangjai, S. (2001). Intensity of trematode metacercariae in cyprinoid fish in Chiang Mai province, Northern Thailand. **The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**. 32, 214-217.

Thaewnongiew, K., Singthong, S., Kutchamart, S., et al.(2014). Prevalence and risk factorsfor *Opisthorchis viverrini* infections in Upper Northeast Thailand. **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**. 15, 6609-6612.

Waikagul, J., (1998). *Opisthorchis viverrini* metacercaria in Thai freshwater fish. **The Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health**. 2, 324-326.

WHO., (2004). **WHO/FAO workshop on food-borne trematode infections in Asia, Ha Noi, Vietnam**, 26-28 November 2004, World Health Organization, WPRO.

.....

บทความวิจัย

ปริมาณแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ด้วยวิธีการสกัดแบบอัลตราโซนิก

ANTHOCYANIN CONTENT, ANTIBACTERIAL ACTIVITY AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF PURPLE CORN COB EXTRACT VIA ULTRASONIC EXTRACTION

ฐานิดา รองสุพรรณ์[1] และ สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม[1, 2*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

[2]กลุ่มวิจัยการพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Thanida Rongsuphan[1] and Somjai Kajorncheappunngam[1, 2*]

[1]Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, KhonKaen University, KhonKaen, 40002

[2]Knowledge Development of Rubber Tree in Northeast research group, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

[*]E-mail: ksomja@kku.ac.th

Received: 2018-02-22
Revised: 2018-07-10
Accepted: 2018-07-17

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัดสารแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ด้วยตัวทำละลายอะซีโตนในสภาวะกรดร่วมกับเทคนิคอัลตราโซนิก โดยมุ่งเน้นศึกษา หาปริมาณสารแอนโทไซยานินที่สกัดได้ ฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารที่สกัดได้จากซังแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง จากการศึกษาพบว่าสารสกัดที่ได้เมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ด้วยเทคนิค UV–VIS Spectroscopy พบว่ามีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เท่ากับ 7,869.26 ไมโครกรัมสมมูล cyanidin–3–glucoside ต่อกรัมน้ำหนักซังแห้ง และนำสารสกัดที่ได้ไปทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียเพื่อหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ (MIC) และ ความเข้มข้นต่ำสุดที่ฆ่าเชื้อ (MBC) ในเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* พบว่าในเชื้อ *Escherichia coli* สารสกัดมีค่า MIC และ MBC เท่ากันคือ 25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่ในเชื้อ *Staphylococcus aureus* สารสกัดมีค่า MIC เท่ากับ 50 มิลลิกรัม

ต่อมิลลิลิตร ส่วนค่า MBC > 200 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อนำสารสกัดไปทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 2 วิธี คือ DPPH assay และ FRAP assay พบว่าสารสกัดสามารถให้ผลต้านอนุมูลอิสระทั้ง 2 วิธี โดยเฉพาะในวิธี DPPH assay สารสกัดให้ค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า วิตามินซี 1.5 เท่า และสูงกว่า วิตามินอี ถึง 4 เท่า

คำสำคัญ: แอนโทไซยานิน ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง การสกัด การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ABSTRACT

This research work was a study of anthocyanin extraction from purple waxy corn cob using acetone acidified by hydrochloric acid as an extracting solvent accompany with ultrasonic technique. The work was emphasized on the amount of anthocyanin extract and the evaluation of their antimicrobial activity and antioxidant capacity. The extract was analyzed by UV-VIS spectroscopy for its total anthocyanin content. The results showed that the total anthocyanins content was 7,869.26 µg CGE/g DW. The antibacterial activity test of the extract was performed and determined for their minimal inhibitory concentration (MIC) and minimal bactericidal concentration (MBC) in two species of bacteria namely *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. It was found that the MIC and MBC values of *Escherichia coli* were similar and they were equal to 25 mg/mL. Whereas the MIC value of 50 mg/mL and the MBC value greater than 200 mg/mL were found for *Staphylococcus aureus*. The antioxidant capacity of anthocyanin extract was tested with two methods namely DPPH assay and FRAP assay. It was revealed that anthocyanin extract exhibited antioxidant characteristic in both tests. Result from DPPH assay showed that antioxidant activity of anthocyanin extract was 1.5 and 4 times higher than vitamin C and vitamin E, respectively.

Keywords: anthocyanin, purple waxy corn, extraction, antibacterial activity

บทนำ

ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (Purple waxy corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays L.* ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้นในปัจจุบันเพราะมีสารอาหารที่สำคัญที่เป็นประโยชน์คือ สารแอนโทไซยานิน พบมากในส่วนของเมล็ดและซังข้าวโพดสีม่วง โดยชนิดของสารแอนโทไซยานินในข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงประกอบ ด้วย cyanidin-3-glucoside, pelargonidin-3-glucoside,

peonidin-3-glucoside, cyaniding-3- (6" malonylglucoside) และ cyaniding-3- (3", 6"-dimalonyglucoside) (Harakotr et al., 2014) สารแอนโทไซยานิน ละลายได้ในน้ำและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) สูง (Yang & Zhai, 2010) สารแอนโทไซยานินมีสรรพคุณทางยาและถูกนำมาใช้เป็นยารักษาโรคของมนุษย์ เช่น ช่วยลดโอกาสการเกิดมะเร็งชนิดเนื้องอก มีฤทธิ์ช่วยเสริมให้ร่างกายต่อต้านเชื้อโรค และสมานแผล เสริมภูมิคุ้มกันในร่างกายให้ดีขึ้น (Hagiwara et al., 2001) สามารถลดความผิดปกติของไต และลดภาวะแทรกซ้อนทางระบบประสาทเนื่องจากโรคเบาหวาน (Li et al., 2011) เป็นต้น

การสกัดสารออกฤทธิ์จากวัสดุทางธรรมชาติมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ การสกัดด้วยตัวทำละลายสารอินทรีย์ เช่น เอทานอล เมทานอล เฮกเซน อะซีโตน และปิโตรเลียมอีเธอร์ เป็นต้น วิธีนี้เป็นวิธีการสกัดธรรมดาที่ใช้กันทั่วไป เพราะเป็นวิธีที่สะดวกและง่าย แต่มีข้อเสียคือ ใช้ปริมาณตัวทำละลายปริมาณมาก ตัวทำละลายมีราคาสูง ตัวทำละลายตกค้างในสารสกัด และสารที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์ต่ำ การสกัดอีกวิธีหนึ่งคือการสกัดด้วยของไหลเหนือวิกฤติ (Supercritical fluid) โดยของไหลเหนือวิกฤติที่นิยมนำมาใช้ในการสกัดด้วยวิธีนี้คือ คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤติ (Supercritical carbon dioxide) ข้อดีของการสกัดด้วยวิธีนี้คือ มีอัตราการถ่ายโอนมวลสาร (Mass transfer rate) เร็วกว่า สารที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์สูง ลดการใช้สารเคมีและมีความจำเพาะในการเลือกสกัดสารแต่ละชนิดที่มีอยู่ในวัสดุธรรมชาติที่นำมาสกัด โดยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการสกัด แต่มีข้อเสียคือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดมีราคาแพง เนื่องจากวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์เป็นวิธีที่ง่าย และอุปกรณ์ในการสกัดราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับวิธีการสกัดด้วยของไหลเหนือวิกฤติ จึงได้มีความพยายามปรับปรุงวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ให้สามารถสกัดให้ได้สารสกัดในปริมาณที่มากขึ้นโดยการนำเทคนิคของอัลตราโซนิก (Ultrasonic extraction technique) มาใช้ร่วมกับวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ทั้งนี้เพราะคลื่นอัลตราโซนิกจะทำให้อนุภาคของสารที่นำมาสกัดเกิดการกระจายตัวที่ดีขึ้นทำให้โมเลกุลของตัวทำละลายสามารถละลายสารออกฤทธิ์หรือสารสำคัญที่มีอยู่ในอนุภาคออกมาได้ดีขึ้นทำให้อัตราการสกัดเร็วขึ้น ใช้ตัวทำละลายในการสกัดน้อยลง และใช้เวลาในการสกัดที่สั้นลง ดังนั้นเทคนิคอัลตราโซนิก จึงเป็นทางเลือกใหม่ในการสกัดที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางการค้าได้ (Tao et al., 2014)

จากการศึกษาและค้นคว้าพบว่ามีงานวิจัยของ Harakotr et al. (2014) ที่ทำการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงพันธุ์ต่าง ๆโดยใช้อะซีโตนในสภาวะกรดเป็นตัวทำละลายเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงกับปริมาณสารแอนโทไซยานินที่มีอยู่ในข้าวโพด โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงเพื่อให้ได้พันธุ์ข้าวโพดที่มีปริมาณสารแอนโทไซยานินที่สูงขึ้น มากกว่าการมุ่งเน้นศึกษาฤทธิ์ของสารแอนโทไซยานินที่มีอยู่ในข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง นอกจากนี้จากการค้นคว้าไม่พบรายงาน

วิจัยที่ทำการศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากส่วนของซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะสกัดสารแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงโดยการนำเทคนิคอัลตราโซนิกมาใช้ร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อให้ได้สารสกัดแอนโทไซยานินในปริมาณมากขึ้น โดยสารที่สกัดได้จะถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานินด้วยวิธี pH differential method รวมถึงการทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ได้แก่ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* และ ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารแอนโทไซยานินที่สกัดได้ ผลจากการศึกษาจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาในขั้นสูงเพื่อใช้สารแอนโทไซยานินเป็นสารออกฤทธิ์บรรจุหรือกักเก็บไว้ในวัสดุแผ่นฟิล์ม เช่น พอลิเมอร์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นแผ่นปิดแผล หรือแผ่นฟิล์มสำหรับฆ่าเชื้อ เป็นต้น

วิธีการวิจัย

1. สารเคมี

อาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller Hinton (MH, CRITERION™, USA), 2,2–diphennyl–1–picrylhydrazyl (DPPH, Aldrich, USA), 2,4,6–Tri–2–pyridyl–2–Triazine (TPTZ, Fluka, Switzerland), Ferric chloride ($FeCl_3$, Panreac, E.U.), Ferrous sulfate ($FeSO_4$, Ajax Finechem®, Australia), Acetone (C_3H_6O, RCI Labscan, Thailand), Potassium chloride (KCl, Ajax Finechem®, Australia), Sodium acetate (CH_3COONa, Ajax Finechem®, Australia) สารเคมีที่ใช้เป็นเกรดวิเคราะห์ (Analytical grade)

2. การเตรียมวัตถุดิบ

นำซังแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (พันธุ์ข้าวก่ำ) ซึ่งได้รับการอนุเคราะห์จากภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่นไปอบให้แห้งด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จนซังข้าวโพดแห้งสนิท ทำการบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดลดขนาดชนิดใบมีด จากนั้นทำการคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อนเบอร์ 100 จนได้ผงซังข้าวโพดขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1-150 µm จากนั้นนำไปเก็บใส่ภาชนะที่ปิดสนิทเพื่อป้องกันความชื้น

3. การสกัดสารแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงร่วมกับอัลตราโซนิก

การสกัดแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ดัดแปลงจากวิธีของ Harakotr et al. (2014) โดยชั่งผงซังข้าวโพดขนาดอนุภาค 1-150 µm น้ำหนัก 2 g ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ เติมอะซิโตนในสภาวะกรด (0.01% HCl ในสารละลายอะซีโตน (70%v/v)) ปริมาตร

25 mL จากนั้นนำไปจุ่มใน Ultrasonic Bath ด้วยความถี่ 38.5 kHz เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman no.1) ภายใต้สุญญากาศ เพื่อแยกกากผงซังข้าวโพดออกจากสารละลาย จากนั้นล้างกากด้วยอะซิโตนในสภาวะกรด ปริมาตร 10 mL นำสารละลายที่ได้ใส่กรวยแยก และเติมคลอโรฟอร์มปริมาตร 15 mL เขย่าสารละลายให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของสารละลายอย่างสมบูรณ์ จากนั้นแยกของเหลวชั้นล่างออกและนำของเหลวส่วนบนของกรวยแยกไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้ไปวิเคราะห์และคำนวณหาปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanins) ที่สกัดได้ด้วยวิธี pH differential method

4. การวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (Total anthocyanins content, TAC)

วิเคราะห์หาค่า TAC โดยวิธี pH differential method ดัดแปลงจากวิธีของ Giusti & Wrolstad (2001) โดยปรับระดับความเจือจางของสารสกัดตัวอย่างด้วย โพแทสเซียมคลอไรด์บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.025 M (pH 1.0) และ โซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.4 M (pH 4.5) แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 และ 700 nm ตามลำดับ ด้วยเครื่อง UV–VIS Spectrophotometer โดยใช้น้ำกลั่น เป็นตัวเปรียบเทียบ (Blank) จากนั้นคำนวณหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดตามสมการที่ (1) แล้วนำผลการคำนวณไปแปลงค่าให้อยู่ในหน่วย ไมโครกรัมสมมูลของ cyaniding 3-glucoside ต่อ 1 กรัมของซังแห้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง (µg CGE/g DW)

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/L)} = (A \times MW \times DF \times 1000) / (\varepsilon \times l) \quad (1)$$

เมื่อ A คือ ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) = $(A_{510nm} - A_{700nm})pH_{1.0} - (A_{510nm} - A_{700nm})pH_{4.5}$; MW คือ มวลโมเลกุลของ cyaniding-3-glucoside (C3G) = 449.2 g/mol; DF คือ Dilution factor ของตัวอย่าง; ε คือ โมลาร์แอบซอบติวิตี้ (Molar absorptivity) = 26,900 $M^{-1}cm^{-1}$ และ l คือ ความกว้างของ Cuvette = 1 cm

5. การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

5.1 การเตรียมเชื้อแบคทีเรีย

ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 18–24 ชั่วโมง

เพื่อเลี้ยงเชื้อให้ได้โคโลนีเดี่ยว ๆ จากนั้นเขี่ยโคโลนีเดี่ยวประมาณ 4–6 โคโลนี ของเชื้อ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว (Mueller Hinton Broth) แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 4–6 ชั่วโมง จากนั้นนำอาหารเลี้ยงเชื้อมาเติมลงในหลอดทดลองที่มีสารละลาย 0.85% โซเดียมคลอไรด์ที่ปราศจากเชื้อ (Sterile sodium chloride) บรรจุอยู่ 9 mL ปรับเติมจนกระทั่งได้ความขุ่นในหลอดเทียบเท่ากับความขุ่นของสารละลาย McFarland Standard No. 0.5 ซึ่งจะได้ความเข้มข้นของจำนวนเซลล์แบคทีเรียประมาณ $1.5x10^8$ cell/mL หรือ $1.5x10^8$ colony forming units (CFU)/mL จากนั้นทำการเจือจางต่อด้วยการเติมสารละลาย 0.85% โซเดียมคลอไรด์ที่ปราศจากเชื้อ โดยทำการเจือจางให้ความเข้มข้นลดลงทีละ 10 เท่า จนได้ความเข้มข้นของจำนวนเซลล์แบคทีเรียอยู่ในช่วงประมาณ 10^5-10^7 cell/mL

5.2 การทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ (Minimal inhibitory concentration, MIC) และ ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อได้ (Minimal bactericidal concentration, MBC)

การทดสอบหาค่า MIC ด้วยวิธี Broth dilution technique ของเชื้อ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ของสารสกัด โดยเริ่มต้นนำหลอดทดลองซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจำนวน 10 หลอด ทำการดูดอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว (Mueller Hinton Broth) ใส่ลงในหลอดที่ 2-10 หลอดละ 1 mL แล้วดูดสารสกัดความเข้มข้น 200 mg/mL (เตรียมโดยใช้อะซีโตนในสภาวะกรดเป็นตัวทำละลาย) ลงในหลอดที่ 1 และ 2 หลอดละ 1 mL จากนั้นดูดสารในหลอดที่ 2 จำนวน 1 mL ใส่ลงในหลอดที่ 3 ทำซ้ำทำนองเดียวกันนี้ไปจนถึงหลอดที่ 9 สำหรับหลอดที่ 9 เมื่อผสมสารสกัดและอาหารเลี้ยงเชื้อเข้ากันได้ดีแล้ว ดูดสารละลายทิ้งไป 1 mL โดยความเข้มข้นของสารสกัดในหลอดที่ 1-9 มีค่าเท่ากับ 200, 100, 50, 12.5, 6.25, 3.12, 1.56 และ 0.78 mg/mL ตามลำดับ ส่วนหลอดที่ 10 จะมีแต่อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเพียงอย่างเดียวไม่มีสารสกัด (ความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากับศูนย์) จึงใช้เป็น Positive control จากนั้นเติมเชื้อแบคทีเรียที่ต้องการทดสอบลงไปในทุกหลอด หลอดละ 1 mL แล้วนำไปบ่มเลี้ยงเชื้อในสภาวะที่มีออกซิเจน ภายใต้อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้สังเกตความขุ่นของเชื้อที่เกิดขึ้นในแต่ละหลอดเปรียบเทียบกับ Positive control (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) จดบันทึกค่าความเข้มข้นของหลอดที่สารละลายใสไม่มีความขุ่นของเชื้อก็จะได้ค่า MIC จากค่า MIC สามารถนำมาหาค่า MBC ด้วยวิธี Agar dilution technique ได้โดยนำหลอดที่ไม่มีความขุ่นของเชื้อปริมาตร 100 µL ไปเทและเกลี่ย ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง (Mueller Hinton Agar) สำหรับทั้งเชื้อ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* จดบันทึกค่า MBC หรือความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถฆ่าเชื้อได้จากจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

6. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

6.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging

การศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งสารอนุมูลอิสระของสารที่สกัดได้ โดยใช้วิธีดักจับอนุมูลอิสระ $DPPH^{\cdot}$ ดัดแปลงจากงานของ Brand-Williams et al. (1995) โดยเตรียมสารละลาย DPPH ให้มีความเข้มข้น 1 mM โดยใช้เมทานอลที่ปราศจากน้ำ (Absolute methanol) เป็นตัวทำละลาย และเตรียมสารสกัดตัวอย่างให้มีความความเข้มข้น 1.04, 2.08, 3.13, 4.17, 5.21 และ 6.25 µg/mL (ความเข้มข้นสุดท้าย หลังการเติมสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 1 mM ปริมาตร 200 µL) โดยใช้ Absolute methanol เป็นตัวทำละลาย โดยปิเปตส่วนผสมต่าง ๆ ลงในถาดขนาด 96 หลุม (96-well microplate) โดยให้ปริมาตรสุดท้ายในแต่ละหลุมเท่ากับ 300 µL แล้วนำถาดไปเก็บไว้ในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 nm ด้วยเครื่อง Microplate reader (Bio-Rad, Model 680, USA) ใช้ absolute methanol 300 µL โดยไม่มีการเติม DPPH เป็น Blank และใช้ absolute methanol 100 µL ที่เติม DPPH 200 µL เป็น control (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) คำนวณร้อยละของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%DPPH inhibition) ตามสมการที่ (2)

$$\% \text{ DPPH inhibition} = [\ (A_{Control} - A_{Sample}) / A_{Control}\ ] \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ $A_{Control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่เติมสารสกัดตัวอย่าง
A_{Sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH หลังเติมสารสกัดตัวอย่าง

จากนั้นพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่าง กับร้อยละ DPPH inhibition ซึ่งจะได้กราฟเส้นตรงที่สามารถคำนวณหาค่า EC_{50} (50% Effective concentration = ค่าความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่างที่สามารถทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลง 50%) แล้วทำการเปรียบเทียบค่า EC_{50} ของสารสกัดตัวอย่างกับสารมาตรฐาน 2 ชนิด ได้แก่ วิตามิน ซี และ วิตามิน อี ที่เตรียมในสภาวะเดียวกัน

6.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric reducing antioxidant power assay (FRAP assay)

วิธีการทดสอบดัดแปลงมาจากงานของ Benzie & Strain (1996) โดยทำการเตรียมสารสกัดตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 3.906, 7.813 และ 15.625 µg/µL โดยใช้ 50% เอทานอล เป็นตัวทำละลาย นำสารละลายสารสกัดตัวอย่างในแต่ละความเข้มข้นในปริมาตร 6 µL มาเติมน้ำกลั่น 18 µL เติม FRAP reagent 180 µL [โดย FRAP reagent เตรียมจาก ก) 300 mM sodium acetate buffer (pH 3.6) ข) 20 mM $FeCl_3$ solution และ

ค) 10 mM TPTZ solution in 40 mM HCl ในอัตราส่วนของ ก:ข:ค เท่ากับ 10:1:1 (v/v/v)] ผสมให้เข้ากันในถาดหลุมขนาด 96 หลุม (96–well microplate) และบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 nm ด้วยเครื่อง Microplate reader (Bio-Rad, Model 680,USA) โดย Blank ของสารสกัดตัวอย่างที่แต่ละความเข้มข้นทำการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมสารสกัดตัวอย่างแต่เติม FRAP reagent (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ) คำนวณหาค่า FRAP (FRAP value) จากกราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟต (ใช้สารละลาย $FeSO_4$ ความเข้มข้น 0.014-0.280 µg/µL) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของ $FeSO_4$ กับค่าการดูดกลืนแสง แล้วรายงานผลในรูป ไมโครกรัมสมมูลเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ต่อมิลลิกรัมของน้ำหนักสารสกัด (µg $FeSO_4$/mg)

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. ผลการสกัดแอนโทไซยานินจากซังแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง

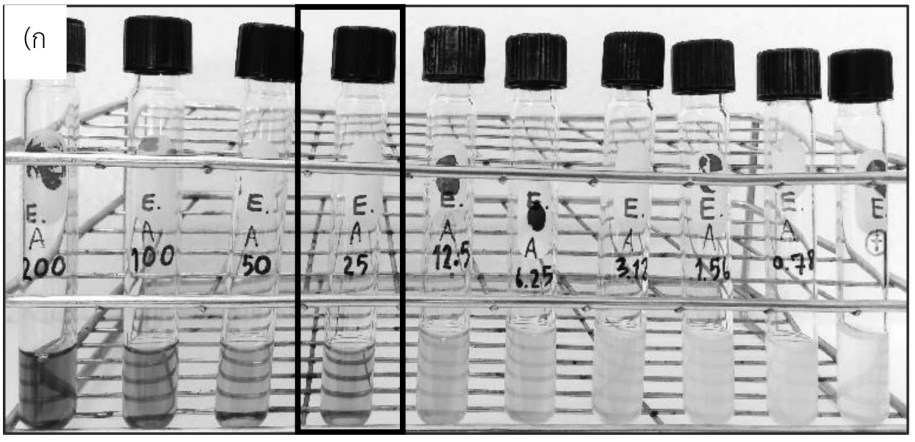
จากการนำซังแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง มาทำการสกัดด้วยอะซิโตนในสภาวะกรด ร่วมกับเทคนิคอัลตราโซนิก จะได้สารสกัดที่มีสีม่วงแดงเข้ม เมื่อนำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานิน ด้วยเครื่อง UV–VIS Spectrophotometer โดยใช้วิธี pH differential method พบว่ามีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด เท่ากับ 7,869.26 µg CGE/g DW (7,869.26 ไมโครกรัมสมมูลของ cyaniding 3-glucoside ต่อ 1 กรัมของซังแห้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง) ซึ่งมากกว่าปริมาณแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากซังแห้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง ที่เคยมีรายงานมาก่อนหน้านี้ ได้แก่ Harakotr et al. (2014) รายงานว่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในซังแห้ง ที่ทำการสกัดด้วยอะซีโตนในสภาวะกรดโดยไม่มีการใช้เทคนิคอัลตราโซนิกร่วมในการสกัดด้วย มีค่าเท่ากับ 5,160.4 µg CGE/g DW และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยปัจจุบันพบว่าการใช้อัลตราโซนิกร่วมในการสกัดจะให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินสูงกว่าถึง 52% นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ เช่น Yang & Zhai (2010) รายงานว่า ซังข้าวโพดสีม่วงพันธุ์ Zihei ที่ทำการสกัดด้วยเมทานอล สามารถสกัดสารแอนโทไซยานินทั้งหมดได้ เท่ากับ 923 µg CGE/g DW และ Srithong et al. (2014) รายงานว่าปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในซังแห้ง ที่ทำการสกัดด้วย 70% เอทานอล ร่วมกับเทคนิคอัลตราโซนิก มีค่าเท่ากับ 5,524.6 µg CGE/g DW อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Jing (2006) ที่รายงานว่าซังของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมีปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงกว่าที่ตรวจพบในพืชชนิดอื่น ๆ เช่น องุ่น (270 µg CGE/g DW) สตรอเบอร์รี่ (130 µg CGE/g DW) และแครอทสีม่วง (380 µg CGE/g DW)

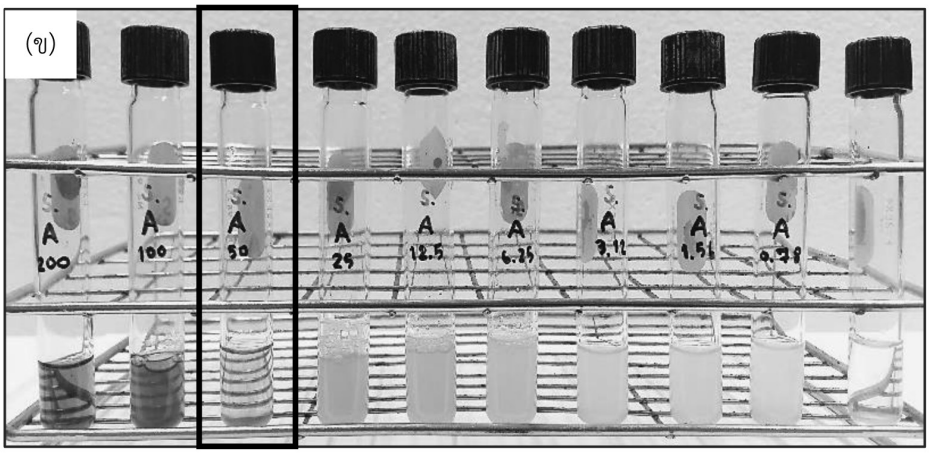
ผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าซังแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงสามารถเป็นแหล่งของสารแอนโทไซยานินได้ อีกทั้งการใช้เทคนิคอัลตราโซนิกในการสกัดช่วยเพิ่ม

ประสิทธิภาพในการสกัดสารแอนโทไซยานินจากซังแห้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงได้สูงกว่าวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีการรายงานมาแล้วข้างต้น เนื่องมาจากปรากฏการณ์ Cavitation โดยคลื่นอัลตราโซนิกนั้นจะประกอบด้วยช่วงอัดและช่วงขยาย ในช่วงขยายเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวทำละลายจะทำให้เกิดฟอง (Bubble) ของตัวทำละลายขนาดเล็กจำนวนมาก จากนั้นเมื่อฟองได้รับแรงจากคลื่นในช่วงอัดจะทำให้ฟองนั้นแตกออก จะเกิดความดันและความร้อนอย่างมากในบริเวณนั้นจนสามารถเจาะทำลายผนังเซลล์ของอนุภาคของวัสดุที่นำมาสกัดได้ เมื่อผนังเซลล์แตกออกจะทำให้เพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้สารออกฤทธิ์ที่ต้องการสกัดละลายในตัวทำละลายได้ดีขึ้น (Soria & Villamiel, 2010)

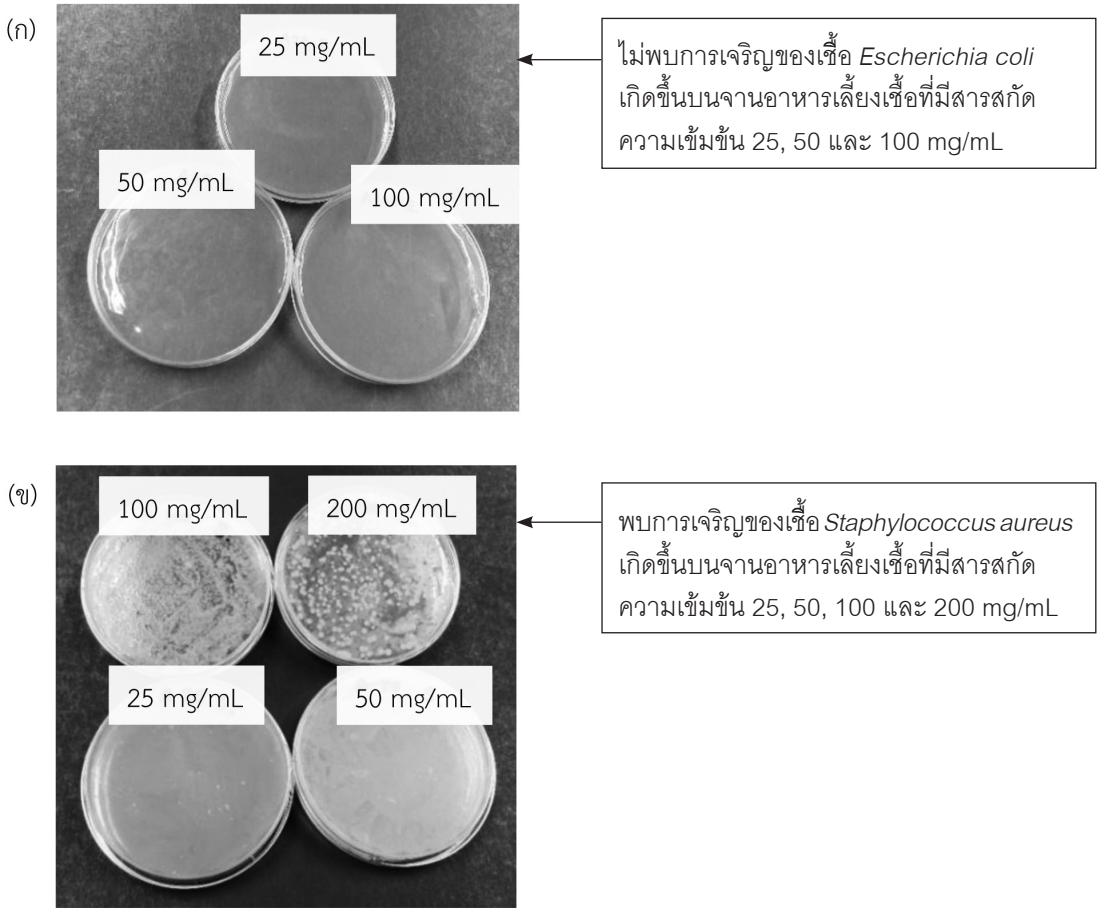
2. ผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารแอนโทไซยานินที่สกัดได้

ผลการตรวจหาค่า MIC ของสารสกัดจากซังแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงด้วยวิธี Broth dilution technique เริ่มต้นศึกษาที่ค่าความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่างที่ 200 mg/mL การอ่านผลเพื่อหาค่า MIC ให้สังเกตความขุ่นของเชื้อที่เกิดขึ้นในแต่ละหลอดเปรียบเทียบกับหลอด positive control โดยความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งเชื้อได้มีลักษณะคือมีการตกตะกอนของเชื้ออยู่ก้นหลอดและสารละลายด้านบนมีลักษณะใส แสดงว่าสารสกัดนั้นสามารถยับยั้งเชื้อได้ แต่ถ้าพบว่าสารละลายมีลักษณะขุ่น แสดงว่ามีการเจริญเติบโตของเชื้อ ในงานวิจัยนี้พบว่าค่า MIC หรือค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* คือที่ความเข้มข้น 25 และ 50 mg/mL ตามลำดับ ลักษณะความใส-ขุ่นของสารละลายในแต่ละหลอดทดสอบแสดงในรูปที่ 1(ก) และ 1(ข) ตามลำดับ จากค่า MIC ที่ได้ข้างต้น สามารถนำมาหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ฆ่าเชื้อได้ (Minimal bactericidal concentration, MBC) ของสารสกัดจากซังแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง โดยนำหลอดที่ไม่มีความขุ่น (ตั้งแต่หลอดที่มีความเข้มข้นสูงกว่าค่า MIC ขึ้นไป) ไปเทและเกลี่ย ลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง (MHA) สำหรับทั้งเชื้อ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* การอ่านผลค่า MBC คือ ค่าความเข้มข้นของสารสกัดต่ำสุดที่ไม่พบการเจริญของเชื้อแบคทีเรียบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อดังกล่าว พบว่าค่า MBC ของสารสกัดที่สามารถฆ่าเชื้อ *Escherichia coli* ได้คือที่ความเข้มข้น 25 mg/mL ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) ซึ่งไม่พบการเจริญเติบโตของเชื้อบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อของสารสกัดที่เข้มข้นต่ำสุด 25 mg/mL ส่วนในเชื้อ *Staphylococcus aureus* ต้องใช้สารสกัดที่มีความเข้มข้นมากกว่า 200 mg/mL จึงจะฆ่าเชื้อได้ ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) ซึ่งสังเกตพบการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* ในทุกจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้นของสารสกัดในช่วง 25-200 mg/mL แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากซังข้าวโพดแห้งมีความสามารถในการต้านเชื้อ *Escherichia coli* ได้ดีกว่าเชื้อ *Staphylococcus aureus*





รูปที่ 1 ลักษณะความใส-ขุ่นของสารละลายในแต่ละหลอดทดลอง
ที่ได้จากการทดสอบการหาค่า MIC
ของสารสกัดในเชื้อ (ก) *Escherichia coli* และ (ข) *Staphylococcus aureus*



รูปที่ 2 การเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเข้มข้นของสารสกัดต่าง ๆ กัน
(ก) *Escherichia coli* และ (ข) *Staphylococcus aureus*

ผลจากการศึกษาทำให้ทราบว่าสารสกัดแอนโทไซยานินจากซังแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่สกัดได้ในงานวิจัยนี้มีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ได้ทำการทดสอบการยับยั้งเชื้อทั้งสองชนิดนี้ของสารแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากเมล็ดข้าวสีม่วง (Somted et al., 2015) จากมันฝรั่งสีม่วง (Rath et al., 2016) และจากกะหล่ำปลีสีม่วง (Hafidh et al., 2012) ก็รายงานว่าสามารถยับยั้งเชื้อทั้งสองชนิดนี้ได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากว่าซังข้าวโพดเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีราคาถูกจึงจัดว่าเป็นแหล่งที่ให้สารแอนโทไซยานินที่น่าสนใจเมื่อเทียบกับแหล่งแอนโทไซยานินจากวัสดุธรรมชาติอื่น ๆ ดังนั้นการพัฒนาการนำเอาสารแอนโทไซยานินที่มีอยู่ในปริมาณมากในซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมทางด้านเภสัชภัณฑ์จึงควรมีการศึกษาและพัฒนาต่อไปอย่างต่อเนื่อง

3. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารแอนโทไซยานินที่สกัดได้

การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay เป็นวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH$^{\cdot}$, diphenyl-picrylhydrazyl radical) ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ที่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระที่คงตัว มีสีม่วง และสามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 515 nm เมื่อ DPPH$^{\cdot}$ ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจะทำให้สีม่วงจางลง ๆ จนเป็นสีเหลือง ทำให้สามารถหาการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH$^{\cdot}$ ตามสมการที่ (2) และรายงานผลในรูป EC_{50} (50% Effective concentration) ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่างที่สามารถทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลง 50 % โดยค่าตัวเลข EC_{50} ยิ่งต่ำแสดงว่าสารสกัดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระยิ่งสูง สารแอนโทไซยานินที่สกัดได้มีค่า EC_{50} เท่ากับ 2.972 µg/mL และเมื่อนำค่า EC_{50} ของสารสกัดเปรียบเทียบกับค่า EC_{50} ของสารมาตรฐาน 2 ชนิดได้แก่ วิตามินซี และ วิตามินอี ที่เตรียมในสภาวะเดียวกัน จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า EC_{50} ของสารสกัดแอนโทไซยานินจากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมีค่าต่ำกว่า วิตามินซี และวิตามินอี แสดงว่าสารสกัดแอนโทไซยานินที่สกัดได้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สูงกว่าวิตามินซี และวิตามิน อี โดยมีค่าสูงกว่า วิตามินซี และวิตามินอี 1.5 เท่า และ 4 เท่า ตามลำดับ แสดงว่าสารสกัดแอนโทไซยานินในซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมีสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Department of Science Service (2010) ที่รายงานว่าแอนโทไซยานินมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า วิตามินซี และวิตามินอี และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Butkhup (2013) ที่สกัดแอนโทไซยานินจากผลหม่อน 8 สายพันธุ์ที่สกัดโดยใช้เมทานอล (60% v/v) ร่วมกับเทคนิคอัลตราโซนิก พบว่าสารสกัดจากผลหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 มีค่า EC_{50} ต่ำสุด คือ 241.83 µg/mL และ Muangrat et al. (2015) ซึ่งสกัดสารแอนโทไซยานินจากซังแห้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายร่วมกับเทคนิคอัลตราโซนิก พบว่าค่า EC_{50} มีค่าประมาณ 5093 µg/mL ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่างานวิจัยนี้

วิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงด้วยการวัดความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระ (Ferric ion reducing antioxidant power, FRAP assay) โดยอาศัยหลักการของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถถ่ายเทอิเลคตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อนของ Fe (III) ทำให้เปลี่ยนเป็น Fe (II) ปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนของ Fe (II) ที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้ในการประมาณการความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารได้ในรูปของค่า FRAP (FRAP value) เทียบกับกราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) โดยผลการทดสอบได้ค่า FRAP ของสารสกัดแอนโทไซยานินเท่ากับ 6.555 µg $FeSO_4$/mg โดยค่า FRAP สูงหมายความว่ามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง

ซึ่งเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Khampas (2014) ที่ประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของข้าวโพดประเภทต่าง ๆ ที่มีสีเมล็ดแตกต่างกัน จำนวน 13 สายพันธุ์ ที่สกัดโดยใช้ 1% กรดซิตริก ความเข้มข้น 1 M ในเมทานอล พบว่าข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงพันธุ์ WP2 มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP สูงสุดเท่ากับ 0.02584 µg $FeSO_4$/mg ซึ่งค่า FRAP ที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำเช่นกัน

โดยทั่วไปแล้วค่าที่ได้จากผลการทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP ไม่จำเป็นต้องเท่ากับผลการทดสอบโดยวิธี DPPH ทั้งนี้เป็นเพราะว่าปฏิกิริยาในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในแต่ละวิธีทดสอบมีความจำเพาะและความว่องไวแตกต่างกัน นอกจากนั้นในแต่ละวิธีทดสอบมีมาตรฐานในการทดสอบและมีการใช้ปริมาณของสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบผลกิจกรรมการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของทั้ง 2 วิธีดังกล่าวได้

ตารางที่ 1 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดแอนโทไซยานินโดยวิธี DPPH assay เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน วิตามิน ซี และ วิตามิน อี

สารตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ	EC_{50} (mean ± SD) (µg/mL)
สารสกัดแอนโทไซยานิน	2.972 ± 0.058
วิตามิน ซี	4.541 ± 0.033
วิตามิน อี	12.034 ± 0.048

สรุปผลการวิจัย

การสกัดสารแอนโทไซยานินจากซังแห้งของข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงด้วยตัวทำละลายอะซิโตนในสภาวะกรดร่วมกับเทคนิคอัลตราโซนิก สามารถสกัดได้ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในปริมาณที่สูงถึง 7,869.26 µg CGE/g DW ซึ่งได้สารสกัดแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นประมาณ 52% เมื่อเทียบกับการสกัดซังข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงที่ไม่ได้ใช้เทคนิคอัลตราโซนิกร่วมในการสกัด สารสกัดที่ได้มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อ *Escherichia coli* ได้ดีกว่า เชื้อ *Staphylococcus aureus* โดยในเชื้อ *Escherichia coli* จะมีค่า MIC และ MBC เท่ากันคือเท่ากับ 25 mg/mL ในขณะที่ในเชื้อ *Staphylococcus aureus* จะมีค่า MIC เท่ากับ 50 mg/mL และมีค่า MBC > 200 mg/mL นอกจากนี้สารสกัดที่ได้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซี 1.5 เท่า และสูงกว่าวิตามินอี 4 เท่า ผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าซังแห้งข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วงมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาเพื่อประยุกต์เป็นอาหารเพื่อสุขภาพและงานทางด้านเภสัชภัณฑ์ได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณกลุ่มวิจัยการพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Benzie, I.F.F. & Strain, J.J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. **Analytical Biochemistry**, 239(1), 70-76.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. & Berset, C. (1995). Use of Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **LWT-Food Science and Technology**. 28(1), 25-30.

Butkhup, L. (2013). **Comparative Study of Flavonoid Contents and Antioxidant Property of Different Mulberry Fruits**. Bangkok: The Thailand Research Fund. (in Thai)

Department of Science Service. (2010). **Anthocyanin**. Bangkok: Ministry of Science and Technology. (in Thai)

Giusti, M.M. & Wrolstad, R.E. (2001). Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. In **Current Protocols in Food Analytical Chemistry** (pp. F1.2.1-F1.2.13). New York: John Wiley & Sons Inc.

Hafidh, S., Breznenová, K. & Honys, D. (2012). De Novo Post-Pollen Mitosis II Tobacco Pollen Tube Transcriptome. **Plant Signaling & Behavior**. 7(8), 918-921.

Hagiwara, A., Miyashita, K., Nakanishi, T., Sano, M., Tamano, S., Kadota, T. & Shirai, T. (2001). Pronounced Inhibition by a Natural Anthocyanin, Purple Corn Color, of 2-Amino-1-Methyl-6-Phenylimidazo [4,5-b] Pyridine (PhIP)-Associated Colorectal Carcinogenesis in Male F344 Rats Pretreated with 1,2-Dimethylhydrazine. **Cancer Letters**. 171(1), 17-25.

Harakotr, B., Suriharn, B., Tangwongchai, R. & Lertrat, K. (2014). Effects of Harvesting Times and Cooking Methods on Anthocyanin Content and Antioxidant Activity in Purple Waxy Corn Hybrids. **Khon Kaen Agriculture journal**. 42(3), 337-346. (in Thai)

Jing, P. (2006). **Purple Corn Anthocyanins: Chemical Structure, Chemoprotective Activity and Structure/Function Relationships**. Doctoral Dissertation, The Ohio State University, USA.

Khampas, S. (2014). **Effects of Locations on Phenolic Anthocyanin, Carotenoid Contents and Antioxidant Capacity in Vegetable Corn**. Master of Science Thesis in Agronomy, Graduate School, Khon Kaen University. (in Thai)

Li, J., Walker, C.E. & Faubion, J.M. (2011). Acidulant and Oven Type Affect Total Anthocyanin Content of Blue Corn Cookies. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 91(1), 38-43.

Muangrat, R., Suwan, S. & Suthakit, P. (2015). Effect of Various Conditions in Ultrasonic Extraction on Total Anthocyanin Content of Purple Waxy Corn. **Journal of Science and Technology**. 23(5), 783-796. (in Thai)

Rath, D., George, J., Mukherjee, A., Naskar, S.K. & Mohandas, C. (2016). Antibacterial Activity of Leaf and Tuber Extract of Orange, Purple Flesh Antioxidants Rich Sweet Potato (Ipomoea batatas (L.)). **Merit Research Journal of Agricultural Science and Soil Sciences**. 4(4), 67-71.

Somted, P., Peeraphunth, S., Amnueysit, K. & Amnueysit, P. (2015). Antibacterial Activity of Purple Rice Extracts on Growth Inhibition of Human Pathogenic Bacteria. In **Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animals, Veterinary Medicine, Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics** (PP. 574-581). Bangkok: The Thailand Research Fund. (in Thai)

Soria, A.C. & Villamiel, M. (2010). Effect of Ultrasound on the Technological Properties and Bioactivity of Food: A Review. **Trends in Food Science & Technology**. 2(17), 323-331.

Srithong, P., Kajsongkram, T., Bangchonglikitkul, C. & Boonsupthip, W. (2014). Effects of Solvent Type and Solid to Solvent Ratio on Antioxidant Compounds Extraction from Purple Corn (*Zea mays* L.) Seed and cob. In **Proceedings of 52nd Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry** (PP. 138-145). Bangkok: The Thailand Research Fund. (in Thai)

Tao, Y., Wu, D., Zhang, Q.A. & Sun, D.W. (2014). Ultrasound-assisted Extraction of Phenolics from Wine Lees: Modeling Optimization and Stability of Extracts during Storage. **Ultrasonics Sonochemistry**. 21(2), 706-715.

Yang, Z. & Zhai, W. (2010). Identification and Antioxidant Activity of Anthocyanins Extracted from the Seed and Cob of Purple Corn (*Zea mays* L.). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**. 11(1), 169-176.

บทความวิจัย

การเตรียมน้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์วุ้นกะทิ

THE PREPARATION OF WATER SOAKING WITH RICEBERRY RICE AND APPLICATION FOR COCONUT MILK JELLY

นรินทร์ภพ ช่วยการ*

สาขาอาหารและโภชนาการ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

Narinphop Chuaykarn*

Program of Food and Nutrition, Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla 90000

*E-mail: narinphop_hok@hotmail.com

Received: 2018-05-31
Revised: 2018-09-13
Accepted: 2018-10-16

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาการแช่น้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นกะทิ โดยคัดเลือกวุ้นกะทิสูตรพื้นฐานจำนวน 3 สูตร ที่ใช้กะทิต่างชนิดกัน จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า วุ้นกะทิสูตรที่ 1 (ยี่ห้อ A) มีคะแนนเฉลี่ยความชอบรวมสูงสุด ($p \leq 0.05$) จึงเลือกวุ้นกะทิสูตรที่ 1(ยี่ห้อ A) ไปศึกษาต่อในขั้นต่อไป โดยศึกษาระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้อัตราส่วนน้ำ (100 ^{O}C) ต่อข้าวไรซ์เบอร์รี่เท่ากับ 2:1 (w/w) และศึกษาระยะเวลาในการแช่เป็น 3 ระยะ คือ 30 45 และ 60 นาที ตามลำดับ นำน้ำแช่ข้าวไปทดแทนส่วนน้ำในส่วนตัววุ้น พบว่า เมื่อใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะเวลาที่นานขึ้น (30 45 และ 60 นาที) ค่าความสว่าง (L*) ของวุ้นกะทิมีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และ ความแข็งของเจล (Gel strength) ของวุ้นกะทิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) เมื่อแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่นานขึ้น เมื่อนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า วุ้นกะทิที่ใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ระยะเวลา 45 และ 60 นาที มีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับในทุกด้าน

ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) จากผลการทดลองการใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะเวลา 60 นาที มีความเหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์วุ้นกะทิมากที่สุด

คำสำคัญ: ข้าวไรซ์เบอร์รี่ วุ้นกะทิ สารต้านอนุมูลอิสระ

ABSTRACT

The objective of this research was studied the optimum time of water soaking for riceberry rice to produced coconut milk jelly. The coconut milk jellies (3 formulas) were selected by different types of coconut milk. The formula 1 (Brand A) of the coconut milk jelly had the highest score of overall liking ($p \leq 0.05$) which was selected in the next step. Studying the optimum time for soaking with the ratio of water (100°C) and riceberry rice were 2:1 by varying the soaking time (30 45 and 60 min) respectively, which the soaking water with riceberry rice was replaced with the water portion for the body of coconut milk jelly. The amount of soaking time for riceberry rice in water was varied by 30, 45 and 60 min respectively. The lightness (L*) was decreased ($p \leq 0.05$) while the redness (a*), yellowness (b*) and gel strength trend increased ($p \leq 0.05$). Moreover, the total phenolic content, total anthocyanin content and antioxidant activity (DPPH and ABTS) trend increased when the amount of soaking time was also increased ($p \leq 0.05$). The sensory score of coconut milk jelly (45 and 60 min) for all attributes was not significantly different ($p > 0.05$). Base on the research findings, the optimum soaking time for riceberry rice with coconut milk jelly was 60 min.

Keywords: Riceberry rice, coconut milk jelly, antioxidant

บทนำ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Oryza sativa L.) เป็นข้าวสายพันธุ์ผสมระหว่างข้าวหอมนิลและข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยมีลักษณะเด่นเป็นเมล็ดข้าวสีม่วงเข้ม ข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารพฤกษเคมี (Phytochemical) และคุณค่าทางโภชนาการ (Pattaneeya et al., 2013) จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมามีการนำข้าวไรซ์เบอร์รี่มาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด ได้แก่ ซาลาเปา คุกกี้ น้ำสลัด เยลลี่ เป็นต้น จากการศึกษาของ Tasiri et al., (2015) ได้พัฒนาเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มังสวิรัติ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และประสิทธิภาพการ

ต้านอนุมูลอิสระของเยลลี่มีค่าสูงขึ้น ($p \leq 0.05$) เห็นได้ว่าถึงแม้มีการนำข้าวไรซ์เบอร์รี่มาผ่านกระบวนการแปรรูป แต่สารสำคัญหรือสารพฤกษเคมียังคงอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยสารพฤกษเคมีหรือสารสีที่พบในส่วนรำของเมล็ดข้าวกล้อง (Pericarp) มีคุณสมบัติพิเศษนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการคือ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งมีประโยชน์กับสุขภาพหลายประการ อาทิ ช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด ต้านการอักเสบ ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง และโรคเรื้อรังชนิดต่าง ๆ (Leardkamolkarnet et al., 2011 & Pattaneeya et al., 2013) โดยปกติการเตรียมข้าวไรซ์เบอร์รี่ในการหุงต้มก่อนรับประทานนั้น ต้องนำไปผ่านกระบวนการแช่หรือซาวน้ำทิ้ง ก่อนนำไปหุงรับประทาน อาจเป็นผลให้คุณสมบัติบางประการของน้ำเหลือทิ้งจากการแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่นั้นได้สูญเสียไปกับกระบวนการดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารพฤกษเคมีที่ชื่อว่า แอนโธไซยานิน (Anthocyanin) โดยโครงสร้างเป็นสารประกอบไซยานิดิน 3 กลูโคไซด์ (Cyanidin 3-glucoside; C3G) และ พีโอนิดิน 3 กลูโคไซด์ (Peonidin 3-glucoside; P3G) ซึ่งจัดเป็นสารสีม่วงเข้มที่พบในข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี (Oki et al., 2002 & Finocchiaro et al., 2010) ทำให้สารพฤกษเคมีที่พบในน้ำแช่ข้าวหรือน้ำซาวข้าวนั้นถูกทิ้งไปกับกระบวนการดังกล่าวได้จึงมีความเป็นไปได้ว่าการนำน้ำแช่ข้าวจากกระบวนการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในขนมไทยน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง อีกทั้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เหลือจากการแช่ก็สามารถนำไปหุงรับประทานหรือประกอบอาหารประเภทอื่นได้ ทั้งนี้ยังเป็นแนวทางช่วยลดการใช้สีสังเคราะห์ในการผลิตขนมไทยอีกทางหนึ่ง วุ้นกะทิซาวังจัดเป็นอาหารว่างที่ค่อนข้างได้รับความนิยมกันมากที่สุดชนิดหนึ่งมีจำหน่ายทั่วไปทั้งในตลาดและห้างสรรพสินค้า เนื่องจากคนไทยนิยมใช้กะทิมาเป็นส่วนประกอบในการทำขนมหลากหลายชนิด อีกทั้งมะพร้าวมีมากในประเทศจึงนิยมนำมาทำขนมไทย วุ้นกะทิจัดเป็นอาหารว่างจานหวาน รับประทานได้ทุกเพศทุกวัย กะทิกับข้าวกล้องในขนมไทยนั้นมีความลงตัวกันในเรื่องกลิ่นรสและรสชาติ ด้วยความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะและเสน่ห์ของขนมชนิดนี้ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาถึงการประยุกต์ใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในการทำวุ้นกะทิ โดยอาจเป็นผลิตภัณฑ์ขนมซาวังเพื่อสุขภาพหรือเป็นอาหารทางเลือกเพื่อสุขภาพอีกประเภทหนึ่ง อีกทั้งเป็นที่ต้องการจากผู้บริโภคทั่วไปทุกเพศทุกวัยหรือผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ ตลอดจนนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

วิธีการทดลอง

1. การคัดเลือกวุ้นกะทิสูตรพื้นฐาน

1.1 การคัดเลือกวุ้นกะทิสูตรพื้นฐานดัดแปลงจาก (Chaisuwan, 2012) จำนวน 3 สูตร สำหรับการผลิตหน้าวุ้นกะทิ ได้ใช้กะทิต่างชนิดกันในปริมาณร้อยละ 24.78 คือสูตรที่ 1 ใช้กะทิยี่ห้อ A สูตรที่ 2 ใช้กะทิยี่ห้อ B และสูตรที่ 3 ใช้กะทิยี่ห้อ C โดยส่วนผสมอื่นมีปริมาณคงที่คือ น้ำร้อยละ 61.96 ผงวุ้นตรานางเงือกร้อยละ 0.62 น้ำตาลทรายร้อยละ 12.39 และเกลือ

ร้อยละ 0.25 สำหรับส่วนผสมในการผลิตตัววุ้น ประกอบด้วย น้ำร้อยละ 83.62 ผงวุ้นตรานางเงือกร้อยละ 0.70 และน้ำตาลทรายร้อยละ 15.68

1.2 การผลิตวุ้นกะทิสูตรพื้นฐานทั้ง 3 สูตร ทำโดยนำผงวุ้นและน้ำเปล่าผสมเข้าด้วยกันทิ้งไว้ 10 นาที นำไปเคี่ยวที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 5 นาที เติมน้ำตาลทรายเคี่ยวต่ออีก 5 นาที จนน้ำตาลทรายละลายจนหมด ตักส่วนผสมตัววุ้น (15 กรัม) ใส่พิมพ์พลาสติก (ชนิดพอลีโพรพิลีน) นำหัวกะทิและผงวุ้นผสมเข้าด้วยกันทิ้งไว้ 10 นาที นำไปเคี่ยวที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 5 นาที เติมน้ำตาลทรายเคี่ยวต่ออีก 5 นาที จนน้ำตาลทรายละลายจนหมด ตักส่วนผสมหน้าวุ้นกะทิ (5 กรัม) ตักใส่พิมพ์หน้าส่วนผสมตัววุ้น (15 กรัม) เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C

1.3 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส นำวุ้นกะทิสูตรพื้นฐานทั้ง 3 สูตร ที่ผ่านกระบวนการผลิตดังข้อ 1.2 มาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการ 9 Point Hedonic Scale โดยประเมินคุณลักษณะด้าน สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบชิมกึ่งฝึกฝนจำนวน 30 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) เพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด 1 สูตร ไปศึกษาต่อในการทดลองขั้นต่อไป

2. การเตรียมน้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่

นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ยี่ห้อธรรมคัลเจอร์ บริษัทยูนิแกรนด์ มาร์เก็ตติ้ง กรุงเทพ มาชั่งน้ำหนัก 960 กรัม และแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อุณหภูมิห้อง 25 ± 1 °C ทำโดยเติมน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C ต่อข้าวไรซ์เบอร์รี่ในอัตราส่วน 2:1 (w/w) และผันแปรระยะเวลาในการแช่เป็น 3 ระยะ คือ 30 45 และ 60 นาที นำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ผ่านการแช่ทั้ง 3 ระยะเวลาไปกรองด้วยผ้าขาวบาง เก็บส่วนน้ำที่แช่ได้ไว้ เพื่อนำไปผลิตวุ้นกะทิในการทดลองขั้นตอนต่อไป

3. การผลิตวุ้นกะทิจากน้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่

นำตัวอย่างน้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 3 ระยะเวลา (30 45 และ 60 นาที) จากการทดลองในข้อ 2 มาผ่านกระบวนการผลิตเช่นเดียวกันดังข้อ 1.2 โดยเปลี่ยนส่วนผสมเฉพาะตัววุ้นจากน้ำเป็นน้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ทั้งนี้กำหนดให้ส่วนผสมอื่น ๆ และส่วนผสมหน้าวุ้นมีปริมาณคงที่ จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสในการทดลองขั้นต่อไป

4. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

4.1 การวิเคราะห์ค่าสี ด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex ประเทศ USA รายงานค่าสีตามระบบ Hunter (L*, a*, b*)

4.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) Stable Micro Systems รุ่น TA XT Plus ประเทศอังกฤษ เตรียมตัวอย่างปริมาณ 15 กรัม บรรจุลงในถ้วยพลาสติกชนิดพอลีโพรพิลีน ทดสอบตัวอย่างโดยใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

0.5 นิ้ว กำหนดความเร็วของหัววัดขณะทดสอบ (test speed) 1.0 mm/s ระยะทางกด 4 mm ขนาด Lode cell 5 กิโลกรัม รายงานเป็นค่าความแข็ง (Gel strength) ซึ่งอ่านค่าจากแรงต้านสูงสุด (g) ที่ได้จากการกดตัวอย่าง

5. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

5.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric โดยดัดแปลงตามวิธีการของ (Hossain et al., 2008) คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด จากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (gallic acid equivalent: GAE) รายงานผลในรูปมิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก/กรัมส่วนสกัด

5.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมด ด้วยวิธี pH differential ดัดแปลงตามวิธีการของ (Arnao et al., 2001) คำนวณปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมด รายงานผลในรูปมิลลิกรัมไซยานิดิน 3 กลูโคไซด์ (milligramcyanidin-3-glucoside)

5.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (2,2 diphenyl-1-picryhydrazyl scavenging) ดัดแปลงตามวิธีการของ (Ramadhan & Phuwapraisirisan, 2015) รายงานผลเป็นค่า IC_{50} ของการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้โปรแกรม Graph Pad Prism 6.05

5.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS radical cationdecolorization assay ดัดแปลงตามวิธีการของ (Arnao et al., 2001) รายงานผลเช่นเดียวกันกับข้อ 5.3

6. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำวุ้นกะทิสูตรที่ใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ทั้ง 3 ระยะเวลามาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเช่นเดียวกันกับข้อ 1.3

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และแผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 24

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการคัดเลือกวุ้นกะทิสูตรพื้นฐาน

จากตารางที่ 1 แสดงคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของวุ้นกะทิสูตรพื้นฐานทั้ง 3 สูตร พบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านสีของวุ้นกะทิสูตรพื้นฐานทั้ง 3 สูตร ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

เนื่องจากไม่มีการใช้สีสังเคราะห์เติมแต่งในวุ้นกะทิทั้ง 3 สูตร เป็นผลให้คะแนนเฉลี่ยการยอมรับด้านสีไม่ต่างกัน ในขณะที่คะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของ สูตรที่ 1 (ยี่ห้อ A) แตกต่างจาก สูตรที่ 2 (ยี่ห้อ B)และ สูตรที่ 3 (ยี่ห้อ C) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการใช้ชนิดกะทิที่ต่างชนิดกันเป็นผลให้ผู้บริโภคมีความชอบต่างกัน อาจเนื่องมาจากกลิ่นรสเฉพาะตัวของกะทิในแต่ละสูตรมีความเข้มข้น และลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันจึงเป็นผลให้วุ้นกะทิแต่ละสูตรมีคะแนนด้านกลิ่นรสแตกต่างกันไป คะแนนเฉลี่ยด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของวุ้นกะทิทั้ง 3 สูตร จึงแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้คะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้าน กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ของสูตรที่ 1 (ยี่ห้อ A) มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด แตกต่างจาก สูตรที่ 2 (ยี่ห้อ B) และ สูตรที่ 3 (ยี่ห้อ C) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงคัดเลือกวุ้นกะทิสูตรที่ 1 (ยี่ห้อ A) ไปศึกษาต่อในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 1 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของวุ้นกะทิสูตรพื้นฐาน

คุณลักษณะ	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส		
	สูตรที่ 1 (ยี่ห้อ A)	สูตรที่ 2 (ยี่ห้อ B)	สูตรที่ 3 (ยี่ห้อ C)
สี^{ns}	6.57 ± 1.31	6.40 ± 1.07	6.43 ± 1.22
กลิ่นรส	7.07 ± 1.08^{a}	6.30 ± 1.12^{b}	6.57 ±1.46^{b}
รสชาติ	7.10 ± 1.16^{a}	5.47 ± 1.80^{b}	6.70 ± 1.06^{a}
เนื้อสัมผัส	7.63 ± 1.19^{a}	4.63 ± 1.99^{c}	6.77 ± 1.36^{b}
ความชอบโดยรวม	7.80 ± 0.76^{a}	5.57 ± 1.68^{c}	6.73 ± 1.05^{b}

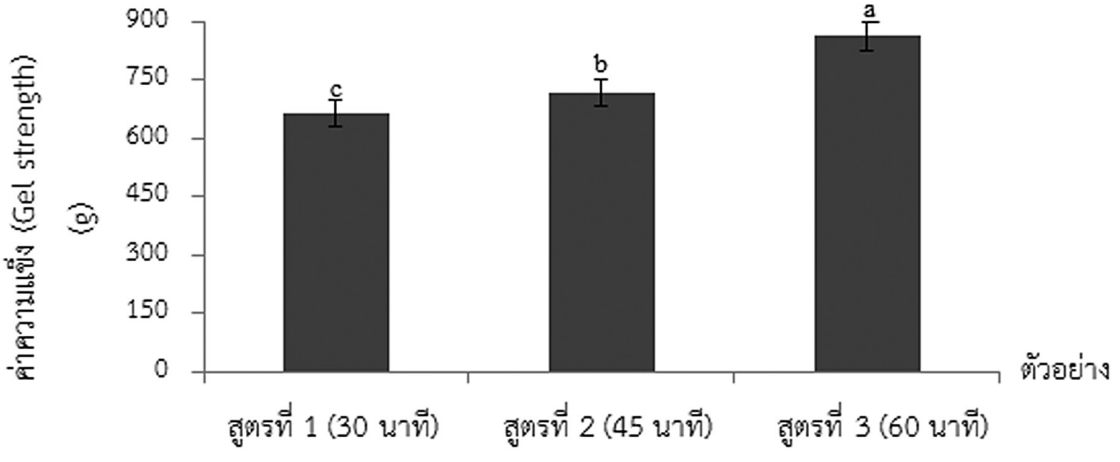
หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอนอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ns – non significant หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

2. คุณสมบัติทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส (Gel Strength)

ผลของการใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่แตกต่างกันในการผลิตวุ้นกะทิต่อคุณลักษะทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัสของวุ้นกะทิ แสดงดังรูปที่ 1 พบว่า ความแข็งของเจล (Gel Strength) ตัววุ้นกะทิทั้ง 3 ระยะเวลาของน้ำแช่ข้าว (ระยะเวลา 30 45 และ 60 นาที) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่นานขึ้นอาจเกิดจากโครงสร้างของตัววุ้นกะทิมีความแข็งของเจลเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำแช่ข้าว

ไรซ์เบอรี่ลดลง สายพอลิเมอร์แต่ละสายเกิดการพันกันเป็นเกลียวในลักษณะเกลียวคู่ (double helice) เมื่ออุณหภูมิต่ำลงปลายสายของ double helice แต่ละคู่จะรวมตัวเข้ามาใกล้กันและเกิดการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดการเกาะรวมกันมากจนทำให้เกิดการแข็งตัวเป็นเจลมากขึ้นตาม เป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติที่แข็งแรง อีกทั้งการแช่น้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อุณหภูมิสูงในระยะเวลาที่นานขึ้นทำให้ความร้อนทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของสตาร์ชในเม็ดแป้ง อิทธิพลของสตาร์ชในข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสอยู่จัดเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) ประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ทำให้เกิดเจล (Gel) สายพอลิเมอร์ของอะไมโลส และอะไมโลเพกทินที่อัดแน่นอยู่ในเม็ดแป้งจะคลายตัวและหลุดออกรวมกับน้ำ ลักษณะสำคัญนี้หากมีความเข้มข้นเพียงพออาจเกิดเป็นของกึ่งแข็ง ยืดหยุ่น หรือการเกิดเจล (Gelation) (Dai & Matsukawa, 2012) สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Norziah et al., 2006 ได้กล่าวว่าการผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นกับวุ้นช่วยในการปรับปรุงให้วุ้นมีสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น โดยวุ้นที่ใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าความแข็งของเจลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 663.37 ถึง 865.84 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Somboon N, (2013) พบว่า เจลวุ้นที่ใช้สารก่อเจล (Agar) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 - 2.5 มีค่าความแข็งของเจลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 412.69 ถึง 3472.95 กรัม

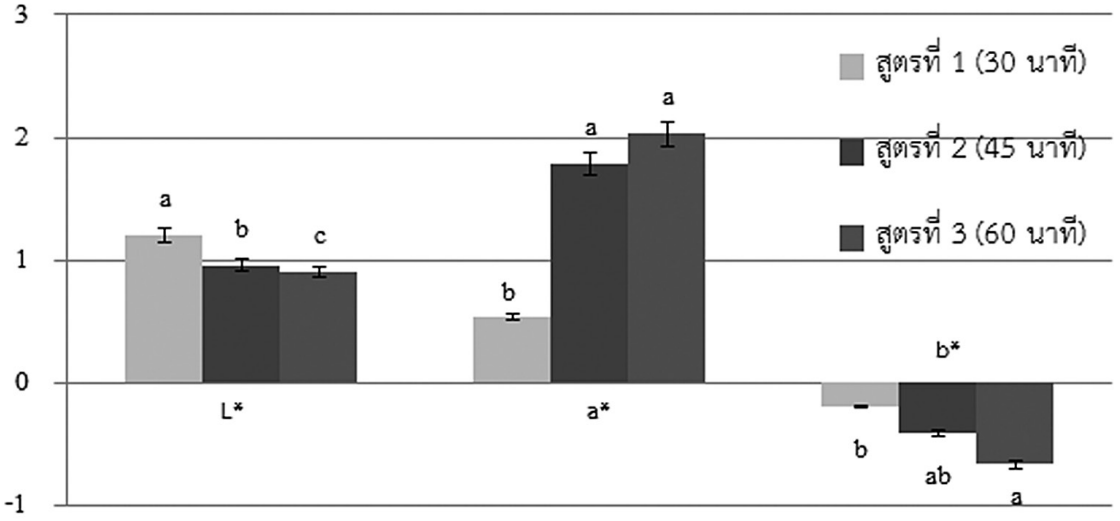


รูปที่ 1 ค่าความแข็ง (Gel Strength) ของวุ้นกะทิที่ใช่น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน (30 45 และ 60 นาที)

หมายเหตุ : กราฟแท่งแสดงค่าความแข็ง อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. คุณสมบัติทางกายภาพด้านสี (L* a* และ b*)

ผลของการใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่แตกต่างกันในการผลิตวุ้นกะทิต่อคุณสมบัติทางกายภาพด้านสี แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า ตัววุ้นกะทิทั้ง 3 สูตร (ระยะเวลา 30 45 และ 60 นาที) มีเฉดสีเป็นสีม่วงเข้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เมื่อใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่นานขึ้น ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ของตัววุ้นกะทิมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของ สูตรที่ 2 (45 นาที) และ สูตรที่ 3 (60 นาที) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่แตกต่างจากสูตรที่ 1 (30 นาที) ($p \leq 0.05$) เนื่องจากค่าสีแดง (a*) ของวุ้นกะทิที่ใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าเป็นบวก คือ ค่าสีแดง ซึ่งสัมพันธ์กับสีในตัววุ้นกะทิดังกล่าว โดยสารรงควัตถุที่พบได้ในส่วน pericarp คือรำของข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีโครงสร้างเป็นสารประกอบไซยานิดิน 3 กลูโคไซด์ (C3G) และ พีโอนิดิน 3 กลูโคไซด์ (P3G) มีความสามารถในการละลายในน้ำได้ดี โดยจัดอยู่กลุ่มของฟลาโวนอยด์ (Leardkamolkarnet et al., 2011 & Pattaneeya et al., 2013) มีลักษณะเป็นสีม่วงเข้ม เมื่อนำไปแช่ในน้ำแล้วนำไปผลิตวุ้นกะทิจึงเป็นผลให้ตัววุ้นกะทิมีสีม่วงแดงที่เข้ม



รูปที่ 2 ค่าสี (L* a* b*) วุ้นกะทิที่ใช่น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่
ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน (30 45 และ 60 นาที)

หมายเหตุ : กราฟแท่งแสดงค่าสี อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ

4.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารแอนโธไซยานินทั้งหมดของวุ้นกะทิที่ใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่แตกต่างกันจาก ตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ในขณะเดียวกัน สูตรที่ 2 (45 นาที) และ สูตรที่ 3 (60 นาที) มีปริมาณสารแอนโธไซยานินไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีปริมาณสารแอนโธไซยานินเท่ากับ 5.87 และ 6.44 mg/100g ตามลำดับ แต่แตกต่างจากสูตรที่ 1 (30 นาที) (5.10 mg/100g) เนื่องจากโครงสร้างของสารแอนโธไซยานิน ที่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วคือ น้ำ อีกทั้งความร้อนในกระบวนการแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มระหว่างกระบวนการผลิตโดยทำลายพันธะเอสเตอร์ระหว่างกรดฟีนอลิกและองค์ประกอบของผนังเซลล์ (Cell wall) เป็นผลให้เพิ่มการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) (Choi, 2016) โดยสารแอนโธไซยานินจัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์และเป็นกลุ่มย่อยของฟีนอลิก เมื่อนำมาผลิตวุ้นกะทิจึงทำให้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและสารแอนโธไซยานินในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tasiri et al., (2015) ได้พัฒนาเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มังสวิรัติ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการผลิตมีผลให้เยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์แตกเกิดการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกที่ละลายน้ำได้จากพันธะเอสเตอร์ ตลอดจนระยะเวลาในการแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่นานขึ้นเป็นผลให้สารประกอบฟีนอลิกและสารแอนโธไซยานินเพิ่มเมื่อนำไปผลิตวุ้นกะทิจึงมีปริมาณที่สูงขึ้นตามไปด้วย

4.2 ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของวุ้นกะทิที่ใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 2 พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ IC_{50} คือความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถลดปริมาณอนุมูลอิสระ (DPPH) เริ่มต้นลงได้ 50% ของตัวอย่างดังนั้น ถ้าค่า IC_{50} ของตัวอย่างต่ำ แสดงว่าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง เนื่องจากในวุ้นกะทิที่ใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารแอนโธไซยานิน โดยความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบฟีนอลิก และสารแอนโธไซยานินที่สูง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นตามไปด้วย สารประกอบฟีนอลิกและสารแอนโธไซยานินดังกล่าวจึงมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเมื่อเปรียบเทียบ สูตรที่ 1 (30 นาที) สูตรที่ 2 (45 นาที) และ สูตรที่ 3 (60 นาที) มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นตามไปด้วย เมื่อวัดด้วยวิธี DPPH ซึ่งการยับยั้งนั้นจะแปรผันตามความเข้มข้นของส่วนสกัดที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 51.27 47.39 และ 45.89 mg/mL ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ

ด้วยวิธี ABTS ของตัวอุ้นกะทิที่ใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่ามีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระคล้ายคลึงกันกับ วิธี DPPH ซึ่งการที่ค่า IC_{50} มีแนวโน้มลดลง แสดงถึงประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ในปริมาณที่สูงขึ้น โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 51.34 47.39 และ 44.84 mg/mL สารประกอบฟีนอลิกที่มักพบในกลุ่มพืช แสดงถึงประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระตามความเข้มข้นของส่วนสกัดที่เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Tasiri et al., (2015) พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของเยลลี่ข้าวไรซ์เบอร์รี่มังสวิรัติ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และการศึกษาของ Bainak et al., (2015) พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมจีนอบแห้งที่มีการผสมข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีปริมาณแอนโธไซยานินและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงกว่าขนมจีนอบแห้งทางการค้า ($p \leq 0.05$) โดยการที่ผลิตภัณฑ์อาหารมีประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระนั้นเป็นผลมาจากสารประกอบฟีนอลิกและสารแอนโธไซยานินมีความสัมพันธ์กัน สารกลุ่มนี้มีส่วนช่วยในการหยุดการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่การเกิดลิปิดออกซิเดชัน (Lipid oxidation) (Ko et al., 1998) และมีประโยชน์ในเชิงสุขภาพ จากผลการทดลองจึงเห็นได้ว่า แม้มีการนำข้าวไรซ์เบอร์รี่มาผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารไม่ได้ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระสูญเสียไปในระหว่างกระบวนการผลิตทั้งหมด

ตารางที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของวุ้นกะทิที่ใช่น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน (30 45 และ 60 นาที)

ระยะเวลาในการแช่ข้าว	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE[1]/g)	ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ		ปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมด (mg^2/100g)
		DPPH IC_{50}(mg/mL)	ABTS IC_{50}(mg/mL)	
สูตรที่ 1 (30 นาที)	$53.21^{c} \pm 0.88$	$51.27^{a} \pm 0.94$	$51.34^{a} \pm 0.65$	$5.10^{b} \pm 0.13$
สูตรที่ 2 (45 นาที)	$58.76^{b} \pm 0.57$	$46.82^{b} \pm 0.80$	$47.39^{b} \pm 0.89$	$5.87^{a} \pm 0.32$
สูตรที่ 3 (60 นาที)	$60.21^{a} \pm 0.50$	$45.89^{b} \pm 0.75$	$44.84^{c} \pm 0.63$	$6.44^{a} \pm 0.50$

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอนอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: [1]มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก/กรัม, [2]ไซยานิดิน 3 กลูโคไซด์

5. คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลของการใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่แตกต่างกันในการผลิตวุ้นกะทิต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังตารางที่ 3 พบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ของตัววุ้นกะทิสูตรที่ 1 (30 นาที) สูตรที่ 2 (45 นาที) และ สูตรที่ 3 (60 นาที) มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ส่วนคุณลักษณะด้านสีของสูตรที่ 2 (45 นาที) และ สูตรที่ 3 (60 นาที) มีคะแนนเฉลี่ยแตกต่างจากสูตรที่ 1 (30 นาที) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากระยะเวลามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจากปริมาณสารแอนโธไซยานินที่พบในรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำทำให้ตัววุ้นกะทิสูตรที่ 3 (60 นาที) มีลักษณะสีม่วงที่เข้มขึ้น จึงได้รับคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทางด้านสีสูงสุดแต่ไม่แตกต่างจากสูตรที่ 2 (45 นาที) ($p > 0.05$) ทั้งนี้คุณลักษณะด้านกลิ่นรสของสูตรที่ 2 (45 นาที) และ สูตรที่ 3 (60 นาที) มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ในขณะเดียวกันแตกต่างจากสูตรที่ 1 (30 นาที) ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการใช้น้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่แช่ในระยะเวลาที่นานขึ้น เป็นผลให้มีกลิ่นรสของข้าวไรซ์เบอร์รี่ในปริมาณที่เข้มขึ้นซึ่งมีกลิ่นหอมของข้าว ทำให้วุ้นกะทิสูตรที่ 2 (45 นาที) และ สูตรที่ 3 (60 นาที) ได้รับคะแนนเฉลี่ยการยอมรับมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงคัดเลือกวุ้นกะทิที่ใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่สูตรที่ 3 (60 นาที) แม้ว่ามีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากสูตรที่ 2 (45 นาที) ในทุกด้านก็ตามแต่หากพิจารณาถึงคุณสมบัติอื่น ๆ คือ คุณสมบัติทางด้านเคมีและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระร่วมด้วย พบว่า สูตรที่ 3 (60 นาที) มีปริมาณสารแอนโธไซยานินและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในปริมาณที่สูงกว่า

ตารางที่ 3 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของตัววุ้นกะทิที่ใช่น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน (30 45 และ 60 นาที)

คุณลักษณะ	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัส		
	สูตรที่ 1 (30 นาที)	สูตรที่ 2 (45 นาที)	สูตรที่ 3 (60 นาที)
สี	7.10 ± 0.88^{b}	7.57 ± 0.98^{a}	7.67 ± 0.89^{a}
กลิ่นรส	6.90 ± 0.99^{b}	7.13 ± 0.77^{ab}	7.53 ± 0.75^{a}
รสชาติ^{ns}	7.10 ± 0.75	7.20 ± 0.96	7.57 ± 0.93
เนื้อสัมผัส^{ns}	7.40 ± 0.67	7.43 ± 0.97	7.30 ± 0.26
ความชอบโดยรวม^{ns}	7.27 ± 0.64	7.33 ± 0.84	7.45 ± 0.95

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอนอักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ns – non significant หมายถึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สรุป

การเตรียมน้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกัน และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์วุ้นกะทิ พบว่า วุ้นกะทิสูตรพื้นฐานสูตรที่ 1 ใช้กะทิยี่ห้อ A ได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงสุด ระยะเวลาแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เหมาะสมในการผลิตวุ้นกะทิ คือ 60 นาที ทั้งนี้การแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลาที่นานขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ลดลง ค่าสีแดง (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และความแข็งของเจลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์วุ้นกะทิที่ใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะเวลา 60 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 60.21 ± 0.50 ปริมาณสารแอนโธไซยานินทั้งหมดเท่ากับ 6.44 ± 0.50 และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวัดโดยวิธี DPPH และ ABTS โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 45.89 ± 0.75 และ 44.84 ± 0.63 ตามลำดับ โดยสารต้านอนุมูลอิสระและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compounds) ดังกล่าว มีประโยชน์ในเชิงสุขภาพ โดยเฉพาะการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังชนิดต่าง ๆ ต้านการอักเสบ และช่วยชะลอวัย วุ้นกะทิที่ใช้น้ำแช่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะเวลา 60 นาที มีคะแนนเฉลี่ยการยอมรับทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย (งบประมาณเงินรายได้)

เอกสารอ้างอิง

Arnao, M.B., Cano, A. & Acosta, M. (2001). The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. **Food Chemistry**. 73, 239-244.

Bainak, J., Wongpakdee, R. & Suksomboon, A. (2015) Development of Dried Rice Noodle (Kanom-geen) from Riceberry. **Agricultural Science Journal**. 46(3), 361-364. (in Thai)

Chaisuwan, S. (2012). **Coconut milk jelly formula**. Retrieved November 8, 2012, from http://www.baanpimwun.com. (in Thai)

Choi, Y., Lee, S.M., Chun, J., Lee H.B. & Lee, J. (2006). Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of shiitake (Lentinus edodes) mushroom. **Food Chemistry**. 99, 381-387.

Dai, B. & Matsukawa, S. (2012). NMR studies of the gelation mechanism and molecular dynamics in agar solutions. **Food Hydrocolloids**. 26, 181-186.

Finocchiaro, F., Ferrari, B. & Gianinetti, A. (2010). A study of biodiversity of flavonoid

content in the rice caryopsis evidencing simultaneous accumulation ofanthocyanins and proanthocyanidins in a blackgrained genotype. **Cereal Science**. 5, 28-34.

Hossain, S.J., Tsujiyama, I., Takasugi, M., Islam, M.A., Biswas, R.S. & Aoshima, H. (2008). Total phenolic content, antioxidative, anti-amylase, anti-glucosidase, and antihistamine release activities of Bangladeshi fruits. **Food Science and Technology Research**, 14(3), 261-268.

Ko, F.N., Cheng, Z.J., Lin, C.N. & Teng, C.M. (1998). Scavenger and antioxidant properties of prenylflavones isolated from Artocarpus heterophyllus. **Free Radical Biology and Medicine**. 25(2), 160-168

Leardkamolkarn, V., Thongthep, P., Suttiarporn, R., Kongkachuichai, S., Wongpornchai, S. & Wanavijitr, A. (2011). Chemopreventive properties of the bran extracted from a newly-developed Thai rice The Riceberry. **Food Chemistry**, 125, 978-85.

Oki, T., Masuda, V., Kobayash, V., Nishiba, V., Furuta, V., Suda, I. & Sato, T. (2002). Polymeric procyanidinsas radical-scavenging components in red-hulled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 50, 7524-7529.

Pattaneeya, P., Reuthaithip, S., Rin, C., Vijitra, L., Surat, K., Uruwan, Y., Apichart, V. & Ratchanee, K. (2013). Amelioration of hyperglycemia, hyperlipidimia, oxidative stress and inflammation in steptozotocin-induced diabetic rats fed a high fat diet by riceberry supplement. **Journal of Functional Foods**. 5, 195-203.

Podjanalekha, P., Saenmuan, S., & Phothiset, S. (2018). Effect of temperatures on physicochemical properties of Riceberry flour. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 46, 212-217. (in Thai)

Ramadhan, R. & Phuwapraisirisan, P. (2015). Arylalkanones from Horsfieldia macrobotrys are effective antidiabetic agents achieved by alpha-glucosidase inhibition and radical scavenging. **Natural product communications**. 10(2), 325-328.

Somboon, N. (2013). **Properties of Agar and Fish Gelatin Mixed Gels**. M.Sc. Program in Food Science and Nutrition. Faculty of Science and Technology, Prince of Songkhla University. (in Thai)

Tasiri, P., Suttisansanee, U., Hudthagosol, C. & Somboonpanyakul, P. (2015). Development of Riceberry Rice Vegan Jelly Contains High Protein and High Energy for the Elderly with Dysphagia. **Agricultural Science Journal**. 46(3), 369-372. (in Thai)

บทความวิจัย

การพัฒนาการเกิดสีเหลืองของผักคะน้า

YELLOWING DEVELOPMENT OF CHINESE KALE

(Brassica oleracea var. *alboglabla)*

ประกายดาว ยิ่งสง่า[1*] และ ลดา มัทธุรศ[2]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

[2]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

Prakaidao Yingsanga[1*] and Lada Mathurasa[2]

[1]Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220 Thailand

[2]Department of environmental science and technology, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220 Thailand

[*]E-mail: prakaidao@pnru.ac.th

Received: 2018-07-18
Revised: 2018-09-19
Accepted: 2018-10-15

บทคัดย่อ

ผักคะน้าเป็นผักที่นิยมบริโภคโดยเฉพาะอาหารจีนกวางตุ้ง ซึ่งการเกิดสีเหลืองเป็นปัญหาที่สำคัญ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาการเกิดสีเหลืองทางกายภาพของผักคะน้าในแต่ละตำแหน่งของใบและแต่ละส่วนบนใบของผักคะน้า โดยเลือกใช้ผักคะน้าที่มีใบต่อต้นจำนวน 4 ใบ ใบที่ติดกับส่วนยอดเป็นตำแหน่งใบที่ 1st จนถึงใบที่ 4th ซึ่งอยู่นอกสุด และแบ่งแต่ละใบออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน ได้แก่ ส่วนด้านบน (upper) กลาง (middle) และล่าง (lower) แล้วทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 - 70) จนหมดอายุเก็บรักษา นำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b* and hue) ค่าดัชนีความเขียว (SPAD value) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ทุก ๆ วัน เพื่อพิจารณาการพัฒนาสีเหลือง ผลการศึกษาพบว่า การพัฒนาการเกิดสีเหลืองเริ่มจากใบนอกสุดคือใบคะน้าในตำแหน่งที่ 4

ถัดมาคือตำแหน่งที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ($P \leq 0.01$) ส่วนการพัฒนาในแต่ละส่วนบนใบพบว่าเกิดการพัฒนาสีเหลืองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในส่วนของการประเมินการยอมรับของผู้บริโภคพบว่ายอมรับให้สามารถซื้อขายได้เพียง 1 วันหลังการเก็บรักษา และสามารถยอมรับให้บริโภคได้ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา

คำสำคัญ: คะน้า คลอโรฟิลล์ สีเหลือง อายุการเก็บรักษา

Abstract

Chinese Kale is a popular vegetable especially for Cantonese cuisine that a yellowing is a major problem. This research, therefore, aimed to study the development of physical yellowing at each leaf's position and on a leaf of kale. The four leaflets plants were used that the top leaf was count as the 1st leaf and the most outer leaf was the 4th leaf, and each leaf was equally divided into 3 parts which were upper, middle, and lower. The plants then were stored at room temperature (30 ± 2 °C, 60 - 70%RH) until end of shelf life. The color changing analysis (L *, a *, b * and hue), SPAD value, chlorophyll a, chlorophyll b, and total chlorophyll were used to determine the yellowing of kale in every day. The results showed a trend that the fourth leaf, which is the outer leaf, developed fastest yellow color and followed by the 3rd, the 2nd and the 1st leaf, respectively ($P \leq 0.01$). Whereas, the yellowing development on each part of a leaf was not significantly different ($P > 0.05$). As consumer evaluation, only 1 day of storage is acceptable for selling, however, it can be accepted for consumption up to the 2nd day of storage.

Keywords: Chinese Kale, chlorophyll, yellowing, shelf life

บทนำ

ปัจจุบันมนุษย์ใส่ใจในสุขภาพของตนเองมากยิ่งขึ้น มีพฤติกรรมในการป้องกันและลดความเสี่ยงในการเกิดโรค จึงทำให้อัตราการบริโภคผักกินใบที่มีสีเขียวซึ่งเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญในการป้องกันการเกิดโรค อันประกอบด้วย วิตามิน เกลือแร่ สารต้านอนุมูลอิสระ รวมไปถึงรงควัตถุ (คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งรงควัตถุทำให้เกิดสีต่าง ๆ ขึ้นในพืช โดยสีเขียวของผักกินใบสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งสีเป็นปัจจัยแรกที่ผู้บริโภคใช้ในการประเมินคุณภาพหรือความสดของผลิตผลทางการเกษตร

หลังการเก็บเกี่ยวและในระหว่างการเก็บรักษา (Limantara et al., 2015; Sánchez et al., 2014) การรักษาความสดของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวมีปัจจัยที่สัมพันธ์หลายประการ เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างการเก็บรักษา รวมทั้งบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุ (Ferrante & Maggiore, 2007; Klieber et al., 2002) ผู้บริโภคส่วนใหญ่มักซื้อผักสดมาเก็บไว้ที่บ้านก่อนที่จะนำมาบริโภค (Qiu et al., 2017) ปัญหาที่สำคัญคือการสูญเสียน้ำหนัก (น้ำ) ส่งผลให้เกิดการสูญเสียคลอโรฟิลล์เป็นการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวที่มองเห็นได้อย่างแรกของผักกินใบที่มีสีเขียว (Hasperué et al., 2013; Aubry et al., 2008; Yamauchi, et al., 1997)

คะน้า (*Brassica oleracea* var. *alboglabla*) จัดอยู่ในตระกูลกระหล่ำ เป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูงประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ วิตามินซี คาโรทีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิก และกลูโคซิโนเลต ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง (Tang et al., 2013) สามารถปลูกได้ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย (Sumniengdee, 2012) นิยมบริโภคในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และประเทศจีนตอนใต้ (Sun et al., 2018) มีรสชาติคล้ายคลึงกับบรอคโคลี แต่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายมากกว่า ส่วนที่นำมาบริโภคคือใบและลำต้น อาหารจีนกวางตุ้งมักใช้คะน้าเป็นส่วนประกอบหลัก (Wanwimolruk et al., 2015) เช่น ได้แก่ ราดหน้า ผัดซีอิ้ว คะน้าน้ำมันหอย หรือนำมาบริโภคสดเป็นเครื่องเคียงกับอาหารที่มีรสจัดจำพวกยำต่าง ๆ เช่น หมูมะนาว เป็นต้น ทั้งนี้ปัญหาหลังการเก็บเก็บเกี่ยวที่สำคัญคือใบคะน้าจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองภายหลังการเก็บเกี่ยว 2 - 3 วัน เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่า (Noichinda et al., 2007; Wilson et al., 1988; Poochai et al., 1984) อย่างไรก็ตามการพัฒนาการเกิดสีเหลืองของผักคะน้ายังมีการศึกษาน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาการเกิดสีเหลืองทางกายภาพของผักคะน้าโดยพิจารณาจากแนวโน้มการเกิดสีเหลืองในแต่ละส่วนและแต่ละใบของคะน้า ซึ่งคาดว่าข้อมูลที่ได้จะเป็นแนวทางในการเก็บรักษาผักใบเขียวชนิดอื่น ๆ ต่อไป

วิธีการ

งานวิจัยครั้งนี้ใช้ผักคะน้าที่ซื้อจากตลาดชุมชนคลองบางบัว เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร เมื่อนำมาถึงห้องปฏิบัติการนำมาทำการตัดแต่ง คัดเลือกเอาเฉพาะต้นที่ปราศจากตำหนิจากโรคและแมลง น้ำหนักประมาณ 75 ± 5 กรัม แล้วนำมาจุ่มในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อป้องกันการเกิดโรค หลังจากนั้นนำมาแบ่งโดยใช้ผักคะน้าจำนวน 3 ต้น ต่อ 1 ซ้ำ ทั้งหมด 4 ซ้ำ แล้วนำไปเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ (30 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 - 70) หลังจากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างคะน้าสำหรับวิเคราะห์ทุกวันจนกระทั่งหมดสภาพการเก็บรักษา วัดต้นละ 4 ใบ (ใบคะน้าที่ติดกับยอดเป็นใบที่ 1st, ถัดมาเป็นใบที่ 2nd, 3rd และใบด้านนอกสุดเป็นใบที่ 4th)

และแบ่งใบคะน้าออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน (ปลายใบ = upper; กลางใบ = middle และด้านล่าง = Bottom)

การเปลี่ยนแปลงสีด้วยเครื่องวัดสี (Model CR400/410, Minolta Co. Ltd., Japan) (L*, a*, b* และ hue value) ค่าดัชนีความเขียวของใบ (SPAD value) ใช้เครื่อง chlorophyll meter (Model SPAD-502Plus, Minolta Co. Ltd., Japan) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดด้วยวิธี AOAC (1990) โดยนำใบคะน้าแต่ละส่วนมาหั่นให้ละเอียดจำนวน 0.1 กรัม เติมสาร N, N-Dimethylformamide 10 มิลลิลิตร นำไปตั้งไว้ในที่มืด อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 จากนั้นนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Thermo Scientific รุ่น Genesys 10S UV-Vis, China) ที่ความยาวคลื่น 664 และ 647 นาโนเมตร

นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

$= [(12.64 \times OD_{664}) - (2.99 \times OD_{647})]$

ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

$= [(-5.6 \times OD_{664}) + (23.26 \times OD_{647})]$

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

= ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ + ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี

การยอมรับของผู้บริโภคทำการประเมินจากผู้บริโภคจำนวน 10 คน ตามวิธีของ (Kornsongkaew. 2006) โดยทำการประเมินลักษณะปรากฏ (5 หมายถึง สดมาก ไม่มีความเสียหาย, 4 หมายถึง สด, 3 หมายถึง ยอมรับได้ สามารถซื้อขายได้, 2 หมายถึง รับประทานได้แต่ขายไม่ได้ และ 1 หมายถึง ไม่สามารถนำมาบริโภคได้) และการเปลี่ยนแปลงสี (5 หมายถึง สีเขียวสด, 4 หมายถึง สีเขียว, 3 หมายถึง เริ่มเหลือง, 2 หมายถึง เหลืองน้อยกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ และ 1 หมายถึงเหลืองมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่)

การวิเคราะห์ทางสถิตินำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) โดยโปรแกรม SAS 9.0 for Window (SAS Institute Inc. Cary, NC)

ตารางที่ 1 อัตราการสูญเสียน้ำหนักและคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคของผักคะน้าที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 - 70

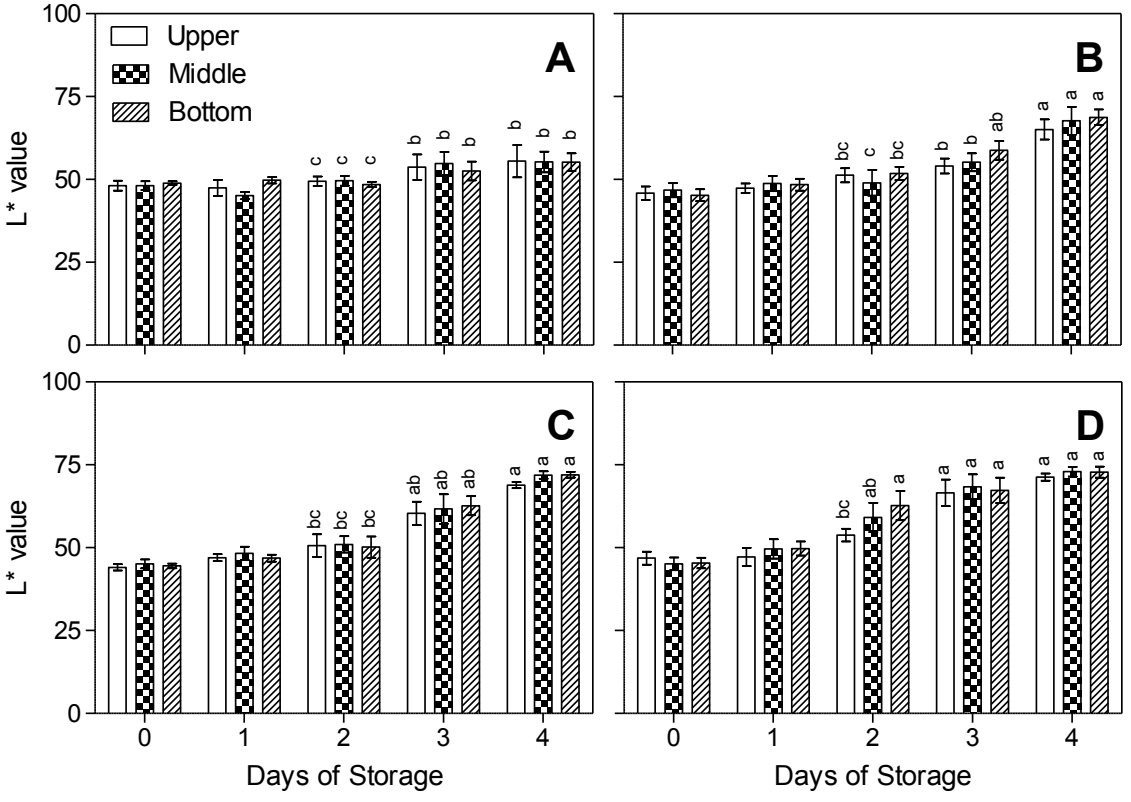
	วันของการเก็บรักษา				
	0	1	2	3	4
อัตราการสูญเสียน้ำหนัก (%)	0.00 ± 0.00	9.24 ± 00.40	13.73 ± 0.52	20.32 ± 0.55	28.90 ± 1.03
คะแนนการยอมรับของผู้บริโภค					
ความสด	4.60 ± 0.16	3.80 ± 0.20	2.30 ± 0.15	2.00 ± 0.15	1.20 ± 0.13
การเกิดสีเหลือง	4.60 ± 0.16	3.10 ± 0.23	2.10 ± 0.23	1.50 ± 0.22	1.00 ± 0.00

ความสด

5 หมายถึง สดมาก ไม่มีความเสียหาย, 4 หมายถึง สด, 3 หมายถึง ยอมรับได้ สามารถซื้อขายได้, 2 หมายถึง รับประทานได้ แต่ขายไม่ได้ และ 1 หมายถึง ไม่สามารถนำมาบริโภคได้

การเกิดสีเหลือง

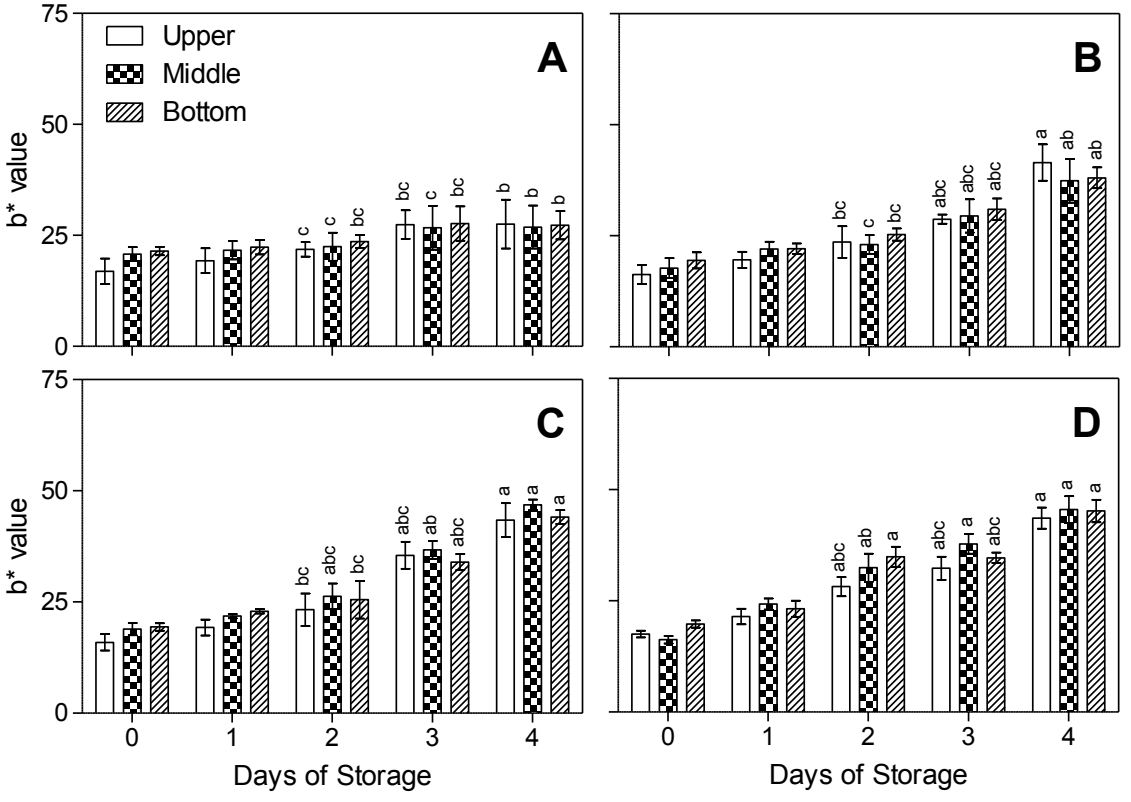
5 หมายถึงสีเขียวสด, 4 หมายถึง สีเขียว, 3 หมายถึง เริ่มเหลือง, 2 หมายถึง เหลืองน้อยกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ และ 1 หมายถึงเหลืองมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่



รูปภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ของผักคะน้าที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ60-70; ภาพ A ใบที่ 1st (ใบคะน้าที่ติดกับยอดอยู่ด้านบนสุด) ภาพ B ใบที่ 2nd ภาพ C ใบที่ 3th และ ภาพ D ใบที่ 4th (ใบที่อยู่ด้านนอกสุด) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละส่วนบนใบคะน้าแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ตัวอักษรอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตัวอักษรอังกฤษตัวเดียวกัน ในแต่ละคอลัมน์ในวันเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

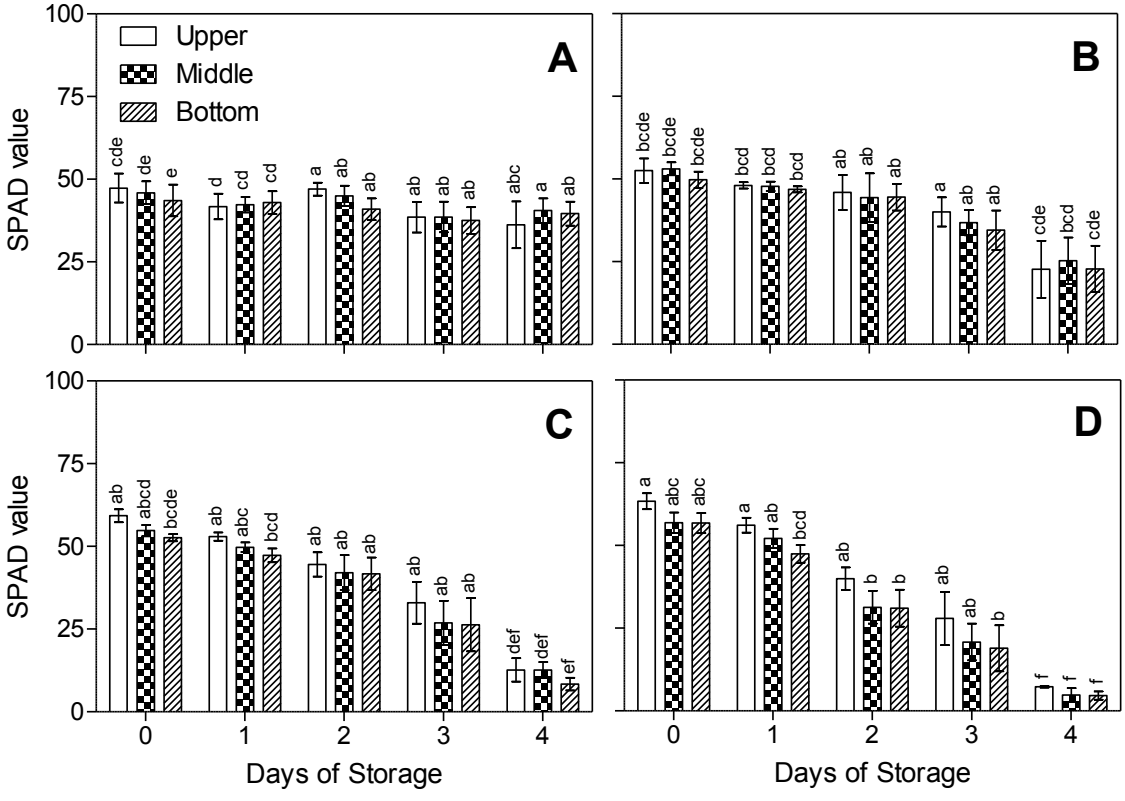
ผลการทดลอง

จากการศึกษาการพัฒนาการเกิดสีเหลืองของผักคะน้าที่เก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปกติ (29-32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60-70) พบว่าผักคะน้ามีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับคะแนนการประเมินการยอมรับจากผู้บริโภคบ่งชี้ว่าคะแนนด้านความสดมีค่าลดลงและผักคะน้าเริ่มมีสีเหลือง (ตารางที่ 1) โดยหลังจากทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (1 วัน) ผักคะน้าเริ่มมีสีเหลืองเกิดขึ้นแต่ทว่าคุณภาพของผักยังคงอยู่ในระดับที่สามารถซื้อขายได้ ผักคะน้าหมดสภาพการซื้อขายในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา มีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 13.73

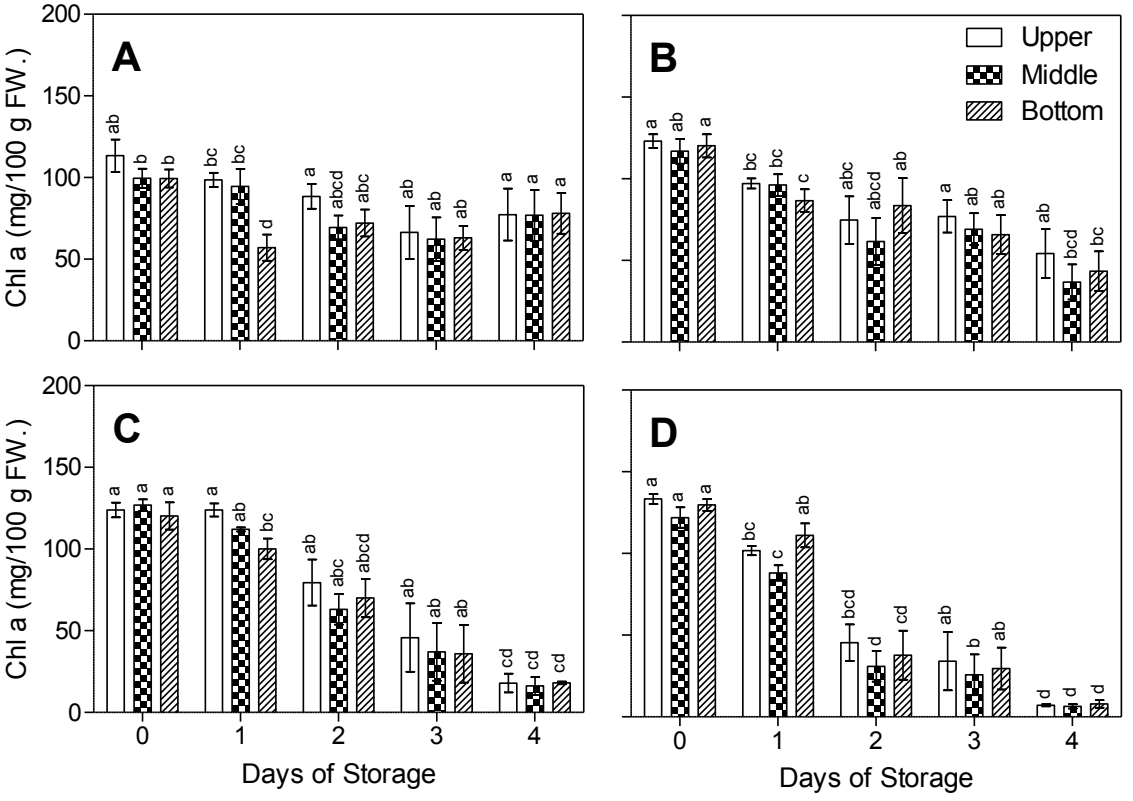


รูปภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* value ของผักคะน้าที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 - 70; ภาพ A ใบที่ 1st (ใบคะน้าที่ติดกับยอดอยู่ด้านบนสุด) ภาพ B ใบที่ 2nd ภาพ C ใบที่ 3th และภาพ D ใบที่ 4th (ใบที่อยู่ด้านนอกสุด) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละส่วนบนใบคะน้าแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ตัวอักษรอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตัวอักษรอังกฤษตัวเดียวกันในแต่ละคอลัมน์ในวันเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b* และ hue) ของผักคะน้ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่า L* เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสว่างของผลิตผล ค่า L* มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา (รูปภาพที่ 1) โดยค่า L* ของใบที่ 4 (ใบที่อยู่ด้านนอกสุด) มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีเพิ่มขึ้นสูงที่สุด รองลงมาคือใบที่ 3 และใบที่ 2 ตามลำดับ ส่วนใบที่ 1 (ใบที่อยู่ติดยอดผัก) มีค่าการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งใบที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* แตกต่างกับใบที่ 2, 3 และ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($P \leq 0.01$) ในขณะที่เมื่อพิจารณาในแต่ละส่วนของใบกลับพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)



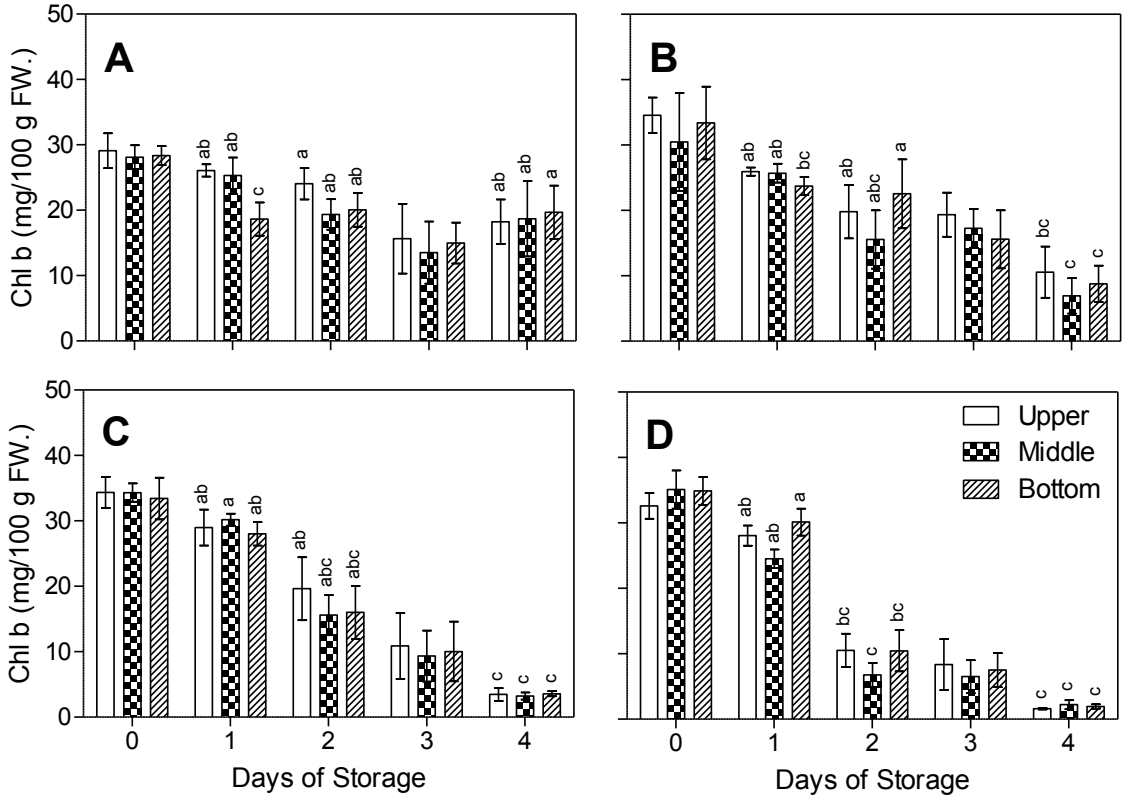
รูปภาพที่ 3 ค่าดัชนีความเขียว (SPAD value) ของผักคะน้าที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 - 70; ภาพ A ใบที่ 1st (ใบคะน้าที่ติดกับยอดอยู่ด้านบนสุด) ภาพ B ใบที่ 2nd ภาพ C ใบที่ 3th และภาพ D ใบที่ 4th (ใบที่อยู่ด้านนอกสุด) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละส่วนบนใบคะน้าแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ตัวอักษรอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตัวอักษรอังกฤษตัวเดียวกันในแต่ละคอลัมน์ในวันเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปภาพที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ a ของผักคะน้าที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 - 70; ภาพ A ใบที่ 1st (ใบคะน้าที่ติดกับยอดอยู่ด้านบนสุด) ภาพ B ใบที่ 2nd ภาพ C ใบที่ 3th และภาพ D ใบที่ 4th (ใบที่อยู่ด้านนอกสุด) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละส่วนบนใบคะน้าแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ตัวอักษรอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตัวอักษรอังกฤษตัวเดียวกันในแต่ละคอลัมน์ในวันเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

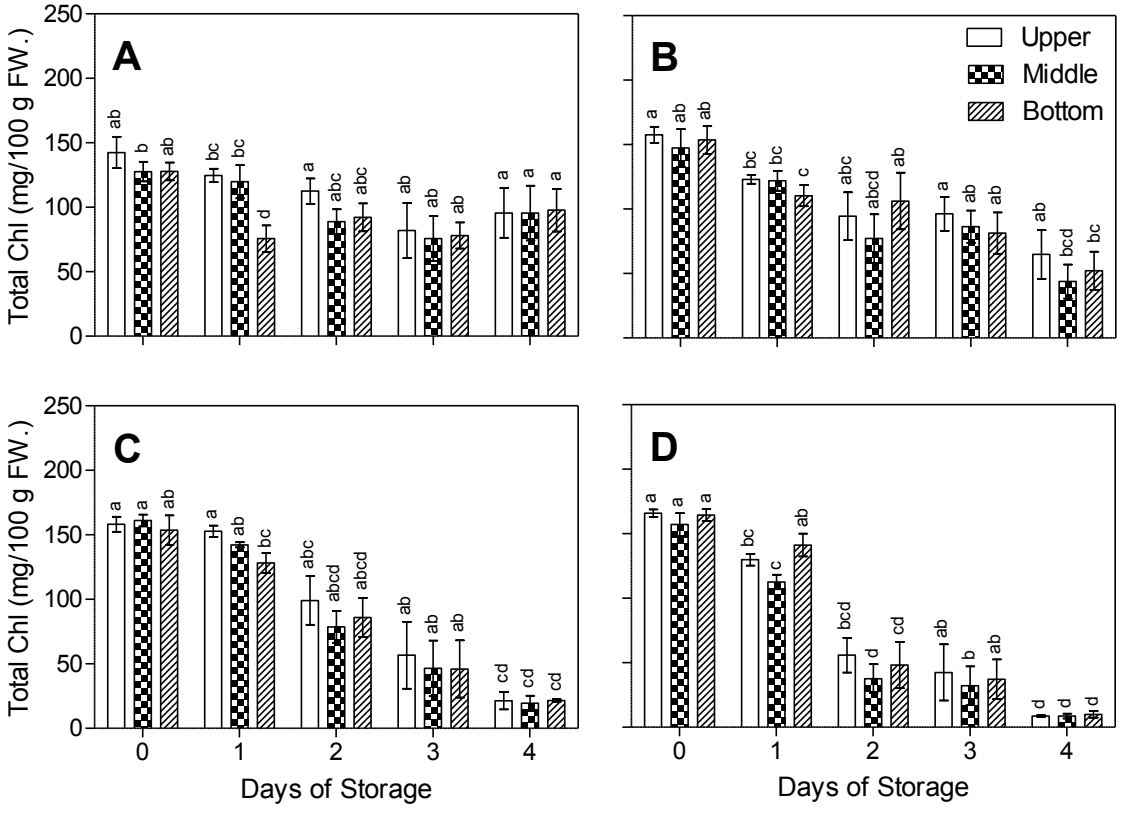
ค่าสีเขียว (a*) ค่าสีเหลือง (b*) และค่า hue ของใบคะน้าใบที่ 1 ค่อนข้างคงที่แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนคะน้าใบที่ 2, 3 และ 4 มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นตามลำดับ โดยค่าสี a* ในแต่ละส่วนของแต่ละใบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละใบ ($P \leq 0.01$) (data not shown) สำหรับค่าสี b* ซึ่งแสดงถึงเฉดสีเหลืองหากมีค่าเป็นบวก พบว่าสอดคล้องกับค่าสี L* และ a* โดยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยใบที่ 4 มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เมื่อเทียบกับใบคะน้าใบอื่น ๆ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในแต่ละส่วนของแต่ละใบ (รูปภาพที่ 2) สัมพันธ์กับค่าสี hue ซึ่งมีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น

ซึ่งค่าสี hue value ที่ 120 แสดงเฉดสีเขียว เมื่อลดลงถึงประมาณ 90 จะแสดงเฉดสีเป็นสีเขียวออกเหลือง (ไม่แสดงข้อมูล)



รูปภาพที่ 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ b ของผักคะน้าที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 - 70; ภาพ A ใบที่ 1st (ใบคะน้าที่ติดกับยอดอยู่ด้านบนสุด) ภาพ B ใบที่ 2nd ภาพ C ใบที่ 3th และภาพ D ใบที่ 4th (ใบที่อยู่ด้านนอกสุด) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละส่วนบนใบคะน้าแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ตัวอักษรอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตัวอักษรอังกฤษตัวเดียวกันในแต่ละคอลัมน์ในวันเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับค่าดัชนีความเขียวของใบคะน้าที่อ่านจากเครื่อง SPAD meter พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (รูปภาพที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างใบพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละตำแหน่งในแต่ละใบ ($P > 0.05$) โดยในใบที่ 4 มีค่า SPAD ลดลงมากที่สุด รองลงมาคือใบที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ



รูปภาพที่ 6 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผักคะน้าที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 - 70; ภาพ A ใบที่ 1st (ใบคะน้าที่ติดกับยอดอยู่ด้านบนสุด) ภาพ B ใบที่ 2nd ภาพ C ใบที่ 3th และภาพ D ใบที่ 4th (ใบที่อยู่ด้านนอกสุด) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละส่วนบนใบคะน้าแบบ Duncan's multiple range test (DMRT) ตัวอักษรอังกฤษกำกับต่างกันหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตัวอักษรอังกฤษตัวเดียวกันในแต่ละคอลัมน์ในวันเดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าสี (L*, a*, b* และ hue value) และสัมพันธ์กับค่าดัชนีความเขียวของใบคะน้า คือในแต่ละตำแหน่งในแต่ละใบคะน้าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละใบถึงระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($P \leq 0.01$) (รูปภาพที่ 4, 5 และ 6) โดยใบที่ 4 ซึ่งเป็นใบนอกสุด คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีการสลายตัวไปมากที่สุด รองลงมาคือใบที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์บี

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบที่ 4 มีค่าอยู่ระหว่าง 6.41-7.98, 1.59-2.21 และ 8.62-9.93 ตามลำดับ

สรุปและวิจารณ์ผล

ผักกินใบเป็นแหล่งของสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย เช่น วิตามิน เกลือแร่ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ (Žnidarčič et al., 2011) ซึ่งสีเขียวของผักกินใบเป็นคุณลักษณะประการแรกที่ผู้บริโภคใช้ในการประเมินคุณภาพและความสดของผักหลังการเก็บเกี่ยว ตามปกติผักเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองภายในระยะเวลาไม่เกินหนึ่งสัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง (Sun & Li, 2017) จากผลการทดลองพบว่าการเก็บรักษาผักคะน้าที่อุณหภูมิ 30 - 32 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 - 70 ผักคะน้ามีการสูญเสียน้ำหนักไปถึงร้อยละ 9.24 และ 13.73 ในระยะเวลาการเก็บรักษา 1 และ 2 วัน ตามลำดับ (รูปภาพที่ 1) แต่ผู้บริโภคยอมรับให้ขายได้เมื่อมีอายุการเก็บรักษาเพียง 1 วันเท่านั้นนั้น หลังจากนั้นผู้บริโภคไม่ยอมรับให้ขายได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Robinson et al. (1975) รายงานว่าผักหลายชนิด ๆ เช่น คื่นฉ่าย ไม่สามารถซื้อขายได้หากมีการสูญเสียน้ำหนักถึงร้อยละ 10 เนื่องจากการสูญเสียน้ำของผักหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ผักเริ่มมีสีเหลืองเกิดขึ้นที่ใบ

สีเขียวเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผักหลังการเก็บเกี่ยว สัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณคลอโรฟิลล์ (Ma et al., 2009) ในวันแรกของการทดลองพบว่าผักคะน้ามีสีเขียวสด เนื่องจากมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูง (รูปภาพที่ 4, 5 และ 6) หลังจากนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งหมดอายุการเก็บรักษา สัมพันธ์กับค่าสี (L*, a*, b* และ Hue) และค่าดัชนีความเขียว (SPAD value) (รูปภาพที่ 1, 2 และ 3) ที่มีค่าความเป็นสีเขียวลดลง มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น แสดงว่าคลอโรฟิลล์มีการสลายตัว ใบคะน้าจึงมีการพัฒนาสีเหลืองขึ้น (Mutui et al., 2012) โดยเฉพาะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องช่วยเร่งการชราภาพและการพัฒนาการเกิดสีเหลือง (Shi et al., 2016)

คลอโรฟิลล์เป็นตัวแปรที่ใช้บ่งบอกการชราภาพของใบได้ง่ายและดีที่สุดตัวแปรหนึ่ง (Quirino et al., 2000) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าใบคะน้ามีการพัฒนาสีเหลืองจากใบด้านนอกสุด (ใบที่ 4) ตามด้วยใบที่ 3 ใบที่ 2 และใบที่ 1 ตามลำดับ (ตารางที่ 1 รูปภาพที่ 1, 2 และ 3) สอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบที่ 1 มีการลดลงน้อยที่สุด รองลงมาคือใบที่ 2 ใบที่ 3 และใบที่ 4 ตามลำดับ (รูปภาพที่ 4, 5 และ 6) สอดคล้อง Quirino et al. (2000) กล่าวว่าการชราภาพของใบสัมพันธ์กับปัจจัยทั้งภายในและภายนอก สำหรับปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ การเกิดบาดแผล การขาดน้ำ และการขาดแสง มีผลให้ผลิตผลเกิดความเครียดเป็นผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ต่าง ๆ เกิดการเสื่อมสภาพ (Toivonen & Brummell, 2008) ส่วนปัจจัยภายในขึ้นอยู่กับอายุของใบ ซึ่งในระหว่างการเกิดกระบวนการการชราภาพ สารอาหารต่าง ๆ

เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุต่าง ๆ จะเคลื่อนที่ไปยังใบที่อ่อนกว่า (Buchanan-Wollaston, 1997) ด้วยเหตุนี้ใบด้านนอกสุด (ใบที่ 4) เป็นใบที่เกิดก่อนจึงเกิดการชราภาพหรือมีสีเหลืองพัฒนาขึ้นก่อน เมื่อพิจารณาตำแหน่งของการพัฒนาการเกิดสีเหลืองในใบบ่งชี้ว่าการพัฒนาการเกิดสีเหลืองของใบคะน้าเป็นแบบสุ่มไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าส่วนใดของใบ [บน (upper) กลาง (Middle) หรือล่าง (bottom)] จะมีสีเหลืองพัฒนาก่อน แต่ส่วนที่อยู่ติดกับเส้นใบ (vein) จะเกิดสีเหลืองช้าที่สุด เนื่องจากเป็นส่วนที่ลำเลียงสารอาหาร (Quirino et al.,2000)

ผักคะน้าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 - 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 - 70 มีอายุการเก็บรักษาเพียง 1 - 2 วันเท่านั้น หลังจากนั้นผู้บริโภคไม่สามารถยอมรับได้ การพัฒนาการเกิดสีเหลืองเกิดจากใบด้านนอกสุดแล้วจึงพัฒนามาด้านใน และเกิดแบบกระจายในแต่ละส่วนของใบ

เอกสารอ้างอิง

Aubry, S., Mani, J. & Hörtensteiner, S. (2008). Stay-green protein, defective in Mendel's green cotyledon mutant, acts independent and upstream of pheophorbide a oxygenase in the chlorophyll catabolic pathway. **Plant Molecular Biology**. 67(3), 243-256.

Buchanan-Wollaston, V. (1997). The molecular biology of leaf senescence. **Journal of Experimental Botany**. 48(2), 181-199.

Ferrante, A. & Maggiore, T. (2007). Chlorophyll a fluorescence measurements to evaluate storage time and temperature of of Valeriana leafy vegetables. **Postharvest Biology and Technology**. 45, 73-80.

Hasperué, J.H., Gómez-Lobato, M.E., Chaves, A.R., Civello, P.M. & Martínez, G.A. (2013). Time of day at harvest affects the expression of chlorophyll degrading genes during postharvest storage of broccoli. **Postharvest Biology and Technology**. 82, 22-27.

Klieber, A., Porter, K.L. & Collins, G. (2002). Harvesting at different times of day does not influence the postharvest life of Chinese cabbage. **Scientia Horticulturae**. 96(1), 1-9.

Kornsongkaew, B. (2006). **Effect of hydro-cooling and modified atmosphere packaging on quality and storage life of minimally processed Chinese Kale** (***Brassica alboglabra*** Bailey). Master Program in Postharvest Technology, School of Bioresources and Technology Faculty, King Mongkut's University of

Technology Thonburi. (In Thai)

Limantara, L., Dettling, M., Indrawati, R., Indriatmoko. & Brotosudarmo, T.H.P. (2015). Analysis on the chlorophyll content of commercial green leafy vegetables. **Procedia Chemistry**. 14, 225-231.

Ma, G., Wang, R., Wang, C.R., Kato, M., Yamawaki, K., Qin, F. & Xu, H.L. (2009). Effect of 1-methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli. **Plant Growth Regulation**. 57(3), 223-232.

Mutui, T.M., Mibus, H. & Serek, M. (2012). Effect of meta-topolin on leaf senescence and rooting in Pelargonium x hortorum cuttings. **Postharvest Biology and Technology**. 63(1), 107-110.

Noichinda, S., Bodhipadma, K., Mahamontri, C., Narongruk, T. & Ketsa, S. (2007). Light during storage prevents loss of ascorbic acid, and increase glucose and fructose levels in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabla*). **Posthavest Biology and Technology**. 44, 312-315.

Poochai, S., Ketsa, S. & Kosiyachinda, S. (1984). Effects of temperatures and packing materials on quality and storage life of Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabla* D.C.). **Kasetsart Journal (Natural Science)** 18, 1-6.

Qiu, Y., Zhao, Y., Liu, J. & Guo, Y. (2017). A statistical analysis of the freshness of postharvest leafy vegetables with application of water based on chlorophyll fluorescence measurement. **Information Processing in Agriculture**. 4, 269-274.

Quirino, B.F., Noh, Y-S., Himelblau, E. & Amasino, R.M. (2000). Molecular aspects of leaf senescence. **Trends in Plant Science**. 5(7), 278-282.

Robinson, J.E., Browne, K.M. & Burton, W.G. (1975). Storage Characteristics of some vegetables and soft fruits. **Annual Applied Biology**. 81, 399-408 pp.

Sánchez, C., Baranda, A.B. & Marañónet, I.M. (2014). The effect of high Pressure and high temperature processing on carotenoids and chlorophylls content in some vegetables. **Food Chemistry**. 163, 37-45.

Shi, J., Gao, L., Zuo, J., Wang, Q., Wang, Q. & Fan, L. (2016). Exogenous sodium nitroprusside treatment of broccoli florets extends shelf life, enhances antioxidant enzyme activity, and inhibits chlorophyll-degradation **Postharvest Biology and Technology**. 116, 98-104.

Sumniengdee, P. (2012). **Effect of ethephon, 6-benzylaminopurine, methyl jasmonate and salicylic acid on leaf yellowing of Chinese kale** (*Brassica alboglabra* var.*alboglabra*). Master Program in Postharvest Technology, School of Bioresources and Technology Faculty, King Mongkut's University of Technology Thonburi. (In Thai)

Sun, Y. & Li, W. (2017). Effects the mechanism of micro-vacuum storage on broccoli chlorophyll degradation and builds prediction model of chlorophyll content based on the color parameter changes. **Scientia Horticulturae**. 224, 206-214.

Sun, B., Zhang, F., Xiao, N., Jiang, M., Yuan, Q., Xue, S., Miao, H., Chen, Q., Li, M., Wang, L., Wang, X., Wang, Q. & Tang, H. (2018). An efficient mesophyll protoplast isolation, purification and PEG-mediated transient gene expression for subcellular localization in Chinese kale. **Scientia Horticulturae**. 241, 187-193.

Tang, L., Wang, C., Huang, J., Zhang, J., Mao, Z. & Wang, H. (2013). Comparative analysis of peroxidase profiles in Chinese kale (Brassica alboglabra L.): evaluation of leaf growth related isozymes. **Food Chemistry**. 136, 632-635.

Wanwimolruk, S., Kanchanamayoon, O., Phopin,K. & Prachayasittikul, V. (2015). Food safety in Thailand 2: Pesticide residues found in Chinese Kale (Brassica oleracea), a commonly consumed vegetable in Asian countries. **Science of the Total Environment**. 532, 447-455.

Wilson, D.W., Barwick, J.M., Lomax, J.A., Jarvis, M.C. & Duncan, H.J. (1988). Lignified and non-lignified cell walls from kale. **Plant Science**. 57(1), 83-90.

Yamauchi, N., Harada, K. & Watada, A.E. (1997). In vitro chlorophyll degradation in stored broccoli (*Brassica oleraceae* L. var. *italic Plen*.) florets. **Postharvest Biology and Technology**. 12, 239-245.

Žnidarčič, D., Ban, D. & Šircelj, H. (2011). Carotenoid and Chlorophyll composition of commonly consumed leafy vegetables in Mediterranean countries. **Food Chemistry**. 129, 1164-1168.

บทความวิจัย

ความสัมพันธ์ของภาวะซึมเศร้าต่อระดับความดันโลหิต ในผู้ป่วยความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุ ในโรงพยาบาลเจ้าคุณไพบูลย์ พนมทวน

THE ASSOCIATION BETWEEN DEPRESSION AND BLOOD PRESSURE IN ESSENTIAL HYPERTENSIVE PATIENTS, JAOKUNPIBOON PRANOMTUAN HOSPITAL

พรชนก นันตะเสนีย์[1*] และ ชวนชม ธนานิธิศักดิ์[2]

[1]หลักสูตรเภสัชศาสตรมหาบัณฑิต (เภสัชกรรมชุมชน) คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[2]ภาควิชาเภสัชกรรมปฏิบัติ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

Pornchanok Nantasenee[1*] and Chuanchom Thananithisak[2]

[1]Master of Pharmacy Program in Community Pharmacy, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand 65000.

[2]Department of Pharmacy Practice, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand 65000.

[*]E-mail: chuanchomt@yahoo.com

Received: 2018-01-27
Revised: 2018-03-22
Accepted: 2018-04-10

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของภาวะซึมเศร้าต่อระดับความดันโลหิตในผู้ป่วยความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุ โดยใช้รูปแบบการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง เก็บข้อมูลผู้ป่วยนอกโรคความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุที่มีภาวะซึมเศร้าร่วมด้วย ในโรงพยาบาลเจ้าคุณไพบูลย์ พนมทวน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2558 เก็บข้อมูลระดับความดันโลหิตจากเวชระเบียนผู้ป่วยนอก ใช้แบบ 9Q, MMAS และ ST-5 สำหรับประเมินภาวะซึมเศร้า ความร่วมมือในการใช้ยา และความเครียด ตามลำดับ โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติสหสัมพันธ์เพียร์สัน และสถิติการถดถอยพหุเชิงเส้น

ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (76.7%) ภาวะซึมเศร้าระดับน้อย (56%) ระดับความดันโลหิตเฉลี่ยที่ 137/79 มิลลิเมตรปรอท ภาวะซึมเศร้ามีความสัมพันธ์

เชิงบวกกับระดับความดันโลหิตทั้งในกลุ่มที่ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ ($r = 0.64$ และ $r = 0.70$, $p < 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าความเครียดและความร่วมมือในการใช้ยาก็มีความสัมพันธ์กับระดับความดันโลหิตด้วย เมื่อวิเคราะห์ด้วยสถิติการถดถอยพหุเชิงเส้นพบว่า ภาวะซึมเศร้า ความเครียด และความร่วมมือในการใช้ยาสามารถร่วมทำนายระดับความดันโลหิตได้ร้อยละ 72 ($r^2 = 0.72$, $p < 0.001$) โดยภาวะซึมเศร้าสามารถทำนายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลงานวิจัยจึงควรให้ความสำคัญในการคัดกรองภาวะซึมเศร้าในผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงเพื่อหาแนวทางควบคุมระดับความดันโลหิตของผู้ป่วยให้อยู่ในระดับที่ดีขึ้นต่อไป

คำสำคัญ: ภาวะซึมเศร้า ระดับความดันโลหิต ความสัมพันธ์

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the association between depression and blood pressure in essential hypertensive patients, using a descriptive cross-sectional research model. Only essential hypertensive patients with depression in Jaokunpiboon pranomtuan hospital were included during February to May 2015. Data were collected by OPD medical record, Thai version Patient Health Questionnaire (9Q), Stress-5 Questionnaires (ST-5) and Morisky Medication Adherence Scale (MMAS) for assessing the blood pressure, depression, stress and medication adherence score, respectively. This study analyzed the association between depression and blood pressure using Pearson's correlation statistics and multiple linear regression model.

The results showed that most of the samples were female (76.7%) with mild depression (56%) had an average blood pressure of 137/79 mmHg, depression was positively associated with blood pressure in both controlled and uncontrolled groups ($r = 0.64$ and $r = 0.70$, $p < 0.05$). In addition, stress and medication adherence are also associated with blood pressure. When analyzed by multiple linear regression analysis, depression, stress, and medication adherence could predict 72% of blood pressure ($r^2 = 0.72$, $p < 0.001$). Moreover, depression can be predicted statistically significant. Therefore it is importance for screening depression status in essential hypertensive patients, in order to control their blood pressure to a satisfactory level.

Keywords: Depression, Blood pressure, Association

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกให้ความสำคัญกับการจัดการโรคไม่ติดต่อเรื้อรังมากขึ้น เนื่องจากสภาวะความเป็นอยู่และวิถีชีวิตที่เปลี่ยนไป ทำให้ผู้ป่วยกลุ่มนี้มีจำนวนเพิ่มขึ้น องค์การอนามัยโลกรายงานว่าจำนวนผู้ที่มีความดันโลหิตสูงทั่วโลกพบว่ามีจำนวนเกือบถึงพันล้านคน ซึ่ง 2 ใน 3 จะอยู่ในประเทศกำลังพัฒนา และพบว่ากลุ่มวัยผู้ใหญ่ในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มี 1 คน ใน 3 คน มีภาวะความดันโลหิตสูง โดยในปี 2025 คาดการณ์ว่า ประชากรวัยผู้ใหญ่จำนวน 1.56 พันล้านคน จะเป็นโรคความดันโลหิตสูง ซึ่งเป็นสาเหตุการตายทั่วโลกสูงถึง 7.5 ล้านคน หรือร้อยละ 12.8 ของสาเหตุการตายทั้งหมด ทั้งยังมีผลสูญเสียปีสุขภาวะ 57 ล้านปี (Pakdeepinij et al., 2016)

จากการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกาย พบว่า ความชุกของภาวะความดันโลหิตสูงในประชากรอายุตั้งแต่ 15 ปีขึ้นไป มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 21.4 ใน พ.ศ. 2552 เป็นร้อยละ 24.7 ใน พ.ศ.2557 โดยพบว่าร้อยละ 60 ในชาย และร้อยละ 40 ในหญิงไม่เคยได้รับการวินิจฉัยมาก่อน และร้อยละ 8 - 9 ได้รับการวินิจฉัยแต่ไม่ได้รับการรักษา ทั้งนี้ สถิติจากประเทศต่าง ๆ พบว่าผู้ป่วยความดันโลหิตสูงส่วนใหญ่ยังไม่สามารถควบคุมความดันโลหิตให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม (Aekplakorn, 2015)

สำหรับประเทศไทยพบอัตราตายด้วยโรคความดันโลหิตสูงของประชากรไทยมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่าง พ.ศ. 2555 - 2558 การเสียชีวิตด้วยภาวะความดันโลหิตสูงพบการเพิ่มขึ้นของอัตราตายจากภาวะความดันโลหิตสูง จาก 5.7 ต่อ แสนประชากร เป็น 12.1 ต่อ แสนประชากร และอัตราตายก่อนวัยอันควรระหว่างอายุ 30-69 ปี จาก 3.8 ต่อ แสนประชากร เป็น 7.1 ต่อ แสนประชากร ในประชากรทุกกลุ่มอายุ ในช่วงปี พ.ศ. 2555 - 2558 มีจำนวนผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงที่ต้องเข้ารับการรักษาตัวในแผนกผู้ป่วยในต่อประชากร 100,000 คนเพิ่มขึ้นทุกปี คิดเป็นอัตรา 1570.63, 1621.72, 1710.89 และ 1894.46 ตามลำดับ (Bureau of Non Communicable Diseases, 2016)

โรคซึมเศร้านั้นก่อให้เกิดการสูญเสียด้านสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญ และส่งผลกระทบต่อประชากรทั่วโลก องค์การอนามัยโลกได้ประมาณการว่า มีประชากรมากกว่า 300 ล้านคน เป็นโรคซึมเศร้า ซึ่งมากกว่าร้อยละ 4 ของประชากรโลก จำนวนผู้ที่ป่วยด้วยโรคซึมเศร้านั้นมีเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 18 ในช่วงปี 2548 ถึงปี 2558 โดยเป็นผลจากจำนวนประชากรโลกและผู้สูงอายุที่เพิ่มมากขึ้น (World Health Organization, 2017)

ในปัจจุบันสถานการณ์ภาวะซึมเศร้าใน ผู้สูงอายุมีแนวโน้มสูงขึ้นทั่วโลก ทั้งสหรัฐ-อเมริกา และเอเชีย รวมทั้งประเทศไทย ข้อมูลการสำรวจระบาดวิทยาสุขภาพจิตปี พ.ศ. 2556 ความชุก 12 เดือนของโรคจิตเวชใด ๆ (ไม่นับรวมความผิดปกติของพฤติกรรมเสพติดสารใด ๆ)

พบว่า มีประมาณ 1.7 ล้านคน ในกลุ่มความผิดปกติทางอารมณ์พบความชุกของโรคซึมเศร้าประมาณร้อยละ 0.6 หรือประมาณ 3 แสนคน (Kittirattanapiboon, 2016)

ในการศึกษาความชุกของภาวะซึมเศร้าในผู้ป่วยโรคเรื้อรังที่มารับบริการแบบผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลศรีรัตนะ ในปี 2554 ผู้ป่วยเรื้อรังที่ศึกษาทั้งหมด 3,412 คน พบว่าเป็นโรคความดันโลหิตสูงมากที่สุด จำนวน 2,024 คน (ร้อยละ 59.32) โรคเบาหวาน จำนวน 1,058 คน (ร้อยละ 31.1) โรคหอบหืด 156 คน (ร้อยละ 4.6) โรคไตวายเรื้อรัง 66 คน (ร้อยละ 1.9) โรคลมชัก และไทรอยด์โรคละ 54 คน (ร้อยละ 1.6) พบว่าผลการคัดกรองโรคซึมเศร้า พบว่าโรคเรื้อรังที่มีอาการของโรคซึมเศร้าระดับปานกลางและรุนแรง ที่ต้องได้รับการบำบัดรักษาโดยยาต้านเศร้าและกิจกรรมจิตบำบัดมากที่สุดได้แก่ โรคความดันโลหิตสูงมีถึง ร้อยละ 28.6 (Kampakdee, 2012)

จากดังที่กล่าวมาข้างต้นมีผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงที่ไม่สามารถควบคุมความดันโลหิตให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมเป็นจำนวนมาก ประกอบกับมีความชุกของภาวะซึมเศร้าที่พบในผู้ป่วยโรคเรื้อรังมากขึ้นโดยเฉพาะโรคความดันโลหิตสูง ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาความสัมพันธ์ของภาวะซึมเศร้าต่อระดับความดันโลหิตในผู้ป่วยความดันโลหิตสูง เพื่อเป็นประโยชน์ในการค้นหาปัจจัยและวิธีการควบคุมความดันโลหิตในผู้ป่วยความดันโลหิตสูงได้ดียิ่งขึ้น

วิธีการ

วัตถุประสงค์

การศึกษานี้เป็นการวิจัยแบบภาคตัดขวาง (cross-sectional study) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของภาวะซึมเศร้าต่อระดับความดันโลหิตในผู้ป่วยความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุในโรงพยาบาลเจ้าคุณไพบูลย์ พนมทวน เก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2558

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้ป่วยนอกที่เข้ารับการรักษาโรคความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุและมีภาวะซึมเศร้าร่วมด้วย ในคลินิกความดันโลหิตสูง โรงพยาบาลเจ้าคุณไพบูลย์ พนมทวน

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ป่วยนอกที่เข้ารับการรักษาโรคความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุ ในคลินิกความดันโลหิตสูงและมีภาวะซึมเศร้าร่วมด้วย โรงพยาบาลเจ้าคุณไพบูลย์ พนมทวน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2558

เกณฑ์ในการคัดเลือกประชากรเข้าสู่การศึกษา (inclusion criteria) คือ

1) ผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่า เป็นโรคความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุ โดยรับการรักษาโรคความดันโลหิตสูงมาไม่น้อยกว่า 6 เดือน และตอบแบบคัดกรองภาวะซึมเศร้าแล้วพบว่ามีภาวะซึมเศร้า

2) สามารถสื่อภาษาเข้าใจกันได้และสามารถตอบแบบสอบถามได้

3) ผู้ป่วยความดันโลหิตสูงที่รับทราบรายละเอียดของการวิจัย ยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย และตอบแบบสอบถามอื่น ๆ ครบทุกแบบสอบถาม

เกณฑ์ในการคัดเลือกประชากรออกจากการศึกษา (exclusion criteria) คือ

1) ผู้ป่วยที่มีประวัติเป็นโรคแทรกซ้อน ได้แก่ โรคไต โรคหัวใจ ความผิดปกติของต่อมไร้ท่อ

การคำนวณกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ คำนวณโดยการใช้การวิเคราะห์ค่ากำลังทดสอบ (power analysis) สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโคเฮน (Cohen J., 1988) กำหนดค่า power เท่ากับ 0.8 และค่านัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างไม่น้อยกว่า 292 คน ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 300 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบบันทึกข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วย

2. แบบประเมินความเครียด (ST- 5) โดยเป็นแบบวัดความเครียดฉบับศรีธัญญา มีค่าความเชื่อมั่น Cronbach's alpha coefficient เป็น 0.85 พัฒนาโดย พญ.อรวรรณ ศิลปะกิจ แบบประเมินมี 5 ข้อ แต่ละข้อสามารถใส่คะแนนได้ตั้งแต่ 0-3 รวมคะแนนแล้วแปลผล ดังนี้ คะแนน 0 - 4 เครียดน้อย คะแนน 5 - 7 เครียดปานกลาง คะแนน 8 - 9 เครียดมาก และคะแนน 10 - 15 เครียดมากที่สุด (Silpakit, 2008)

3. แบบประเมินความร่วมมือในการใช้ยา (MMAS) ที่สร้างและพัฒนาขึ้นโดย Morisky DE และคณะ มีจำนวน 8 ข้อ ตรวจสอบค่าความเชื่อมั่น Cronbach's alpha coefficient เท่ากับ 0.8 แบบประเมินมีคะแนนรวมตั้งแต่ 1- 8 โดยคะแนนที่สูงบ่งบอกว่าผู้ป่วยมีความร่วมมือในการใช้ยาอยู่ในระดับสูง รวมคะแนนได้ คะแนนเท่ากับ 8 หมายถึง ความร่วมมือในการใช้ยาอยู่ระดับสูง, ระหว่าง 6 ถึง 7.8 หมายถึง ความร่วมมือในการใช้ยาอยู่ระดับปานกลาง และคะแนนน้อยกว่า 6 หมายถึง ความร่วมมือในการใช้ยาอยู่ระดับต่ำ (Morisky, 2008)

4. แบบประเมินภาวะซึมเศร้า (9Q) ของกรมสุขภาพจิต ประกอบด้วย ข้อคำถามเกี่ยวกับภาวะซึมเศร้า จำนวน 9 ข้อ บอกความถี่ของอาการภายใน 2 สัปดาห์ที่ผ่านมา แต่ละข้อ มี 4 ระดับ คือ ไม่มีเลย (คะแนน = 0) มีบางวันไม่บ่อย (คะแนน = 1) มีค่อนข้างบ่อย (คะแนน = 2) และมีเกือบทุกวัน (คะแนน = 3) มีค่าคะแนนรวมอยู่ในช่วง 0 - 27 คะแนน ซึ่งอาศัยเกณฑ์การวินิจฉัยตามระบบ Diagnostic and Statistical Manual of Mental disorders fourth edition (DSM-IV) พบว่าผู้ที่มีคะแนนรวม ตั้งแต่ 7 ขึ้นไปถือว่ามีภาวะซึมเศร้า โดย 7 - 12 คะแนน เป็นซึมเศร้าระดับน้อย 13 - 18 คะแนน เป็นซึมเศร้าระดับปานกลาง และมากกว่า 19 คะแนน เป็นซึมเศร้าระดับรุนแรง (sensitivity = 0.84, specificity = 0.93) (Department of Mental Health, 2009)

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. คัดเลือกผู้ป่วยตามเกณฑ์ในการคัดเลือกประชากรเข้าสู่การศึกษา (inclusion criteria) โดยทำในคลินิกโรคความดันโลหิตสูง โรงพยาบาลเจ้าคุณไพบูลย์ พนมทวน ให้ผู้ป่วยทำแบบประเมินภาวะซึมเศร้า ถ้าพบว่ามีภาวะซึมเศร้าจะคัดเข้าสู่งานวิจัย

2. อธิบายขั้นตอนการดำเนินการวิจัยให้ผู้ป่วยทราบ ในกรณีที่ผู้ป่วยยินยอมเข้าร่วมการวิจัย จะมีการลงชื่อในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

3. ผู้วิจัยดำเนินการสัมภาษณ์ผู้เข้าร่วมงานวิจัย ณ ช่วงเวลาก่อนพบแพทย์ เพื่อลดอคติจากการรักษา โดยเฉพาะภาวะอารมณ์ของผู้ป่วยหลังพบแพทย์

4. บันทึกข้อมูลทางคลินิก ข้อมูลด้านยา ข้อมูลระดับความดันโลหิต จากเวชระเบียนผู้ป่วย

5. บันทึกข้อมูลลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและผลทางสถิติ

การพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มประชากร การวิจัยนี้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เมื่อวันที่ 18 ธันวาคม 2557 เลขที่โครงการ 447/57

การวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน ฐานนิยม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดค่าสูงสุด และ สถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ การวิเคราะห์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ (correlation) และ สถิติการถดถอยพหุเชิงเส้น (Multiple linear regression) โดยเลือก Enter method

ผลการทดลอง

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วย

ผู้ป่วยความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุ 300 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 76.7 มีอายุอยู่ระหว่าง 60 - 69 ปี ร้อยละ 69.0 มีสถานะสมรส สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา ร้อยละ 54.3 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ร้อยละ 34.7 มีรายได้ 10,001 - 30,000 บาทต่อเดือน ร้อยละ 51.7 ใช้สิทธิ์การรักษาแบบสิทธิ์ประกันสุขภาพถ้วนหน้า ร้อยละ 76.3 ไม่ดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ร้อยละ 51.7 ไม่เคยสูบบุหรี่ร้อยละ 69.7 ไม่ใช้สมุนไพร ร้อยละ 97.7 ไม่ได้ออกกำลังกาย ร้อยละ 63.7 งดหรือจำกัดอาหารเค็ม ร้อยละ 51.6 มาพบแพทย์ผิดนัด 1 - 2 ครั้ง ในรอบ 1 ปี ร้อยละ 48 ดูแลตัวเองโดยไม่มีคนอื่นช่วยเหลือ ร้อยละ 7.3 โดยผู้ป่วยได้รับการวินิจฉัยเป็นโรคความดันโลหิตสูงเฉลี่ย 4.90 $\pm$ 2.83 ปี ซึ่งมีร้อยละ 98.3 และ 95.3 ที่ไม่เคยเข้าพักรักษาตัวแบบนอนโรงพยาบาล และเข้ารักษาตัวแบบฉุกเฉินจากโรคความดันโลหิตสูงใน 1 ปีที่ผ่านมาตามลำดับ ผู้ป่วยมีน้ำหนักเฉลี่ย 59.43 $\pm$ 10.31กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 158 $\pm$ 7.29

เซนติเมตร ดัชนีมวลกายเฉลี่ย 23.76 $\pm$ 3.48กิโลกรัม/เมตร^2 มีจำนวนรายการยาที่รับประทานเฉลี่ย 2.46 ชนิดต่อวัน และมีจำนวนเม็ดยาที่รับประทานเฉลี่ย 3 เม็ดต่อวัน

2. ข้อมูลทั่วไปของระดับความดันโลหิต

ระดับความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัวในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ป่วยความดันโลหิตสูง จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า กลุ่มตัวอย่าง 300 คน มีระดับความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวเฉลี่ย 137.13 $\pm$ 12.68 มิลลิเมตรปรอท โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 110-168 มิลลิเมตรปรอท มีระดับความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวเฉลี่ย 79.53 $\pm$ 8.41 มิลลิเมตรปรอท โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 60 - 100 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งสามารถแบ่งตามเกณฑ์การรักษา เป็นควบคุมได้ (ระดับความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวน้อยกว่า 140/90 มิลลิเมตรปรอท) และ ควบคุมไม่ได้ (ระดับความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวหรือความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวตั้งแต่ 140/90 มิลลิเมตรปรอทขึ้นไป) จากกลุ่มตัวอย่างพบว่า มีผู้ป่วยความดันโลหิตสูงที่ควบคุมได้ จำนวน 185 คน คิดเป็นร้อยละ 62 มีผู้ป่วยความดันโลหิตสูงที่ควบคุมไม่ได้ จำนวน 115 คน คิดเป็นร้อยละ 38

3. ข้อมูลทั่วไปของภาวะซึมเศร้า

ภาวะซึมเศร้าในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ป่วยความดันโลหิตสูง ซึ่งประเมินโดยใช้แบบประเมินโรคซึมเศร้า 9 คำถาม (9Q) มีค่าคะแนนของแบบประเมินอยู่ในช่วง 0 - 27 คะแนน โดยผู้ที่มีคะแนนรวม ตั้งแต่ 7 ขึ้นไปถือว่ามีภาวะซึมเศร้า จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า กลุ่มตัวอย่าง 300 คน มีคะแนนภาวะซึมเศร้าเฉลี่ย 12.19 $\pm$ 5.25 คะแนน ซึ่งสามารถแบ่งระดับความรุนแรงของภาวะซึมเศร้าเป็น 3 ระดับตามคะแนนประเมิน ดังนี้ 7 - 12 คะแนน จัดเป็นภาวะซึมเศร้าระดับน้อย มีจำนวนผู้ป่วย 168 คน (ร้อยละ 56.00) 13 - 18 คะแนน จัดเป็นภาวะซึมเศร้าระดับปานกลาง มีจำนวนผู้ป่วย 86 คน (ร้อยละ 28.67) และ 19 คะแนนขึ้นไป จัดเป็นภาวะซึมเศร้าระดับรุนแรง มีจำนวนผู้ป่วย 46 คน (ร้อยละ 15.53)

4. ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด และความร่วมมือในการใช้ยา ที่มีต่อระดับความดันโลหิต

4.1 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด ที่มีต่อ ระดับความดันโลหิต

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ (correlation) โดยใช้ค่าคะแนนความเครียด และระดับความดันโลหิต รายงานผลด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน พบว่าความเครียดมีความสัมพันธ์กับระดับความดันโลหิต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีความสัมพันธ์เชิงบวก ซึ่งแสดงว่าเมื่อความเครียดเพิ่มสูงขึ้น ระดับความดันโลหิตจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และความสัมพันธ์ของคะแนนความเครียดกับระดับความดันโลหิต

ความดันโลหิต	คะแนนความเครียด		สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับต่ำสุด, ระดับสูงสุด	
ระดับความดันโลหิตที่ควบคุมได้ (185 คน)	5.09 ± 1.56	3, 10	0.512*
ระดับความดันโลหิตที่ควบคุมไม่ได้ (115 คน)	8.81 ± 2.32	3, 13	0.603*
ระดับความดันโลหิตทั้งหมด (300 คน)	6.51 ± 2.62	3, 13	0.789*

หมายเหตุ * สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

4.2 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความร่วมมือในการใช้ยา ที่มีต่อ ระดับความดันโลหิต

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติสหสัมพันธ์ (correlation) โดยใช้ค่าคะแนนความร่วมมือในการใช้ยา กับระดับความดันโลหิต รายงานผลด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน พบว่าคะแนนความร่วมมือในการใช้ยามีความสัมพันธ์กับระดับความดันโลหิต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีความสัมพันธ์เชิงตรงกันข้าม ซึ่งแสดงว่าเมื่อความร่วมมือในการใช้ยาลดลง ระดับความดันโลหิตจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นด้วย ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และความสัมพันธ์ของคะแนนความร่วมมือในการใช้ยากับระดับความดันโลหิต

ความดันโลหิต	คะแนนความร่วมมือในการใช้ยา		สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับต่ำสุด, ระดับสูงสุด	
ระดับความดันโลหิตที่ควบคุมได้ (185 คน)	7.01 ± 0.91	4.6, 8	-0.530*
ระดับความดันโลหิตที่ควบคุมไม่ได้ (115 คน)	5.37 ± 1.37	1.4, 8	-0.473*
ระดับความดันโลหิตทั้งหมด (300 คน)	6.38 ± 1.37	1.4, 8	-0.710*

หมายเหตุ * สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

5. ความสัมพันธ์ภาวะซึมเศร้าต่อระดับความดันโลหิต

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์การรักษาโรคความดันโลหิตสูง พบว่า ระดับความดันโลหิตในกลุ่มตัวอย่างที่ควบคุมได้มีคะแนนประเมินภาวะซึมเศร้าเฉลี่ย 9.21 ± 2.58 คะแนน โดยระดับความดันโลหิตในกลุ่มตัวอย่างที่ควบคุมได้มีความสัมพันธ์กับคะแนนประเมินภาวะซึมเศร้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.640 ผู้ป่วยที่มีระดับความดันโลหิตในกลุ่มควบคุมไม่ได้มีคะแนนประเมินภาวะซึมเศร้าเฉลี่ย 16.97 ± 4.89 คะแนน โดยระดับความดันโลหิตในกลุ่มตัวอย่างที่ควบคุมไม่ได้มีความสัมพันธ์กับคะแนนประเมินภาวะซึมเศร้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.700 จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก ซึ่งแสดงว่าเมื่อค่าคะแนนประเมินภาวะซึมเศร้าเพิ่มขึ้น ระดับความดันโลหิตจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และความสัมพันธ์ของคะแนนประเมินภาวะซึมเศร้ากับระดับความดันโลหิต

ความดันโลหิต	คะแนนประเมินภาวะซึมเศร้า		สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับต่ำสุด, ระดับสูงสุด	
ระดับความดันโลหิตที่ควบคุมได้ (185 คน)	9.21 ± 2.58	7, 17	0.640*
ระดับความดันโลหิตที่ควบคุมไม่ได้ (115 คน)	16.97 ± 4.89	7, 25	0.700*
ระดับความดันโลหิตทั้งหมด (300 คน)	12.19 ± 5.24	7, 25	0.849*

หมายเหตุ * สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

6. การวิเคราะห์ถดถอยพหุเชิงเส้น (Multiple linear regression) โดย Enter method

การทดสอบความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อระดับความดันโลหิต โดยเลือกตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับระดับความดันโลหิต ได้แก่ ภาวะซึมเศร้า ความร่วมมือในการใช้ยา และคะแนนความเครียด เมื่อทดสอบตัวแปรดังกล่าวด้วยสถิติการถดถอยพหุเชิงเส้น โดยเลือก Enter method พบว่าภาวะซึมเศร้า ความเครียด และความร่วมมือในการใช้ยาสามารถร่วมทำนายระดับความดันโลหิตได้ร้อยละ 72 ($r^2 = 0.72$, $p < 0.001$) โดยภาวะซึมเศร้าเป็นตัวแปรสามารถทำนายระดับความดันโลหิตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ถดถอยพหุเพื่อทดสอบความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อความดันโลหิต

ตัวแปร	b	Std.Error	Beta	t	R Square	Sig.
Constant	118.360	4.392		-26.952		0.000
ภาวะซึมเศร้า	1.621	0.191	0.670	8.462	0.726	0.000
ความเครียด	0.601	0.363	0.124	1.654		0.09
ความร่วมมือในการใช้ยา	-0.766	0.472	-0.082	-1.621		0.106

ตัวแปรตาม : ระดับความดันโลหิต

สรุปและวิจารณ์ผล

จากงานวิจัย เรื่อง ความสัมพันธ์ของภาวะซึมเศร้าต่อระดับความดันโลหิตในผู้ป่วยความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุในผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลเจ้าคุณไพบูลย์ พนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี พบว่าระดับความดันโลหิต มีความสัมพันธ์ กับ ภาวะซึมเศร้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บแบบสอบถามมาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เทียบกับ ระดับความดันโลหิต และ ภาวะซึมเศร้า แสดงให้เห็นว่า ผู้ป่วยความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุที่มีภาวะซึมเศร้าร่วมด้วย ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ช่วงอายุระหว่าง 60 - 69 ปี มีสถานะสมรสแล้ว สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผู้ป่วยส่วนใหญ่มีรายได้ 10,001 - 30,000 บาทต่อเดือน ใช้สิทธิ์การรักษาแบบสิทธิ์ประกันสุขภาพถ้วนหน้า ไม่ดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ส่วนมากไม่เคยสูบบุหรี่ ไม่ใช้สมุนไพร ไม่ได้ออกกำลังกาย งดหรือจำกัดอาหารเค็ม ผู้ป่วยส่วนมากมาพบแพทย์ผิดนัด 1 - 2 ครั้งในรอบ 1 ปี

จากกลุ่มตัวอย่าง แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด กับระดับความดันโลหิต แสดงให้เห็นว่า เมื่อระดับความเครียดเพิ่มสูงขึ้น ระดับความดันโลหิต มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน ในภาวะที่ผู้ป่วยมีความเครียดนั้นจะกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทซิมพาเธติกให้หลั่งสารนอร์อิพิเนฟริน (Norepinephrine) ซึ่งมีผลทำให้หลอดเลือดส่วนปลายหดรัดตัว เพิ่มแรงต้านทานภายในหลอดเลือด หัวใจต้องบีบตัวเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความดันโลหิตเพิ่มสูงขึ้นได้ (Kaplan, 2006) ในการรวบรวมงานวิจัยตั้งแต่ปี 1970-2006 พบว่าเมื่อกลุ่มตัวอย่างอายุระหว่าง 18 - 64 ปี ได้รับการกระตุ้นให้เกิดความเครียดนั้นจะส่งผลให้มีความดันโลหิตที่สูงขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการกระตุ้น (Gasperin D et al., 2009) จากงานวิจัยดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่แสดงให้เห็นว่า ความเครียด มีความสัมพันธ์กับ ระดับความดันโลหิต อย่างมีนัยสำคัญ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความร่วมมือในการใช้ยากับระดับความดันโลหิต แสดงให้เห็นว่า เมื่อระดับความร่วมมือในการใช้ยาลดลง ระดับความดันโลหิต มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางตรงข้ามกัน สอดคล้องกับ งานวิจัยที่ศึกษาในผู้ป่วยชายผิวดำโรคความดันโลหิตสูงในสหรัฐอเมริกา (Cene et al., 2013) จำนวน 196 คน พบว่าการที่ผู้ป่วยมีภาวะซึมเศร้าร่วมด้วยนั้น การควบคุมระดับความดันโลหิตของผู้ป่วยได้ และนอกจากนี้ จากการรวบรวมงานวิจัยจำนวน 25 งานวิจัย ตั้งแต่ปี ค.ศ.2009 - 2016 ผู้ป่วยความดันโลหิตสูง ที่มีความร่วมมือในการใช้ยาในระดับต่ำนั้นจะมีความสัมพันธ์กับการควบคุมความดันโลหิตให้อยู่ในเกณฑ์เป้าหมายไม่ได้ และส่วนใหญ่จะเป็นเพศหญิง ในเชื้อชาติแอฟริกัน และเอเชียอีกด้วย (Abegaz et al., 2017) จากผลงานวิจัยที่กล่าวมานั้นมีแนวโน้มที่คล้ายกับงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความร่วมมือในการใช้ยา มีความสัมพันธ์กับ ระดับความดันโลหิต อย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดันโลหิตและภาวะซึมเศร้า กลุ่มตัวอย่างผู้ป่วยความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุ ในโรงพยาบาลเจ้าคุณไพบูลย์ พนมทวน พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในกลุ่มตัวอย่างผู้ป่วยความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุ ในโรงพยาบาลเจ้าคุณไพบูลย์ พนมทวน สอดคล้องกับ การศึกษาความสัมพันธ์ของภาวะซึมเศร้ากับระดับความดันโลหิตในผู้ป่วยหญิงผิวดำที่อาศัยในสหรัฐอเมริกา 159 คน ที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคความดันโลหิตสูง พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างภาวะซึมเศร้ากับระดับความดันโลหิต หากมีคะแนนภาวะซึมเศร้ามากขึ้น ระดับความดันโลหิตจะเพิ่มสูงไปในทิศทางเดียวกัน (Wu, C. Y., Prosser, R. A. and Taylor, J. Y., 2010) เช่นเดียวกันกับการศึกษาการควบคุมความดันโลหิตในผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูง พบว่า ผู้ป่วยที่มีภาวะซึมเศร้าร่วมด้วยจะมีความสัมพันธ์กับระดับความดันโลหิตที่เพิ่มสูงขึ้นของผู้ป่วย (Rubio-Guerra et al., 2013) มีการศึกษาที่หาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดภาวะซึมเศร้า และระดับความดันโลหิตที่สูงขึ้นในผู้เข้าร่วมงานวิจัยจำนวน 455 คน ศึกษาโดยเก็บข้อมูล เป็นระยะเวลา 5 ปี ซึ่งพบว่าการเกิดภาวะซึมเศร้านั้นมีความสัมพันธ์กับการมีระดับความดันโลหิตที่สูงขึ้นได้ (Ginty, 2013) นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยที่ให้เหตุผลทางพยาธิสรีรวิทยาถึงความสัมพันธ์ของภาวะซึมเศร้า และ โรคความดันโลหิตสูง เนื่องมาจากระบบประสาทซิมพาเทติกที่ทำงานผิดปกติ ส่งผลให้หลั่งสารสื่อประสาทที่ผิดปกติคล้ายกันในทั้งสองโรค และ ยังพบว่ามีความเชื่อมโยงกับพันธุกรรมที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโรคทั้งสองด้วย โดยจากการศึกษาที่ยืนยันว่าผู้ป่วยที่มีประวัติครอบครัวเป็นโรคความดันโลหิตสูงนั้นจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดภาวะซึมเศร้ามากกว่าผู้ที่ไม่มีประวัติทางครอบครัวเป็นโรคความดันโลหิตสูงมาก่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Scalco et al., 2005)

ในงานวิจัยนี้ พบว่า ภาวะซึมเศร้าของผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงชนิดไม่ทราบสาเหตุ มีความสัมพันธ์ กับ ระดับความดันโลหิต อย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อนำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับระดับความดันโลหิตมาร่วมทำนายระดับความดันโลหิต ได้แก่ ความเครียด ความร่วมมือในการใช้ยา และภาวะซึมเศร้า พบว่าภาวะซึมเศร้าสามารถทำนายระดับความดันโลหิตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจมีปัจจัยแทรกที่ทำให้ ความเครียด และความร่วมมือในการใช้ยาไม่สามารถทำนายระดับความดันโลหิตได้อย่างมีนัยสำคัญ และอาจเป็นผลจากปัจจัยร่วมอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อ ทั้งภาวะซึมเศร้า และ ระดับความดันโลหิต จึงทำให้ทั้งภาวะซึมเศร้า และระดับความดันโลหิตมีการเพิ่มขึ้น หรือ ลดลง ไปในทิศทางเดียวกันได้

งานวิจัยครั้งนี้ให้ความสำคัญกับการศึกษาความสัมพันธ์ของภาวะซึมเศร้ากับระดับความดันโลหิตเนื่องจาก ภาวะซึมเศร้า ยังมีผลกระทบต่อการดำเนินชีวิต การดำเนินไปของโรคร่วมต่าง ๆ ส่งผลให้มีการควบคุมโรคเรื้อรังร่วมอื่นๆ ได้ยากยิ่งขึ้น แต่ถ้าหากได้รับการรักษาที่ดี และทันท่วงที การควบคุมโรคเรื้อรังจะได้ผลที่ดียิ่งขึ้น มีการศึกษาในผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูง และมีภาวะซึมเศร้าร่วมด้วยที่แสดงให้เห็นว่าการรักษาควบคู่กันไปนั้นทำให้ควบคุมโรคได้ดียิ่งขึ้น (Bogner H. R., & de Vries H. F., 2008) จากผลงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญในการคัดกรองภาวะซึมเศร้าในผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงมากขึ้น เพื่อควบคุมความดันโลหิตของผู้ป่วยให้อยู่ในระดับที่ดี และสามารถลดการเกิดโรคแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะในการนำไปปรับปรุงหรือพัฒนางานวิจัยให้มีความเหมาะสมหรือเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้น ดังนี้ ควรทำการศึกษาในรูปแบบการวิจัยแบบทดลอง เพื่อยืนยันผลของการศึกษาเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ควรทำการศึกษาในหลาย ๆ สถานที่ศึกษา หรือรวบรวมกลุ่มตัวอย่างจากทั้งในระบบของโรงพยาบาล และ นอกระบบของโรงพยาบาล เพื่อช่วยยืนยันการนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์ต่อไป ควรทำการศึกษาในผู้ป่วยโรคเรื้อรังอื่น ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันโรคแทรกซ้อน หรือความรุนแรงของโรคเรื้อรัง เมื่อผู้ป่วยมีภาวะซึมเศร้าร่วมด้วย ควรทำการศึกษาหาปัจจัยร่วมอื่นๆ เพื่อนำผลมาวิเคราะห์ในภาพรวมถึงอิทธิพลของปัจจัยในแต่ละตัวว่ามีผลกระทบกับโรคเรื้อรังที่เป็นอยู่มากน้อยแค่ไหน เพื่อให้สามารถควบคุมความรุนแรง และการเกิดโรคแทรกซ้อนในผู้ป่วยโรคเรื้อรังได้ดียิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บุคลากรในโรงพยาบาลเจ้าคุณไพบูลย์ พนมทวน ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินการวิจัย และ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Abegaz, T. M., Shehab, A., Gebreyohannes, E. A., Bhagavathula, A. S., & Elnour, A. A. (2017). Nonadherence to antihypertensive drugs: A systematic review and meta-analysis. **Medicine**. 96(4), e5641.

Aekplakorn, W. (2015). **Situation of Non-Communicable Disease and Primary Risk Factors.** Nonthaburi: The Graphico systems. (in thai)

Bogner, H. R., & de Vries, H. F. (2008). Integration of depression and hypertension treatment: a pilot, randomized controlled trial. **The Annals of Family Medicine**. 6(4), 295-301.

Bureau of Non Communicable Diseases. (2016). **Annual Report 2016**. Bangkok: War Veterans Organization Patronage. (in thai)

Cene, C. W., Dennison, C. R., Hammond, W. P., Levine, D., Bone, L. R., & Hill, M. N. (2013). Antihypertensive Medication Non-Adherence in Black Men: Direct and Mediating Effects of Depressive Symptoms, Psychosocial Stressors and Substance Use. **Journal of Clinical Hypertension (Greenwich, Conn.)**. 15(3), 201-209.

Cohen J. (1988). **Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd Edition)**. New Jersy: Erlbaum.

Department of Mental Health. (2009). **Guidebook of Depressive Disorders Surveillance and Care : Provincial Level**. Bankok: Agricultural cooperative printing demonstrations of Thai. (in thai)

Gasperin, D., Netuveli, G., Dias-da-Costa, J. and Pattussi, M. (2009). Effect of psychological stress on blood pressure increase: a meta-analysis of cohort studies. **Cadernos de Saúde Pública**. 25(4), 715-726.

Ginty, A. T., Carroll, D., Roseboom, T. J., Phillips, A. C., & De Rooij, S. R. (2013). Depression and anxiety are associated with a diagnosis of hypertension 5 years later in a cohort of late middle-aged men and women. **Journal of human hypertension**, 27(3), 187.

Kampakdee, S. (2012). Prevalence of Depression in Chronic Patients. **Medical Journal Of Srisaket Surin Buriram Hospitals**. 27(2), 107-112. (in thai)

Kaplan, N. M. (2006). **Kaplan's clinical hypertension (**9thed). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Kittirattanapiboon, P. (2016). **Prevalence of psychiatric disorders and mental health problems : Thai Mental Health Epidemiological Survey, 2013.** Nonthaburi: Department of Mental Health. (in thai)

Morisky, D.E., Ang, A., Krousel-Wood, M., Ward, H. (2008). Predictive validity of a medication adherence measure in an outpatient setting. **J Clin Hypertens (Greenwich)**. 10(5), 348-354.

Pakdeepinij, A., Keawklin, S. & Promjean, S. (2016). **World Blood Pressure Day Campaign 2016.** Retrieved December 14, 2016, from http://www.thaincd.com/document/file/info/non-communicable-disease/ World Blood Pressure Day Campaign 2016.pdf. (in Thai)

Rubio-Guerra, A. F., Rodriguez-Lopez, L., Vargas-Ayala, G., Huerta-Ramirez, S., Serna, D.C., & Lozano-Nuevo, J.J. (2013). Depression increases the risk for uncontrolled hypertension. **Experimental & Clinical Cardiology**. 18(1), 10-12.

Scalco, A. Z., Scalco, M. Z., Azul, J. B. S., & Lotufo Neto, F. (2005). Hypertension and depression. **Clinics**. 60(3), 241-250.

Silpakit, O. (2008). Srithanya stress scale. **Journal Of Mental Health Of Thailand.** 16, 177-85. (in thai)

World Health Organization. (2012). **World Health Statistics 2012: World Health Organization.** Retrieved September 14, 2015, from http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2012/en/.

World Health Organization. (2017). **Depression and other common mental disorders: global health estimates**.

Wu, C. Y., Prosser, R. A., & Taylor, J. Y. (2010). Association of Depressive Symptoms and Social Support on Blood Pressure among Urban African American Women and Girls. **Journal of the American Academy of Nurse Practitioners**. 22(12), 694-704.

.....

บทความวิจัย

คุณสมบัติทางเคมีและกระบวนการหมักเอทานอล จากมันพื้นเมืองสกุล *Dioscorea* sp.

CHEMICAL PROPERTIES AND ETHANOL FERMENTATION FROM *Dioscorea* sp.

ศศิกานต์ ปานปราณีเจริญ[1*] และ นุชจรี สิงห์พันธ์[2*]

[1]สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์ 67000

[2]สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์ 67000

Sasikarn Panpraneecharoen[1*] and Nootjaree Singphan[2*]

[1]Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun, 67000

[2]Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun, 67000

[*]E-mail: scipcru62@gmail.com, nootjareetudses@gmail.com

Received: 2018-09-22
Revised: 2018-12-07
Accepted: 2019-01-15

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและการผลิตเอทานอลจากมันพื้นเมืองสกุลแยม (*Dioscorea* sp.) จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ มันจาวพร้าว (*D. alata* L.) มันมือเสือ (*D. esculenta* L.) และกลอย (*D. hispida* Dennst.) พบว่า มันจาวพร้าวมีปริมาณไขมันสูงสุด ส่วนมันมือเสือมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและพลังงานสูงสุด ในขณะที่กลอยมีปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน และปริมาณความชื้นสูงสุด สำหรับการผลิตเอทานอลจากมันพื้นเมืองสกุลแยม พบว่า กระบวนการย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกันแบบ SSF (Simultaneous Saccharification and Fermentation) แบบไม่เติมอากาศ ขั้นตอนที่ 1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของมันพื้นเมืองสกุลแยมทั้ง 3 ชนิด ที่ย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ที่ผลิตจากเชื้อ *Aspergillus oryzae* เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของมันจาวพร้าว มันมือเสือ และกลอย สูงสุดเท่ากับ 65.95 ± 12.44 64.17 ± 14.64 และ 59.19 ± 16.49 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตามลำดับ ขั้นตอนที่ 2 การผลิตเอทานอลจากมันพื้นเมืองสกุลแยม ผ่านกระบวนการหมักด้วยวิธี SSF ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5339 พบว่า สารละลายส่วนใสที่แยกได้จากกระบวนการหมักของมันจาวพร้าว มันมือเสือ และกลอย ให้ค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกลูโคส และปริมาณเอทานอล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: มันพื้นเมืองสกุล *Dioscorea* sp กระบวนการหมักแอลกอฮอล์ เอทานอล

Abstract

The chemical properties and production of ethanol from 3 species of *Dioscorea* sp. compose of *D. alata* L., *D. esculenta* L., and *D. hispida* Dennst. were studied. The results shown that *D. alata* L. gave the highest fat content, *D. esculenta* L. gave the highest carbohydrate and energy. While, *D. hispida* Dennst. gave the highest of ash, protein content, and moisture content. The production of ethanol from Yam digested process into sugar and fermented with a Simultaneous Saccharification and Fermentation and anaerobic condition was tested. Phase 1: digestion of starch into reducing sugar of *Dioscorea* sp. with 0.1 percent by weight of α-amylase produced from *Aspergillus oryzae*. Reducing sugar of *D. alata* L., *D. esculenta* L. and *D. hispida* Dennst. was 65.95 ± 12.44 64.17 ± 14.64 and 59.19 ± 16.49 mg/mL, respectively. Phase 2: the production of ethanol from *Dioscorea* sp. with the SSF in laboratory using *Saccharomyces cerevisiae* strains TISTR 5339 was found pH, Total Soluble Solid, glucose and ethanol that the difference was statistically significant ($p < 0.05$).

Keywords: *Dioscorea* sp., Alcohol fermentation, Ethanol

บทนำ

พืชจำพวกหัวใต้ดิน ได้แก่ มันสำปะหลัง มันเทศ มันฝรั่งและเผือก ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งทางตรงและทางอ้อม คือ ใช้เป็นอาหารของมนุษย์ สัตว์และใช้ในทางอุตสาหกรรม ซึ่งพืชที่กล่าวมาข้างต้นจัดเป็นพืชเศรษฐกิจ จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมากในปัจจุบัน สำหรับมันพื้นเมืองสกุลแยม (*Dioscorea* sp.) จัดอยู่ในวงศ์ Dioscorcaceae พบว่ามีการกระจายอยู่ทั่วโลกในแถบทวีปแอฟริกา ตอนกลางและตอนใต้ของทวีปอเมริกาและทวีปเอเชียประมาณ 600 ชนิด สำหรับประเทศไทยพบเพียงประมาณ 62 ชนิด

แต่กลับพบว่าการใช้ประโยชน์ยังคงอยู่ในด้านใช้เป็นอาหารและใช้ในทางการแพทย์บางชนิดเท่านั้น จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งในมันพื้นเมืองสกุลแยมสายพันธุ์ *D. alata* อื่น ๆ พบว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ได้แก่ *D. alata* มีโปรตีนร้อยละ 0.16 ไขมันร้อยละ 0.5 เถ้าร้อยละ 0.13 (Karam et al., 2006) *D. cayenis-rotundutu* มีโปรตีนร้อยละ 0.22 ไขมันร้อยละ 0.11 เถ้าร้อยละ 0.24 (Wickramasinghe et al., 2009) *D. alata* มีโปรตีนร้อยละ 0.01 - 0.03 ไขมันร้อยละ 0.1 - 0.03 และเถ้าร้อยละ 0.17 - 0.32 ซึ่งปริมาณโปรตีนที่พบมีผลต่อสมบัติด้านความหนืดของเจลแป้ง เป็นต้น

จากการนำมันพื้นเมืองสกุลแยมไปใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภทอาจมีข้อจำกัดทางคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ดังนั้นจึงมีการค้นหาแหล่งคาร์โบไฮเดรตจากพืชเพื่อให้ได้แหล่งที่มีคุณสมบัติแตกต่างออกไปให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมแต่ละประเภท และในปัจจุบันจึงมีความสนใจนำแป้งที่สกัดได้จากมันพื้นเมืองสกุลแยมมาใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมเอทานอล (Wagner, 2005; Jeon et al., 2006; Osuji, 2010; Akponah & Akpomie, 2011; Soontornchaiboon et al., 2012; Thatoi et al., 2014) อีกทั้งสามารถนำไปใช้ในทางการแพทย์ (Riley et al., 2006) และเป็นสารความหนืดและสารทำให้เกิดเจล (Brunnschweiler et al., 2005) รวมถึงใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ (Mali et al., 2002) เป็นต้น

จังหวัดเพชรบูรณ์นับว่ามีความอุดมสมบูรณ์ด้านทรัพยากรธรรมชาติจึงได้มีการสำรวจชนิดของมันพื้นเมืองสกุลแยมสกุลพบว่ามี 6 ชนิด เช่น มันจาวพร้าว กลอย มันมือเสือ มันนก มันเห็บ มันข้าวกร่ำ เป็นต้น ซึ่งเรียกชื่อแตกต่างตามท้องถิ่น (Farhat et al., 1999; Amani et al., 2004; Brunnschweiler et al., 2005; Jayakody et al., 2007) การศึกษามันพื้นเมืองสกุลแยมส่วนใหญ่แล้วเป็นการศึกษาในต่างประเทศ สำหรับประเทศไทยมีการศึกษาทางด้านนี้น้อยมาก เนื่องจากไม่ใช่พืชเศรษฐกิจ ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากมันพื้นเมืองสกุลแยมในท้องถิ่นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของมันพื้นเมืองสกุลแยม ได้แก่ มันจาวพร้าว (*D. alata* L.) มันมือเสือ (*D. esculenta* L.) และกลอย (*D. hispida* Dennst.) และการผลิตเอทานอลด้วยเทคนิค SSF เพื่อเป็นประโยชน์ในแง่วิชาการช่วยให้มีความรู้ความเข้าใจในคุณสมบัติของแป้งจากพืชสกุลแยมมากขึ้นและทำให้สามารถประเมินศักยภาพของมันพื้นเมืองสกุลแยมเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลต่อไป

วิธีการ

เก็บตัวอย่างมันพื้นเมืองสกุลแยม (*Dioscorea* sp.) จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ มันจาวพร้าว มันมือเสือ และกลอย ในพื้นที่ป่าชุมชนตำบลบ่อไทย อำเภอหนองไผ่ และตำบลตาดกลอย อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ นำไปล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วตัดเป็นแผ่นบาง ๆ

และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดพืชสมุนไพร นำผงแป้งตัวอย่างนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 ไมโครเมตร และทำการอบแห้งตัวอย่างมันพื้นเมืองอีกครั้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เก็บรักษาไว้ในตู้ดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปวิเคราะห์และทำการทดลองต่อไป

การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของมันพื้นเมืองสกุลแยม

นำตัวอย่างของมันพื้นเมืองสกุลแยมที่ผ่านการร่อน จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ มันจาวพร้าว มันมือเสือ และกลอย มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้ ปริมาณเถ้า และปริมาณความชื้น โดยวิธี AOAC (AOAC, 2000) คาร์โบไฮเดรต โดยวิธี Calculation ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahi Method และปริมาณไขมัน โดยวิธี Extraction

การทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) ของมันพื้นเมืองสกุลแยม

การศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของมันพื้นเมืองสกุลแยม โดยการเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ ทำการเตรียมตัวอย่างของมันพื้นเมืองสกุลแยม จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ มันจาวพร้าว มันมือเสือ และกลอย ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยชั่งมันพื้นเมืองสกุลแยมแห้งบด 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วใส่สารที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น 1 M Tris HCl (pH 5.0) และ 1 M MES buffer (pH 5.0) ให้มีปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร นำตัวอย่างของมันพื้นเมืองสกุลแยม ทั้ง 3 สายพันธุ์ ปรับสภาพด้วยการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งในแต่ละการทดลองจะมีขั้นตอนการย่อยด้วยเอนไซม์ ดังนี้ 1) เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-Amylase from *Aspergillus oryzae*) เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ 2) เอนไซม์แอลฟากลูโคอะไมเลส (α-Gluco amylase from *S. cerevisiae*) เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเก็บสารละลายตัวอย่างโดยนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อนำส่วนใสไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีของ Miller et al. (1956) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) แต่ละสิ่งทดลองมี 3 ซ้ำ

การทดลองที่ 3 การหมักเอทานอลจากมันพื้นเมืองสกุลแยมด้วยวิธี SSF ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5339

ทำการเตรียมตัวอย่างของมันพื้นเมืองสกุลแยม จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ มันจาวพร้าว มันมือเสือ และกลอย เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยชั่งน้ำหนักของมันพื้นเมืองสกุลแยมแห้งบด 60 กรัม ใส่ในขวด Duran ขนาด 2,000 มิลลิลิตร ใส่น้ำกลั่นให้มี

ปริมาตรเท่ากับ 1,000 มิลลิลิตร นำตัวอย่างของมันพื้นเมืองสกุลแยม ทั้ง 3 สายพันธุ์ปรับสภาพด้วยการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเข้าสู่กระบวนการย่อยแป้งเป็นน้ำตาล เป็นขั้นตอนการย่อยแป้งให้ได้น้ำตาลด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต่อมาทำการย่อยครั้งสุดท้ายหรือการเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ขั้นตอนนี้จะใช้เอนไซม์ แอลฟากลูโคอะไมเลส เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทำการลดอุณหภูมิลงอีกครั้งจนเหลือ 30 องศาเซลเซียส จึงเติมสารละลายเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5339 ปริมาตรร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก และบ่มที่อุณหภูมิห้องโดยไม่มีการกวน เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสไปวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid, TSS) โดย Hand Refractometer ปริมาณกลูโคสโดยวิธี HPLC (พจนา วานิกร, 2550) และปริมาณเอทานอลโดยวิธี HPLC (Zaky et al., 2017) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) แต่ละสิ่งทดลองมี 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนสถิติ Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan' s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของมันพื้นเมืองสกุลแยม

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของมันพื้นเมืองสกุลแยม จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ มันจาวพร้าว มันมือเสือ และกลอย พบว่า กลอยมีปริมาณเถ้าสูงสุด เท่ากับร้อยละ 3.29 รองลงมาคือ มันจาวพร้าวและมันมือเสือ มีปริมาณเถ้า เท่ากับร้อยละ 3.04 และ 2.05 ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตของมันมือเสือพบว่ามีคาร์โบไฮเดรตสูงสุด เท่ากับร้อยละ 83.36 รองลงมา คือ มันจาวพร้าวและกลอย มีคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 77.64 และ 68.56 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน พบว่า กลอยมีโปรตีนสูงสุด เท่ากับร้อยละ 12.58 รองลงมาคือ มันจาวพร้าวและมันมือเสือ มีโปรตีน เท่ากับร้อยละ 6.38 และ 4.18 ตามลำดับ ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน พบว่า มันจาวพร้าวมีไขมันสูงสุด เท่ากับร้อยละ 0.34 รองลงมาคือ กลอยและมันมือเสือ พบไขมันเท่ากับร้อยละ 0.06 และ 0.04 ตามลำดับ การวิเคราะห์ความชื้น พบว่า กลอยมีความชื้นสูงสุด เท่ากับร้อยละ 15.56 รองลงมาคือ มันจาวพร้าวและมันมือเสือ มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 12.60 และ 10.37 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีมันพื้นเมืองสกุลแยม

คุณสมบัติทางเคมี	มันจาวพร้าว	มันมือเสือ	กลอย
ปริมาณเถ้า โดยวิธี AOAC, %	3.04	2.05	3.29
คาร์โบไฮเดรท โดยวิธี Calculation, %	77.64	83.36	68.56
ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahi Method, %	6.38	4.18	12.58
ปริมาณไขมัน โดยวิธี Extraction, %	0.34	0.04	0.06
ปริมาณความชื้น โดยวิธี AOAC, %	12.60	10.37	15.56

จากตารางที่ 1 พบว่า ปริมาณเถ้า คาร์โบไฮเดรต ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และปริมาณความชื้น ของมันจาวพร้าว มันมือเสือ และกลอย มีความแตกต่างกัน จากรายงานที่ผ่านมาพบว่า หัวมันพื้นเมืองสกุลแยมมีคาร์โบไฮเดรต ในปริมาณสูงประมาณร้อยละ 50 - 85 มีโปรตีนร้อยละ 3 - 5 เยื่อใยร้อยละ 2 - 5 ไขมันร้อยละ 0.7 เถ้าร้อยละ 2 - 7 และมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 10 - 40 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (Riley et al., 2004; Wang et al., 2006)

การทดลองที่ 2 การศึกษาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) ของมันพื้นเมืองสกุลแยม

จากการทดลองใช้สารที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น 1 M Tris HCl (pH 5.0) และ 1 M MES buffer (pH 5.0) หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของมันพื้นเมืองสกุลแยม จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ มันจาวพร้าว มันมือเสือ และกลอย ที่เตรียมด้วยความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-Amylase from *Aspergillus oryzae*) เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก และเอนไซม์แอลฟากลูโคอะไมเลส (α-Glucoamylase from *Saccharomyces cerevisiae*) เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก พบว่า น้ำกลั่นส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ 1 M Tris HCl (pH 5.0) และ 1 M MES buffer (pH 5.0) โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของมันจาวพร้าว กลอย และมันมือเสือสูงสุดเท่ากับ 65.95 ± 12.44 64.17 ± 14.64 และ 59.19 ± 16.49 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของสารที่ใช้ต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) ของมันพื้นเมืองสกุลแยม

สายพันธุ์มันพื้นเมือง	สารที่ใช้	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (mg/ml)
มันจาวพร้าว	น้ำกลั่น	65.95 ± 12.44[a]
	1M Tris HCl (pH5)	20.23 ± 2.78[b]
	1M MES buffer (pH5)	23.22 ± 3.60[b]
มันมือเสือ	น้ำกลั่น	59.19 ± 16.49[a]
	1M Tris HCl (pH5)	15.99 ± 1.60[b]
	1M MES buffer (pH5)	23.03 ± 1.94[b]
กลอย	น้ำกลั่น	64.17 ± 14.64[a]
	1M Tris HCl (pH5)	15.93 ± 2.97[b]
	1M MES buffer (pH5)	17.24 ± 1.70[b]
F-test		*

หมายเหตุ * = ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลของการย่อยแป้งของมันพื้นเมืองสกุลแยม (*Dioscorea* sp.) จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ มันจาวพร้าว (*D. alata* L.) มันมือเสือ (*D. esculenta* L.) และกลอย (*D. hispida* Dennst.) ด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-Amylase from *Aspergillus oryzae*) เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักและเอนไซม์แอลฟากลูโคอะไมเลส (α-Glucoamylase from *Saccharomyces cerevisiae*) เข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก ในสารที่ใช้แตกต่างกัน 3 สภาวะ ได้แก่ น้ำกลั่น 1 M Tris HCl (pH 5.0) และ 1 M MES buffer (pH 5.0) ที่มีผลต่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) พบว่า น้ำกลั่นส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับ 1 M Tris HCl (pH 5.0) และ 1 M MES buffer (pH 5.0) โดยปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของมันจาวพร้าว กลอย และมันมือเสือสูงสูด โดยปกติกระบวนการย่อยวัตถุดิบประเภทแป้งจะต้องนำไปผ่านกระบวนการย่อยให้เป็นน้ำตาลก่อนด้วยวิธีการทางเคมี ฟิสิกส์ หรือวิธีทางชีวภาพ เพื่อเปลี่ยนแป้งให้มีโครงสร้างโมเลกุลอยู่ในรูปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (น้ำตาลกลูโคส) ซึ่งการใช้เอนไซม์ (Enzymatic Hydrolysis) เป็นวิธีการใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง การใช้เอนไซม์ย่อยแป้งจะเป็นที่นิยม เนื่องจากเป็นวิธีการที่สะดวกและประหยัดต้นทุนการผลิต ให้ค่าความเข้มข้นของเอทานอลสูง การย่อยสลายแป้งอาศัยการทำงานของเอนไซม์ 2 กลุ่ม คือ เอนไซม์ที่ใช้ในการตัดพันธะ α -1, 4 ที่เชื่อมระหว่างกลูโคส

แต่ละหน่วยและเอนไซม์ที่ตัดพันธะ α -1, 6 ที่เป็นสาขาเชื่อมอะไมโลแพกติน การย่อยสลายแป้งโดยเอนไซม์ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ Liquefaction และ Saccharification (กล้าณรงค์ ศรีรอด และคณะ, 2549) ดังนั้นกระบวนการผลิตเอทานอลจากผลผลิตที่มีแป้งสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำตาลเพื่อใช้ในการหมักเป็นเอทานอล จากหลักการทำงานของเอนไซม์ จำเป็นต้องอาศัยประสิทธิภาพและความเสถียรของเอนไซม์ในการย่อยสลายนั้นขึ้นอยู่กับสารละลายที่ใช้และระดับ pH ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า pH มีผลทำให้อัตราการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ (Fan et al., 1987) ทั้งนี้การใช้สาร 1 M Tris HCl (pH 5.0) และ 1 M MES buffer (pH 5.0) ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลง ในมันพื้นเมืองสกุลแยม (*Dioscorea* sp.) อาจเนื่องมาจากสารละลายทั้ง 2 ชนิด ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-Amylase) และเอนไซม์แอลฟากลูโคอะไมเลส (α-Glucoamylase) เพื่อย่อยโมเลกุลของแป้งจึงส่งผลทำให้อัตราการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ลดลงได้

จากผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในตารางที่ 2 พบว่า ไม่แปรผันโดยตรงกับปริมาณคาร์โบไฮเดรต ผลแสดงในตารางที่ 1 นั้น เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตของมันพื้นเมืองสกุลแยม (*Dioscorea* sp.) ทั้ง 3 ชนิดนั้น อาจมีองค์ประกอบของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) และน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) ที่มีหมู่คาร์บอนิลซึ่งจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายมีความแตกต่างกัน (Tamunaidu et al., 2013)

การทดลองที่ 3 การหมักเอทานอลจากมันพื้นเมืองสกุลแยมด้วยวิธี SSF ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ *S. cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5339

การหมักเอทานอลของมันพื้นเมืองสกุลแยม จำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ มันจาวพร้าว มันมือเสือ และกลอย ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ผ่านการหมักด้วยวิธี SSF ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5339 เมื่อนำสารละลายส่วนใสที่แยกได้จากกระบวนการหมักเอทานอลของมันพื้นเมืองสกุลแยมให้ค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกลูโคส และปริมาณเอทานอล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกลูโคส และปริมาณเอทานอลของมันพื้นเมืองสกุลแยมที่ผ่านการหมักด้วยวิธี SSF ในระดับห้องปฏิบัติการ

มันพื้นเมืองสกุลแยม	pH	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	ปริมาณกลูโคส (g/100g)	ปริมาณเอทานอล (%, v/v)
มันจาวพร้าว	2.94 ± 0.06^{b}	2.67 ± 0.12^{c}	Not detected	0.98 ± 0.01^{c}
มันมือเสือ	4.20 ± 0.09^{a}	3.07 ± 0.12^{b}	Not detected	1.97 ± 0.01^{a}
กลอย	4.13 ± 0.04^{a}	3.53 ± 0.31^{a}	1.30 ± 0.01	1.54 ± 0.00^{b}
F-test	*	*		*

หมายเหตุ * = ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เชื้อยีสต์จะใช้น้ำตาลรีดิวซ์จากกระบวนการย่อยได้อย่างรวดเร็ว ภายหลังจาก 24 ชั่วโมงของการหมักในกระบวนการผลิตเอทานอล และให้ปริมาณเอทานอลค่อนข้างคงที่ ซึ่งเป็นเพราะน้ำตาลรีดิวซ์ในรูปที่ยีสต์สามารถย่อยเพื่อให้เป็นอาหารในการเจริญเติบโตและใช้ในการผลิตเอทานอลได้มีปริมาณน้อยลง (กัลยา อยู่นาน, 2546) จากตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณเอทานอลไม่แปรผันโดยตรงกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่แสดงในตารางที่ 2 นั้น เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซ์ประกอบด้วยน้ำตาลเฮกโซสและน้ำตาลเพนโตส ซึ่งเชื้อยีสต์แต่ละชนิดจะสามารถใช้น้ำตาลแตกต่างกัน (Hernández-Salas et al., 2009) โดยน้ำตาลที่เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* สามารถใช้ได้ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส กาแลกโตส ฟรุกโตส มอลโตส (Scragg, 2009) อีกประการหนึ่งสำหรับกระบวนการหมักเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นเอทานอล อาจมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นจากกระบวนการใช้น้ำตาลของยีสต์ ถ้าไม่มีการระบายอากาศออกจากระบบทำให้ความดันในการหมักสูงขึ้น ทำให้อัตราการหมักลดลง นอกจากนี้กระบวนการหมักเป็นกระบวนการคายความร้อน ซึ่งถ้ามากเกินไปทำให้อุณหภูมิในการหมักสูงขึ้น และทำให้การทำงานของยีสต์ในการใช้น้ำตาลลดลง ส่งผลให้ความเข้มข้นของเอทานอลลดลง

สรุป

คุณสมบัติทางเคมีของมันพื้นเมืองสกุลแยม (*Dioscorea* sp.) พบว่า มันจาวพร้าวมีปริมาณไขมันสูงสุด มันมือเสือมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุด ในขณะที่กลอยมีปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน และปริมาณความชื้นสูงสุด งานวิจัยนี้เลือกใช้มันพื้นเมืองสกุลแยม (*Dioscorea* sp.) ทั้ง 3 ชนิดนี้ มาเป็นวัตถุดิบทางเลือกเพื่อการผลิตเอทานอลผ่านกระบวนการหมักด้วยวิธี SSF

ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5339 จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้จากมันจาวพร้าว มันมือเสือ และกลอย มีค่าร้อยละโดยปริมาตรเท่ากับ 0.98 ± 0.01 1.97 ± 0.01 และ 1.54 ± 0.00 ตามลำดับ ค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกลูโคส และปริมาณเอทานอล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามหากมีการต่อยอดงานวิจัยเพื่อพัฒนาการผลิตเอทานอลให้เกิดผลผลิตสูงสุดจากมันพื้นเมืองสกุลแยม (*Dioscorea* sp.) ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตพลังงานทดแทนได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงานวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2560 ประเภทสร้าง สะสมองค์ความรู้ที่มีศักยภาพ (PCRU_2560_NO01) และขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องบดพืชสมุนไพร

เอกสารอ้างอิง

Akponah, E. & Akpomie, O.O. (2011). Analysis of the suitability of yam, potato and cassava root peels for bioethanol production using *Saccharomyces cerevisae.* **International Research Journal of Microbiology**. 2(10), 393-398.

Amani, N.G.G., Buléon, A., Kamenan, A. & Colonna, P. (2004). Variability in starch physicochemical and functional properties of yam (*Dioscorea* sp.) cultivated in Ivory Coast. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 84(15), 2085-2096.

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. 17th Edition, **The Association of Official Analytical Chemists**, Gaithersburg, MD, USA.

Brunnschweiler, J., Luehi, D., Handschin, S., Farah, Z., Escher, F. & Conde-Petit, B. (2005). Isolation, physicochemical characterization and application of yam (*Dioscorea* spp) starch as thickening and gelling agent. **Starch**. 57(3-4), 107-117.

Fan, L. T., Gharpuray, M. M. & Lee, Y. H. (1987). **Cellulose hydrolysis**. Berlin, Germany: Springer-Verlag.

Farhat, I.A. Oguntona, T. & Neal, R.J. (1999). Characterisation of starches from west African yams. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. 79(15), 2105-2112.

Hernández-Salas, J.M., Villa-Ramírez, M.S., Veloz-Rendón, J.S., Rivera-Hernández, K.N., González-César, R.A., Plascencia-Espinosa, M.A., & Trejo-Estrada, S.R. (2009). Comparative hydrolysis and fermentation of sugarcane and agave bagasse. **Bioresource Technology**. 100(3), 1238-1245.

Jayakody, L., Hoover, R., Liu, Q. & Donner, E. (2007). Studies on tuber starched. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea* sp.) starches grown in Sri Lanka. **Carbohydrate Polymers**. 69(1), 148-163.

Jeon, J.R., Lee, J.S., Lee, C.H., Kim, S.D. & Nam, D.M. (2006). Effect of ethanol extract of dried Chinese yam (*Dioscorea batatas*) flour containing dioscin on gastrointestinal function in rat model. **Archives of Pharmacal Research**. 29(5), 348-353.

Karam, L.B., Ferrero, C., Martino, M.N, Zaritzky, N.E. & Grossmann, M.V.E. (2006). Thermal microstructural and textural characterisation of gelatinised corn, cassava and yam starch blends". **International of Food Science and Technology**. 41(7), 805-812.

Mali, S., Grossmann, M.V.E., Garcia, M.A., Martino, M.N. & Zaritzky. (2002). Micro-structural characterization of yam starch films. **Carbohydrate Polymers**. 50(4), 379-386.

Miller, C.O., Skoog, F., Okomura, F.S., von Saltza, M.H. & Strong, F.M. (1956). Isolation, structure and synthesis of kinetin, a substance promoting cell division. **Journal of the American Chemical Society**. 78, 1345-1350.

Osuji, C.M., Nwanekezi, E.C., Amadi, E.M. & Osuji, C.A. (2010). Yield of ethanol from enzyme-hydrolyzed yam (*Dioscorea rotundata*) and cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) Flours. **Nigerian Food Journal**. 28(2), 1-5.

Tamunaidu, P., Matsui, N., Okimori, Y. & Saka, S. (2013). Nipa (Nypa fruticans) sap as a potential feedstock for ethanol production. **Biomass and Bioenergy**. 52, 96-102.

Riley, C.K., Adebayo, S.A., Wheatley, A.O. & Asemota, H.N. (2006). Fundamental and Derived properties of yam (*Dioscorea* spp.) starch powders and implications in tablet and capsule formulation. **Starch**. 58(8), 418-424.

Riley, C.K., Wheatley, A.O. Hassan, I., Ahmad, M.H. Morrison, E.Y.S.A. & Asemota,

H.N. (2004). In vitro Digestibility of Raw Starch Extracted from Five Yam (*Dioscorea* spp.) Species Grown in Jamaica. **Starch**. 56(2) 69-73.

Scragg, A.H. (2009). **Biofuels: Production, Application and Development**. UK: Cambridge.

Soontornchaiboon, W., Chunhachart, O., & Pawongrat, R. (2012). Ethanol production from yam bean using yease *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5339. **1st Mae Fah Luang University International Conference**.

Sriroth, K., Piyachomkwan K., Chatakanonda, P., Wanlapatit, S. & Keawsompong, S. (2006). **Improvement of raw starch hydrolysis by enzyme process in ethanol production from cassava**. Complete Research Report, National Research Council of Thailand. (in Thai)

Thatoi, H., Dash, P.K., Mohapata, S. & Swain, M.R. (2014). Ethanol production from tuber crops using fermentation technology: A Review. **Indian Institute of Technology Madras**. 1-26.

Wagner, W. (2005). Biodiesel and ethanol from soybeans and sugar beets. **BioCycle**. 46(6), 10.

Wang, W.-M., Lai, V.M.F., Chang, K.,-F., Lu, S. & Ho, H.-H. (2006). Effect of Amylopectin Structure on the Gelatinization and Pasting Properties of Selected Yam (*Dioscorea* spp.). **Starch**. 58(11), 572-579.

Wanikorn, P. (2007). **Qualitative and quantitative analysis of some substances in pummelo wine**. Bachelor of Science (General Science) Thesis. Department of Science, Kasetsart University. (in Thai)

Wickramasinghe, H.A.M., Takigawa, S., Mastsuura-Endo, C., Yamauchi, H. & Noda, T. (2009). Comparative analysis of starch properties of different root and tuber crops of Sri Lanka. **Food Chemistry**. 112(4), 547-560.

Yoonan, K. (2003). **A Study of optimal conditions for fermentable sugar production from cassava peels**. Master of Science Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)

Zaky, A.S., Pensupa, N., Andrade-Eiroa, A., Tucker, G.A. & Chenyu Du. (2017). A new HPLC method for simultaneously measuring chloride, sugars, organic acids and alcohols in food samples. **Journal of Food Composition and Analysis**. 56, 25-33.

บทความวิจัย

การพัฒนาเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา สำหรับงานเครื่องปั้นดินเผา

DEVELOPMENT OF MIXED BODIES FROM WATER TREATMENT SLUDGE FOR POTTERY

สุทธิดา การะเวก* ศศิธร คนทน อนันตกุล อินทรผดุง และ ธัชทฤต เทียมธรรม

สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพ 10220

Sutthida Karawek, Sasithorn Khonthon, Anantaku Intarapadung and Thattharit Thiamtham

Technology management Faculty of Industrial Technology,

Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220

*E-mail: ksutthida@gmail.com

Received: 2018-10-17

Revised: 2018-10-23

Accepted: 2019-01-09

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อวิเคราะห์สมบัติดินตะกอนน้ำประปาของโรงผลิตน้ำบางเขน 2) เพื่อพัฒนาเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปาของโรงผลิตน้ำบางเขนและทดสอบประสิทธิภาพ 3) เพื่อศึกษาผลกระทบของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา โดยวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินตะกอนน้ำประปา ด้วยเทคนิค XRD และ XRF พัฒนาเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา โดยการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า จำนวน 90 อัตราส่วนผสม ทดสอบสมบัติด้านความเหนียว สมบัติทางกายภาพก่อนและหลังเผาที่อุณหภูมิ 1200 และ 1230 องศาเซลเซียส และสำรวจปริมาณการใช้ดินผสมสำเร็จรูปและงบประมาณของสถานศึกษาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จำนวน 5 หน่วยงาน ประเมินผลการทดแทนวัสดุเดิมทางธรรมชาติ เปรียบเทียบปริมาณของดินตะกอนน้ำประปาที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตได้ และประเมินการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดดินตะกอนน้ำประปาของโรงผลิตน้ำบางเขน

ผลการวิเคราะห์ดินตะกอนน้ำประปาด้วยเทคนิค XRD และ XRF พบว่า ดินตะกอนน้ำประปามีองค์ประกอบหลักเป็นควอตซ์ เคโอลินไนท์และไบโอไทท์ โดยสารประกอบออกไซด์หลัก คือ SiO_2 ร้อยละ 56.30 และ Al_2O_3 ร้อยละ 28.60 และ Fe_2O_3 ร้อยละ 7.78 มีความเหนียวน้อย

การหดตัวเมื่อแห้งร้อยละ 7.00 ความแข็งแรงก่อนเผา 0.27 MPa และสมบัติทางกายภาพหลังเผาที่อุณหภูมิ 950 - 1,200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินตะกอนน้ำประปามีค่าการหดตัวร้อยละ 10 - 24 ค่าความแข็งแรง คือ 0.09 - 6.04 MPa และค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 7.53 - 28.70 จากการพัฒนาเนื้อดินผสมสำเร็จรูป พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ส่วนผสมที่ประกอบด้วยดินตะกอนน้ำประปาร้อยละ 40 ดินดำร้อยละ 40 และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซด์ร้อยละ 20 ขนาด 100 และ 200 เมช จากการศึกษาและสำรวจปริมาณการใช้ดินผสมสำเร็จรูปและงบประมาณที่ใช้ในการซื้อดินผสมสำเร็จรูปแต่ละปี พบว่า สถานศึกษาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปั้นดินเผาใช้ดิน 3 ประเภท คือ ดินคอมพาวด์ ดินแดง และดินผสมเอง เมื่อคำนวณหาปริมาณต้นทุนของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ได้จากการวิจัย พบว่า ต้นทุนในการผลิต 4,000 บาทต่อตัน เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้เนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปาที่ได้จากการวิจัย พบว่า ทุกสถานศึกษาและหน่วยงานใช้เนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปาสามารถประหยัดหรือลดค่าใช้จ่ายในการซื้อดินสำหรับการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ได้ร้อยละ 46.94 และสามารถลดปริมาณของดินตะกอนน้ำประปาได้ 0.6 ตันต่อเนื้อดินผสมสำเร็จรูป 1 ตัน หากได้มีการผลิตเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปาจะทำให้การประปานครหลวงไม่เสียงบประมาณในการจ้างขนดินไปทิ้ง และมีรายได้จากการขายเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา

คำสำคัญ: ดินตะกอนน้ำประปา เนื้อดินผสมสำเร็จรูป เครื่องปั้นดินเผา

ABSTRACT

This research aims to 1) analyze characteristics of water treatment's sludge from Bangkhen Water Treatment Plant 2) to develop readymade clay from water treatment's sludge and verify its efficiency and 3) to study impacts of mixed bodies from water treatment's sludge by analyzing its chemical properties with XRD and XRF techniques. The mixed bodies from water treatment's sludge were developed by purposive sampling method with ninety-point triaxial blend. The selected samples were testified toughness and physical properties before and after firing at 1200 and 1230 °C. After that, a survey of mixed body clay usage and budget was carried out in five educational institutions to evaluate the replacement of original materials and compare the amount of water treatment's sludge used in the production as well as estimating cost reduction from the removal of water treatment's sludge in Bangkhen Water Treatment Plant.

From the result of analyzing properties of the water treatment's sludge with XRD and XRF techniques, it was found that main components of the sludge are quartz, kaolinite and biotite. Its major oxide percentage are SiO_2 (56.30%) Al_2O_3 (28.60%) and Fe_2O_3 (7.78%). The sludge has low plasticity and the shrinkage percentage after drying was 7.00 with the strength before firing at 0.27 MPa. From the study of physical properties after firing at 950 - 1,200 °C, it was found that the shrinkage percentage of water treatment's sludge was 10 – 24 whereas its strength was between 0.09 – 6.04 MPa and the percentage of water absorption was between 7.53 – 28.70 respectively. For the development of mixed bodies, it was found that the most suitable constituents contain 40% of water treatment's sludge, 20% of ball clays and 20% of calcite with the size of 20 and 200 mesh. From the survey of mixed body clay usage and budget in five educational institutions related to pottery, it was shown that three types of clay have been used, which are compound, red and own mixed clays. When calculating the cost of making mixed bodies from the research, it was found that the production cost was approximately 4,000 baht/ton. The comparison of cost reduction from the usage of water treatment's sludge was also investigated, it was shown that every institution could save the cost of buying clay for making pottery at 46.94 %. The amount of water sludge was also reduced by 0.6 ton per ton of readymade clay. Therefore, there is a production of mixed bodies from water treatment's sludge, the Metropolitan Water Authority will save more budget on the sludge removal and disposal and gain some revenue from the sale of mixed bodies from water treatment's sludge.

Keyword: Water Treatment Sludge, Mixed Bodies, Pottery.

บทนำ

เนื้อดินผสมสำเร็จรูป เป็นเนื้อดินที่ผ่านกระบวนการบดและผสมที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ เช่น เนื้อดินผสมเอิร์ทเทินแวร์ สโตนแวร์ พอร์ซเลน เป็นต้น ซึ่งสถานศึกษาที่มีการจัดการเรียนการสอนเกี่ยวกับเครื่องปั้น หรืออุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาขนาดเล็ก นิยมใช้เนื้อดินผสมสำเร็จรูป เนื่องจากสะดวกไม่ต้องเสียเวลาในการเตรียมเนื้อดินและราคาปานกลาง ซึ่งการเตรียมเนื้อดินต้องอาศัยเครื่องมือ เครื่องจักร ซึ่งมีราคาสูง การซื้อเนื้อดินผสมสำเร็จรูป จึงเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่ง วัตถุดิบหลักที่ใช้เป็นส่วนผสมของเนื้อดินผสมสำเร็จรูป คือ ดินประเภทต่าง ๆ ดินที่เกิดจากธรรมชาติ แหล่งดินที่นิยมนำมาใช้ในการผลิต

เนื้อดินผสมสำเร็จ ได้แก่ ดินขาวลำปาง ดินขาวระนอง ดินดำสุราษฎร์ เป็นต้น ซึ่งแหล่งดินตามธรรมชาติมีปริมาณน้อยลงตามการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาที่มีมากกว่าหลายร้อยปี การหาวัตถุดิบสำรองจึงมีความสำคัญและจำเป็น ตามแผนยุทธศาสตร์กระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2559 - 2564 ในการพัฒนาและส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีเพื่อสนับสนุนการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นแหล่งวัตถุดิบหมุนเวียนให้แก่ภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนมีนโยบายที่จะนำของเหลือทิ้งที่เกิดจากขบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมของรัฐและเอกชนที่ถูกปล่อยเข้าสู่สิ่งแวดล้อม มาทำให้เกิดการหมุนเวียนและนำกลับมาใช้ประโยชน์

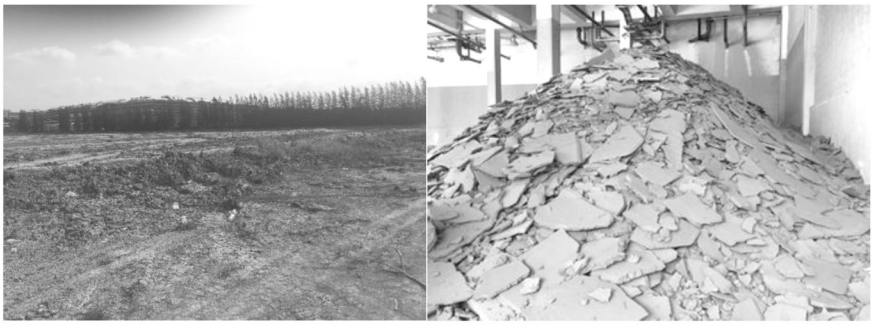
ดินตะกอนน้ำประปาเป็นของเหลือทิ้งประเภทหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปา การผลิตน้ำประปาจะมีขั้นตอนการตกตะกอน ทำให้เกิดดินตะกอนตามปริมาณการผลิตน้ำในแต่ละโรงผลิต โดยน้ำดิบที่มีค่าความขุ่น 30 - 40 NTD จะมีปริมาณตะกอนประมาณ 25 - 35 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้น ผลิตน้ำประปา 1 ลูกบาศก์เมตร จะมีปริมาณดินตะกอนน้ำประปา 25 - 35 กรัม โดยน้ำประปา 1 ลูกบาศก์เมตร มีน้ำ 1,000 ลิตร มีน้ำหนัก 1,000 กิโลกรัม หรือ 1 ตัน (Metropolitan Waterworks Authority, 2018) ข้อมูลการผลิตน้ำประปากับดินตะกอนที่เกิดขึ้นแสดงได้ตามโรงผลิตน้ำ ในตารางที่ 1 ซึ่งกระบวนการกำจัดดินตะกอนน้ำประปามี 2 วิธีหลัก ๆ คือ วิธีตามธรรมชาติ โดยการนำดินตะกอนน้ำประปาตากแห้งในลานกว้าง ๆ ใช้เวลาในการตากแห้งประมาณ 3 - 5 เดือน พื้นที่ในการตากแห้งประมาณ 750 ไร่ (เฉพาะโรงผลิตน้ำประปาบางเขน) ดังรูปที่ 1(ก) และวิธีระบบบีบตะกอน เป็นตะกอนแผ่น (Sludge cake) โดยอาศัยเครื่องอัดรีดดิน (Filter press) ดังรูปที่ 1(ข) เมื่อได้ดินตะกอนน้ำประปาทั้ง 2 วิธี ทางการประปาฯ ต้องหาวิธีการกำจัดโดยประมูลหาคนมารับจ้างขนดินไปทิ้งหลัก ๆ คือ นำไปถมที่ โดยเสียค่าจ้างเป็นรายปี ๆ ละไม่น้อยกว่า 21 ล้านบาท (Pattanakudee, 2017)

ตารางที่ 1 ข้อมูลการผลิตน้ำและการเกิดตะกอนน้ำประปา

โรงผลิตน้ำ	บางเขน	สามเสน	ธนบุรี	มหาสวัสดิ	รวม
ปริมาณน้ำผลิตต่อวัน (ลบ.ม.)	4,400,000	550,000	170,000	1,600,000	6,720,000
ปริมาณตะกอนต่อวัน (ตัน)	110 - 154	14 - 20	4 - 6	40 - 56	168 - 235

ที่มา: Metropolitan Waterworks Authority (2018)

งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ดินตะกอนน้ำประปา สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในงานเครื่องปั้นดินเผา (Preuksawan, 2003) อิฐมอญ (Numnuan, 1997) กระเบื้องดินเผา (Patanapanitipong ; Chonchartpinyoh & Jantrasa, 2010) และน้ำเคลือบ (Anurak Akarat Ganokganya & Suwanittaya, 2015) เป็นต้น โดยสามารถใช้ดินตะกอนน้ำประปาในปริมาณร้อยละ 40 - 90 ในเครื่องปั้นดินเผา ร้อยละ 40 ในอิฐมอญ ร้อยละ 50-60 ในกระเบื้องดินเผา และมากกว่าร้อยละ 50 ในน้ำเคลือบ ขึ้นอยู่กับสมบัติของดินตะกอนน้ำประปา และมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปดินตะกอนน้ำประปามีเนื้อละเอียด มีความเหนียวน้อย ต้องหมักดินตะกอนน้ำประปาให้นาน ๆ จึงจะทำให้ดินมีความเหนียว สามารถนำไปปั้นขึ้นรูปได้ง่าย (Surichat; Vichitamorphan & Reuangsemret, 2004)



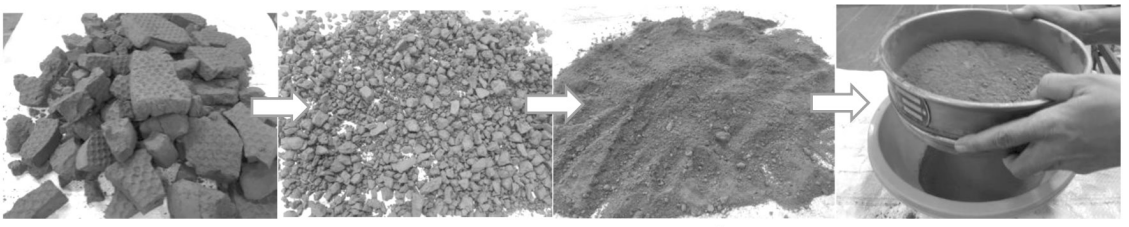
(ก) (ข)

รูปที่ 1 (ก) พื้นที่ในการตากแห้งดินตะกอนน้ำประปา โรงผลิตน้ำประปาบางเขน (ข) ตะกอนแผ่น (Sludge cake) โดยอาศัยเครื่องอัดรีดดิน (Filter press)

ดินตะกอนน้ำประปาสามารถทดแทนดินเหนียว และนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำดินตะกอนน้ำประปามา พัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของดินตะกอนน้ำประปาให้เป็นดินผสมสำเร็จรูปที่สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้ สามารถนำมาใช้ในภาคปฏิบัติของสถานศึกษาที่เรียนวิชาเครื่องปั้นดินเผา หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเครื่องปั้นดินเผา หากการวิจัยครั้งนี้สำเร็จ สามารถทดแทนการใช้ดินเหนียวจากธรรมชาติ ลดปริมาณการขุดเหมืองดิน ลดต้นทุนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อน เป็นการนำของเหลือใช้กลับมาสร้างมูลค่าเพิ่มให้เกิดประโยชน์สูงสุดและยั่งยืน และยังเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิต แก้ปัญหาต้นทุนวัตถุดิบที่สูง อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบรองสำหรับอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต นอกจากนี้ยังเป็นการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม การจัดการด้านทรัพยากรที่มีอยู่ และการรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ผลการวิจัยครั้งนี้จะเป็นต้นแบบในการสร้างองค์ความรู้ด้านการวิจัย เพื่อการพัฒนาทรัพยากรที่มีอยู่อย่างยั่งยืน

วิธีการ

1. การวิเคราะห์สมบัติของดินตะกอนน้ำประปา จากโรงผลิตน้ำ ดินตะกอนน้ำประปาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นดินตะกอนชนิดแผ่นที่ได้จากเครื่องอัดรีดดินของโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน โดยนำดินตะกอนน้ำประปามาบดย่อย ตากแห้ง ในอุณหภูมิปกติ เป็นเวลา 7 วัน นำไปบด และผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 เมช ดังรูปที่ 2 แล้วนำมาวิเคราะห์ดังนี้



รูปที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมดินตะกอนน้ำประปา

1.1 วิเคราะห์หาโครงสร้างผลึก โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer: XRD)

1.2 วิเคราะห์หาองค์ประกอบออกไซด์ โดยวิธีเอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซ็นต์ (X-ray Fluorescence: XRF)

1.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพของดินตะกอนน้ำประปาก่อนเผา คือ ความเหนียว การหดตัวเมื่อแห้ง และความแข็งแรงเมื่อแห้ง ทดสอบสมบัติหลังเผา คือ การหดตัวหลังเผา ความแข็งแรงหลังเผา การดูดซึมน้ำ และสีของดิน

2. การพัฒนาเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา สำหรับงานเครื่องปั้นดินเผา

จากการศึกษาดินตะกอนน้ำประปาเบื้องต้น พบว่า ดินตะกอนน้ำประปาเนื้อละเอียด มีความเหนียวน้อย และเมื่อแห้งดินตะกอนน้ำประปา เปราะ กล่าวคือ มีความแข็งแรงเมื่อแห้งต่ำ (Low Green Strength) ผู้วิจัยจึงเลือกวัตถุดิบ 2 ชนิด ผสมกับดินตะกอนน้ำประปา คือ 1) ดินดำ เพื่อช่วยเรื่องความเหนียว และความแข็งแรงเมื่อแห้ง และ 2) ดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ เพื่อช่วยในเรื่องการปรับโครงสร้างของเนื้อดินด้านความแข็งแรงและเป็นการนำดินตะกอนน้ำประปามาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นการพัฒนาเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา ที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยจึงมีแนวทางในการพัฒนา ดังนี้

2.1 เตรียมวัตถุดิบโดยการนำดินดำ และดินตะกอนน้ำประปาผ่านตะแกรงกรองขนาด 200 เมช และเตรียมดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ โดยการนำดินตะกอนน้ำประปา

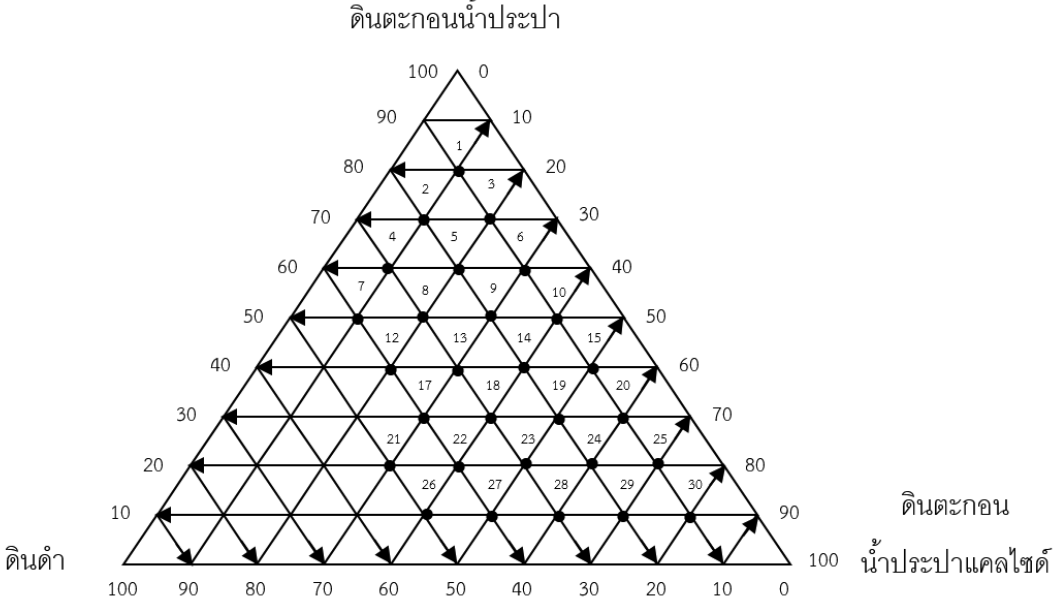
ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส แล้วนำดินตะกอนน้ำประปาที่ผ่านการแคลไซน์ผ่านตะแกรงกรอง 3 ขนาด คือ ตะแกรงกรองขนาด 50, 100 และ 200 เมช

2.2 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปได้จากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า (Triaxial blend) ประกอบด้วยวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ดินตะกอนน้ำประปา ดินดำ และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ โดยกำหนดส่วนผสมของดินดำ ร้อยละ 10-50 ดังแสดงในรูปที่ 3 แบ่งอัตราส่วนผสมดังนี้

A1-A30 คือ อัตราส่วนผสมที่ประกอบด้วย ดินตะกอนน้ำประปา ดินดำ และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ผ่านตะแกรงกรองขนาด 50 เมช

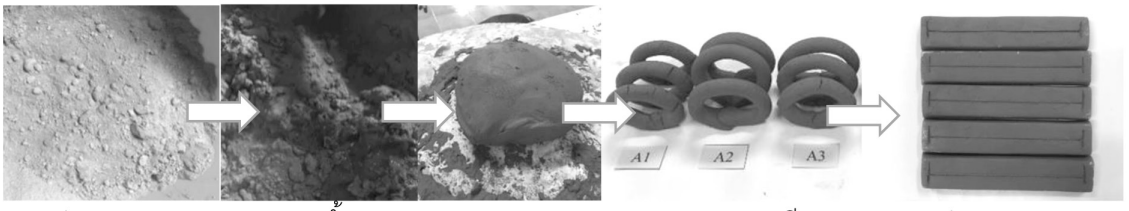
B1-B30 คือ อัตราส่วนผสมที่ประกอบด้วย ดินตะกอนน้ำประปา ดินดำ และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ผ่านตะแกรงกรองขนาด 100 เมช

C1-C30 คือ อัตราส่วนผสมที่ประกอบด้วย ดินตะกอนน้ำประปา ดินดำ และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ผ่านตะแกรงกรองขนาด 200 เมช



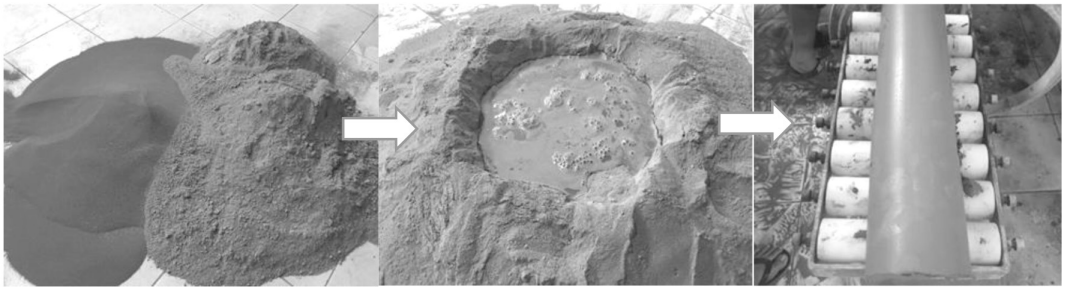
รูปที่ 3 การผสมเนื้อดินผสมสำเร็จรูป จากตารางสามเหลี่ยมด้านเท่า

2.3 ชั่งส่วนผสมละ 1,500 กรัม ผสมกับน้ำร้อยละ 30 - 40 นวดผสมและทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ทดสอบความเหนียว ขึ้นรูปเป็นแท่งทดสอบด้วยวิธีอัด ผึ่งลมภายใน 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4 และนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทดสอบสมบัติการหดตัวและความแข็งแรงเมื่อแห้ง หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส ทดสอบสมบัติการหดตัว ความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ และสีของดิน



รูปที่ 4 ขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมและแท่งทดสอบ

2.4 สรุปผลการทดสอบ และคัดเลือกเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่มีสมบัติ คือ 1) ค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินไม่น้อยกว่าร้อยละ 3 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เครื่องปั้นดินเผาสโตนแวร์ (มผช.930/2548) และ2) สมบัติด้านความเหนียว เนื้อดินควรมีความเหนียวและสามารถขึ้นรูปได้ (Ingsiriwat, (1998) เตรียมอัตราส่วนผสมที่ผ่านการคัดเลือก นำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยแป้นหมุนและปั้นอิสระ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการเตรียมเนื้อดินผสมสำเร็จรูป

2.4.1 การศึกษาผลกระทบของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา

(1) ศึกษาและสำรวจปริมาณการใช้ดินผสมสำเร็จรูปและงบประมาณที่ใช้ในการซื้อดินผสมสำเร็จรูปแต่ละปี โดยการสัมภาษณ์ตามสถานศึกษาและหน่วยงานที่มีการจัดการเรียนการสอนเกี่ยวกับเครื่องปั้นดินเผาและหน่วยงานภาครัฐ และคำนวณหาราคาของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปต่อตันและงบประมาณที่ใช้ในการซื้อต่อปี

(2) ประเมินผลการทดแทนวัสดุเดิมทางธรรมชาติ โดยการคำนวณหาปริมาณวัตถุดิบที่ใช้จากธรรมชาติ และเปรียบเทียบปริมาณของดินตะกอนน้ำประปาที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตได้ และคิดเป็นร้อยละของการประหยัดงบประมาณในการซื้อเนื้อดินผสมสำเร็จรูป

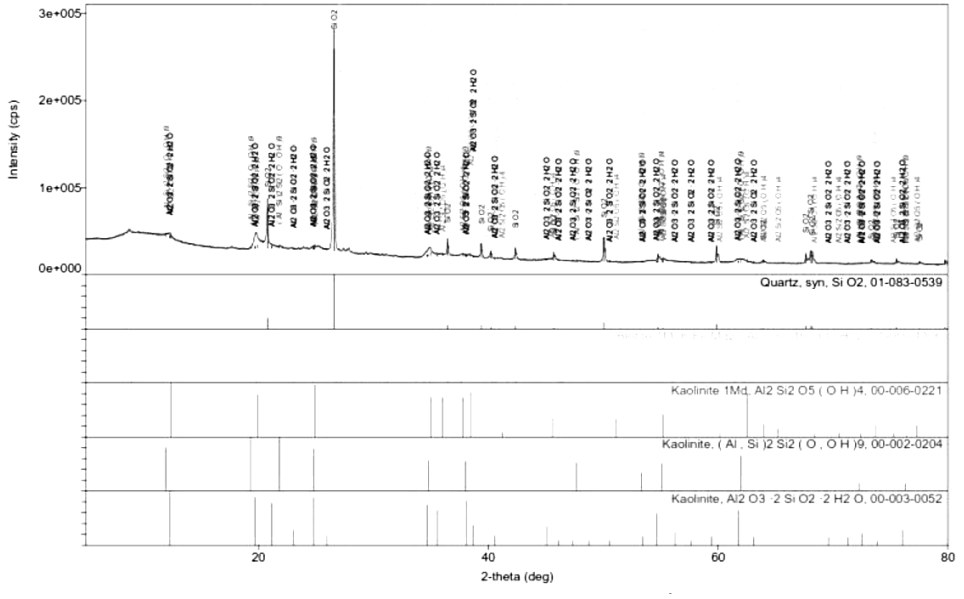
(3) ประเมินการลดค่าใช้จ่ายในการจำกัดดินตะกอนน้ำประปาของโรงผลิตน้ำบางเขน โดยการคำนวณค่าใช้จ่ายของการกำจัดดินตะกอนน้ำประปา โรงผลิตน้ำ

บางเขน เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการนำดินตะกอนน้ำประปามาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

ผลการทดลอง

1. ผลการวิเคราะห์สมบัติของดินตะกอนน้ำประปา จากโรงผลิตน้ำบางเขน

1.1 การวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของดินตะกอนน้ำประปา จากการวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer: XRD) ของดินตะกอนน้ำประปา พบว่า ดินตะกอนน้ำประปา จากโรงผลิตน้ำบางเขน ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ เคโอลินไนท์ และไบโอไทท์ เป็นองค์ประกอบหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะโครงสร้างทางผลึกของดินตะกอนน้ำประปาด้วยเทคนิค XRD

1.2 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของดินตะกอนน้ำประปา จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบออกไซด์ โดยเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ (X-ray Fluorescence: XRF) พบว่าดินตะกอนน้ำประปามีองค์ประกอบหลักที่พบมากอยู่ 3 ชนิด คือ SiO_2 ร้อยละ 56.30, Al_2O_3 ร้อยละ 28.60, Fe_2O_3 ร้อยละ 7.78 และองค์ประกอบอื่น ๆ เจือปนเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบออกไซด์ของดินตะกอนน้ำประปา

องค์ประกอบออกไซด์	ร้อยละ
SiO_2	56.30
Al_2O_3	28.60
Fe_2O_3	7.78
K_2O	2.15
CaO	1.18
MgO	1.24
P_2O_5	0.91
TiO_2	0.89
SO_3	0.22
MnO	0.19
Na_2O	0.36
LOI	17.48

1.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาของดินตะกอนน้ำประปา พบว่า ดินตะกอนน้ำประปา มีค่าการหดตัวก่อนเผาหรือเมื่อแห้งร้อยละ 7.00 และความแข็งแรงก่อนเผา 0.27 MPa

1.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังเผาของดินตะกอนน้ำประปาที่อุณหภูมิ 950 - 1,200 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสมบัติหลังเผาของดินตะกอนน้ำประปา

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	การหดตัว (ร้อยละ)	ความแข็งแรง (MPa)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	สีของเนื้อดิน
950	10.00	0.90	28.70	
1000	12.00	1.32	27.05	
1050	15.00	2.57	21.76	
1100	20.00	4.31	15.00	
1150	22.00	4.56	11.08	
1200	24.00	6.04	7.53	

ผลการทดสอบสมบัติการหดตัวหลังเผาของดินตะกอนน้ำประปา ที่อุณหภูมิ 950 - 1,200 องศาเซลเซียส พบว่า ดินตะกอนน้ำประปา มีค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง ร้อยละ 10.00 - 24.00 ค่าความแข็งแรงของดินตะกอนน้ำประปา ที่อุณหภูมิ 950 - 1,200 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแรงอยู่ระหว่าง 0.90 - 6.04 MPa ค่าการดูดซึมน้ำของดินตะกอนน้ำประปา ที่อุณหภูมิ 950 - 1,200 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่าง 7.53 - 28.70 และสีของดินตะกอนน้ำประปาที่อุณหภูมิ 950 - 1,200 องศาเซลเซียส มีสีน้ำตาล น้ำตาลส้ม น้ำตาลเข้ม ตามลำดับ

2. ผลพัฒนาเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา ของโรงผลิตน้ำบางเขน และทดสอบประสิทธิภาพ

2.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาและหลังเผา ของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา ดินดำ และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ 50 เมช (ส่วนผสมชุด A) ที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ไม่มีความเหนียว ไม่สามารถขึ้นรูปแท่งทดสอบได้ คือ อัตราส่วนผสมที่ A10, A19 - 20, A23 - 25 และ A27 - 30 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินผสมสำเร็จที่มีความเหนียวน้อย คือ อัตราส่วนผสมที่ A1 - 3, A5 - 6, A13 - 14, A17 - 18, A22 และ A26 และอัตราส่วนผสมของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่มีความเหนียวมาก คือ อัตราส่วนผสมที่ A4, A11 - 12, A16 และ A21 (1) ค่าการหดตัวก่อนเผาและหดตัวที่อุณหภูมิ 1,200 และ1,230 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปมีค่าการหดตัวเมื่อแห้งอยู่ระหว่างร้อยละ 2.00 - 4.00 ค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่างร้อยละ 14.00 - 19.00 ค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่างร้อยละ 15.93 - 19.00 (2) ค่าความแข็งแรงเมื่อแห้งและหลังเผาที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปมีค่าความแข็งแรงเมื่อแห้งอยู่ระหว่าง 0.02 - 0.26 MPa ค่าความแข็งแรงหลังเผา ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่าง 4.03 - 8.71 MPa ค่าความแข็งแรงหลังเผา ที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่าง 9.09 - 13.74 MPa (3) ค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูป มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 7.34 - 11.83 และที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส เนื้อดินผสมสำเร็จรูปมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 2.99-5.02

2.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาและหลังเผา ของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา ดินดำ และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ 100 เมช (ส่วนผสมชุด B) ที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ไม่มีความเหนียว ไม่สามารถขึ้นรูปแท่งทดสอบได้ คือ อัตราส่วนผสมที่ B10, B19 - 20, B23 - 25 และ B27 - 30 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินผสมสำเร็จที่มีความเหนียวน้อย คือ อัตราส่วนผสมที่ B1, B2, B3, B5 - 9, B13 - 14, B17 - 18 และ B22 และอัตราส่วนผสมของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่มีความเหนียวมาก คือ อัตราส่วนผสมที่ B4, B11 - 12, B16, B21 และ B26 (1) ค่าการหดตัวก่อนเผา

และหดตัวที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปมีค่าการหดตัวเมื่อแห้งอยู่ระหว่างร้อยละ 2.00 - 4.67 ค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่างร้อยละ 16.00 - 20.00 และค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่างร้อยละ 16.60 - 20.23 (2) ค่าความแข็งแรงเมื่อแห้งและหลังเผาที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปมีค่าความแข็งแรงเมื่อแห้งอยู่ระหว่าง 0.13 - 0.28 MPa ค่าความแข็งแรงหลังเผา ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปมีค่าความแข็งแรงหลังเผาอยู่ระหว่าง 6.07 - 9.45 MPa และค่าความแข็งแรงหลังเผา ที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่าง 10.01 - 15.88 (3) ค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 5.10 - 8.56 และที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส เนื้อดินผสมสำเร็จรูปมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 2.21 - 4.31

2.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพก่อนเผาและหลังเผา ของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา ดินดำ และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ 200 เมช (ส่วนผสมชุด C) ที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราส่วนผสมของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ไม่มีความเหนียว ไม่สามารถขึ้นรูปแท่งทดสอบได้ คือ อัตราส่วนผสมที่ C10, C19 - 20, C23 - 25 และ C27 - 30 อัตราส่วนผสมของเนื้อดินผสมสำเร็จที่มีความเหนียวน้อย คือ อัตราส่วนผสมที่ C1 - 3, C5 - 6, C8 - 9 C13 - 14 และ C17 - 18 และอัตราส่วนผสมของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่มีความเหนียวมาก คือ อัตราส่วนผสมที่ C4, C7, C11 - 12, C16, C21 - 22 และ C26 (1) ค่าการหดตัวก่อนเผาและหลังเผาที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปมีค่าการหดตัวเมื่อแห้งอยู่ระหว่างร้อยละ 2.00 - 4.00 ค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่างร้อยละ 17.00 - 20.33 และค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่างร้อยละ 17.33 - 21..27 (2) ค่าความแข็งแรงเมื่อแห้งและหลังเผาที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปมีค่าความแข็งแรงเมื่อแห้งอยู่ระหว่าง 0.17 - 0.33 MPa ค่าความแข็งแรงหลังเผา ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่าง 8.39 - 15.33 MPa ค่าความแข็งแรงหลังเผาที่อุณหภูมิ 1,230 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่าง 11.32 - 18.11 MPa (3) ค่าการดูดซึมน้ำของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 4.79 - 6.61 และที่อุณหภูมิ 1230 องศาเซลเซียส เนื้อดินผสมสำเร็จรูปมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 0.47 - 3.41

2.4 ผลการทดสอบสีของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,230 องศาเซลเซียส ส่วนผสมชุด A B และ C พบว่า สีของเนื้อดินผสมสำเร็จรูป มีสีเป็นไปทางเดียวกัน คือ สีของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่มีสีน้ำตาลเข้มที่สุด ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส คือ ส่วนผสมที่ 1, 3, 4 และ 5 โดยเมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้นสีของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปเข้มขึ้นเล็กน้อย ทุกส่วนผสม A, B และ C ส่วนสีของเนื้อดินที่มีสีครีม คือ ส่วนผสมที่ 11

2.5 ผลการคัดเลือกเนื้อดินผสมสำเร็จรูป พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ผ่านการคัดเลือกตามเกณฑ์ คือ B12และ C12 โดยมีส่วนผสมดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อัตราส่วนผสมที่ผ่านการคัดเลือก

อัตราส่วนผสมที่	วัตถุดิบ		
	ดินตะกอนน้ำประปา	ดินดำ	ดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์
B12	40	40	20 (#100)
C12	40	40	20 (#200)

จากตารางที่ 3 ผู้วิจัยได้เตรียมเนื้อดินผสมสำเร็จรูปอัตราส่วนผสมที่ B12 และ C12 และได้นำเนื้อดินผสมสำเร็จรูปทั้ง 2 อัตราส่วนผสม แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยแป้นหมุน พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปอัตราส่วนผสมที่ C12 ขึ้นรูปได้ดีกว่าอัตราส่วนผสมที่ B12 จากผลการศึกษาผลกระทบของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา (1) จากการศึกษาและสำรวจปริมาณการใช้ดินผสมสำเร็จรูปและงบประมาณที่ใช้ในการซื้อดินผสมสำเร็จแต่ละปี โดยการสัมภาษณ์ตามสถานศึกษาที่มีการจัดการเรียนการสอนเกี่ยวกับเครื่องปั้นดินเผาและหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวกับเครื่องปั้นดินเผา ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ชนิดของดินที่สถานศึกษาและหน่วยงานใช้การผลิตเครื่องปั้นดินเผา

ลำดับที่	สถาบัน/หน่วยงาน	ชนิดของดินที่ใช้		
		ดินคอมพาวด์	ดินแดง	ดินผสมเอง
1	สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	✓	ปากเกร็ด	✓
2	สาขาวิชาออกแบบเซรามิกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา	✓	ปากเกร็ด	✓
3	สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง	✓	เชียงใหม่	✓
4	หมวดวิชาเครื่องเคลือบดินเผา วิทยาลัยช่างศิลปะสุพรรณบุรี	✓	ปากเกร็ด	✓
5	แผนกเครื่องเคลือบดินเผาศูนย์ศิลปาชีพบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	✓	สามโคก, โคราช	✓

(2) การประเมินผลการทดแทนวัสดุเดิมทางธรรมชาติ โดยการคำนวณหาปริมาณวัตถุดิบที่ใช้จากธรรมชาติ และเปรียบเทียบปริมาณของดินตะกอนน้ำประปาที่นำมาใช้ในการผลิตได้ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณการใช้ดินคอมพาวด์และงบประมาณที่ใช้

ลำดับที่	สถาบัน/หน่วยงาน	จำนวน/ปี (ตัน)	ราคา/ตัน (บาท)	งบประมาณ/ปี (บาท)
1	สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	2	7,540	15,080
2	สาขาวิชาออกแบบเซรามิกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา	4	7,540	30,160
3	สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง	4	7,540	30,160
4	หมวดวิชาเครื่องเคลือบดินเผา วิทยาลัยช่างศิลปะสุพรรณบุรี	2	7,540	15,080
5	แผนกเครื่องเคลือบดินเผาศูนย์ศิลปาชีพบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	15	7,540	113,100

การคำนวณหาปริมาณต้นทุนของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ได้จากการวิจัย พบว่า ต้นทุนในการผลิตเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา ราคาตันละ 4,000 บาท ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ราคาต้นทุนเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ได้จากการวิจัย

ที่	วัตถุดิบ	ปริมาณ (ร้อยละ)	ราคา/กิโลกรัม (บาท)	ต้นทุน (บาท)
1	ดินตะกอนน้ำประปา	40	-	0
2	ดินดำ	40	7	280
3	ดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์	20	-	0
	รวม	**100**	**-**	**280**
			ราคาต้นทุน/กิโลกรัม	2.8
			ราคาต้นทุน/ตัน	2,800
			ค่าแรงการผลิต/ตัน	600
			ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต/ตัน	600
ต้นทุนการผลิต = $\frac{\text{(ค่าวัตถุดิบ + ค่าแรง + ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต)}}{\text{ปริมาณที่ผลิตได้}}$				4,000

และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้ดินผสมสำเร็จรูปในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาของสถานศึกษาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเครื่องปั้นดินเผาทุกสถานศึกษาและหน่วยงานใช้เนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปาสามารถประหยัดหรือลดค่าใช้จ่ายในการซื้อดินสำหรับการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ได้ร้อยละ 46.94

ตารางที่ 8 ปริมาณดินตะกอนน้ำประปากับปริมาณการใช้ดินตะกอนน้ำประปา

ปริมาณดินตะกอนน้ำประปา		**ปริมาณการใช้ดินตะกอนน้ำประปา**	
ดินตะกอนน้ำประปา (โรงผลิตน้ำประปาบางเขน)		เนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา	
ปี 2560 ดินตะกอนเฉลี่ยต่อวัน	189 ตัน	ดินตะกอนน้ำประปา	ร้อยละ 40
ค่าใช้จ่ายในการขนดิน/ปี	21 ล้านบาท	ดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์	ร้อยละ 20
		รวมดินตะกอนน้ำประปา	**ร้อยละ 60**
		เนื้อดินผสมสำเร็จรูป 1 ตัน (1000 kg)	
		ใช้ดินตะกอนน้ำประปา	0.6 ตัน
		ดินตะกอนน้ำประปา 1 วัน	189 ตัน
		ผลิตเนื้อดินผสมสำเร็จรูป	315 ตัน

(3) การประเมินการลดค่าใช้จ่ายในการจำกัดดินตะกอนน้ำประปาของโรงผลิตน้ำบางเขน โดยการคำนวณค่าใช้จ่ายของการกำจัดดินตะกอนน้ำประปา โรงผลิตน้ำบางเขนเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการนำดินตะกอนน้ำประปามาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาดังตารางที่ 8

สรุปและวิจารณ์ผล

1. การวิเคราะห์สมบัติของดินตะกอนน้ำประปา จากโรงผลิตน้ำบางเขน ดินตะกอนน้ำประปาโรงผลิตน้ำประปาบางเขนมีองค์ประกอบหลักเป็นควอตซ์ เคโอลินไนท์ และไบโอไทท์ โดยสารประกอบออกไซด์หลัก คือ SiO_2 ร้อยละ 56.30 รองลงมา คือ Al_2O_3 ร้อยละ 28.60 และ Fe_2O_3 ร้อยละ 7.78 การหดตัวเมื่อแห้งร้อยละ 7.00 และความแข็งแรงก่อนเผา 0.27 MPa ค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 950 - 1,200 องศาเซลเซียส ร้อยละ 10 - 24 ค่าความแข็งแรง คือ 0.90 - 6.04 MPa และมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 7.53 - 28.70

2. การพัฒนาเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา สำหรับงานเครื่องปั้นดินเผา เนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา ที่มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการนำมาขึ้นรูปเครื่องปั้นดินเผาได้ คือ อัตราส่วนผสมที่ B12 และ C12

3. การศึกษาการศึกษาผลกระทบของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา พบว่า สถานศึกษาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องปั้นดินเผาใช้ดิน 3 ประเภท คือ ดินคอมพาวด์ ดินแดง และดินผสมเอง โดยมีปริมาณการซื้อดินผสมสำเร็จรูป ประเภทดินคอมพาวด์ มากที่สุดในทุกหน่วยงาน และเมื่อคำนวณหาปริมาณต้นทุนของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ได้จากการวิจัย พบว่า ต้นทุนในการผลิต คือ 4,000 บาทต่อตัน และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการใช้เนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปาที่ได้จากการวิจัย พบว่า ทุกสถานศึกษาและหน่วยงานใช้เนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปาสามารถประหยัดหรือลดค่าใช้จ่ายในการซื้อดินสำหรับการผลิตเครื่องปั้นดินเผา ได้ร้อยละ 46.94

จากข้อมูลดินตะกอนน้ำประปาโรงผลิตน้ำบางเขน การประปานครหลวง ประจำปี 2560 มีปริมาณ 189 ตันต่อวัน (68,985 ต่อปี) กำจัดดินตะกอนน้ำประปาที่เกิดจากการผลิตน้ำประปาโดยการนำไปถมที่ เสียงบประมาณในการจ้างบริษัทในการขนดินตะกอนน้ำประปา ประมาณปีละ 21 ล้านบาท ในการวิจัยครั้งนี้ได้นำดินตะกอนน้ำประปามาใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาทั้งหมด ร้อยละ 60 ดังนั้นเนื้อดินผสมสำเร็จรูป 1 ตัน ใช้ดินตะกอนน้ำประปา 0.6 ตัน ดินตะกอนน้ำประปา 1 วัน 189 ตัน สามารถผลิตเนื้อดินผสมสำเร็จรูปได้ 315 ตัน การผลิตเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา 1 ตัน สามารถลดปริมาณของดินตะกอนน้ำประปาที่เหลือจากการผลิตน้ำประปาได้จำนวน 0.6 ตันต่อการผลิตเนื้อดินผสมสำเร็จรูป 1 ตัน

จากการศึกษาลักษณะองค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางแร่ ของดินตะกอนน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน พบว่า ดินตะกอนน้ำประปามีองค์ประกอบหลักที่พบมาก คือ SiO_2 ร้อยละ 57 รองลงมา คือ Al_2O_3 ร้อยละ 27.40 Fe_2O_3 ร้อยละ 7.92 ซึ่งมีค่ามากกว่างานวิจัยของ Supin sangsuk (2010); Sommana & Sommana (2014) และ Anurak Akarat Ganokganya & Suwanittaya (2015) โดยมีซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 46.30- 51.79 อลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 20.33 - 26.50 เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 0.07 - 7.49 และองค์ประกอบอื่น ๆ เจือปนเล็กน้อย จากการศึกษาลักษณะองค์ประกอบทางแร่ พบว่า ดินตะกอนน้ำประปาโรงผลิตน้ำประปาบางเขนมีองค์ประกอบหลักเป็นควอตซ์ เคโอลินไนท์ และไบโอไทต์ ซึ่งโครงสร้างผลึกของดินตะกอนน้ำประปาสอดคล้องกับ Sangsuk (2010) ที่พบองค์ประกอบหลักคือ อิลไลท์ ควอตซ์ และ เคโอลินไนท์ โดยไบโอไทต์เป็นกลุ่มแร่ชนิดเดียวกับกลุ่มแร่ไมกา หรืออิลไลท์ โดยผลทำให้ดินมีจุดหลอมละลายต่ำ (Ingsiriwat, 1998)

การพัฒนาเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปาโดยการผสมดินดำเพื่อความเหนียวของเนื้อดิน (Ingsiriwat, 1998) ได้กล่าวไว้ว่า ดินดำเป็นดินที่มีขนาดผลึกเม็ดละเอียดมาก อนุภาคของดินยึดเกาะกันได้ดี มีอินทรีย์สารที่มีโครงสร้างคล้ายกับที่พบในถ่านหินลิกไนท์เจือปนอยู่ จึงทำให้ดินชนิดนี้มีความเหนียว นอกจากความเหนียวแล้วดินดำยังส่งผลต่อการหดตัวของเนื้อดิน โดยค่าการหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของดินดำในเนื้อดินเพิ่มขึ้น (Sarasit,

2000) ได้กล่าวว่า การหดตัวหลังเผามีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ ชนิดของดิน ขนาดความละเอียดของดิน สารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน วิธีการขึ้นรูป และอุณหภูมิการเผา เมื่อนำดินไปผ่านการเผา สารอินทรีย์และน้ำในองค์ประกอบของโมเลกุล ตลอดจนสารที่สลายตัวที่อุณหภูมิสูง เกิดการสลายตัวไป และมีการจัดเรียงตัวใหม่ อันมีผลทำให้ขนาดของชิ้นงานลดลง นอกจากนี้ Sawangpon (2000) ได้กล่าวว่า ความเหนียวของดินมีความสัมพันธ์กับความพรุนตัว และการหดตัวของดินด้วย กล่าวคือ ถ้าดินที่มีความเหนียวมาก เม็ดดินจะเล็ก ความพรุนตัวต่ำ และมีการหดตัวมาก แต่ถ้าดินที่มีความเหนียวน้อย หรือไม่มีความเหนียวเลย เม็ดดินจะใหญ่ ความพรุนตัวสูง และมีการหดตัวน้อยมาก หรือไม่มีการหดตัวเลย อัตราส่วนผสมที่ 1 (A1, B1, C1) มีดินตะกอนน้ำประปาร้อยละ 80 ดินดำร้อยละ 10 และดินตะกอนแคลไซน์ร้อยละ 10 มีความเหนียวสามารถขึ้นรูปได้ มีค่าการหดตัวร้อยละ 19 และมีความพรุนตัวหรือการดูดซึมน้ำร้อยละ 8.60 และส่วนผสมที่ 14 (A14, B14, C14) มีความเหนียวน้อย มีดินตะกอนน้ำประปาร้อยละ 40 ดินดำร้อยละ 20 และดินตะกอนแคลไซน์ร้อยละ 40 หดตัวร้อยละ 17 และมีความพรุนตัวหรือการดูดซึมน้ำร้อยละ 4.59 ซึ่งไม่สอดคล้อง อาจมีผลมาจากปริมาณของดินตะกอนน้ำประปา โดยดินตะกอนน้ำประปามีปริมาณสูง ส่งผลให้สมบัติของเนื้อดินหดตัวสูงแต่มีการดูดซึมน้ำสูงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ (Sangsuk, 2010) ได้พบว่า เนื้อดินที่ผสมดินตะกอนน้ำประปามีค่าการหดตัวเพิ่มขึ้น และมีความพรุนตัวสูงกว่าเนื้อดินที่ไม่ผสมดินตะกอนน้ำประปา

จากการทดสอบสมบัติของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ผสมดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน คือ 50, 100 และ 200 เมช มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินผสมสำเร็จรูป เนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ผสมดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ขนาด 50 เมช มีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่า ดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ ขนาด 100 และ200 เมช โดยค่าการดูดซึมน้ำลดลงเมื่อมีขนาดอนุภาคของดินตะกอนน้ำประปาแคลไซด์เล็กลง กล่าวคือ ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าต่ำสุดที่ส่วนผสมชุด C ผสมดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ ขนาด 200 เมช เช่นเดียวกับผลการหดตัวและความเหนียวของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ผสมดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ ขนาด 200 เมช เนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่มีการดูดซึมน้ำต่ำมีผลเกี่ยวโยงกับการหดตัว และความเหนียวของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่สูงขึ้น ค่าการหดตัวของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปสูงเมื่อผสมดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ขนาด 200 เมช ซึ่งมีมากกว่าเนื้อดินผสมสำเร็จรูปผสมดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ขนาด 50 และ 100 เมช จากการทดสอบค่าความแข็งแรงของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ผสมดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ ขนาด 200 เมช มีค่าสูงกว่าขนาด 50 และ 100 เมช ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปาที่ผสมผสมดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ ที่มีขนาด 50, 100 และ 200 เมช พบว่า เนื้อดินผสมสำเร็จรูปที่ผสมดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ที่มีขนาดเล็ก คือ 200 เมช มีสมบัติด้านความเหนียว การหดตัว ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำ

ที่ดีขึ้น สอดคล้องกับ Duanggamon Surichat Pason Vichitamorphan & Reuangsemret (2004); และ Frank and Janet Hamar (2004) ที่กล่าวว่า ขนาดอนุภาคมีผลต่อสมบัติด้านอื่น ๆ ของวัตถุดิบอย่างมาก เช่น การหดตัว สภาพพลาสติก และการดูดซึมน้ำ เป็นต้น ขนาดอนุภาคมีผลสำคัญต่อการจัดเรียงตัวของผลึกในเนื้อดินก่อนการเผา ซึ่งการจัดเรียงตัวที่ดีเนื้อดินมีความหนาแน่นสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถเกิดการแน่นตัวได้ง่าย นอกจากนี้ขนาดอนุภาคของเนื้อดินส่งผลต่อความเหนียว ความแข็งแรงและการหดตัวของเนื้อดิน ซึ่งสอดคล้องกับ Sarasit (2000) ที่กล่าวว่า เนื้อดินที่มีอัตราการดูดซึมน้ำมากกว่าร้อยละ 3 ส่งผลให้ความแข็งแรงของเนื้อดินลดลง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติความแข็งแรงของเนื้อดินให้ลดลงอย่างสัมพันธ์กัน ดังนั้นการลดขนาดอนุภาคของดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ สามารถปรับสมบัติทางกายภาพของเนื้อดินให้ดีขึ้นได้จริง และสอดคล้องกับ Tiamsam et. (2012) ที่กล่าวว่า การลดขนาดวัตถุดิบ ก่อนการผสมด้วยปริมาณที่เหมาะสม สามารถเพิ่มความสามารถในการทำงาน ความแข็งแรงของเนื้อดินปั้น และปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของเนื้อดินได้ โดย Waitayaongsagol. (2014) ได้เรียบเรียงจาก Reed, James S. (1988) ที่กล่าวว่า การลดขนาดของวัตถุดิบเป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา เนื่องจากการลดขนาดอนุภาคจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว และทำให้รูปร่างอนุภาคเปลี่ยนไป ซึ่งจะส่งผลต่อการอัดตัว การผสมและการเกิดปฏิกิริยาทางกายภาพและเคมีของอนุภาคนั้น นอกจากนั้น การลดขนาดอนุภาคยังสามารถปรับปรุงสมบัติของอนุภาคได้อีกหลายประการ เช่น กำจัดสิ่งเจือปน ลดปริมาณรูพรุนและตำหนิต่าง ๆ ในเนื้อสาร ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จอีกด้วย

จากการพัฒนาเนื้อดินผสมสำเร็จรูปจากดินตะกอนน้ำประปา สำหรับงานเครื่องปั้นดินเผา พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนผสมที่ B12 ประกอบด้วยดินตะกอนน้ำประปา ร้อยละ 40 ดินดำร้อยละ 40 และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ขนาด 100 เมช ร้อยละ 20 และ C12 ดินตะกอนน้ำประปาร้อยละ 40 ดินดำร้อยละ 40 และดินตะกอนน้ำประปาแคลไซน์ขนาด 200 เมช ร้อยละ 20 โดยเนื้อดินทั้ง 2 ส่วนผสมสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้โดยเคลือบผิวด้วยเคลือบชนิดเฟสด์สปาร์ได้ดี โดยไม่มีตำหนิ ที่อุณหภูมิ 1,200 - 1,230 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับ Chonchartpinyoh (2006) ได้กล่าวว่า เนื้อดินสโตนแวร์ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ที่ดีที่สุดสูตรหนึ่งมีส่วนประกอบหลัก คือ ดินดิบลำปาง ร้อยละ 40 ดินขาวเหนียวลำปางร้อยละ 40 และหินลำปางร้อยละ 20 ทำการบดผสมวัตถุดิบทั้งหมดด้วยหม้อบดจนมีอนุภาคที่เล็กกว่า 8 ไมครอน มากกว่าร้อยละ 70 แล้วนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีต่าง ๆ ทั้งขึ้นแป้นหมุน จิกเกอร์ และเครื่องโรลเลอร์เฮด และการหล่อแบบ ปรากฏว่าประสบความสำเร็จด้วยดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักวิชาการประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์และปฏิบัติการทดสอบตัวอย่างจนกระทั่งสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

Chonchartpinyoh, S. (2006). Teaching "**Introduction to Ceramic**". Bangkok. Phranakhon Rajabhat University. (in Thai)

Chonchartpinyoh, S., Jantrasa, R. & Patanapanitipong, P. (2010). **Processing of Sludge from Water Treatment for Application in Pottery Industry. Brick and Tile Product.** Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage. (in Thai)

Ganokganya, A., A. & Suwanittaya, P. (2015). **The Use of Water Treatment Sludge in Ceramic Glaze.** National Conference on Civil Engineering, 20th July 8-10, Chonburi. (in Thai)

Hamer, F. & J. (2004). **The Pottery's Dictionary of Materials and techniques.** 5th Edn. English: A&C Black Publishers Ltd. (in Thai)

Ingsiriwat, P. (1998). **Ceramic Bodies.** Bangkok. O.S printing House. (in Thai)

Metropolitan Waterworks Authority. (2018). **Water Supply and Distribution System, Provincial Waterworks Authority.** (Online). Retrieved May 9, 2018 from https://www.mwa.co.th/ewt_news.php?nid=712. (in Thai)

Numnuan, K. (1997). **The Use Sludge from Water system replace Plastic clay for produce bricks.** Bachelor of Engineering. Civil Engineering. Mahanakorn University of Technology. (in Thai)

Pattanakudee, S. (2017). **Academic and Information Division.** Bangkhen Water Treatment Plant. (Interview). (in Thai)

Preuksawan, K. (2003). **The Use of Water treatment Sludge.** (Online). Retrieved April 2 from https://www.mwa.co.th/art_takom.html. (in Thai)

Sangsuk, S. (2010). **Nano Clay.** Metal and Materials Research Institute Chulalongkorn University. Bangkok. (in Thai)

Sarasit, P. (2000). Teaching **"Testing of physical properties in ceramics"**. Faculty of Industrial Technology Nakhon Si Thammarat Rajabhat Institute. (in Thai)

Sawangpon, A. (2000). **Raw materials used in ceramics.** Bangkok. Odein Store. (in Thai)

Sommana, R. & G. (2014). **Binder from Calcium carbide and Sludge.** Conference The 10th annual Concrete (Oct 20-22, 2014). (in Thai)

Tiamsam, S. (2012). **Strength Development of Ceramic Meat with Ceramic Fiber.** Journal of Naresuan University. Science and Technology, Vol. 5 No. 1. (in Thai)

Vichitamorphan, D., S., P. & Reuangsemret, W. (2004). **Application of sludge from tap water.** Bangkok. Metallurgical Technology Group. Department of Primary Industries and Mines. (in Thai)

Waitayaongsagol, S. (2014). **Reduction of particle size of ceramic raw materials.** (Online). Retrieved August 27, 2014 from http://www.material.chula.ac.th/RADIO47/June/radio6-2.htm (in Thai)

.....

บทความวิจัย

การประยุกต์ใช้เทคนิคพื้นผิวขยายสัญญาณรามานด้วยคอลลอยด์ของอนุภาคนาโนเงินสำหรับจำแนกหมึกปากกาในงานตรวจพิสูจน์เอกสารทางนิติวิทยาศาสตร์

APPLICATION OF SURFACE-ENHANCED RAMAN SCATTERING BASED ON COLLOIDAL SILVER NANOPARTICLES FOR PEN INKS CLASSIFICATION IN FORENSIC DOCUMENT EXAMINATION

อภิญญา เกตุก้อง[1, 2] เขมฤทัย ถามะพัฒน์[1, 2*] ศิริพร จันทขันธ์[3] และ นพดล นันทวงศ์[4]

[1]ห้องปฏิบัติการสังเคราะห์และการใช้ประโยชน์จากเคมีสีเขียว ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด กรุงเทพฯ 10140

[2]กลุ่มวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์และวิศวกรรมศาสตร์เพื่อคำตอบของสังคม คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด กรุงเทพฯ 10140

[3]กลุ่มงานตรวจเอกสาร กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ
สำนักงานตำรวจแห่งชาติ วังใหม่ กรุงเทพฯ 10330

[4]กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีฟิล์มบางเชิงแสง ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ปทุมธานี 12120

Apinya Ketkong[1, 2] Kheamrutai Thamaphat[1, 2*] Siriphon Chandhakant[3]
and Noppadon Nuntawong[4]

[1]Green Synthesis and Application Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Bangkok 10140

[2]Applied Science and Engineering for Social Solution, Faculty of Science,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Bangkok 10140

[3]Questioned Document Subdivision, Central Police Forensic Science Division, Office of Police Forensic Science,
Royal Thai Police, Wangmai, Bangkok 10330

[4]Optical Thin-Film Technology Research Laboratory, National Electronics and Computer Technology,
Patumthani 12120

[*]E-mail: s903607@yahoo.com

Received: 2018-07-20
Revised: 2018-08-23
Accepted: 2018-09-24

บทคัดย่อ

เอกสารที่ถูกปลอมแปลงจากแหล่งต้องสงสัย เป็นหลักฐานชิ้นสำคัญที่มีความเกี่ยวข้องกับหลายคดี จากรายงานสถิติคดีศาลยุติธรรมทั่วราชอาณาจักร ประจำปี 2558 พบว่าความผิดเกี่ยวกับการปลอมแปลงเอกสารมีมากที่สุดถึง 95% ของความผิดเกี่ยวกับการปลอมแปลงทั้งหมด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกปี โดยการแก้ไขเปลี่ยนแปลงเอกสารด้วยหมึกปากกาจะถูกพบได้มากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการตรวจพิสูจน์หมึกปากกาลูกลื่นโดยใช้เทคนิคพื้นผิวขยายสัญญาณรามาน (surface-enhanced Raman scattering หรือ SERS) ด้วยอนุภาคนาโนโลหะ โดยทำการสังเคราะห์คอลลอยด์ของอนุภาคนาโนเงิน (AgNPs) ด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและหาเงื่อนไขในการสังเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานตรวจพิสูจน์เอกสาร พบว่าคอลลอยด์ของ AgNPs ที่สังเคราะห์ขึ้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 37 ± 1 nm สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจำแนกและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหมึกปากกาลูกลื่นโดยใช้เทคนิค SERS ด้วยเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 532 nm ได้ดีที่สุด เทคนิคที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เหมาะสำหรับการตรวจพิสูจน์หมึกปากกาที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายได้ ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถใช้งานได้สะดวก รวดเร็ว และไม่จำเป็นต้องทำลายเอกสารเพื่อสกัดหมึกออกมาตรวจสอบ

คำสำคัญ: การตรวจพิสูจน์หมึกปากกา อนุภาคนาโนเงิน พื้นผิวขยายสัญญาณรามาน นิติวิทยาศาสตร์ รามานสเปกโทรสโกปี

ABSTRACT

Questioned documents are documents from suspicious source or authenticity, that may involve not only in forgery cases but also in homicides, burglaries, robberies and other crimes. In 2015, the Court of Justice in Thailand reported that 95% of counterfeited offences were document cases, especially written document, that trend to increase in number of cases every year. Therefore, an alternative scientific method to characterize ballpoint pen ink on written document employing colloidal surface-enhanced Raman scattering (SERS) effect was developed in this work. The colloidal silver nanoparticles (AgNPs) were synthesized using green method and effects of several parameters on colloidal formation and SERS effectiveness were investigated. The results showed that the AgNPs with an average diameter of 37 ± 1 nm can be used as SERS material for in situ analysis of ballpoint pen inks on document. The strongest Raman fingerprints of pen inks were achieved by characterization using

Raman spectrometer with a laser wavelength of 532 nm. The results showed that reported AgNPs colloid could be a powerful SERS nano-amplifier for water-gel based inks analysis. Furthermore, it is a convenient, rapid, and non-destructive method for forensic analysis of written pens on questioned document.

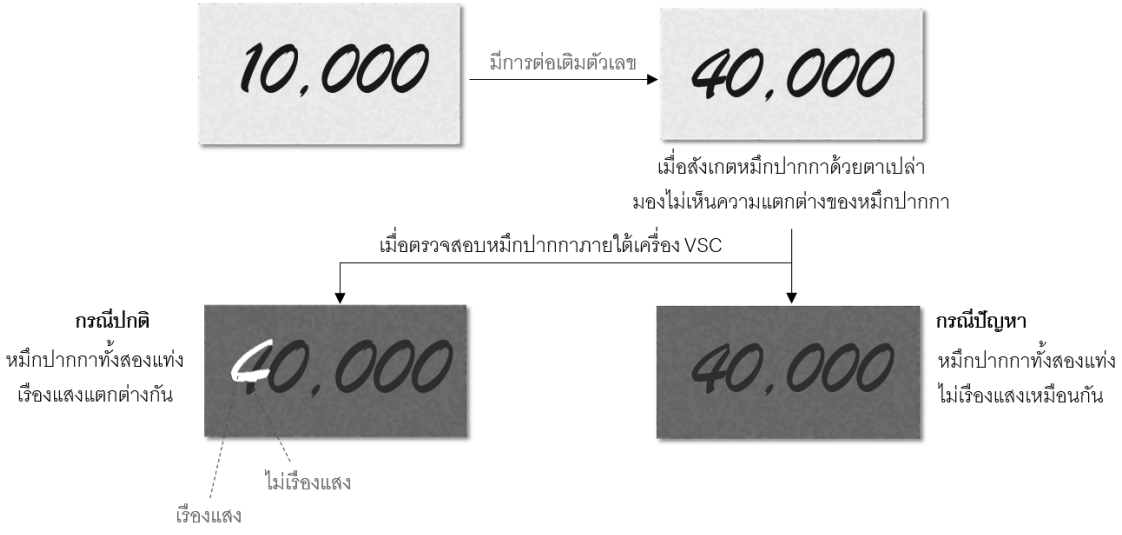
Keywords: Inks analysis, Silver nanoparticles, Surface-Enhance Raman Scattering, Forensic science, Raman spectroscopy

บทนำ

เอกสารที่ถูกปลอมแปลงจากแหล่งต้องสงสัยเป็นหลักฐานชิ้นสำคัญที่มีความเกี่ยวข้องกับหลายคดีความ เช่น คดีปลอมแปลงเอกสารสิทธิ เอกสารราชการ เอกสารแสดงถึงฐานะบุคคล เงินตรา และดวงตราแผ่นดิน จากรายงานสถิติล่าสุดเกี่ยวกับคดีศาลยุติธรรมทั่วราชอาณาจักร ประจำปี พ.ศ. 2558 โดยกลุ่มระบบข้อมูลและสถิติ สำนักแผนงานและงบประมาณ สำนักงานศาลยุติธรรม พบว่าคดีอาญาที่เกี่ยวข้องกับความผิดเกี่ยวกับการปลอมแปลงแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ 1) การปลอมแปลงเงินตรา 2) การปลอมแปลงดวงตรา แสตมป์ และตั๋ว และ 3) การปลอมแปลงเอกสาร ซึ่งความผิดเกี่ยวกับการปลอมแปลงเอกสารมีมากที่สุดถึง 95% ของความผิดเกี่ยวกับการปลอมแปลงในคดีอาญาทั้งหมด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเอกสารสำคัญที่มักถูกปลอมแปลงขึ้นและเป็นคดี ได้แก่ เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเงินของธนาคาร โฉนดที่ดิน หนังสือเดินทาง หนังสือพินัยกรรม และใบสูติบัตร เป็นต้น (Office of Planning and Budget, Courts of Justice, 2015) ทั้งนี้การตรวจพิสูจน์การปลอมแปลงเอกสารของกลุ่มงานตรวจเอกสาร กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ และสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ กระทรวงยุติธรรม แบ่งออกได้เป็น 10 ประเภท ได้แก่ 1) การตรวจลายมือเขียนข้อความและลายมือชื่อ 2) การตรวจร่องรอยการแก้ไข ขูดลบ และลบล้างข้อความเดิม 3) การตรวจข้อความเดิมที่มีการป้ายทับด้วยหมึกหรือน้ำยาลบคำผิด 4) การตรวจหาการต่อเติมและเขียนแทรก 5) การตรวจร่องรอยอื่น ๆ บนเอกสาร เช่น รอยกดบนกระดาษรองเขียน รอยฉีกขาด และรอยการถูกไฟไหม้ 6) การตรวจลำดับการเขียนข้อความก่อน-หลัง 7) การตรวจลักษณะตัวอักษรพิมพ์ดีดบนเอกสารและเครื่องพิมพ์จำนวนเงินบนเช็ค 8) การตรวจลักษณะเอกสารที่ผลิตขึ้นจากกระบวนการพิมพ์ต่าง ๆ 9) การตรวจรอยตราประทับบนเอกสาร และ 10) การตรวจโดยการเปรียบเทียบชนิดของหมึกและชนิดของเอกสาร (Chamsuwanwong, 2009) ซึ่งการตรวจเปรียบเทียบชนิดของหมึกและชนิดของเอกสารเป็นกรณีที่ถูกพบมากที่สุด โดยเกี่ยวข้องกับการแก้ไขเปลี่ยนแปลงเอกสารด้วยหมึกและชนิดของเอกสาร เช่น การปลอมแปลงแคชเชียร์เช็คและการปลอมแปลงพาสปอร์ต ซึ่งจำเป็น

ต้องทำการตรวจพิสูจน์การปลอมแปลงเอกสารจากชนิดของหมึกพิมพ์ หมึกปากกา หรือชนิดของเอกสาร

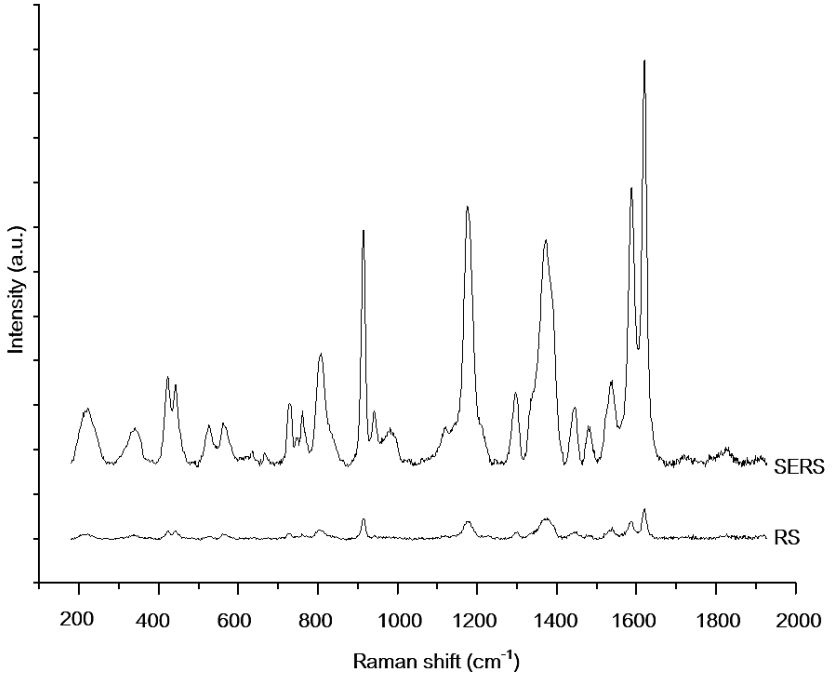
หมึกปากกาเป็นของเหลวที่มีองค์ประกอบหลักอยู่ 4 ส่วน ได้แก่ 1) สารตัวนำ (vehicle) หรือตัวทำละลาย (solvent) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีอยู่ในหมึกปากกาประมาณ 50% ของส่วนประกอบทั้งหมด 2) สารสี (colorant) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ผงสี (pigment) ที่เป็นทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ และสีย้อม (dye) ที่มีเพียงสารประกอบอินทรีย์เท่านั้น โดยในหมึกปากกาจะประกอบด้วยสารสีประมาณ 25% ของส่วนประกอบทั้งหมด 3) เรซิ่น (resin) ใช้เติมเข้าในน้ำหมึกเพื่อปรับความหนืดของน้ำหมึก โดยในหมึกปากกาจะมีเรซิ่นอยู่ประมาณ 20% ของส่วนประกอบทั้งหมด และ 4) สารเติมแต่ง (additive) ที่เติมลงในน้ำหมึกเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำหมึกให้เหมาะกับการใช้งานแต่ละประเภท บางครั้งเติมเพื่อแก้ไขคุณสมบัติที่บกพร่องของเรซิ่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เช่น สารเร่งแห้ง หรือสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของสารสี โดยในหมึกปากกาจะประกอบด้วยสารเติมแต่งประมาณ 5% ของส่วนประกอบทั้งหมด (Phorassamee, 2012) ซึ่งหมึกปากกาแต่ละประเภทและหมึกปากกาที่มีเครื่องหมายการค้าแตกต่างกันก็จะมีองค์ประกอบในน้ำหมึกที่แตกต่างกันไป ดังนั้นในปัจจุบันหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานตรวจพิสูจน์เอกสารจึงนิยมใช้การตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบชนิดของหมึกด้วยเครื่องตรวจเอกสาร (video spectral comparator หรือ VSC) ที่อาศัยหลักการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงฟลูออเรสเซนต์ที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในหมึกปากกาแต่ละชนิด อย่างไรก็ตามเครื่อง VSC ทำได้เพียงแค่แสดงให้เห็นความแตกต่างในการตอบสนองต่อแสงระหว่างหมึกปากกาที่ถูกนำมาเปรียบเทียบกันเท่านั้น ไม่สามารถให้ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของหมึกปากกาได้ นอกจากนั้นหากมีหมึกปากกาต่างชนิดกันแต่ไม่เรืองแสงเหมือนกันก็ไม่สามารถตรวจเปรียบเทียบชนิดของหมึกปากกาได้ (รูปที่ 1) ทำให้ความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์พยานเอกสารไม่เพียงพอต่อการตัดสินคดี จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้เทคนิคอื่นเข้ามาช่วยในการตรวจพิสูจน์เพื่อให้ทราบแหล่งที่มาของเอกสารต้องสงสัย (questioned document)



รูปที่ 1 ตัวอย่างการปลอมแปลงเอกสารโดยการต่อเติมตัวเลขด้วยหมึกปากกา และปัญหาที่พบ

จากการศึกษาพบว่า มีหลายงานวิจัยได้นำเทคนิคต่าง ๆ เช่น โครมาโตกราฟีแบบผิวบาง (thin-layer chromatography) ไมโครอินฟาเรดสเปกโทรสโกปี (micro-Fourier transform infrared spectroscopy) เอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนต์ สเปกโทรสโกปี (X-ray fluorescence spectroscopy) และ โครมาโทกราฟีเหลวสมรรถนะสูงแบบคู่ไอออน (ion-pairing high performance liquid chromatography) มาประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์หมึกปากกา (Djozan et al., 2008; Wang et al., 2008; Zięba-Palus and Kunicki, 2006) ซึ่งการใช้เทคนิคเหล่านี้จำเป็นต้องมีการสกัดหมึกปากกาออกมาจากเอกสารเพื่อตรวจพิสูจน์ ถือเป็นการทำลายสภาพเอกสาร จึงมีการนำเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี (Raman spectroscopy หรือ RS) ที่สามารถใช้ตรวจพิสูจน์หมึกปากกาบนเอกสารได้โดยตรงและให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของหมึกปากกามาประยุกต์ใช้ โดย RS จะอาศัยหลักการการกระเจิงแสงจากหมู่ฟังก์ชันของพันธะทางเคมีขององค์ประกอบหมึกปากกา กล่าวคือ เมื่อแสงเอกรงค์ (monochromatic light) เคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลในสารตัวอย่าง พลังงานของแสงประมาณ 10^{-9} ส่วนจะทำให้โฟตอนเกิดการชนกับโมเลกุลแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic collision) ส่งผลให้โมเลกุลได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากับระดับพลังงานของการสั่นหรือการหมุน และเกิดการกระเจิงแสงที่มีความถี่ต่าง ๆ เรียกว่า การกระเจิงแบบรามาน (Raman scattering) ซึ่งความถี่ของแสงที่กระเจิงออกมาจะเปลี่ยนแปลงไปจากความถี่ของแสงที่ใช้ในการกระตุ้น (frequency shift หรือ Raman shift) โดยแต่ละโมเลกุลจะดูดกลืนพลังงานเพื่อใช้ในการสั่นหรือบิดงอของพันธะเคมีแตกต่างกันเป็นไปตามลักษณะเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด ส่งผลให้ได้ค่า Raman

shift ที่แตกต่างกัน นำไปสู่การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสารตัวอย่างได้ (Amornsit et al., 2009; Braz et al., 2013) อย่างไรก็ตามการใช้เทคนิค RS สำหรับตรวจพิสูจน์หมึกปากกายังมีข้อเสียอยู่ คือ มีความไวต่ำเนื่องจากโดยธรรมชาติจะพบการกระเจิงแบบรามานน้อย สัญญาณฟลูออเรสเซนต์จากหมึกปากกาหรือกระดาษรบกวนสัญญาณรามานขององค์ประกอบทางเคมีของหมึกปากกาที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ และประเด็นสำคัญ คือ องค์ประกอบของหมึกปากกาที่พบบนเอกสารมีอยู่ในปริมาณน้อย (trace compound) จึงอาจทำให้ไม่สามารถตรวจพบสัญญาณรามานหรือหากตรวจพบได้ก็อาจมีสัญญาณที่ต่ำมาก (Braz et al., 2013; Raza and Saha, 2013) ดังนั้นการตรวจวัดโดยใช้เทคนิคพื้นผิวขยายสัญญาณรามาน (surface-enhanced Raman scattering หรือ SERS) ด้วยการนำพื้นผิวของอนุภาคนาโนโลหะเข้ามาช่วยในการขยายสัญญาณรามานจึงได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้น (Du et al., 2016; Nuntawong, 2016) ซึ่งเทคนิคนี้เป็นการเพิ่มภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบรามานโดยอาศัยการขยายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นผลจากอิเล็กตรอนที่พื้นผิวของอนุภาคนาโนของโลหะ (localized surface plasmon) ในบริเวณใกล้เคียงกับโมเลกุลของสารตัวอย่าง ทำให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ไปทำอันตรกิริยากับพันธะเคมีของสารตัวอย่างมีปริมาณสูงขึ้น ส่งผลให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าที่กระเจิงออกจากโมเลกุลให้มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย (Smith and Dent, 2005) จึงสามารถสังเกตเห็นสัญญาณรามานได้อย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างสัญญาณรามานของปากกา BIC รุ่น BU3 + X-Fine พบว่าความเข้มของสัญญาณรามานสูงขึ้นเมื่อใช้เทคนิค SERS

จากการศึกษาพบว่ารูปแบบของ SERS ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในงานตรวจพิสูจน์หมึกปากกาบนเอกสารมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ รูปแบบแผ่นรองรับสำหรับขยายสัญญาณรามาน (SERS-substrate) และรูปแบบของคอลลอยด์สำหรับขยายสัญญาณรามาน (colloidal SERS) ซึ่ง SERS-substrate จะมีวัสดุนาโนโลหะที่ใช้กระบวนการเคลือบแบบตกตะกอนของไอสารด้วยวิธีการทางฟิสิกส์ (physical vapor deposition หรือ PVD) บนแผ่นรองรับ (Wang et al., 2008) แม้ว่า SERS - substrate จะสามารถขยายสัญญาณรามานได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ มีความยุ่งยากในการสร้าง มีราคาแพง และเมื่อนำไปใช้งานในการตรวจพิสูจน์หมึกปากกาบนเอกสารจำเป็นต้องมีการตัดบางส่วนของหมึกปากกาออกมาจากเอกสารเพื่อสกัดหมึก แล้วจึงนำไปหยดลงบน SERS-substrate และทิ้งไว้ให้แห้งก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค RS จึงถือเป็นการทำลายสภาพวัตถุพยานเอกสาร ในขณะที่ colloidal SERS เตรียมขึ้นโดยใช้กระบวนการที่ง่ายกว่าและมีราคาถูกกว่า SERS-substrate แต่ก็ยังคงต้องใช้วิธีการสกัดหมึกปากกาออกมาจากเอกสาร (Geiman et al., 2009) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาอนุภาคนาโนโลหะในรูปของคอลลอยด์สำหรับขยายสัญญาณรามาน (colloidal SERS) เพื่อใช้ในงานตรวจพิสูจน์หมึกปากกาบนเอกสาร โดยที่ colloidal SERS นี้สามารถนำไปหยดลงบนหมึกปากกาบนวัตถุพยานประเภทเอกสารได้โดยตรงโดยไม่ทำละลายหมึก (ตัวอักษรที่อ่านได้ยังคงลักษณะเดิม) และไม่จำเป็นต้องทำลายสภาพเอกสารเพื่อสกัดหมึกออกมาตรวจวัด นอกจากนั้นยังสามารถขยายสัญญาณรามานได้มากกว่า 10 เท่าของสัญญาณรบกวน (Lázaro et al., 2008) โดยนำอนุภาคนาโนเงิน (silver nanoparticles หรือ AgNPs) มาช่วยในการขยายสัญญาณรามาน เนื่องจาก AgNPs จะดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเลต (100 - 400 nm) ในขณะที่ทองและทองแดงจะดูดกลืนแสงในช่วงที่ตามองเห็น (400 - 700 nm) ทำให้เมื่อแสงเลเซอร์มาทำอันตรกิริยากับ AgNPs จะเกิดการกระเจิงแสงที่มีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูง ส่งผลให้ค่ากำลังในการขยายสัญญาณรามาน (enhancement factor หรือ EF) มีค่ามากกว่าการใช้อนุภาคนาโนโลหะอีกสองชนิด (Du et al., 2016; Otto et al., 1992; Pfeiffer et al., 2014) โดยผู้วิจัยจะสังเคราะห์คอลลอยด์ของอนุภาคนาโนเงินขึ้นโดยใช้วิธีเคมีสีเขียว (green chemistry) ซึ่งยึดหลักของ Paul Anastas และ John C. Warner คือ ออกแบบกระบวนการสังเคราะห์ให้ได้ผลิตผลมากที่สุด เลือกใช้กระบวนการที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ออกแบบและเลือกใช้กระบวนการที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และไม่สร้างของเสีย (Li and Trost, 2008)

วิธีการ

การทดลองในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ 1) การสังเคราะห์ด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (green synthesis) และการวิเคราะห์สมบัติทางแสงและสมบัติทางกายภาพของคอลลอยด์ของ AgNPs สำหรับใช้เป็น colloidal SERS และ 2) การตรวจเปรียบเทียบ

หมึกปากกาโดยอาศัย colloidal SERS ที่พัฒนาขึ้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การสังเคราะห์ colloidal SERS ด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

สารละลายที่ใช้ในการสังเคราะห์ colloidal SERS ประกอบด้วย สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (silver nitrate หรือ $AgNO_3$) สำหรับใช้เป็นสารตั้งต้น สารจากธรรมชาติสำหรับใช้เป็นตัวรีดิวซ์ (natural reducing agent) และสารละลายสำหรับควบคุมขนาด จำนวน และการเกาะกลุ่มกันของ AgNPs (additive solution) ส่งผลให้ colloidal SERS มีคุณสมบัติที่เหมาะสำหรับการนำไปใช้ตรวจพิสูจน์หมึกปากกาด้วยเทคนิค SERS ซึ่งขั้นตอนการสังเคราะห์ colloidal SERS เริ่มจากผสมสารละลาย $AgNO_3$ กับ natural reducing agent ในอัตราส่วน 1:2 โดยใช้เครื่องกวนสารละลาย (magnetic stirrer) จากนั้นจึงเติม additive solution ลงไป แล้วนำสารผสมมาเร่งปฏิกิริยาในเครื่องไมโครเวฟ 800 W เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งจะได้คอลลอยด์ของ AgNPs ที่ทำหน้าที่เป็น colloidal SERS โดยในการทดลองจะวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสง ขนาดและรูปร่าง โครงสร้างผลึก และเกาะกลุ่มของอนุภาคเดี่ยวของ AgNPs ด้วยเครื่องยูวี - วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Avantes, Avaspec-EDU) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (JEOL, JEM-2100) เครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (Rigaku, TTRAX III) และเครื่องวัดค่าศักย์ซีตา (Zeta potential) หรือเรียกว่าเครื่อง Zetasizer nano (Malvern, ZS) ตามลำดับ

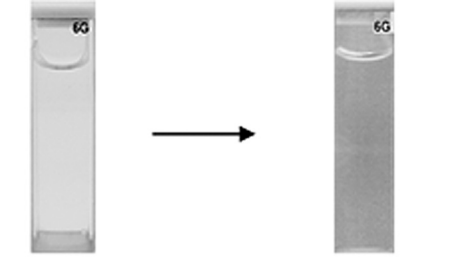
2. การตรวจเปรียบเทียบหมึกปากกาโดยอาศัยเทคนิค SERS

จากข้อมูลทางสถิติพบว่ามีการปลอมแปลงเอกสารด้วยปากกาลูกลื่น (ballpoint pen) สีน้ำเงินมากที่สุดถึง 80% ของพยานหลักฐานทั้งหมด (Andrasko, 2001) และจากปัญหาของการใช้เครื่อง VSC ตรวจเปรียบเทียบหมึกปากกาที่อาศัยการตอบสนองของน้ำหมึกต่อแสง ดังนั้นในการทดลองตรวจวัดสัญญาณรามานของหมึกปากกาโดยใช้ colloidal SERS ที่พัฒนาขึ้น จึงเลือกตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างหมึกปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินที่ไม่เรืองแสงเท่านั้น โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินประเภทที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (water-gel based ink) ทั้งหมดที่วางจำหน่ายในร้านเครื่องเขียนชั้นนำ จำนวน 24 ด้าม แล้วใช้ปากกาแต่ละด้ามลากเส้นตรงยาว 1 cm บนกระดาษถ่ายเอกสาร 80 แกรม ขนาด A4 (Quality) โดยใช้อุปกรณ์เขียนแบบทางวิศวกรรมช่วยในการควบคุมน้ำหนักการขีดเส้นหมึกลงบนกระดาษ หลังจากนั้นจึงนำ colloidal SERS ที่พัฒนาขึ้นมาทดสอบการขยายสัญญาณรามานของหมึกปากกาบนเอกสารจำลอง โดยหยด colloidal SERS ปริมาตร 2 ปริมาตร 2 µl ลงบนเส้นขีดของหมึกปากกาแต่ละเส้น แล้วนำไปตรวจวัดสัญญาณรามานของหมึกปากกาด้วยเครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ (Renishaw, inVia) โดยใช้เลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 532 nm ที่กำลังขยาย 5x เป็นเวลา 10 s และมีจำนวนรอบในการวัดเฉลี่ยจำนวน 1 ครั้ง เปรียบเทียบกับการตรวจวัดสัญญาณรามานของหมึกปากกาเมื่อไม่ได้หยด colloidal SERS หลังจากนั้นจึงนำรามานสเปกตรัมที่ได้ไปวิเคราะห์ค่ากำลังในการขยายสัญญาณรามาน องค์ประกอบทางเคมีของหมึกปากกา และจำแนกหมึกปากกา

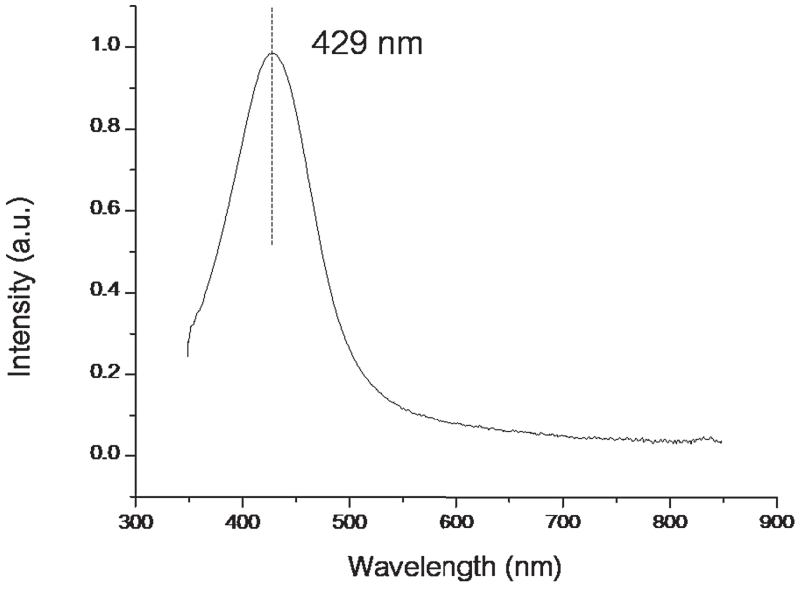
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการสังเคราะห์ colloidal SERS ด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ในการสังเคราะห์คอลลอยด์ของ AgNPs สำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็น colloidal SERS ในงานตรวจพิสูจน์เอกสาร ด้วยวิธีการสังเคราะห์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการทดลองพบว่าคอลลอยด์ของ AgNPs ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองใส ดังแสดงในรูปที่ 3 มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น (λ_{max}) ประมาณ 429 nm ดังแสดงในรูปที่ 4 เนื่องจากปรากฏการณ์เซอร์เฟซ พลาสมอนเรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance หรือ SPR) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เชิงแสงที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของอนุภาคนาโนของโลหะมีตระกูล (noble metal) เช่น เงินทองคำ และทองแดง เกิดจากอันตรกิริยาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอิเล็กตรอนที่พื้นผิวของอนุภาคในระดับนาโนเมตรที่มีขนาดน้อยกว่าความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกตกกระทบอนุภาคนาโนของโลหะ อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบการนำไฟฟ้าจะเกิดการสั่นกลับไป - กลับมา (oscillation) ในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้า ซึ่งความถี่ในการสั่นพ้องนี้จะขึ้นกับชนิดของโลหะ ขนาด รูปทรง สมบัติไดอิเล็กทริกของสารที่อนุภาคนั้นแขวนลอยอยู่ และระยะห่างระหว่างอนุภาค (Phetsahai et al., 2016)

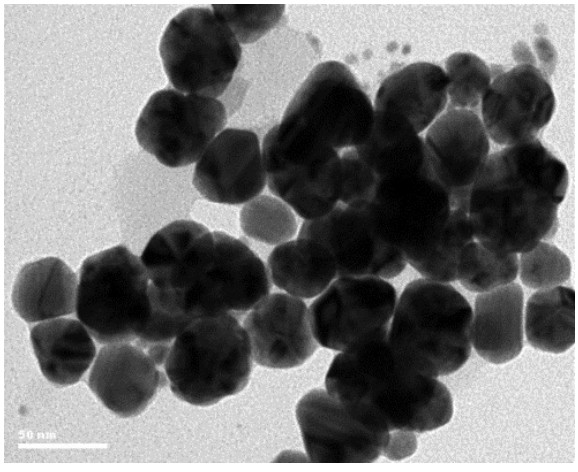


รูปที่ 3 ภาพถ่ายสีของสารละลายก่อนและหลังการเร่งปฏิกิริยาด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ 800 W เป็นเวลา 3 นาที โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีเหลืองอ่อน

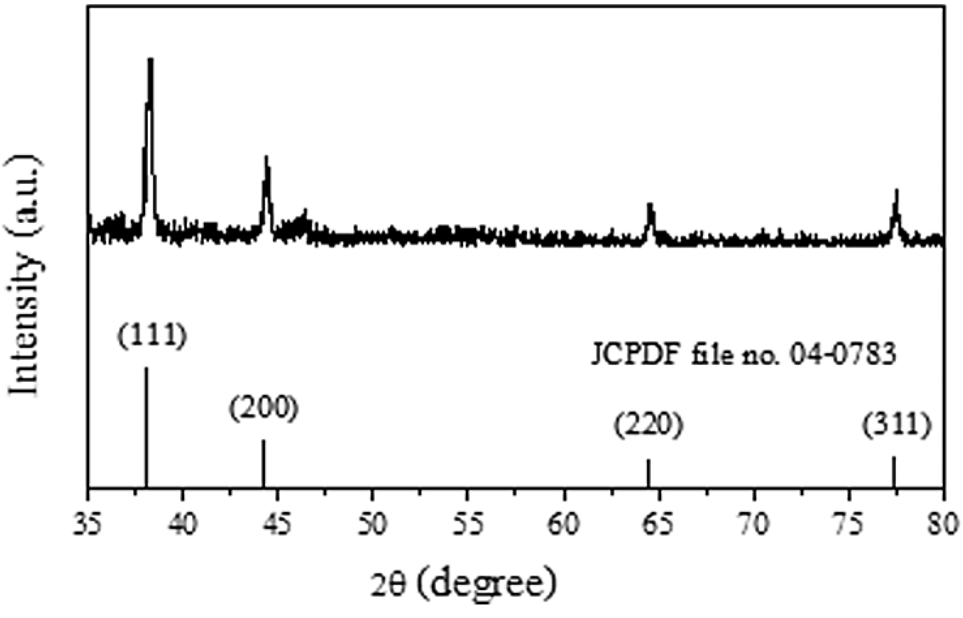


รูปที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ AgNPs ที่สังเคราะห์ขึ้น พบพลาสมอนพีค (plasmon peak) ที่ตำแหน่ง 429 nm

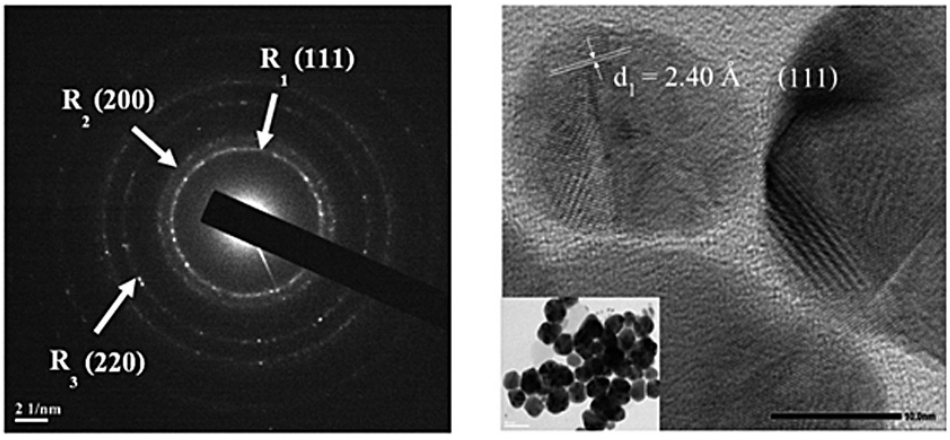
จากปรากฏการณ์ SPR ที่เกิดขึ้นดังกล่าวข้างต้น ชี้ให้เห็นว่ามี AgNPs เกิดขึ้นในสารละลาย และเมื่อนำคอลลอยด์ของ AgNPs ไปวิเคราะห์ขนาดและรูปร่าง จะได้ภาพถ่ายของ AgNPs ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM image) ดังแสดงในรูปที่ 5 จากรูปพบว่า AgNPs มีรูปร่างเป็นทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเฉลี่ย 36.7 ± 1.2 nm และเมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของคอลลอยด์ของ AgNPs ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD pattern) ดังแสดงในรูปที่ 6 ตรงกับฐานข้อมูลของ JCPDS หมายเลข 00-004-0783 ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกของโลหะเงินที่มีโครงสร้างเป็นแบบ face-center cubic หรือ FCC มีตำแหน่งการเลี้ยวเบนที่มุม 2θ เท่ากับ 38° 44° 65° และ 78° ซึ่งเกิดจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เนื่องจากระนาบ (111), (200), (220) และ (311) ตามลำดับ สอดคล้องกับภาพวงแหวนที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนและภาพถ่ายความละเอียดสูง (high resolution transmission electron microscopy image หรือ HR-TEM image) ดังแสดงในรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงระยะห่างระหว่างระนาบ (d spacing) มีค่าเท่ากับ 2.317, 2.003 และ 1.405 Å ตรงกับระนาบ (111), (200) และ (220) ของ AgNPs



รูปที่ 5 TEM image ของ AgNPs ที่สังเคราะห์ขึ้น



รูปที่ 6 XRD pattern ของ AgNPs ที่สังเคราะห์ขึ้น
ซึ่งสอดคล้องกับฐานข้อมูลของ JCPDS หมายเลข 00-004-0783



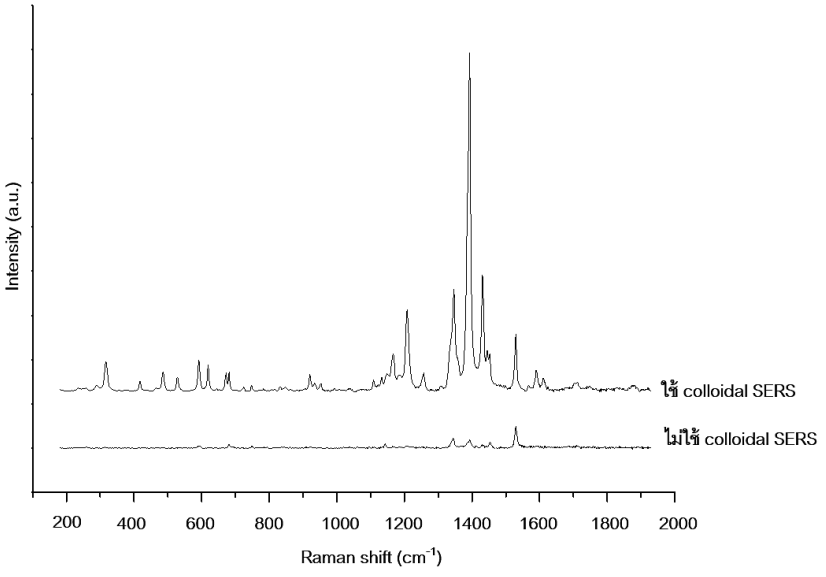
รูปที่ 7 HR-TEM image และรูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนของ AgNPs ที่สังเคราะห์ขึ้น

เมื่อทำการวัดค่าศักย์ซีต้าเพื่อดูการเกาะกลุ่มของอนุภาคเดี่ยวในหยดคอลลอยด์ พบว่ามีค่าศักย์ซีต้าเท่ากับ -24.81 mV แสดงให้เห็นว่า AgNPs มีการเกาะกลุ่มกันมาก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวเป็นบริเวณที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเกิดขึ้นอย่างหนาแน่น ซึ่งอิเล็กตรอนในบริเวณดังกล่าวจะมีระดับพลังงานในการสั่นสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ หรือเกิดการเรโซแนนซ์ (extremely active) ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า hot spots ซึ่งจะให้รามานสเปกตรัมที่มีความเข้มสูง (Moskovits, 2005; Smith and Dent, 2005) หลังจากนั้นจึงนำ AgNPs ที่สังเคราะห์ขึ้นไปศึกษาการขยายสัญญาณรามาเพื่องานตรวจพิสูจน์หมึกปากกาในตอนต่อไป

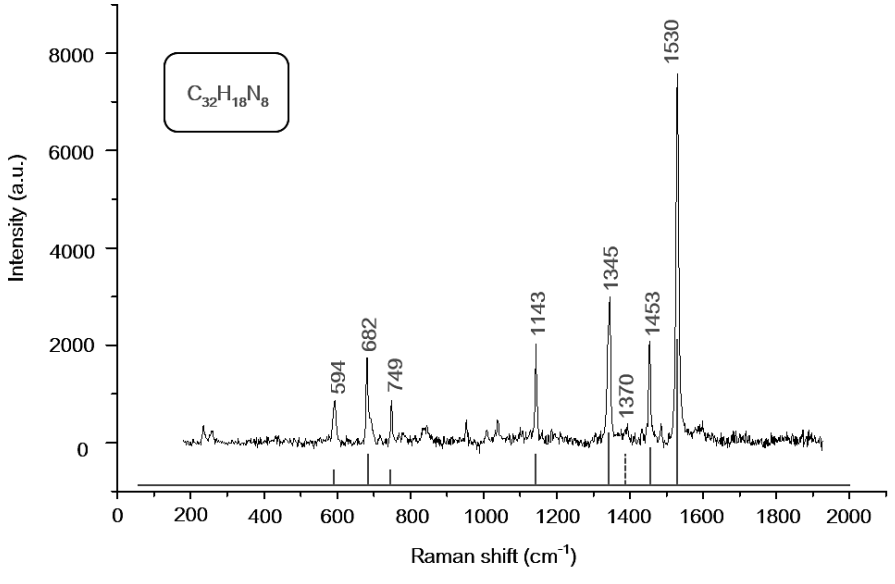
ผลการตรวจเปรียบเทียบหมึกปากกาโดยอาศัยเทคนิค SERS

การทดลองในตอนนี้ได้นำคอลลอยด์ของ AgNPs ที่สังเคราะห์ขึ้นจากตอนที่ 1 มาประยุกต์ใช้เป็น colloidal SERS เพื่อทดสอบการขยายสัญญาณรามานของหมึกปากกาลูกลื่นสีน้ำเงินประเภท water-gel based ink ที่ไม่เรืองแสงภายใต้เครื่อง VSC จำนวน 24 ด้าม โดยหยด colloidal SERS ปริมาตร 2 μl ลงบนเส้นขีดของหมึกปากกาแต่ละเส้นที่อยู่บนเอกสารจำลอง แล้วนำไปตรวจวัดสัญญาณรามานของน้ำหมึกโดยใช้เลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 532 nm ผลการทดลองพบว่าเมื่อตรวจวัดสัญญาณรามานของหมึกปากกาประเภท water - gel based ink ด้วยเทคนิค RS จะได้สัญญาณรามานที่มีความเข้มต่ำ ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นพีคในบางตำแหน่งของ Raman shift ได้อย่างชัดเจน จึงยากในการตรวจพิสูจน์หมึกปากกาเพราะผู้ตรวจพิสูจน์ต้องพิจารณาว่าสัญญาณที่พบเป็นสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณขององค์ประกอบทางเคมีของหมึกปากกา แต่เมื่อมีการใช้ colloidal SERS เข้ามาช่วยในการขยายสัญญาณรามานเหล่านี้ให้มีความเข้มสูงกว่าสัญญาณรบกวน ผลการทดลองพบว่า colloidal SERS สามารถขยายสัญญาณรามานของหมึกปากกาให้มีความเข้มสูงขึ้นมากกว่า 10 เท่าของสัญญาณรบกวน

ทำให้ผู้ตรวจพิสูจน์สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหมึกปากกา ได้ง่ายและชัดเจนมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 8

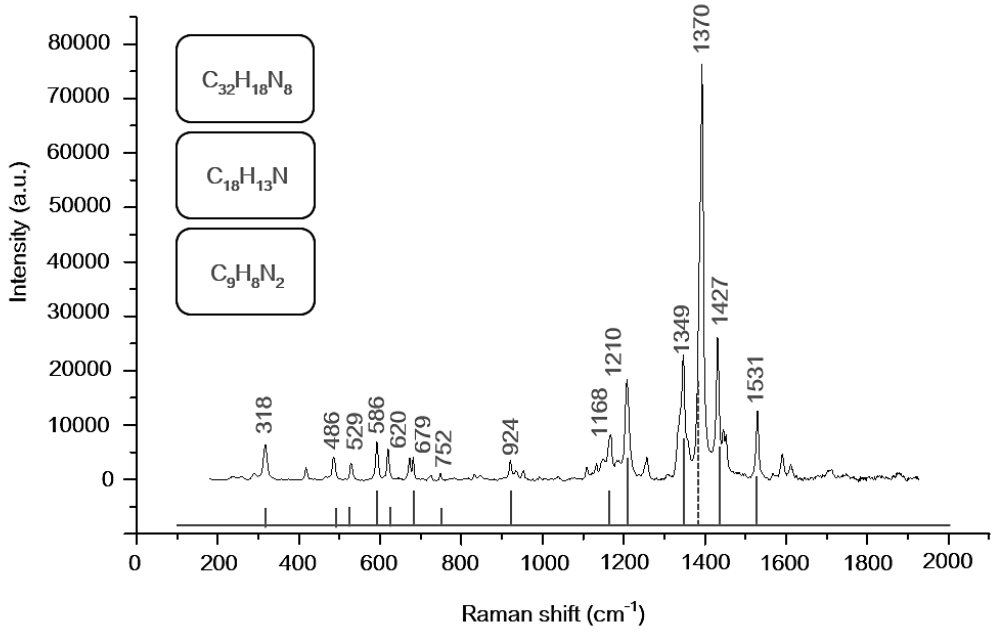


รูปที่ 8 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบรามานสเปกตรัมของหมึกปากกา Linc รุ่น Power Flow สีน้ำเงินประเภท water-gel based ink เมื่อใช้และไม่ใช้ colloidal SERS



รูปที่ 9 รามานสเปกตรัมของกลุ่มที่ 1 ที่มี Circuit Foil ($C_{32}H_{18}N_8$) ทำหน้าที่เป็นสารให้สีน้ำเงิน

ทั้งนี้จากการวิเคราะห์รามานสเปกตรัมของหมึกปากกาประเภท water - gel based ink จำนวน 24 ด้าม สามารถแบ่งแยกหมึกปากกาออกได้เป็น 4 กลุ่ม โดยน้ำหมึกแต่ละกลุ่มจะมีสารสีประเภทเดียวกันเป็นองค์ประกอบ โดยรามานสเปกตรัมของกลุ่มที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 9 จะปรากฏสัญญาณ ณ ตำแหน่ง Raman shift เท่ากับ 594, 682, 749, 1,143, 1,345, 1,370, 1,453 และ 1,530 cm^{-1} ซึ่งตรงกับรามานสเปกตรัมของ Circuit Foil (J60884/S00175) หรือ copper phthalocyanine ที่ทำหน้าที่เป็นสารให้สีน้ำเงิน นอกจากนี้ Raman shift ที่ตำแหน่ง 1,370 cm^{-1} ยังตรงกับตำแหน่งของรามานสเปกตรัมของเซลลูโลส (เส้นประ) ของกระดาษ (Amornsith, 2009)

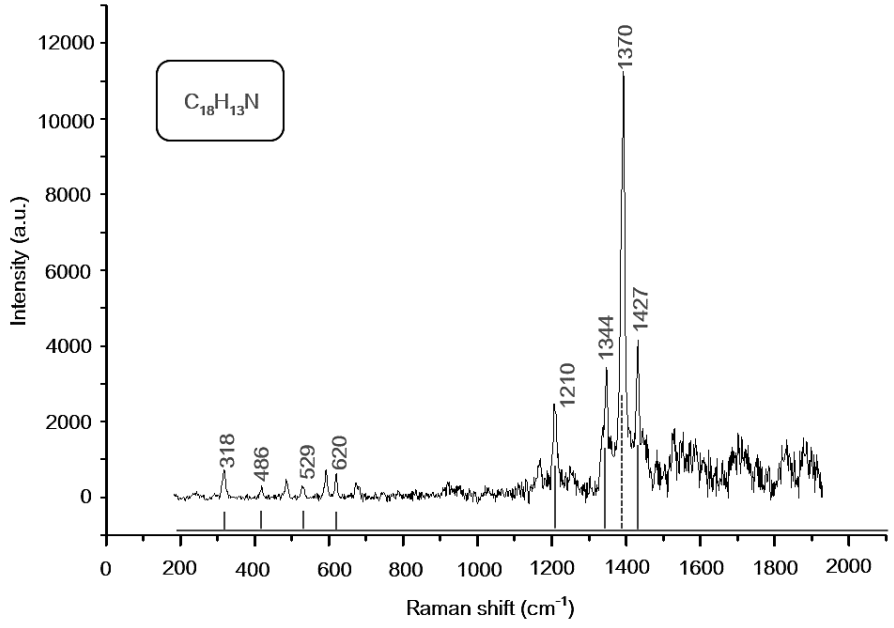


รูปที่ 10 รามานสเปกตรัมของกลุ่มที่ 2 ที่มี Circuit Foil ($C_{32}H_{18}N_8$), Chrysenamine ($C_{18}H_{13}N$) และ Quinolylamine ($C_9H_8N_2$) ทำหน้าที่เป็นสารให้สีน้ำเงิน

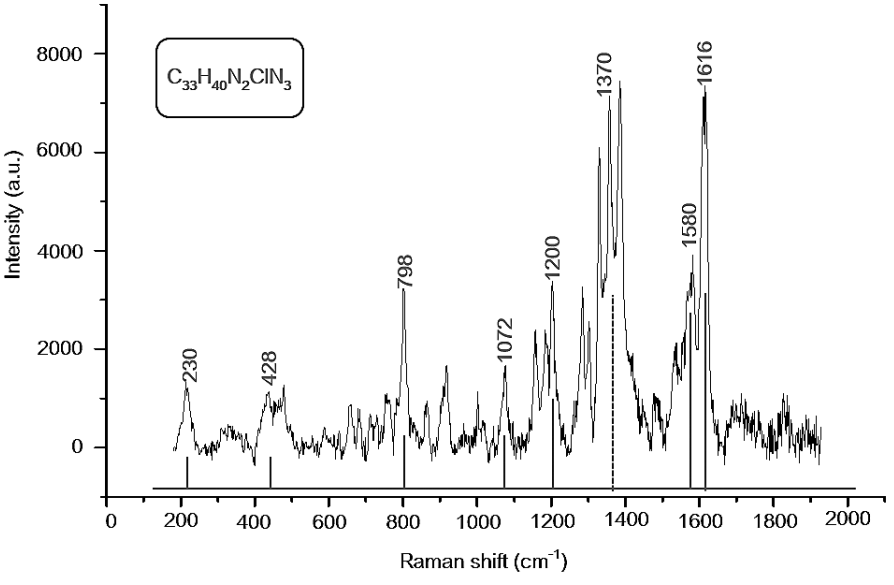
สำหรับรามานสเปกตรัมของกลุ่มที่ 2 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 10 จะปรากฏสัญญาณรามานตำแหน่งเดียวกับกลุ่มที่ 1 ซึ่งตรงกับรามานสเปกตรัมของ Circuit Foil และปรากฏรามานสเปกตรัม ณ ตำแหน่ง Raman shift เท่ากับ 318, 486, 529, 620 และ 1,210 cm^{-1} ซึ่งตรงกับรามานสเปกตรัมของ Chrysenamine (J12129/RDM7683) และ Quinolylamine (J04841/RDM81116) ที่ทำหน้าที่เป็นสารให้สีในหมึกปากกาสีน้ำเงิน

สำหรับรามานสเปกตรัมของกลุ่มที่ 3 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 11 จะปรากฏรามานสเปกตรัมของ Chrysenamine เพียงตัวเดียว และกลุ่มสุดท้าย คือ กลุ่มที่ 4 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 12 รามานสเปกตรัมของหมึกปากกาในกลุ่มนี้ จะปรากฏรามานสเปกตรัม ณ ตำแหน่ง Raman shift

เท่ากับ 230, 428, 798, 1,072, 1,200, 1,580 และ 1,616 cm^{-1} ซึ่งตรงกับรามานสเปกตรัมของ Victoria Pure Blue BO dye (Ho, 2016) ที่ทำหน้าที่เป็นสารให้สีในหมึกปากกาสีน้ำเงิน



รูปที่ 11 รามานสเปกตรัมของกลุ่มที่ 3 ที่มี Chrysenamine ($C_{18}H_{13}N$) ทำหน้าที่เป็นสารให้สีน้ำเงิน



รูปที่ 12 รามานสเปกตรัมของกลุ่มที่ 4 ที่มี Victoria Pure Blue BO dye ($C_{33}H_{40}N_2ClN_3$) ทำหน้าที่เป็นสารให้สีน้ำเงิน

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการตรวจพิสูจน์หมึกปากกาที่ไม่เรืองแสงภายใต้เครื่อง VSC ด้วยการใช้ colloidal SERS พบว่าสามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างหมึกปากกาประเภท water-gel based ink ได้จากรามานสเปกตรัมของสารให้สีเป็นหลัก ทำให้ผู้ตรวจพิสูจน์สามารถวิเคราะห์ข้อมูล หรือแยกแยะความแตกต่างระหว่างหมึกปากกาเหล่านั้นได้ โดยจะทำให้ได้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของหมึกปากกา สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการจำแนกโมเลกุลองค์ประกอบและสีของหมึกปากกา และประเภทของตัวทำละลายที่จะบ่งบอกถึงชนิดของหัวปากกา เช่น ปากกาลูกลื่น ปากกาหมึกซึม และปากกาโรลเลอร์บอล นอกจากนั้นยังสามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันเพื่อบอกว่าหมึกปากกามาจากปากกาด้ามเดียวกันหรือไม่

สรุป

ปัจจุบันกลุ่มงานตรวจเอกสารจะตรวจพิสูจน์ลักษณะเฉพาะตัวของหมึกปากกาบนเอกสารต้องสงสัยโดยใช้เครื่อง VSC ประกอบกับประสบการณ์และความชำนาญของผู้ตรวจพิสูจน์ ซึ่งมักพบปัญหากรณีที่หมึกปากกาต่างชนิดกันแต่ตอบสนองต่อแสงเหมือนกัน ทำให้ผู้ตรวจพิสูจน์ไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างระหว่างหมึกปากกาเดิมและหมึกปากกาที่ถูกต่อเติมลงบนตัวอักษรได้ นอกจากนี้เครื่อง VSC ยังไม่สามารถให้ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของหมึกปากกาได้ ทำให้ความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์พยานเอกสารไม่เพียงพอต่อการตัดสินคดี colloidal SERS ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถช่วยแก้ปัญหานี้ โดยการหยด colloidal SERS (ที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีเคมีสีเขียวให้มีลักษณะเฉพาะตัวที่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้ทางด้าน SERS) ลงบนหมึกปากกาที่ต้องการตรวจพิสูจน์โดยไม่ต้องทำลายสภาพเอกสารเพื่อสกัดหมึกออกมาตรวจวัดและไม่ต้องทิ้งไว้ให้แห้ง สามารถนำไปต่อตรวจวัดด้วยเครื่องรามานสเปกโทรมิเตอร์ได้ทันที นอกจากนั้น colloidal SERS ยังไม่ทำละลายน้ำหมึกอีกด้วย ซึ่งการหยด colloidal SERS นี้จะช่วยขยายสัญญาณรามานของหมึกปากกาให้สูงขึ้นได้มากกว่า 10 เท่าของสัญญาณรบกวน ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของหมึกปากกาและจำแนกหมึกปากกาได้ เหมาะสำหรับกลุ่มงานตรวจเอกสาร กองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ และสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ กระทรวงยุติธรรม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย นอกจากนั้นผู้วิจัยขอขอบคุณ

กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีฟิล์มบางเชิงแสง ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ ขอขอบคุณศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง Zetasizer nano และขอขอบคุณกองพิสูจน์หลักฐานกลาง สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง VSC

เอกสารอ้างอิง

Amornsith, M., Petsom, A., Cheawwattana, Y., Siripinyanond, A., Aomapinyan, S. & Sukmuang, U. (2009). **Principles and techniques of instrument analysis.** Bangkok: Chuan-Pim-50. (in Thai)

Andrasko, J. (2001). HPLC analysis of ballpoint pen inks stored at different light conditions. **Journal of Forensic Science.** 46(1), pp. 21–30.

Braz, A., López-López, M. & García-Ruiz, C. (2013). Raman spectroscopy for forensic analysis of inks in questioned documents. **Forensic Science International.** 232(1-3), pp. 206-212.

Chamsuwanwong, A. (2009). **Forensic science 2 for crime investigation.** Bangkok: G.B.P Center. (in Thai)

Djozan, D., Baheri, T., Karimian, G. & Shahidi, M. (2008). Forensic discrimination of blue ballpoint pen inks based on thin layer chromatography and image analysis. **Forensic Science International.** 179(2-3), pp. 199-205.

Du, J., Xu, J., Sun, Z. & Jing, C. (2016). Au nanoparticles grafted on Fe3O4 as effective SERS substrates for label-free detection of the 16 EPA priority polycyclic aromatic hydrocarbons. **Analytica Chimica Acta.** 915, pp. 81-89.

Geiman, I., Leona, M. & Lombardi, J.R. (2009). Application of Raman spectroscopy and surface-enhanced Raman scattering to the analysis of synthetic dyes found in ballpoint pen inks. **Journal of Forensic Science.** 54(4), pp.947-952

Ho, Y.C., Lee, W.W.Y. & Bell, S.E.J. (2016). **Swellable SERS-active polymer films for the forensic examination of blue gel inks and their constituent dyes.** The Royal Society of Chemistry.

Lázaro, J.C., Lima, C.J.d., Moreira, L.M., Silveira, Jr.L., Silveira, N.J.F.d., Villaverde, A.B. & Pacheco, T.T. (2008). Analysis of the alteration in the optical configuration of Raman spectrometer: optimization of signal-to-noise ratio

(SNR) in a specific wavelength range of clinical interest. **Spectroscopy.** 22(6), pp. 467-474.

Li, C.J. & Trost, B.M. (2008). Green chemistry for chemical synthesis. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.** 105(36), pp. 13197-13202.

Moskovits, M. (2005). Surface-enhanced Raman spectroscopy: a brief retrospective. **Journal of Raman Spectroscopy.** 36(6-7), pp. 485-496.

Nuntawong, N., Eiamchai, P., Somrang, W., Denchitcharoen, S., Limwichean, S., Hormprathum, M., Patthanasettakul, V., Chaiya, S., Leelapojanaporn, A., Saiseng, S., Pongsethasant, P. & Chindaudom, P. (2016). Detection of methamphetamine/ amphetamine in human urine based on surface-enhanced Raman spectroscopy and acidulation treatments. **Sensor and Actuator B.** 239. pp. 139-146.

Office of Planning and Budget, Courts of Justice (2015). **Annual judicial statistics of Thailand report 2015.** Retrieved March 15, 2017, from http://www.coj.go.th/home/file/Annual_Tha_ 2558.pdf (in thai)

Otto, A., Mrozek, I., Grabhorn, H. & Akemann, W. (1992). Surface-enhanced Raman scattering. **Journal Physics: Condensed Matter.** 4(5), pp. 1143-1212.

Pfeiffer, C., Rehbock, C., Hühn, D., Carrion, C.C., Aberasturi, D., Merk, V., Barcikowski, S. & Parak, W.J. (2014). Interaction of colloidal nanoparticles with their local environment: the (ionic) nanoenvironment around nanoparticles is different from bulk and determines the physico-chemical properties of the nanoparticles. **Journal of the Royal Society Interface.** 11(96), pp. 1-13.

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)

Phorassamee, W. (2012). **Analysis of black ballpoint pen inks using thin layer chromatography and image analysis.** Degree Master of Science Program in Forensic Science, Program of Forensic Science, Graduate School, Silpakorn University.

Raza, A. & Saha, B. (2013). Silver nanoparticles doped agarose disk: highly sensitive surface enhanced Raman scattering substrate for in situ analysis of ink dyes. **Forensic Science International**. 233(1-3), pp. 21-27.

Smith, E. & Dent, G. (2005). **Modern Raman spectroscopy - a practical approach**. West Sussex: John Wiley & Sons.

Wang, X.F., Yu, J., Xie, M.X., Yao, Y.T. & Han, J. (2008). Identification and dating of the fountain pen ink entries on documents by ion-pairing high-performance liquid chromatography. **Forensic Science International**. 180(1), pp. 43-49.

Zi**ę**ba-Palus, J. & Kunicki, M. (2006). Application of the micro-FTIR spectroscopy, Raman spectroscopy and XRF method examination of inks. **Forensic Science International**. 158(2-3), pp. 164-172.

บทความวิจัย

การสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน

RAPID PROTOTYPE FOR THE DEVELOPMENT OF SOUVENNIR PRODUCTS FROM BRONZE CRAFT

อุไรวรรณ คำภูแสน* นพพร บึกแว่น รัฐพล สังคะสุข สุขุมาล เหรียญทอง และ ลักขณา ฤกษ์เกษม

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10220

Uraiwan Khampusan, Nopporn Bukwan, Rataphol Sangkhasuk, Sukhuman Rianthong, and Lakkana Ruekkasaem

Department of Manufacturing Technology, Faculty of Industrial Technology,
Pranakhon Rajabhat University, Bangkok , Thailand

*E-mail: Ulaiwan@gmail.com

Received: 2018-07-26
Revised: 2018-08-08
Accepted: 2018-08-31

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากวิสาหกิจชุมชนหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน โดยใช้กรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็วพบว่าการหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ผลการทดสอบค่าความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่เท่ากับ 1,200 มิลลิเมตรต่อนาที แรงที่ใช้กดแผ่นกระดาษให้ขาดเท่ากับ 100 กรัมแรง ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ผลการทดสอบพบว่าสามารถขึ้นรูปทรงเศียรพระพุทธรูปได้และมีขนาด รูปร่าง ตามที่ได้ออกแบบไว้ แต่ยังพบปัญหาผิวของชิ้นงานบางจุดไม่เรียบ ต้องใช้ทักษะทางด้านศิลปกรรมเข้ามาช่วยตกแต่งและหาประสิทธิภาพการสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน ผลการทดสอบพบว่าชิ้นงานทดสอบชิ้นที่ 1ถึงชิ้นงานที่10 โดยวัดค่าชิ้นงานจุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.57 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.16 จุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 159.38 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 จุดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ29.58 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.30 จุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.61 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.31 จุดที่ 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.29

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.15 และการหาค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานเศียรพระพุทธรูป ผลการทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนพบว่า จุดที่ผ่านค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ไม่เกินค่าบวกและค่าลบเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ได้แก่ จุดวัดที่ 1, 2, 3, 5, 7, 8, 10 และมีบางจุดที่เกินค่ามาตรฐาน ได้แก่ จุดที่ 4, 6, 9 พบว่า ส่วนใหญ่จุดที่เกิดค่าความคลาดเคลื่อนเป็นจุดที่อยู่ด้านบนของเศียรพระพุทธรูปซึ่งมีลาดลายที่ซ้อนกันและมีขนาดเล็กเกินไป จึงส่งผลทำให้กระดาษที่ตัดและการเทหล่อชิ้นงานไม่สามารถเข้าถึงบริเวณดังกล่าวได้

คำสำคัญ : การสร้างต้นแบบรวดเร็ว ของที่ระลึก หัตถกรรมเครื่องทองลงหิน

ABSTRACT

This research develops products of souvenirs from the community of Bronze Craft. Using rapid prototyping methods.The objective of this research was to finding the parameters for rapid prototyping. The velocity of the test is 1,000 mm / min. The force used to press the paper to the lack of 100 grams, which is the best value. Design and development of gift products from rapid prototyping. The results showed that the test piece 1 to 10 Measurement of workpiece 1 is an average of 19.57. The standard deviation is 0.16. The second is 159.38. The standard deviation is 0.47. The third is the average of 29.58. The standard deviation was 0.30, the fourth was 9.61, the standard deviation was 0.31, the fifth was the mean of 9.29, the standard deviation was 0.15, and the error of the headpiece of Buddha image The test results found that the error. The acceptable standard is not over plus and minus 0.5 millimeters, measured at 1, 2, 3, 5, 7, 8, 10. There are some places where the acceptable standard is not more than a positive and a negative value of 0.5 millimeters, which is 4, 6, 9 points. Most points of error are points on the top of the Buddha's head. There are overlapping stumps and are too small. As a result, paper cut and pouring of the workpiece can not reach the area.

Keywords: Rapid Prototype, Souvennir, Bronze Craft

บทนำ

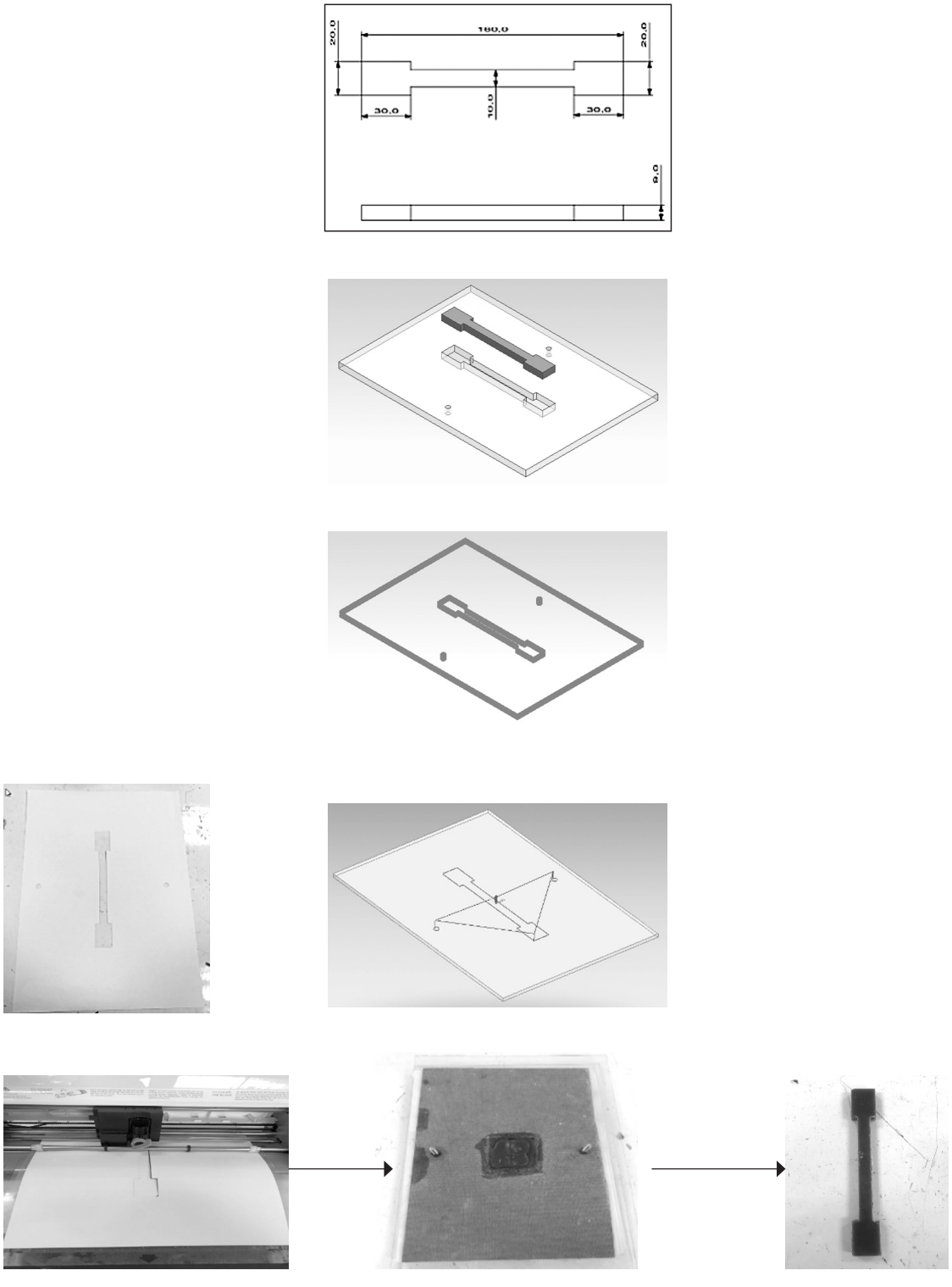
วิสาหกิจชุมชนหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน ตั้งอยู่ ชุมชนประดิษฐ์โทรการ บ้านเลขที่ 9/10 ซอยพหลโยธิน 47 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร ผลิตภัณฑ์หลักของกลุ่ม

ได้แก่ ผลิตภัณฑ์บนโต๊ะอาหารเช่น ช้อนส้อม มีด ทัพพี กำไล เป็นต้น ซึ่งตลาดส่วนใหญ่มาจากโรงแรม ร้านอาหาร นักท่องเที่ยว จากการสำรวจและลงพื้นที่ชุมชนพบว่าวิสาหกิจชุมชนหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน กำลังประสบปัญหาในด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์แบบใหม่ ๆ ปัญหาด้านแรงงานเนื่องจากผู้ผลิตส่วนใหญ่มีอายุค่อนข้างสูง กระบวนการผลิตมีหลายขั้นตอน ขาดการสืบทอดงานหัตถกรรมจากรุ่นสู่รุ่นและที่สำคัญพบว่าปัจจุบันผู้ผลิตงานหัตถกรรมเครื่องทองลงหินเหลือเพียง 2 ครอบครัว จากการสัมภาษณ์คุณสมคิด ด้วงเงิน ผู้ก่อตั้งศูนย์หัตถกรรมเครื่องทองลงหิน ในการพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ เช่นของที่ระลึกของศูนย์หัตถกรรมพบว่าต้องใช้การลงทุนที่สูงและต้องใช้ระยะเวลานาน ทั้งด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์และการสร้างต้นแบบชิ้นงาน ซึ่งการสร้างต้นแบบชิ้นงานเพื่อให้ลูกค้ามีความพึงพอใจนั้นทางวิสาหกิจชุมชนไม่สามารถทำให้ได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ต้นแบบต่าง ๆ ที่ได้มานั้น ลูกค้าเป็นคนจัดเตรียมมาให้และมีความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่ลูกค้าต้องการต้นแบบชิ้นงานทางศูนย์ก็ไม่สามารถทำให้ได้เนื่องจากลูกค้าต้องการดูขนาด รูปร่าง ลักษณะการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ทำให้วิสาหกิจชุมชนต้องปฏิเสธลูกค้า ส่งผลให้ชุมชนขาดรายได้

ปัจจุบันสินค้าหัตถกรรมเครื่องทองลงหินมีแนวโน้มของตลาดและกลุ่มผู้บริโภคที่มากขึ้น เนื่องจากมีหน่วยงานสนับสนุนจากภาครัฐและนโยบายเสริมสร้างความเข้มแข็งให้กับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) อีกทั้งผลิตภัณฑ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้รับรางวัลหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ของเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ดังนั้นเพื่อตอบสนองความต้องการของชุมชน ในการสร้างทางเลือกใหม่ในการนำเทคโนโลยีเข้าไปช่วยในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของชุมชน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องวิสาหกิจชุมชนขาดการนำเทคโนโลยีเข้าไปช่วยในกระบวนการดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบของที่ระลึกของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของชุมชนและเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับกลุ่มผู้บริโภคสินค้าของชุมชน ให้ชุมชนมีรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย ส่งผลกระทบให้ชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้นและสร้างความเข้มแข็งให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ตลอดจนเป็นการสืบทอดงานหัตถกรรมเครื่องทองลงหินให้อยู่คู่ประเทศไทย คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วเข้ามาช่วยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และใช้กระบวนการวิจัยแบบทดลอง โดยศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับพัฒนาของที่ระลึกจากหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากการสร้างต้นแบบรวดเร็ว และหาประสิทธิภาพจากการสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน

2. การหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับพัฒนาของที่ระลึกจากหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน ซึ่งคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุที่นำมาสร้างต้นแบบรวดเร็ว คือ กระดาษ A4 ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้แก่ความเร็วที่ใช้ตัดแผ่นกระดาษและแรงที่ใช้กดกระดาษให้ขาด โดยเริ่มจากการออกแบบชิ้นงานทดสอบ 2 มิติและ 3 มิติ โดยมีขนาดความกว้างเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 160 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับ 9 มิลลิเมตร จากนั้นนำไฟล์ข้อมูลที่ได้มาสร้างเส้นภาพตัดขวางของชิ้นงานทดสอบ โดยเริ่มจากการนำไฟล์ 3 มิติเข้ามาสู่โปรแกรมออกแบบ จากนั้นทำการสร้างระนาบอ้างอิงโดยกำหนดความสูงของระนาบเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งความสูงของชิ้นงานทดสอบเท่ากับ 9 มิลลิเมตร โดยต้องสร้างระนาบทั้งหมดเท่ากับ 90 ชั้น จากนั้นทำการตัดแบ่งชิ้นงานออกเป็นชั้น ๆ ซึ่งไฟล์ที่ได้จะอยู่ในนามสกุล (.dxf) ซึ่งเป็นรูปแบบของลายเส้น (Vector) และนำไฟล์ข้อมูลที่ได้มาสร้างโปรแกรมตัดแผ่นกระดาษเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ได้แก่ แรงที่ใช้กดแผ่นกระดาษให้ขาดและค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นทำการออกแบบและสร้างเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วซึ่งเครื่องดังกล่าวประกอบด้วยชุดโครงสร้างของเครื่อง ชุดขับเคลื่อน และชุดควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน X แกน Y และแกน Z และใช้โปรแกรมควบคุมการสั่งการเมื่อทำการประกอบและทดสอบเครื่องสมบูรณ์ จากนั้นทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับตัดแผ่นกระดาษ และนำค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด นำมาตัดแผ่นกระดาษทั้งหมด 90 แผ่น หลังจากตัดแผ่นกระดาษสมบูรณ์ นำแผ่นกระดาษมาทำการยึดติดกันให้แน่น จากนั้นทำการทดสอบเทหล่อชิ้นงาน โดยนำวัตถุดิบคือขี้ผึ้งกับพาราฟินมาหลอมที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วน ขี้ผึ้ง 50 พาราฟิน 50 รอให้วัตถุดิบเย็นตัวลงประมาณ 5 นาที นำวัตถุดิบเทเข้าไปในรูของชิ้นงานแผ่นกระดาษที่เตรียมไว้ รอให้ชิ้นงานทดสอบแข็งตัวประมาณ 10 นาที จากนั้นนำแผ่นกระดาษออกซึ่งได้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 1 ชิ้นงาน หลังจากนั้นทำการทดสอบเทหล่อชิ้นงานทดสอบ 10 ครั้งและนำชิ้นงานที่ได้ไปตรวจสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานทดสอบโดยทำการวัดค่าตามแบบ จุดที่ 1 ถึงจุดที่ 5 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำจุดวัดที่1 ถึงจุดที่ 5 มาหาค่าเฉลี่ยและหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทดสอบ

กระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับพัฒนาของที่ระลึกจากหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน มีดังนี้



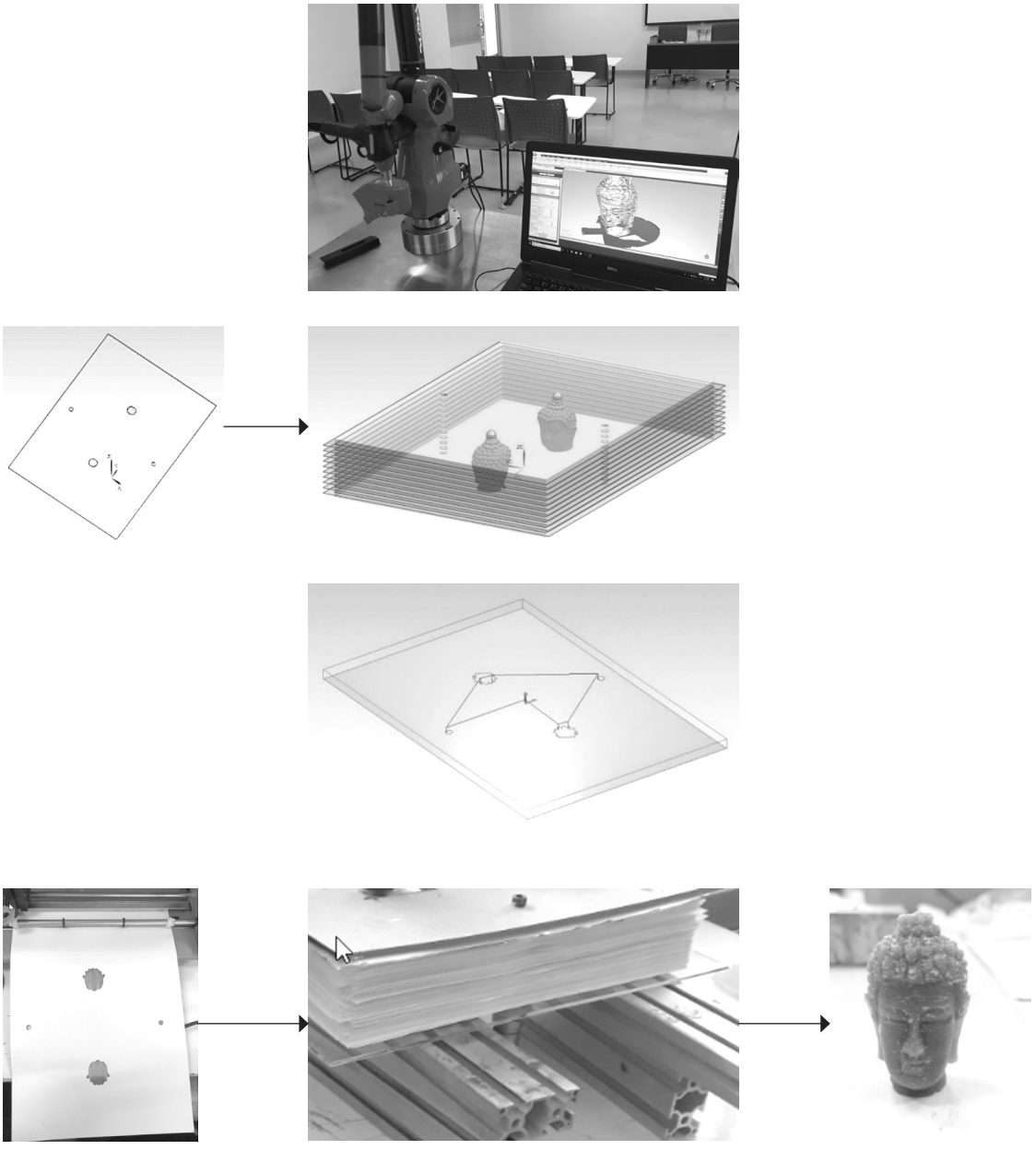
รูปที่ 1 กระบวนการการหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

3. ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

การออกแบบผลิตภัณฑ์และพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกสำหรับหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน ทางคณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่สอบถามความต้องการของชุมชนเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยในครั้งนี้ จากการสำรวจและสอบถามความต้องการของชุมชนประดิษฐ์โทรการพบว่า กลุ่มชุมชนมีความต้องการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกได้แก่ การทำต้นแบบเศียรพระพุทธรูป ซึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบดังกล่าวนี้ได้เป็นการสำรวจของชุมชนในการไปจัดจำหน่ายสินค้าในงานหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์และกลุ่มลูกค้าที่มาสั่งซื้อสินค้าของชุมชน จากนั้นคณะผู้วิจัยได้นำต้นแบบเศียรพระพุทธรูปมาออกแบบ เริ่มจากการนำต้นแบบมาสแกนโดยใช้เครื่องเลเซอร์สแกนสามมิติ ทำการเก็บข้อมูลสแกนชิ้นงานเศียรพระพุทธรูปในรูปแบบของกลุ่มจุด (Point Could) จากนั้นนำข้อมูลในลักษณะกลุ่มจุด มาทำการปรับและทำการลบจุดต่าง ๆ ที่อยู่นอกบริเวณของชิ้นงานออกและจัดการปรับขนาดความกว้างของแต่จุดให้มีขนาดเท่า ๆ กันและทำการสร้างโครงข่ายสามเหลี่ยม (Mesh Polygon) เชื่อมต่อกันเพื่อใช้สำหรับสร้างพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้จากการสแกน ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำหนดแกนอ้างอิงของเศียรพระพุทธรูป เพื่อใช้อ้างอิงในการออกแบบ ซึ่งชิ้นงานที่ได้ยังไม่ได้อยู่ในระนาบของจุดอ้างอิง ในแนวแกน X แกน Y และแกน Z ในระนาบอ้างอิงของโปรแกรม จากนั้นการหมุนแกนอ้างอิงของเศียรพระพุทธรูปให้อยู่ในระนาบอ้างอิงของโปรแกรม ทำการสร้างเส้นตัดขวางและปรับแต่งพื้นผิวให้เรียบ หลังจากออกแบบชิ้นงานของเศียรพระพุทธรูปแบบสามมิติเสร็จสมบูรณ์ ขั้นตอนต่อไปคณะผู้วิจัยได้ออกแบบแนวคิดสำหรับสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยเริ่มจากนำแบบสามมิติที่ได้มาสร้างกรอบสี่เหลี่ยมสำหรับกำหนดขอบของโดยกำหนดกรอบของชิ้นงาน ความกว้างเท่ากับ 297 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 210 มิลลิเมตร และความสูงเท่ากับ 550 มิลลิเมตร และทำการเจาะรูเพื่อใช้สำหรับยึดแผ่นกระดาษ จากนั้นทำการแยกภาพหน้าตัดขวางแบบทีละชั้น (Slicing Model) โดยนำแบบสามมติของเศียรพระพุทธรูปที่ได้จากการสแกน มาทำการตัดเส้นภาพตัดขวางของเศียรพระพุทธรูป โดยใช้โปรแกรมทางด้านวิศวกรรมย้อนรอย กำหนดความสูงในการตัดแต่ละชั้นเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร โดยมีความสูงของชิ้นงานเท่ากับ 55 มิลลิเมตร จากนั้นโปรแกรมจะทำการแบ่งภาพตัดขวางออกเป็นทีละชั้นซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 550 ชั้น ข้อมูลไฟล์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบไฟล์ (.dxf) เมื่อสร้างเส้นตัดขวางสมบูรณ์ ขั้นตอนต่อไปนำข้อมูลลายเส้นที่ได้มาสร้างโปรแกรมตัดแผ่นกระดาษ โดยนำค่าที่ดีที่สุดของการหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในชิ้นงานทดสอบคือความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่และแรงกดเพื่อให้กระดาษขาด มากำหนดลงบนโปรแกรม จากนั้นทำการตัดแผ่นกระดาษโดยใช้เครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วโดยตัดเริ่มจากไฟล์ลำดับที่ 1 ถึง ลำดับที่ 550 ชั้น จากนั้นทำการบีบอัดด้วยสกรูเกลียวเพื่อให้แผ่นกระดาษมีการยึดติดกันและทำรูเทหล่อของ

ชิ้นงาน นำขี้ผึ้งกับพาราฟิน มาหลอมที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เมื่อวัตถุดิบหลอมละลาย รอให้เย็นตัวลงประมาณ 10 นาที นำไปเทหล่อชิ้นงานลงในแบบที่เตรียมไว้

กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2 กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก
จากการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

4. การหาประสิทธิภาพการสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน

4.1 ทำการทดสอบเทหล่อชิ้นงานทดสอบ 10 ครั้งและนำชิ้นงานที่ได้ไปตรวจสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานทดสอบ โดยใช้เครื่องมือวัดคือเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ โดยทำการวัดค่าตามแบบจุดที่1 ถึงจุดที่ 5 ของชิ้นงานทดสอบจำนวน 10 ชิ้นและนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูล โดยนำจุดวัดที่1 ถึงจุดที่ 5 มาหาค่าเฉลี่ยและหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทดสอบ

4.2 ทำการทดสอบเทหล่อชิ้นงานเศียรพระพุทธรูปจำนวน 10 ครั้งและนำชิ้นงานที่ได้ไปตรวจสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงาน โดยใช้เครื่องสแกนสามมิติทำการสแกนชิ้นงานหลังจากเทหล่อและนำมาวัดค่าเปรียบเทียบกับชิ้นงานต้นฉบับที่ได้จากการออกแบบสามมิติ โดยทกการวัดพิกัด X พิกัด Y และ พิกัด Z ในจุดที่1 ถึงจุดที่ 10 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ไม่เกินค่าบวกและค่าลบเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตัดแผ่นกระดาษโดยใช้เครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว มีดังนี้

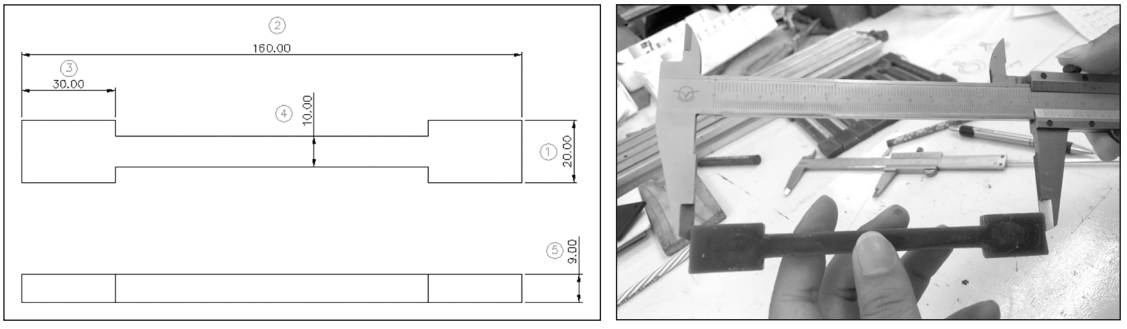
ตารางที่ 1 ผลการหาค่าความเร็วในการเคลื่อนที่และแรงที่ใช้กดใบมีดที่ใช้ในการตัดแผ่นกระดาษ โดยใช้ความสูงของมีด (High cutting) ที่ใช้ตัดแผ่นกระดาษเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร

ทดลองครั้งที่	ความเร็วในการเคลื่อนที่ (Feed) (มิลลิเมตร/นาที)	แรงที่ใช้กดใบมีด (Force) กรัมแรง (gf)	ผลที่เกิดขึ้น
1	500	70	กระดาษไม่ขาด
2	700	80	กระดาษขาดมีรอยปะ
3	900	90	กระดาษขาดไม่หมด
4	1,200	100	กระดาษขาด
5	1,400	110	กระดาษขาดแต่ขอบมีรอยย่น

หมายเหตุ : Feed หมายถึง ความเร็วในการเคลื่อนที่ (มิลลิเมตร/นาที)
: Force หมายถึง แรงที่ใช้กด กรัมแรง (gf)
: High Cutting หมายถึง ความสูงของใบมีด (มิลลิเมตร)

จากตารางที่ 1 การหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตัดแผ่นกระดาษ พบว่าแรงที่ใช้ในการกดใบมีดให้กระดาษขาดเท่ากับ 100 กรัมแรง โดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากับ 1,200 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งมีผลทำให้ตัดกระดาษขาดเพื่อใช้สร้างต้นแบบรวดเร็วดีที่สุด

ผลการหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานทดสอบ โดยนำชิ้นงานที่ได้จากการเทหล่อจำนวน 10 ชิ้นงาน ไปตรวจสอบเพื่อหาค่าความคาดเคลื่อนจากการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 2



รูปที่ 3 การหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 2 แสดงการหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าชิ้นงานทดสอบ จุดที่ 1-5

ชิ้นงาน	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5
1	19.48	159.45	29.82	9.24	9.34
2	19.50	158.65	29.22	9.50	9.36
3	19.32	159.85	29.5	9.74	9.26
4	19.84	159.70	29.84	9.86	9.02
5	19.82	159.80	29.94	9.92	9.18
6	19.46	159.75	29.62	9.82	9.40
7	19.60	159.60	29.8	9.56	9.08
8	19.64	159.05	28.98	9.44	9.32
9	19.6	159.30	29.44	9.58	9.42
10	19.48	158.60	29.6	9.42	9.48
ค่าเฉลี่ย	19.57	159.38	29.58	9.61	9.29
S.D.	0.16	0.47	0.30	0.31	0.15

จากตารางที่ 2 พบว่า ชิ้นงานที่ 1 - 10 วัดค่าชิ้นงานจุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.57 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.16 จุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 159.38 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 จุดที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.58 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.30 จุดที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.61 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.31 จุดที่ 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.29 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.15

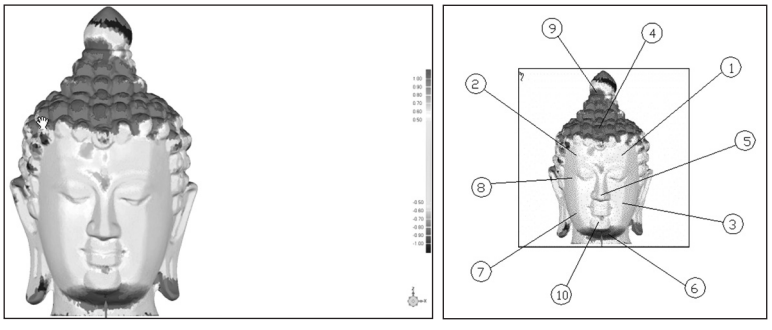
2. ผลการพัฒนาออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบของที่ระลึกจากหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน ซึ่งคณะผู้วิจัยทำการออกแบบเศียรพระพุทธรูปได้ผลการออกแบบดังนี้



รูปที่ 4 ผลการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบของที่ระลึก

3. ผลการหาประสิทธิภาพการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

การหาประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานเศียรพระพุทธรูปและนำชิ้นงานที่ได้จากการเทหล่อไปตรวจสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้เครื่องแสกนแบบสามมิติแสกนชิ้นงานของเศียรพระพุทธรูป จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการสแกนมาเปรียบเทียบค่าความคาดเคลื่อนจากแบบชิ้นงานรูปทรงสามมิติ (3D CAD Model) ที่ออกแบบไว้ ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 3



รูปที่ 5 การหาค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานเศียรพระพุทธรูป

ตารางที่ 3 แสดงการหาค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานต้นฉบับเศียรพระพุทธรูปกับชิ้นงานเศียรพระพุทธรูปที่ได้จากงานเทหล่อ

จุดวัด	พิกัด	ชิ้นงานต้นฉบับ	ชิ้นงานเทหล่อ	ค่าคลาดเคลื่อน
1	X	6.865	6.884	0.019
	Y	-1.71	-1.76	-0.051
	Z	33.735	33.735	0.001
2	X	-7.525	-7.430	0.095
	Y	-1.336	-1.175	0.161
	Z	32.536	32.537	0.001
3	X	7.664	7.527	-0.136
	Y	0.643	0.792	0.149
	Z	20.411	20.419	0.008
4	X	-1.129	-1.379	-0.249
	Y	-1.299	-2.561	-1.262
	Z	41.730	42.515	0.784
5	X	-0.463	-0.469	-0.005
	Y	-4.827	-4.876	-0.049
	Z	20.810	20.831	0.020
6	X	2.068	2.350	0.281
	Y	3.638	3.026	-0.611
	Z	7.353	6.407	-0.946
7	X	-9.391	-9.336	0.054
	Y	2.263	2.298	0.035
	Z	16.946	16.955	0.008
8	X	-9.924	-9.814	0.109
	Y	1.524	1.592	0.067
	Z	28.406	28.416	0.010
9	X	-1.529	-2.241	-0.712
	Y	9.245	8.160	-1.085
	Z	53.189	52.819	-0.370
10	X	-1.529	-1.538	-0.009
	Y	-2.075	-2.170	-0.095
	Z	14.548	14.539	-0.009

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดขนาดของชิ้นงานต้นแบบที่ได้จากแบบสามมิติของเศียรพระพุทธรูปกับชิ้นงานเศียรพระพุทธรูปที่ได้จากการเทหล่อ จุดที่ผ่านค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ไม่เกินค่าบวกและค่าลบเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ได้แก่ จุดวัดที่ 1, 2, 3, 5, 7, 8, 10 และมีบางจุดที่เกิดค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ไม่เกินค่าบวกและค่าลบเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ได้แก่ จุดที่ 4, 6, 9 ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่จุดที่เกิดค่าความคลาดเคลื่อนเป็นจุดที่อยู่ด้านบนของเศียรพระพุทธรูปซึ่งมีลาดลายที่ซ้อนกันและมีขนาดเล็กเกินไป จึงส่งผลทำให้กระดาษที่ตัดและการเทหล่อชิ้นงานไม่สามารถเข้าถึงบริเวณดังกล่าวได้

สรุป

การสร้างต้นแบบรวดเร็วในการพัฒนาของที่ระลึกสำหรับงานหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน จากการวิจัยพบว่าสามารถขึ้นรูปเศียรพระพุทธรูปได้รวดเร็วและมีความคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ไม่เกินค่าบวกและค่าลบเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรมีทั้งหมด 7 จุดและมี 3 จุดที่ไม่ผ่านค่ามาตรฐานที่ตั้งไว้เมื่อเทียบกับชิ้นงานต้นฉบับเศียรพระพุทธรูปที่ออกแบบไว้ซึ่งเกิดจากลวดลายบนผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมีความละเอียดจึงทำให้การเทหล่อชิ้นงานไม่สามารถเข้าถึงได้ แต่ยังคงพบว่าผิวของชิ้นงานเศียรพระพุทธรูปจากการสร้างต้นแบบรวดเร็วที่ได้จากการเทหล่อด้วยขี้ผึ้งกับพาราฟิน ยังคงมีผิวบางจุดที่ไม่เรียบ ซึ่งยังคงต้องใช้ภูมิปัญญาในด้านศิลปกรรมในการตกแต่งผิวของชิ้นงาน ดังนั้นการสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับงานหัตถกรรมเครื่องทองลงหิน ควรนำไปใช้ในการผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงที่ซับซ้อนและควรนำไปใช้ในส่วนของการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ซึ่งจะทำให้ต้นทุนในการผลิตนั้นต่ำลง อีกทั้งตอบสนองความต้องการของตลาดผู้บริโภค

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการสร้างต้นแบบรวดเร็วสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกจากหัตถกรรมเครื่องทองลงหินสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผู้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้โดยได้รับความร่วมมือจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนศูนย์หัตถกรรมเครื่องทองลงหิน ชุมชนประดิษฐ์โทรการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นายสมคิด ด้วงเงิน ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ศูนย์หัตถกรรมเครื่องทองลงหิน ซึ่งเป็นผู้ให้ข้อมูลและคำแนะนำตลอดจนเป็นผู้ที่ให้ คำปรึกษาด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

Chua, C.K., Hong, K.H. & Ho, S.L. (1999). **Rapid tooling technology**. Vol., pages Part 1. A Comparative study, **The international Journal of Advanced**.

Eamsaeart K. (2554) **Rapid tooling for Blow molding Process Department of Mechanical Engineering**. Kasetsart University. Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (in Thai)

Griffith, M.L. et al. (1996). **Freeform fabrication of metallic component using laser engineered net shaping (LENS)**, in proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, University of Texas at Austin.

Khaing, M., J. Fuh, & Lu, L. (2001). Direct metal laser sintering for rapid tooling processing and characterization of EOS parts. **Journal of Materials Processing Technology**. 113(1), 269-272.

Mazumder, J., Choi, J., Nagarathnam, K., Koch, J. & Hetzner, D. (1997). The Direct metal Deposition of H13 tool steel for 3D components. Journal of Materials Processing of the Solid Freeform Fabrication Symposium, University of Texas at Austin.

Steenathbabu, A. & Karunakaran, K.P. (2006). Hybrid adaptive layer manufacturing An intelligent art of direct metal rapid tooling process. **Robotics and computer Integrated Manufacturing**. 22, 113-123.

Toshihide, H., Kirihara, S. & Miyamoto, Y. 92009). Freeform Fabrication of super alloy objects by 3D micro welding. **Meterials and Design**. 30, 1093-1097.

Vannitson K. (2554). **Prototype of Rapid Tooling Machine by Laminated Object Manufacturing.** Department of Mechanical Engineering. Kasetsart University. Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand (in Thai)

.....

บทความวิจัย

INNOVATIVE USE OF FINELY GRADED LIMESTONE FOR IMPROVING THE FRESH PROPERTIES OF SELF - CONSOLIDATING CONCRETE INCORPORATING UNTREATED RICE HUSK ASH

Natt Makul[1*] and Gritsada Sua-iam[2]

[1]Department of Building Technology, Faculty of Industrial Technology,
Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220

[2]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering at Rajamangala University of Technology
Phra Nakhon,1381 Pibul Songkhram Road, Bangsue, Bangkok 10800

[*]E-mail: shinomomo7@gmail.com

Received: 2017-07-22
Revised: 2017-08-17
Accepted: 2018-09-10

ABSTRACT

This research examines the potential for improving the properties of high-performance self-compacting concrete (SCC) by incorporating residual-unprocessed rice husk ash waste (RHA) using finely graded limestone (FL) of varying fineness levels (FL1, FL2, and FL3 have mean particle sizes of 4.05 μm, 9.02 μm, and 18.05 μm, respectively). FL was utilized as a type 1 ordinary Portland cement (OPC) substitute at concentrations of 20% and 40% by weight, and RHA was used as a fine aggregate replacement material at a concentration of 20% by weight. The SCC mixtures were designed with a controlled slump flow of 725 ± 25 mm. In this study, the workability in the fresh state and mechanical properties of the blends of OPC and FL were investigated using the slump flow time, V-funnel flow time, flow diameter from the J-ring test. The results show that the use of FL1, FL2, and FL3 can reduce the water content of the powder (OPC and FL). Remarkably, the resulting concretes maintain their slump flow, flow through a V-shaped box, and flow through the obstacles used to assess the J-ring test, thus satisfying the criterion declared by EFNARC. When FL is incorporated at 20 - 40% by weight, its rheological characteristics

and compressive strength benefits become sufficiently significant and the inclusion of FL in SCC is both useful and practical.

Keywords: Self-compacting concrete; Rice husk ash; Finely graded limestone; Rheological

Introduction

Accordingly, self-compacting concrete (SCC) can be used to enhance the effectiveness of the process whereby obstructed reinforced steel is cast in situ as structural concrete and completely penetrates any restricted segments without bleeding and segregation. Using present-day concrete technology, SCC requires larger quantities of powder materials, such as ordinary Portland cement (OPC), than conventional concrete. This not only raises the cost of SCC production, but also considerably increases its environmental burden.

To reduce this environmental burden and eliminate concrete waste while recycling byproducts that have potential cementitious material, a number of methods and technologies have been implemented in concrete manufacturing. For more than two decades, potential materials have been combined into SCC as investigators explore mineral admixtures that not only decrease the material and production costs of SCC, but also provide performance benefits. One approach is to recycle certain industrial byproducts.

Numerous industrial byproducts have been considered as mineral admixtures to replace the OPC in the production of SCC. Fly ash (FA) (Atis et al., 2004; Chindaprasirt; 2004; 2007; Felekoglu,et al., 2009) ground granulated blast furnace slag (Binici et al, 2007a; 2007b; Sharmila and Dhinakaran, 2016), and other pozzolanic materials (Kiatikomol et al., 2001; Naik et al., 2013; Kroehong et al., 2011; Ke et al., 2016) are frequently used in SCC. It is reported that the annual worldwide manufacture of FA exceeds 450 million tons (Zhao et al., 2015) and that Thailand produces approximately 3.2 million tons of FA per year (Sua-iam and Makul, 2015). However, there are other potential materials that could be incorporated into SCC, such as un-processed rice husk ash waste (RHA).

Nearly 740 million tons of rice paddy was produced in 2012. On average,

20 - 25% of the rice paddy is husk, yielding an annual total production of approximately 150 million tons (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014). In rice-producing countries, much of the husk manufactured through the processing of rice is considered a by-product that should be disposed of suitably. Therefore, some investigations have reported the possibility of recycling RHA to produce ultra-high-performance concrete (UHPC) (Rahman et al., 2014; Durgun and Atahan, 2017). For example, Zerbino et al. (2011) reported that concrete without ash and concrete in which 15% of the cement has been replaced by RHA have similar mechanical and durability properties. Although Zerbino et al. (2011) proved that it is possible to use residual RHA in the production of concrete, difficulties arise in terms of how to control the amorphous reactivity according to the fineness characteristic of the unprocessed RHA (Luo et al., 2013; Xu, et al., 2015). Therefore, this study considers a material that overcomes this issue by increasing the fineness and lubricating ability of the paste-aggregate phases in concrete. Namely, very finely powdered is added to increase the applicable range of RHA in concrete.

A number of studies have investigated the use of limestone (Niak et al., 2003; Moon et al., 2017) as a partial replacement for cement (Pera et al, 1999). The current study aims to determine the effectiveness of using byproducts as cement and/or aggregate replacement materials in the production of SCC. This is a state-of-the-art approach to producing SCC and offers a workable way to recycle byproducts. Herein, the use of calcium carbonate powder (FL) as a substitute material for cement is researched to establish its effects on the rheological and mechanical properties of SCC. The principal benefit of utilizing FL as a partial replacement for cement is that FL acts as a filler. Because FL particles have a higher fineness than OPC, they can be used to improve both the workability and cohesiveness of SCC (Pera et al., 1999, Kumar et al., 2017).

Therefore, this research incorporates FL to improve the properties of SCC containing RHA, thus overcoming the crucial problem of using highly porous material to produce concrete. This approach has the economic advantages of minimizing the use of novel materials and reducing the costs associated with dumping coarse byproducts, thereby diminishing the amount of waste consigned to landfill.

Experimental program

Parameters of the study

The main parameters of the investigation were as follows:

1. The types of FL: FL1, FL2, and FL3 had mean particle sizes of 4.05 μm, 9.02 μm, and 18.05 μm, respectively.
2. The amounts of FL used as cement replacements: 20%wt. and 40%wt.
3. The amount of RHA used as fine aggregate replacement: 20%wt.
4. The water–powder materials (OPC + FL) ratio (w/p).

The following parameters were held constant:

1. The total density of the powder material content (OPC + FL) was 550 kg/m^3.
2. The total density of the fine aggregate content (sand + RHA) was 708 kg/m^3 for powder content of 550 kg/m^3.
3. The high-range water-reducing (HRWR) admixture was a polycarboxylic ether (PCE)-based superplasticizer with a recommended dosage of 2.0%wt. of powder materials.

Starting materials

The chemical composition and physical properties of the constituent materials are listed in Table 1.

Type 1 OPC: OPC with a specific gravity of 3.14, complying with ASTM C150 (American Society for Testing and Materials, 2016a).

Residual-unprocessed RHA: A high-SiO_2 RHA that does not comply with ASTM C618 (American Society for Testing and Materials, 2016b) with a specific gravity of 2.20 and a specific surface area of 840 m^2/kg. The RHA was obtained from a biomass thermal power plant in Chainat province, northern Thailand. On average, 20 - 25% of the rice paddy is husk, yielding an annual total production of approximately 150 tons.

Finely graded limestone FL: FL is a main substrate in the production of paper, colors, and plastic. FL1 (mean particle size of 4.05 μm), FL2 (9.02 μm), and FL3 (18.05 μm) each had a specific gravity of 2.71 and specific surface areas of 1,610, 1,540, and 1,420 m^2/kg, respectively, and were not subjected to any additional or previous treatment before incorporation into the solid blends. The alumina waste was obtained from a factory in Lopburi province, central Thailand.

The particle size distributions of the OPC, FL (FL1, FL2, and FL3), and RHA particles were detected using a Malvern Instruments Mastersizer 2,000 analyzer (Enigma Business Park, Grovewood Road, Worcestershire, UK). The specific surface areas of the OPC, FL, and RHA were calculated using the BET method for comparison with the PSD data (OPC: 610 m^2/kg, FL1: 1610 m^2/kg, FL2: 1,540 m^2/kg, FL3: 1,420 m^2/kg, RHA: 840 m^2/kg). The FL particles were finer than the OPC particles, and the RHA particles were coarser than both OPC and FL. The mean particle size diameters in terms of 50% pass particle size ($D_{v, 50}$) of the OPC, FL1, FL2, FL3, and RHA were 23.32 μm, 4.05 μm, 8.62 μm, 18.05 μm, and 24.32 μm, respectively. In Fig. 1, the sizes of the FL particles are compared with those of gradations of OPC. Finer FL particles have higher packing densities than coarse and irregular OPC and OPC mixed with RHA.

Table 1 Chemical composition and physical properties of OPC, RHA, FL1 (4.05 μm), FL2 (9.02 μm), and FL3 (18.05 μm).

		RHA	FL1 (4.05 μm)	FL2 (9.02 μm)	FL3 (18.05 μm)
SiO_2	16.37 ± 1.25	93.00 ± 2.92	0.17 ± 0.01	0.18 ± 0.02	0.19 ± 0.03
Al_2O_3	3.85 ± 0.28	0.35 ± 0.10	0.06 ± 0.02	0.08 ± 0.01	0.07 ± 0.04
Fe_2O_3	3.48 ± 0.12	0.23 ± 0.04	0.05 ± 0.02	0.07 ± 0.03	0.08 ± 0.01
MgO	0.64 ± 0.05	0.41 ± 0.12	0.32 ± 0.05	0.31 ± 0.04	0.34 ± 0.02
CaO	68.48 ± 3.57	1.31 ± 0.03	66.31 ± 3.55	66.34 ± 3.08	66.28 ± 1.04
Na_2O	0.06 ± 0.01	0.15 ± 0.01	Not detectable	Not detectable	Not detectable
K_2O	0.52 ± 0.06	1.61 ± 0.21	Not detectable	Not detectable	Not detectable
SO_3	4.00 ± 0.42	0.03 ± 0.01	0.02 ± 0.02	0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.03
Loss on Ignition	1.70 ± 0.05	1.90 ± 0.01	42.44 ± 2.21	42.53 ± 2.33	42.22 ± 2.04
Physical properties					
Particle size $D_{v,50}$ (μm)	23.32 ± 1.34	24.32 ± 1.79	3.95 ± 1.04	8.62 ± 1.21	16.51 ± 2.64
Specific gravity	3.20 ± 0.07	2.20 ± 0.04	2.71 ± 0.03	2.71 ± 0.06	2.71 ± 0.05
Specific surface area (m^2/kg)	610 ± 13.22	840 ± 17.11	1610 ± 2.14	1540 ± 3.55	1420 ± 6.04

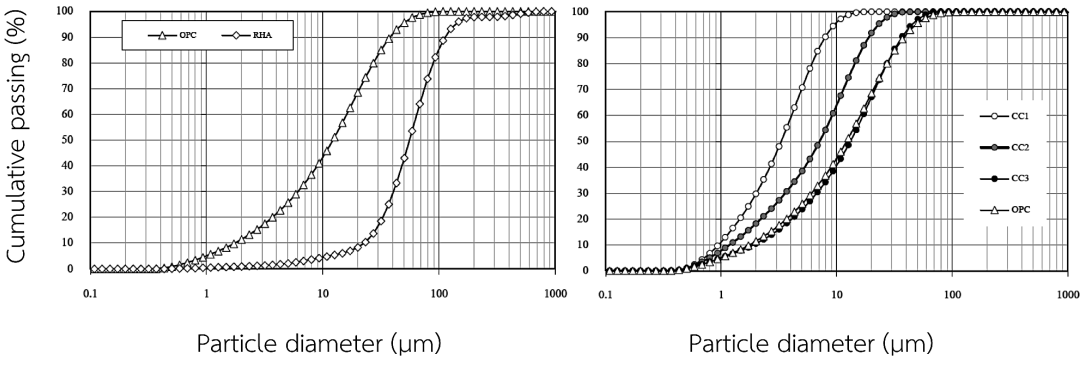


Fig. 1 Particle size distributions of OPC, RHA, and FL plotted using semi-logarithmic scale.

To comprehend the potential influences of different FL size and inert admixtures on the time-dependent viscosity, it is important to describe the micro-shape, surface morphology, angularity, and particle size distribution of the powders (Felekoğlu et al., 2006). For this determination, the surface texture of the OPC, FL, and RHA was examined using a scanning electron microscope (SEM) with 1000x magnification. To demonstrate the surface texture of single particles, SEM morphologies for particles of OPC, FL, and RHA are shown in Fig. 2. As is clear from these images, the OPC particles have no smooth surfaces and are irregularly shaped, and the FL particles are mostly rough and irregular. Furthermore, the RHA particles are coarse-grained with smoother, highly porous surfaces.

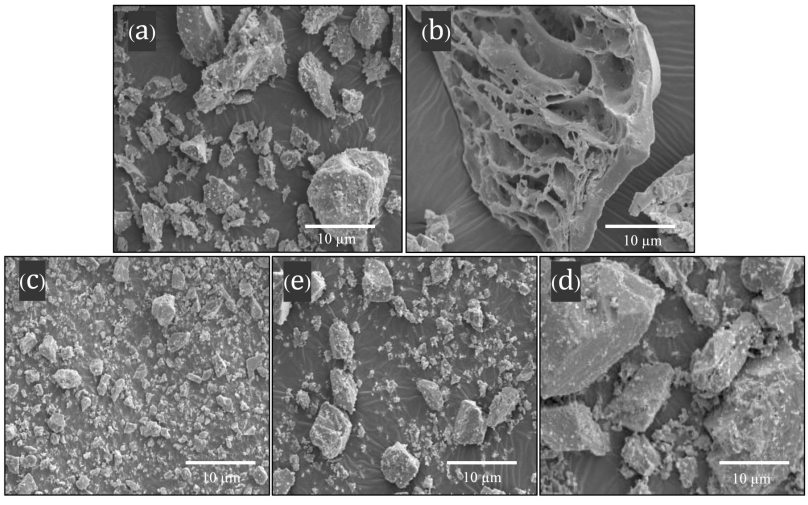


Fig. 2 Scanning electron micrographs (1000×) of (a) OPC, (b) RHA, (c) FL1, (d) FL2, and (e) FL3.

X-ray diffraction (XRD) was used to analyze the compositions of OPC, FL, and RHA, as shown in Fig. 3. In the results, the major compounds in the OPC phases are 35.42% Tri-calcium silicate (Ca_3SiO_5) and 10.42% Brownmillerite, whereas RHA is composed of 20.0% Cristobalite. Moreover, the FL is mostly composed of 29.17% Calcite. The RHA has an amorphous phase of 71.25%, indicating that it may have the potential to react with cement-based systems or to undergo pozzolanic reactions.

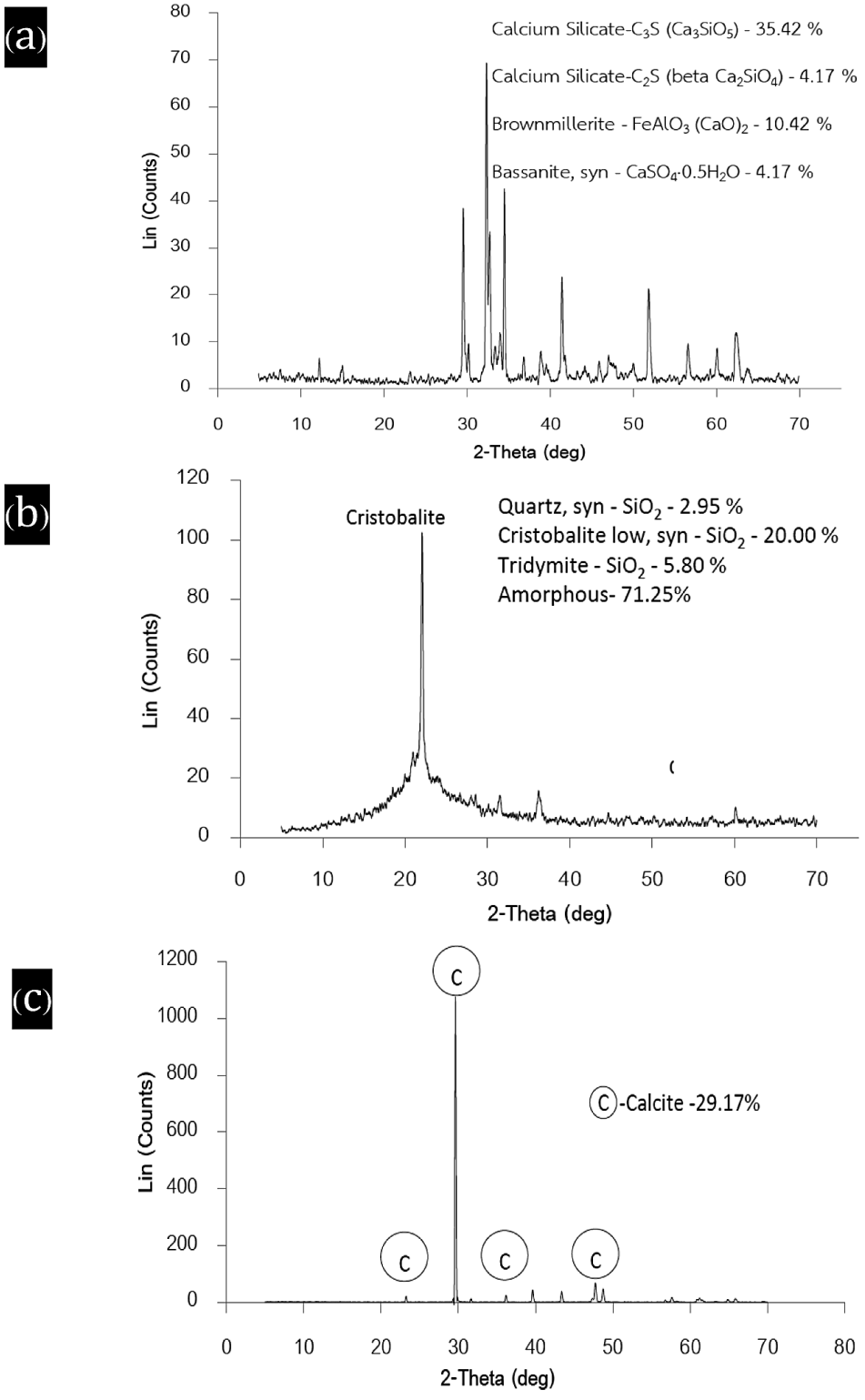


Fig. 3 X-ray diffraction patterns of the materials used: (a) OPC, (b) RHA, and (c) FL.

The chemical admixture was a commercially available PCE-based HRWR. This has an aqueous form with a specific gravity of 1.05 and a solid content of 42.5%, complying with the type G specifications of ASTM C494 (American Society for Testing and Materials, 2016b). This admixture was utilized in all the SCC mixtures to improve and maintain the workability criteria of the SCC.

The gradation of all fine and coarse aggregates used in this investigation complies with ASTM C33 (American Society for Testing and Materials, 2016b). Crushed limestone rock was used as a coarse aggregate with a maximum size of 16 mm, specific gravity of 2.71, fineness modulus (FM) of 7.21, and bulk density of 1550 kg/m^3. Locally available river sand was used as a fine aggregate. This has a maximum size of 4.75 mm, specific gravity of 2.63, FM of 2.73, and bulk density of 1680 kg/m^3.

Mixture proportions

The mixture proportions by weight in kg/m^3 of the starting materials are presented in Table 2. All the SCC mixtures were calculated and designed with a constant total powder material (OPC+FL) density of 550 kg/m^3. The w/p ratio of the mixtures was varied depending on the criteria of the target slump flow at 725 ± 25 mm and the specific HRWR required to obtain the target slump flow. To make the SCC, OPC was replaced with FL at concentrations of 20%wt. and 40%wt. In addition, the fine aggregate (sand) was replaced with RHA at a concentration of 20%wt.

Table 2 Mixture proportions of SCC.

SCC Type	Materials (kg/m^3)					
	OPC	FL	RHA	Sand	Crushed rock	HRWR (%wt.)
550R0	550	0	0	813.0	708.0	2.0
550R20	550	0	162.6	650.4	708.0	2.0
550R0FL1(20)	440	110	0	813.0	708.0	2.0
550R20FL1(20)	440	110	162.6	650.4	708.0	2.0
550R0FL1(40)	330	220	0	813.0	708.0	2.0
550R20FL1(40)	330	220	162.6	650.4	708.0	2.0
550R0FL2(20)	440	110	0	813.0	708.0	2.0
550R20FL2(20)	440	110	162.6	650.4	708.0	2.0
550R0FL2(40)	330	220	0	813.0	708.0	2.0
550R20FL2(40)	330	220	162.6	650.4	708.0	2.0
550R0FL3(20)	440	110	0	813.0	708.0	2.0
550R20FL3(20)	440	110	162.6	650.4	708.0	2.0
550R0FL3(40)	330	220	0	813.0	708.0	2.0
550R20FL3(40)[1]	330	220	162.6	650.4	708.0	2.0

Remarks : [1] XRYFLZ(P) denotes the following: X is the powder material content (OPC + $CaCO_3$ powder (FL)), RY is the percentage replacement by weight of unprocessed-residual rice husk ash, (RHA) content (0% and 20%wt.), FLZ is the size of $CaCO_3$ powder (FL): Size 1 (FL1 (4.05 μm)), size 2 (FL2 (9.02 μm)), and size 3 (FL3 (18.05 μm)) (P) is the percentage replacement by weight of FL content (20% and 40%wt.)

Testing methods

Workability of SCC

The practical requirements for accomplishing a 725 ± 25 mm slump flow with fresh SCC are specified more precisely than those for normal fresh concrete. Workability was measured instantaneously after mixing, which took nearly 10 min. The differences can be summarized based on two main abilities:

1. Resistance to segregation refers to the ability of concrete to remain homogeneous in composition during mixing, transportation, pouring and casting and until setting (Koehler, 2009). This property was tested using a V-funnel (Fig. 4(a)) in accordance with the specified test method declared by the European Federation of

Producers and Applicators of Specialist Products for Structures (EFNARC, 2002).

2. Filling and passing abilities: First filling ability refers to the ability of the concrete to deform under its own weight and to completely fill the formwork while maintaining homogeneity; it is estimated using ASTM C1611 (American Society for Testing and Materials, 2016b) (Fig. 4(b)). Second passing ability refers to the ability of concrete to flow through confined areas without blocking due to the interlocking of aggregate particles. To evaluate the passing ability and blocking behavior of SCC, the concrete was tested with a J-ring (Fig. 4(c)) in accordance with ASTM C1621 (American Society for Testing and Materials, 2016b).



(a) V-funnel flow test (b) Slump flow test (c) J-ring test

Fig. 4 Workability test apparatus and procedures.

Experimental results

Physical properties of fresh SCC

Water requirement in terms of w/p ratio for achieving SCC

The water requirement results in terms of w/p are plotted in Fig. 5. To maintain the required slump flow and to compare the w/p of the control SCC, the mixtures with various amounts of FL required lower w/p ratios than the control SCC. For the mixtures with a powder material content of 550 kg/m^3, the w/p requirements for SCC with FL ranged from 0.15 - 0.22. The lower w/p of SCC is due to the greater specific surface area and finer particle sizes of FL; conversely, the required w/p decreases when the FL particles dissolve in the water, which can increase the viscosity or lubrication of the SCC mixtures to achieve the desired flow slump. Furthermore, the smaller

particle size distribution increases the viscosity of the mixture, while the higher particle size distributions increase with decreasing viscosity. For example, FL3 - SCC has a higher w/p than FL1 - SCC.

For the case of SCC containing RHA, the required w/p is higher than that of SCC without RHA because of the high porosity of the RHA particles. However, the SCC mixture with FL achieves higher viscosity than the SCC mixed with RHA.

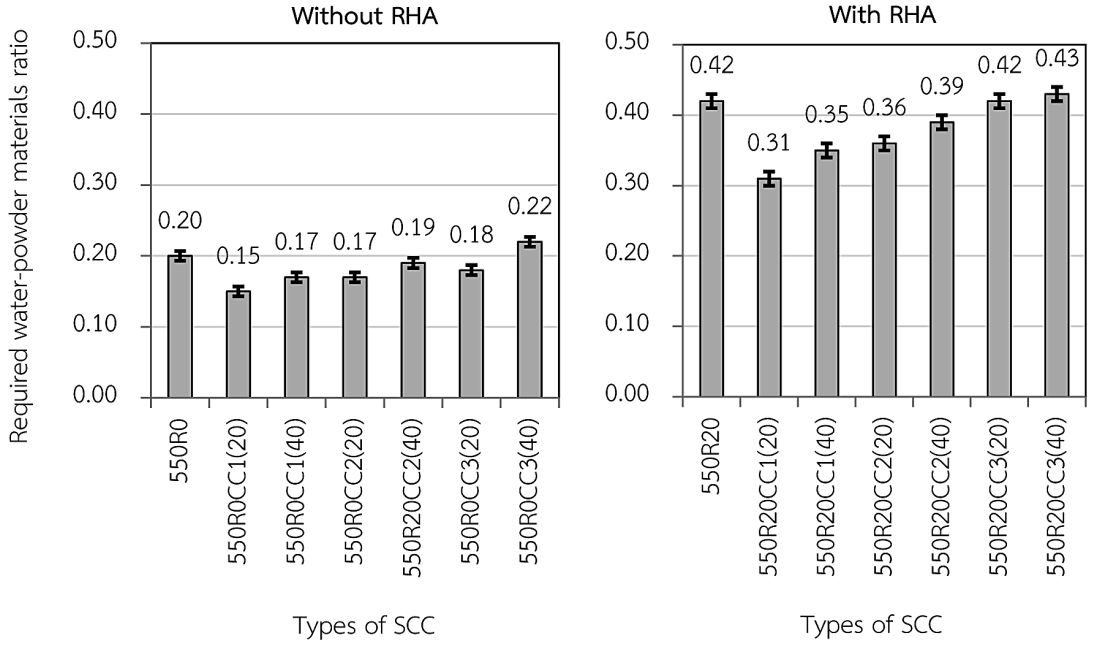


Fig. 5 Water requirements of SCC mixtures.

Unit weight

The wet unit weight of all of the SCC mixtures was evaluated in the fresh state. The results are shown in Fig. 6. Herein, the percentage increase in unit weight is compared with the control SCC mixtures (550R0, 550R20).

The unit weight of the SCC mixtures increased markedly in FL1(20), FL1(40), and FL2(20) and increased with the FL content. For mixtures with powder material densities of 550 kg/m^3, the unit weight of SCC with FL1 of 20% and 40% increased by 1.46% and 0.12%, respectively, and the 20% - FL2 replacement resulted in an increase of 0.45%. This is because FL1 and FL2 (20% FL) have smaller particles than OPC, and can therefore fill the void between the OPC particles. In contrast, the unit

weights of SCC with 40% FL replacement and FL3 decreased by 3.25%, 2.75%, and 4.78%, respectively, compared with the control SCC due to the lower specific gravity of FL (2.71). When RHA was added to the mixture, the unit weights of SCC with 20% fine aggregate replacement increased for the 550 kg/m^3 and FL1(20) and FL1(40) cases by 3.93% and 2.02%, respectively. This is because the additional FL can fill the voids between OPC particles (Lone at al., 2002) and the RHA is finer than the sand (Kwan et al., 2014).

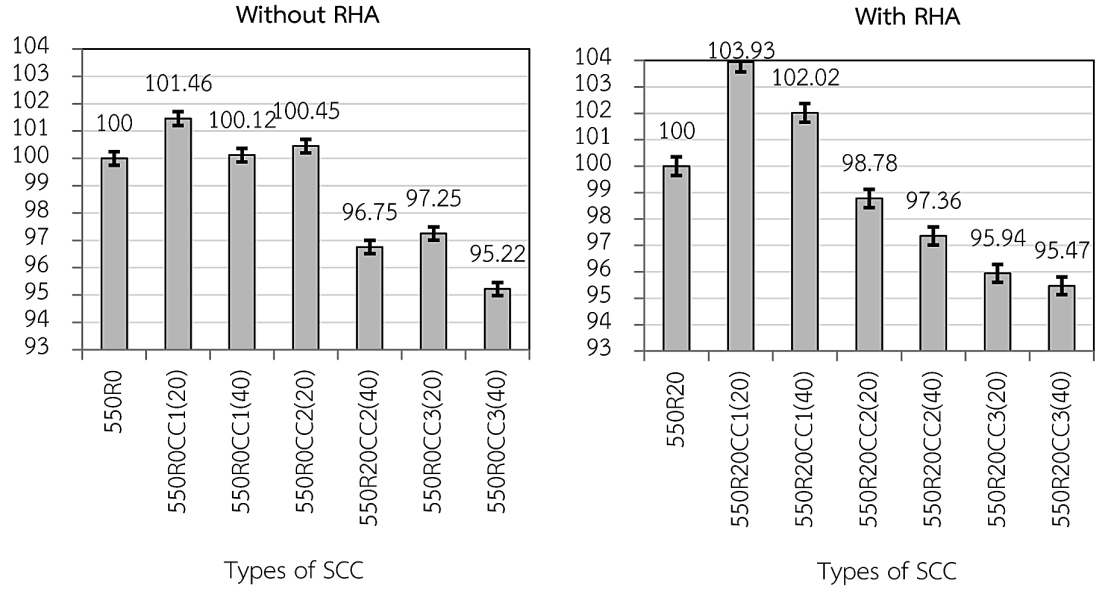


Fig. 6 Unit weight of fresh SCC.

Workability of SCC

According to the EFNARC (2002) and ASTM (American Society for Testing and Materials, 2016b) standards, a concrete mixture can only be classified as SCC if specific requirements for filling ability, passing ability, and segregation resistance are achieved. The workability test results of the fresh SCC, as measured and evaluated by the slump flow time, J-ring flow, V-funnel flow time, and blocking assessment, are presented in Table 3. The results are classified into three groups as stated by the difference between slump flow and J-ring flow: no visible blocking (0 - 25 mm), minimal blocking (25 - 50 mm), and extreme blocking (more than 50 mm), as suggested by ASTM (American Society for Testing and Materials, 2016b).

Filling ability

The slump flow and time to reach a slump flow of 500 mm ($T_{500\ mm}$) indicate the filling ability (Naik et al., 2012), representing the deformation of SCC under its own weight against the friction of the surface with no restraints. In Europe, a range of 725 ± 25 mm is generally used for slump flow testing in most applications. At 700 mm, there is an increased risk of segregation at the beginning of normal concrete placement, but SCC does not suffer from this problem (Santos et al., 2015). The average slump flow of the mixtures was acceptable and indicated good workability (Sua-iam and Makul, 2013). As stated earlier, the SCC mixtures were achieved using varying w/p ratios by maintaining the amount of HRWR.

The slump flow time, which is the time taken by the SCC mixture to reach a diameter of 500 mm, is correlated to the flow rate (Gesoğlu et al., 2012), as stated in the EFNARC guidelines (EFNARC, 2002). All the SCC mixtures achieved acceptable flow times in the range of 3 - 7 s. In this investigation, flow time values were measured using FL1, FL2, and FL3. The effect of the added FL is to enhance the viscosity of the SCC. FL1 (highest fineness) gives a higher viscosity than the coarser mixes (FL2 and FL3).

The flow time values were also observed in mixtures with RHA. The incorporation of FL particles in these mixtures helps to eliminate the effect of mixing RHA (Fung and Kwan, 2014). Similar to the results observed by Sua-iam and Makul (2013), the slump flow time increased in mixtures with high powder (OPC and FL) contents. This could be due to the smooth surface of the FL particles when compared to RHA particles, which would reduce inter-particle friction and increase the viscosity.

Passing ability

The passing ability of the produced SCC mixtures was measured using the J-ring flow; the results are presented in Table 4. The J-ring test is based on the geometry of common concrete applications, namely the minimum spacing between reinforcing bars (Koehler, 2009). The SCC can flow between congested steel bars after the cone is lifted; consequently, the passing ability or blocking behavior of the SCC can be evaluated (Naik et al., 2012). As identified in the ASTM C1621 criteria (American Society for Testing and Materials, 2011b) for the differences in the slump

flow and J-ring flow diameters, 0 - 25 mm is defined as no visible blocking, > 25 - 50 mm is defined as minimal to noticeable blocking, and greater than 50 mm is defined as noticeable to extreme blocking. In this study, all the SCC mixtures except those with FL3 at the powder content of 550 kg/m^3 showed no visible blocking or minimal to noticeable blocking. The higher noticeable blocking could be caused by higher viscosity and the agglomeration of the mixtures. As for the filling ability, using RHA in place of sand has no effect on the passing ability of SCC; in fact, passing ability is significantly more affected by the FL. The mean J-ring flow values show a clear trend: the passing ability improves as the OPC and FL content increases, and the mixtures show blocking as the FL3 content increases. This is because, as the paste volume of the SCC mixtures increases, the total volume of the aggregate that must pass through the confined spaces decreases, increasing the inter-particle friction between the fine and coarse aggregates (Koehler, 2009).

Segregation resistance

Segregation resistance plays a significant role in SCC, as poor segregation resistance can cause poor deformability (Sua-iam and Makul, 2015). The V-funnel test measures the time required for SCC to flow down through a funnel, and can be used to estimate the paste viscosity in SCC and resistance to material segregation (Ali and Al-Tersawy, 2012). For the SCC mixtures tested, the segregation resistance was considered satisfactory if the V-funnel time was in the range 8 - 12 s, as identified in the EFNARC (2002) guidelines. The results of this study indicate a clear correlation between the obtained V-funnel flow time results and the variations in the FL replacement levels. The flow time increases as the total powder content and the percentage of fine aggregate replaced by RHA increases. All the SCC mixtures achieved V-funnel values within the acceptable range. The effects of FL materials can be attributed to the shape characteristics and particle fineness of the powder materials. Finer powder materials improve the spread flow values compared with coarser powder (Felekoğlu, 2007). The smooth surface texture of the FL enhances this behavior by contributing to an increase in the amount of free water, which is known to increase workability and cohesiveness (Naik et al., 2012).

Table 3 Slump flow time, V-funnel flow time, and flow diameter from the J-ring test of fresh SCC mixtures.

SCC Type	Slump flow (mm)		$T_{500\ mm}$ slump flow (s)		V-funnel flow time (s)		J-ring test (mm)		Blocking
	Mean	± SD	Mean	± SD	Mean	± SD	Mean	± SD	Assessment[1]
550R0	731.0	± 4.4	5.1	± 1.7	10.2	± 0.5	724.0	± 6.6	No visible blocking
550R0FL1(20)	723.0	± 3.8	5.2	± 1.5	10.2	± 0.4	718.0	± 5.9	No visible blocking
550R0FL1(40)	713.0	± 3.2	7.0	± 1.9	11.3	± 0.6	711.0	± 4.4	No visible blocking
550R0FL2(20)	720.0	± 2.2	4.3	± 1.3	11.1	± 0.1	713.0	± 4.2	No visible blocking
550R20FL2(40)	711.0	± 1.1	6.1	± 1.2	10.1	± 1.1	684.0	± 3.3	Noticeable blocking
550R0FL3(20)	714.0	± 1.3	3.1	± 1.8	9.2	± 0.0	681.0	± 2.1	Noticeable blocking
550R0FL3(40)	708.0	± 0.6	5.3	± 1.1	9.0	± 1.4	678.0	± 1.5	Noticeable blocking
550R20	726.0	± 4.2	6.6	± 1.1	8.1	± 0.5	725.0	± 5.1	No visible blocking
550R20FL1(20)	725.0	± 3.5	6.3	± 1.4	8.4	± 0.4	723.0	± 4.2	No visible blocking
550R20FL1(40)	721.0	± 1.3	7.0	± 1.6	8.9	± 0.9	714.0	± 3.6	No visible blocking
550R20FL2(20)	716.0	± 1.1	5.4	± 1.2	8.3	± 1.1	713.0	± 2.1	No visible blocking
550R20FL2(40)	714.0	± 1.0	7.2	± 1.3	7.6	± 1.5	708.0	± 2.0	No visible blocking
550R20FL3(20)	712.0	± 0.8	4.8	± 1.9	7.2	± 1.0	712.0	± 1.8	No visible blocking
550R20FL3(40)	711.0	± 0.5	6.3	± 1.2	6.3	± 1.2	710.0	± 1.6	No visible blocking

Remarks : [1] For the blocking assessment, the differences in the slump flow and J-ring flow diameters were determined. In this assessment, 0 - 25 mm is defined as no visible blocking, 25 - 50 cm is defined as minimal to noticeable blocking, and greater than 50 mm is defined as noticeable to extreme blocking

Concluding remarks

This investigation has presented a way to improve the rheology, strength, and durability of SCC containing residual-unprocessed RHA using very finely powdered FL. The FL was used as a substitute for OPC at concentrations of 20% and 40%wt., and RHA was used as a fine aggregate replacement material at a concentration of 20%wt. The SCC mixtures were designed with a controlled slump flow of 725 ± 25 mm. The following conclusions can be drawn from the experimental results:

1. To maintain the target flow with a 725 ± 25 mm diameter, the w/p ratio was adjusted. SCC mixtures with/without RHA incorporating FL have a lower w/p than that of the control SCC. Moreover, the unit weight of the SCC with/without RHA

mixtures increased when the FL1(20), FL1(40), and FL2(20) contents increased, and increased when the FL content increased.

2. Considering the workability of SCC, most of the mixtures maintained acceptable flow times in the EFNARC-specified range, while the V-funnel flow results and variations in the FL replacement levels show a general correlation with the increase in FL. The flow time increases as the total powder content and percentage of fine aggregate replaced by RHA increase.

Acknowledgement

The authors thank Phranakhon Rajabhat University for providing financial support for this project.

References

Ali, E.E. & Al–Tersawy, S.H. (2012). Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**. 35, 785-791.

American Society for Testing and Materials, (2016a). **Annual book of ASTM standards Vol.04.01**. Philadelphia, United States of America (USA).

American Society for Testing and Materials, (2016b). **Annual book of ASTM standards Vol.04.02**. Philadelphia, United States of America (USA).

Binici, H., Aksogan, O., Cagatay, I. H., Tokyay, M. & Emsen, E. (2007a). The effect of particle size distribution on the properties of blended cements incorporating GGBFS and natural pozzolan (NP). **Powder Technology**, 177, 140–147.

Binici, H., Temiz, H. & Kose, M. M. (2007b). The effect of fineness on the properties of the blended cements incorporating ground granulated blast furnace slag and ground basaltic pumice. **Construction and Building Materials**, 21, 1122–1128.

Chindaprasirt, P., Homwuttiwong, S. & Sirivivatnanon, V. (2004). Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar. **Cement and Concrete Research**, 34, 1087–1092.

Durgun, M. Y. & Atahan, H. N. (2017). Rheological and fresh properties of reduced fine content self-compacting concretes produced with different particle sizes of nano SiO_2. **Construction and Building Materials**, 142, 431–443.

European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures, (2002). **Specifications and guidelines for self-compacting concrete.** Farnham, Surrey, United Kingdom (UK).

Felekoglu, B., Türkel, S. & Kalyoncu, H. (2009). Optimization of fineness to maximize the strength activity of high-calcium ground fly ash - Portland cement composites. **Construction and Building Materials,** 23, 2053–2061.

Fung, W.W.S. & Kwan, A.K.H. (2014). Effect of particle interlock on flow of aggregate through opening, **Powder Technology**. 253, 198–206.

Gesoğlu, M., Guneyisi, E., Mahmood, S.F., Oz, H.O. & Mermerdas, K. (2012)., Recycling ground granulated blast furnace slag as cold bonded artificial aggregate partially used in self-compacting concrete. **Journal of Hazardous Materials.** 352–358.

Ke, X., Zhou, X., Wang, X., Wang, T., Hou, H. & Zhou, M. (2016). Effect of tailings fineness on the pore structure development of cemented paste backfill. **Construction and Building Materials.** 126, 345–350.

Kiatikomol, K., Jaturapitukkul, C., Songpiriyakit, S. & Chutubtim, S. (2001). A study of ground coarse fly ashes with different finenesses from various sources as pozzolanic materials. **Cement and Concrete Composites.** 23, 335-343.

Koehler, E.P., Use of Rheology to Specify, Design, and Manage Self–Consolidating Concrete, In: **Proceedings of the Tenth ACI International Symposium on Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability.** Sevilla, Spain, 2009.

Kroehong, W., Sinsiri, T., Jaturapitakkul, C. & Chindaprasirt, P. (2011). Effect of palm oil fuel ash fineness on the microstructure of blended cement paste. **Construction and Building Materials.** 25, 4095–4104.

Kumar, B.M. V., Ananthana, H. & Balaji, K.V.A. (2017). Experimental studies on utilization of coarse and finer fractions of recycled concrete aggregates in self-compacting concrete mixes. **Journal of Building Engineering.** 9, 100-108.

Luo, F. J., Heb, L., Pan, Z., Duan, W. H., Zhao, X. L. & Collins, F. (2013). Effect of very fine particles on workability and strength of concrete made with dune sand. **Construction and Building Materials.** 47, 131–137.

Naik, T. R., Canpolat, F. & Chun, Y.-m. Limestone powder use on cement and concrete. **Report No. CBU-2003-31**, REP-525, July 2003. Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science.

Moon, G. D., Oh, S., Jung, S. H. & Choi, Y. C. (2017). Effects of the fineness of limestone powder and cement on the hydration and strength development of PLC concrete. **Construction and Building Materials**. 135, 129-136.

Naik, T.R., Kumar, R., Ramme, B.W. & Canpolat F. (2012). Development of high-strength, economical self-consolidating concrete. **Construction and Building Materials**. 30, 463–469.

Pera, J., Husson, S. & Guilhot, B. (1999). Influence of finely ground limestone on cement hydration. **Cement and Concrete Composites**. 21, 99-105.

Rahman, M.E., Muntohar, A.S., Pakrashi, V., Nagaratnam, B.H. & Sujan D. (2014). Self compacting concrete from uncontrolled burning of rice husk and blended fine aggregate. **Materials and Design**. 55, 410–415.

Sharmila, P. & Dhinakaran, G. (2016). Compressive strength, porosity and sorptivity of ultra fine slag based high strength concrete. **Construction and Building Materials**. 120, 48–53.

Sua-iam, G. & Makul, Natt. (2015). Utilization of coal- and biomass-fired ash in the production of self-consolidating concrete: a literature review. **Journal of Cleaner Production**. 100, 59-76.

Xu, W., Lo, Y. T., Ouyang, D., Memon, S. A., Xing, F., Wang, W. & Yuan, X. (2015). Effect of rice husk ash fineness on porosity and hydration reaction of blended cement paste. **Construction and Building Materials**. 89, 90-101.

Zerbino, R., Giaccio, G. & Isaia, G.C. (2011). Concrete incorporating rice-husk ash without processing. **Construction and Building Materials**. 25, 371-378.

Zhao, H., Sun, W., Wu, X. & Gao, B. (2015). The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures. **Journal of Cleaner Production**. 95, 66–74.

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
PHRANAKHON RAJABHAT UNIVERSITY

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. บทความที่ผู้แต่งส่งมาเพื่อตีพิมพ์จะต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่หรืออยู่ระหว่างการเสนอขอตีพิมพ์จากวารสารอื่น ๆ

2. เนื้อหาในบทความต้องไม่คัดลอก ลอกเลียน หรือไม่ตัดทอนจากบทความอื่นโดยเด็ดขาด (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่งเท่านั้น)

3. ผู้แต่งต้องเขียนบทความตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในระเบียบการส่งบทความ วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

4. การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จะพิจารณาเฉพาะบทความที่ได้รับการประเมินให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิเท่านั้น

5. กรณีมีข้อเสนอแนะจากผู้ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้แต่งต้องปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ และชี้แจงการแก้ไขต้นฉบับดังกล่าว มายังกองบรรณาธิการ

รายละเอียดการเตรียมบทความเสนอเพื่อตีพิมพ์

● วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

ด้วยสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ได้มีการเผยแพร่ผลงานวิชาการในรูปแบบของวารสาร เพราะเห็นว่าจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาความรู้ทางวิชาการ และเป็นสื่อกลางแลกเปลี่ยนข่าวสารสาระสำคัญ ประสบการณ์ ด้านการวิจัยต่าง 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 เกษตรศาสตร์วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์ โดยบทความที่ได้รับการตีพิมพ์จะต้องไม่เคยได้รับการตีพิมพ์หรือกำลังพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนี้จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) อย่างน้อย 2 ท่าน

● คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับ

รับการตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวหนังสือแบบ Cordia New กำหนดตั้งค่าหน้ากระดาษ ซ้าย 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 ทั้งนี้ ให้ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมที่หัวข้อ **รูปแบบการพิมพ์เอกสารอ้างอิง**

เอกสารต้องมีรูปแบบเดียวกันทั้งบทความ ทั้งนี้ บทความประเภทต่าง ๆ 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. ที่อยู่อีเมล์ของตัวแทนนักวิจัย (E-mail Address)	4. ที่อยู่อีเมล์ของตัวแทนนักวิจัย (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 Discussion)
9. สรุปและวิจารณ์ผล (Conclusion and Discussion)	9. สรุป (Conclusion)
10. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) - ถ้ามี	10. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) - ถ้ามี
11. เอกสารอ้างอิง (References)	11. เอกสารอ้างอิง (References)

ชื่อเรื่อง : ควรกะทัดรัด ไม่ยาวจนเกินไป ถ้าบทความเป็นภาษาไทย ชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ชื่อผู้แต่ง : ชื่อเต็ม-นามสกุลเต็ม ของผู้แต่งครบทุกคน ทั้งบทความภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ

1. ชื่อผู้แต่ง ไม่ใส่ตำแหน่งทางวิชาการ 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. ให้ใส่ตัวเลขเป็นตัวยกกำกับท้ายนามสกุลของผู้แต่งทุกคน 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 : หมายเลขตารางให้เป็นเลขอารบิกคำบรรยายและรายละเอียดต่างๆ 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 สุทธิธารธวัช พิมพ์เป็น (Kaewthep & Soottitantawat, 2011)

กาญจนา แก้วเทพ สมคิด สุทธิธารธวัช 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 ให้ใส่<u>สกุลผู้แต่งเป็นภาษาอังกฤษ</u> หากไม่ปรากฏว่าผู้แต่งคนดังกล่าวเคยเขียนสกุลเป็นภาษาอังกฤษมาก่อน อนุโลมให้ใช้หลักเกณฑ์การถอดอักษรไทยเป็นอักษรโรมันแบบถ่ายเสียงตามประกาศราชบัณฑิตยสถานได้**

<u>หลักเกณฑ์การอ้างอิงท้ายบทความ</u>

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). **Algorthm 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, fromgopher://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. Saengdoungkhae, J. Lecturer, Hatyai University. Interviewed on August 20, 2010. (in Thai)

● การส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

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

<u>หมายเหตุ:</u>

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

[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900
[2]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

Cordia New ขนาด 12 pt. ตัวบาง

Author[1*], Author[2] → Cordia New ขนาด 14 pt. ตัวบาง

[1]Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok, 10900,
[2]Department 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

บทคัดย่อ (ขนาด 16 pt. ตัวหนา)

1 นิ้ว ←→ การจัดพิมพ์เอกสารต้นฉบับ ต้องปฏิบัติอย่างเคร่งครัดตามรูปแบบที่กำหนด ในกรณีบทความเป็นภาษาไทยต้องมีบทคัดย่อเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ บทคัดย่อควรมีย่อหน้าเดียว ไม่ควรเกิน 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 New ขนาด 16 pt. ตัวธรรมดา).....

.....

.....

วิธีการ (16 pt. ตัวหนา)

Methods (16 pt. bold)

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

.....

.....

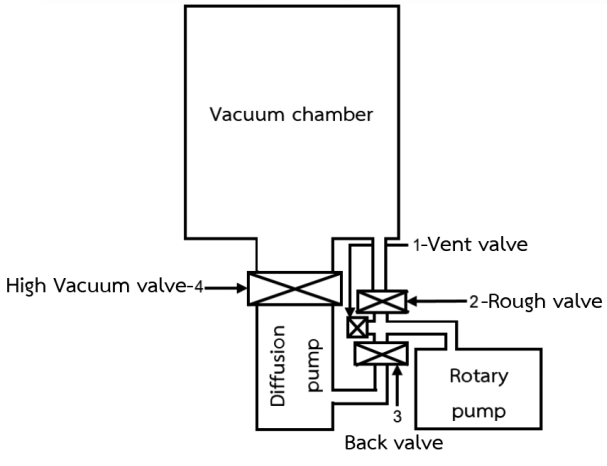
ผลการทดลอง หรือ **ผลการทดลองและวิจารณ์ (16 pt. ตัวหนา)**

Results or Results and Discussion (16 pt. bold)

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

.....

.....



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

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน

เวลาที่ใช้	ความดัน (mbar)				ความดันเฉลี่ย
(นาที)	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	(mbar)
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 ขอบคุณผู้ให้ความช่วยเหลือในการทำการวิจัย 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 Univercity. (in Thai)