

ส่งเสริม เผยแพร่ และแลกเปลี่ยนความรู้ด้านการวิจัย
ระหว่าง คณาจารย์ นิสิต นักศึกษา นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป



สถาบันวิจัยและพัฒนา



มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 13180
โทรศัพท์ : 0-2909-3036 โทรสาร : 0-2909-3036
<http://rd.vru.ac.th>



วารสารวิจัยและพัฒนา
วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

VRU Research and Development Journal // ISSN 2351-0366

Science and Technology

ปีที่ 16 ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน - เดือนธันวาคม 2564)

Volume 16 Number 3 (September - December 2021)



วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่อาหาร วิทยาศาสตร์การแพทย์ และสุขภาพ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีสารสนเทศ สื่อนักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานบทความวิจัย เพื่อการพัฒนาพื้นที่ในระดับจังหวัด กลุ่มจังหวัด ตำบล หมู่บ้านหรือชุมชน แก่นักวิจัย นักวิชาการและบุคคลทั่วไปได้เสนองานผลงานวิจัยสู่สาธารณะ
3. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ อาหาร วิทยาศาสตร์การแพทย์ และสุขภาพ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีสารสนเทศ รวมไปถึงประสบการณ์ในการวิจัยระหว่างสถาบัน

เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์

กำหนดออกเผยแพร่

ปีละ 3 ฉบับ

ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน)

ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม)

ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม)

คณะที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สุพจน์ ทรายแก้ว

รศ.ดร.นฤมล ธนารักษ์

บรรณาธิการ

ผศ.ดร.บุญยง นิลแสง

รองบรรณาธิการ

อาจารย์กุลชาติ พันธธุรกุล

คณะผู้จัดทำวารสารและเผยแพร่

ผศ.ดร.วีระวัฒน์ อุณหะนันท

อาจารย์ปวิช เรียงศิริ

น.ส.ปรียา ยอดจันทน์

น.ส.อัคราภรณ์ เขี่ยมสถาน

นางปิยนันท์ ลิ้มชาติ

กองบรรณาธิการ

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1. ศ.ดร.สมจิตต์ สุพรรณทัศน์ | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| 2. รศ.ดร.ธีระชัย ธนารักษ์ | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| 3. รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 4. รศ.ดร.สุทธิพันธุ์ แก้วสมพงษ์ | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 5. รศ.ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 6. รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพ็ชร | มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร |
| 7. รศ.ดร.ดวงใจ บุญกุล | มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี |
| 8. ผศ.ดร.ศุภกิตต์ สายสุนทร | มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 9. ผศ.ดร.เจษฎา มิ่งฉาย | มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ |

ติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ที่

กองบรรณาธิการวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ปณจ.ประตูน้ำพระอินทร์
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 13180
โทรศัพท์/โทรสาร 0 2909 3036

E-mail: rdi_journalsci@vru.ac.th

Website: <http://rd.vru.ac.th>

โรงพิมพ์

ศูนย์เรียนรู้การผลิตและจัดการธุรกิจสิ่งพิมพ์ดิจิทัล
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ปณจ.ประตูน้ำพระอินทร์
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 13180
โทรศัพท์ 0 2529 0674 7, 0 2909 1633

Website: www.vru.ac.th

จำนวน 40 เล่ม

ข้อความและบทความในวารสารนี้
เป็นความคิดเห็นของผู้นิพนธ์โดยเฉพาะ
กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบในเนื้อหา
และข้อคิดเห็นอื่นๆ แต่อย่างใด

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

VRU Research and Development Journal

Science and Technology

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สู่นักวิจัย และผู้สนใจทั่วไป และเพื่อส่งเสริมความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และประสบการณ์ในการวิจัยระหว่างสถาบัน ซึ่งได้รับการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการจากศูนย์อ้างอิงดัชนีวารสารไทย (TCI) โดยถูกจัดให้เป็น วารสารกลุ่มที่ 2 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีกำหนดออกเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – เดือนเมษายน) ฉบับที่ 2 (เดือนพฤษภาคม – เดือนสิงหาคม) ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน – เดือนธันวาคม) สำหรับนักวิจัยที่มีความประสงค์จะส่งต้นฉบับเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา สามารถส่งบทความวิจัยดังกล่าวมายังกองบรรณาธิการได้โดยตรง ทั้งนี้บทความวิจัยที่เสนอขอตีพิมพ์ จะต้องไม่เคยหรือได้อยู่ในระหว่างขอเสนอลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน ซึ่งบทความวิจัยดังกล่าวจะต้องได้รับการอ่านและประเมินคุณภาพพร้อมได้รับความเห็นชอบให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชานั้น ๆ ของวารสารวิจัยและพัฒนา จำนวน 3 ท่านก่อนลงตีพิมพ์ บทความวิจัยที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ห้ามนำข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษรหรือมีการอ้างอิงอย่างถูกต้องชัดเจน โดยเนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนา เป็นความรับผิดชอบของผู้พิมพ์บทความวิจัยเอง ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

ปัจจุบันวารสารวิจัยและพัฒนา ปีที่ 16 ฉบับที่ 3 (เดือนกันยายน – เดือนธันวาคม 2564) ฉบับนี้ ได้รวบรวมบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 9 เรื่อง เผยแพร่ผ่าน 3 ช่องทางได้แก่ การจัดพิมพ์เป็นรูปเล่มวารสาร การเผยแพร่ออนไลน์ผ่านทางเว็บไซต์ <http://rd.vru.ac.th> และเว็บไซต์ <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/>

สุดท้ายนี้ ทางกองบรรณาธิการ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและส่งผลงานบทความวิจัยเข้าร่วมลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา อย่างดีตลอดมา

บรรณาธิการ

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ
ประจำวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 16 ฉบับที่ 3

รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี	บัญชาหัตถกิจ
รองศาสตราจารย์ ดร.มนัญญา	คำวชิระพิทักษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.มานะ	ชาวเมฆ
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุวดี	รอดจากภัย
รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณทิตา	เศวตบวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกมลวรรณ	ศรีจันทเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัฏจันทร์	ด่านสวัสดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพร	ชูศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิทยา	ใจคำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เยาวภา	แสงพยัค
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตกัลยา	มฤคัฐอินแปลง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตตา	เรืองรัมย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาทิพย์	จันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์	บุญเจริญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันท์	เชาว์เครือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์คชินทร์	โกกนุทาภรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทรงพลธนฤทธิ์	มฤคัฐอินแปลง
ดร.จุฑามาศ	มณีวงศ์
ดร.ตะวัน	ไชยวรรณ
ดร.ธนัชพร	บรรเทาใจ
ดร.นพมาศ	ประทุมสูตร
ดร.สินีนารถ	สุขพนารักษ์

สารบัญ

	หน้า
การคำนวณหาค่าระยะทาง และศักยภาพผลของอนุภาคประจุเคลื่อนที่แบบพิกัดเชิงขั้วภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลางที่ขึ้นอยู่กับรัศมีของวงโคจร จิรวรรณ ทรัพย์ทิพย์ ปิยรัตน์ มุลศรี อาทิตย์ หู่เต็ม	1
การศึกษาปริมาณพินอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดหยาบใบปลิงกาสา ณพัชร บัวฉวน	15
การพัฒนาความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุติดเตียงด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย ลัดดาวัลย์ ชูทอง ยามีละ ดอแม	25
การผลิตเม็ดบีดส์ขอสมะม่วงโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม อัศพงษ์ อุประวรรณ ชนนภรณ์ ทองโรจน์ จรรยา โทะนาบุตร	41
การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตขนมเทียนแช่เยือกแข็งของกลุ่มแม่บ้านชนมไทยบ้านบางพยอมใต้ ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก กุลชญา สิวหงวน วิรัชยา อินทะกันท์	57
การใช้ผงเปลือกจากผลมะตาดและผลกระเจี๊ยบเขียวเป็นสารให้ความข้นในผลิตภัณฑ์ซูപ്പั่นผง จรีมาศ ดีอำมาตย์ ศศมล ผาสุข ปุณยนุช นิลแสง	71
ผลของการทดแทนไขมันบางส่วนด้วยเนื้ออะโวคาโดในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดเพื่อสุขภาพ สุพิชญา คำคม วรัชญา หงษ์ทอง	81
การพยากรณ์จำนวนผู้สมัครเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เปรมวดี อาวุธกรรมปรีชา	93
ความต้านทานไฟฟ้าของถ่านกัมมันต์จากการเตรียมด้วยเปลือกพืชตระกูลแตงที่ใช้ตัวกระตุ้นที่แตกต่างกัน กาญจนาพร อ่อนทรายแก้ว ปรีชา ปัญญา	105

การคำนวณค่าระยะทาง และศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเคลื่อนที่ แบบพิกัดเชิงขั้วภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลางที่ขึ้นอยู่กับรัศมีของวงโคจร

จิราวรรณ ทรัพย์ทิพย์¹ ปิยรัตน์ มูลศรี² อาทิตย์ หู่เต็ม^{3*}

Received : July 22, 2021

Revised : December 14, 2021

Accepted : December 17, 2021

บทคัดย่อ

โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เคลื่อนที่ภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลางที่ขึ้นอยู่กับรัศมีของวงโคจร ($F(r_b)$) ซึ่งการศึกษาเริ่มจากสร้างแรงเข้าสู่ศูนย์กลางที่ขึ้นอยู่กับรัศมีวงโคจร จากนั้นใช้สมการวงโคจรเชิงอนุพันธ์แบบไม่เอกพันธ์คำนวณหาค่าระยะทาง (r_b) และศักย์ยังผล (U_{eff}) ของอนุภาคประจุไฟฟ้าในการเคลื่อนที่ภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลางที่ขึ้นอยู่กับรัศมีของวงโคจรจากนั้นนำผลที่ได้สร้างกราฟด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประจุ q ที่มีมวล m และค่าพารามิเตอร์ μ, L, τ กับ ระยะทาง และศักย์ยังผลของอนุภาคที่เคลื่อนที่ภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลางที่ขึ้นอยู่กับรัศมีของวงโคจร โดยมีลักษณะของการเคลื่อนที่คล้ายวงรี

คำสำคัญ: ระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค ศักย์ยังผล แรงเข้าสู่ศูนย์กลางที่ขึ้นอยู่กับรัศมี

¹ นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: chirawan@pks.ac.th

² อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: piyarutto@hotmail.com

³ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
จังหวัดเพชรบูรณ์ อีเมล: artithutem@pcru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: artithutem@pcru.ac.th

CALCULATION OF DISTANCE AND EFFECTIVE POTENTIAL OF CHARGED PARTICLES MOVING IN A CENTRAL FORCE FIELD USING POLAR COORDINATE

Chirawan Saptip¹ Piyarat Moonsri² Artit Hutem^{3*}

Abstract

The purpose of this research was to study the behavior of the motion of electric charged particles moving in a central force function of radius ($F(r_b)$). The study began by building a model of central force function of radius. Then, the orbit equation to calculate the distance of motion charged particles (r_b) and effective potential (U_{eff}) via central force function of radius. The results are being plotted on a graph by using a computer program where impact of the electric charged particles (q), mass m and variable changes (μ, L, τ) can be analyzed and interpreted. The distance of motion charged particles and potential effect of moving electric charged particles in a central force function of radius was found in an ellipse like motion.

Keywords: Distance of motion particle, Effective Potential, Central Force of function radius

¹ Master of Science Program in Education Science, Phetchabun Rajabhat University
Phetchabun Province e-mail: chirawan@pks.ac.th

² Department of Science Education, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University
Phetchabun Province, e-mail: piyarutto@hotmail.com

³ Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University
Phetchabun Province, e-mail: artithutem@pcru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: artithutem@pcru.ac.th

บทนำ

ในการเรียนรายวิชาโลก ดาราศาสตร์และอวกาศของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายนั้น จะต้องศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ หรือสมการการเคลื่อนที่ของวงโคจรของดาวเคราะห์ ที่มีลักษณะเป็นระยะทางสัมพันธ์กับกฎแรงดึงดูดระหว่างมวล ที่เป็นระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุหนึ่งรอบวัตถุหนึ่ง โดยอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงสู่ศูนย์กลาง เช่น ดวงจันทร์มีการโคจรรอบโลก โลกมีการโคจรรอบดวงอาทิตย์ ดาวเทียมมีการโคจรรอบโลก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาดาวเคราะห์เป็นอนุภาคประจุไฟฟ้า เราสามารถจะคำนวณหาระยะทางของอนุภาคประจุไฟฟ้าที่มีการเคลื่อนที่ภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลางที่ขึ้นอยู่กับรัศมีวงโคจร ซึ่งจะมีการวิเคราะห์ห้วงโคจร 2 แบบ แบบเปิด และแบบปิดซึ่งจะสอดคล้องกับการเรียนการสอนของรายวิชาโลก ดาราศาสตร์และอวกาศของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเข้าใจผิดกันว่ามีลักษณะการเคลื่อนที่หรือวงโคจรเป็นวงกลม (รัชนิ รุจิโรดม, 2558) ซึ่งแท้จริงแล้ว อนุภาคจะโคจรรอบอีกอนุภาคหนึ่งในลักษณะของวงโคจรที่เป็นวงรี โดยปัจจุบันกลศาสตร์คลาสสิกเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ อธิบายลักษณะของวงโคจรไว้โดยใช้ทฤษฎีสัมพัทธภาพของ อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ ที่อธิบายเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วง เนื่องมาจากความโค้งของอวกาศกับเวลา ที่มีลักษณะวงโคจรตามเส้นจีโอแดสิก (Geodesics) เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจะกำหนดเป็นค่าประมาณ และกฎการเคลื่อนที่ของเคปเลอร์ เคปเลอร์ได้อธิบายเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ไว้ทั้งหมด 3 ข้อ คือ กฎข้อที่ 1 (กฎของวงรี) "ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี (Atam, 1990) โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุดศูนย์กลาง" กฎข้อที่ 2 เวลาที่ดาวเคราะห์ใช้โคจรรอบดวงอาทิตย์ โดยคาบเวลาที่เท่ากันจะสามารถกวาดพื้นที่ได้เท่ากัน และกฎข้อที่ 3 กำลังสองของคาบที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ แปรผันตามกำลังสามของระยะทางที่ห่างจากดวงอาทิตย์ ($T^2 / r_b^3 = k$ โดยที่ k เป็นค่าคงที่) ดังนั้นในงานวิจัยในระบบนี้จะพิจารณาว่าประจุไฟฟ้ามีการเคลื่อนที่ตามวงโคจรระหว่างประจุเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสซึ่งในงานวิจัยนี้ จะมีการคำนวณหาค่าระยะทางและศักย์ยังผลของ อนุภาคที่ถูกเคลื่อนที่แบบพิกัดเชิงขั้วภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลางที่ขึ้นอยู่กับรัศมีวงโคจร (Edison et al., 2013; Michael, 2018)

$$F(r_b) = -\frac{1}{r_b^2} \left(zq^2 \sin^2(\theta) + \frac{\alpha q^2 \cos^2(\theta)}{(1-e^2)^2} - \frac{\tau}{r_b^3} \right)$$

เพื่ออธิบายว่า วงโคจรของอนุภาคมีการเคลื่อนที่เป็นวงรี เนื่องจากมีฟังก์ชันที่มารบกวนแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง ($F(r_b)$) ซึ่งมีเทอมของค่าสัมประสิทธิ์ความเยื้องของวงโคจร (วัชรพงษ์ พลสนาม และ อาทิตย์ หุ้เต็ม, 2561) ที่ใช้ลักษณะคล้ายกับงานวิจัยของ Edison และ Michael แต่ในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มฟังก์ชันตรีโกณมิติไซน์ และ โคไซน์ และมีเทอมที่มารบกวนระบบ $1/r_b^3$

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาระยะทาง ศักย์ยังผลของอนุภาคที่เคลื่อนที่ภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง $F(r_b)$

วิธีดำเนินการวิจัย

การคำนวณหาสมการการกระยะทางของอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบพิกัดเชิงขั้วภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง ($F(r_b)$) โดยพิจารณาการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลางดังนี้

$$F(r_b) = -\frac{1}{r_b^2} \left[zq^2 \sin^2(\theta) + \frac{\alpha q^2 \cos^2(\theta)}{(1-e^2)^2} - \frac{\tau}{r_b^3} \right] \quad (1)$$

ซึ่งเป็นสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง (Fung, 2012 ; Hideyuki & Hiroshi, 2010) กำหนดให้ r_b คือ ระยะทางของอนุภาคที่เคลื่อนที่ในพิกัดเชิงขั้ว, z คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 9×10^9 , q คือ ประจุไฟฟ้า α เป็นค่าพารามิเตอร์ τ เป็นพารามิเตอร์ทอร์กการหมุนของอนุภาคประจุไฟฟ้า e คือ สัมประสิทธิ์ความเยื้อง และ θ คือ มุมของประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ จากสมการที่ (1) สามารถคำนวณหากระยะทางของอนุภาคที่เคลื่อนที่ โดยใช้สมการเชิงอนุพันธ์แบบไม่เอกพันธ์ (Roel, 2001)

$$\frac{d^2 u_b}{d\theta^2} + u_b = -\frac{m}{L^2 u_b^2} F\left(\frac{1}{u_b}\right) \quad (2)$$

กำหนดให้ $u_b = 1/r_d$ และ L คือ โมเมนตัมเชิงมุมของอนุภาคประจุไฟฟ้า จะเปลี่ยน $F(r_b)$ เป็นดังนี้

$$F\left(\frac{1}{u_b}\right) = -zq^2 u_b^2 \sin^2(\theta) - \frac{\alpha q^2 u_b^2 \cos^2(\theta)}{(1-e^2)^2} + \tau u_b^3 \quad (3)$$

แทนสมการที่ (3) ลงในสมการที่ (2) จะได้

$$\frac{d^2 u_b}{d\theta^2} + u_b = -\frac{m}{L^2 u_b^2} \left(-zq^2 u_b^2 \sin^2(\theta) - \frac{\alpha q^2 u_b^2 \cos^2(\theta)}{(1-e^2)^2} + \tau u_b^3 \right)$$

กำหนดให้ $m = \mu$ เป็นมวลของอนุภาคประจุไฟฟ้า และ $\ell = L$ จะได้

$$\frac{d^2 u_b}{d\theta^2} + \left(1 - \frac{\tau\mu}{\ell^2}\right) u_b = \frac{zq^2 \mu \sin^2(\theta)}{\ell^2} + \frac{\alpha q^2 \mu \cos^2(\theta)}{\ell^2 (1-e^2)^2} \quad (4)$$

หาค่า (u_b) โดยใช้อนุพันธ์อันดับที่ 2 แบบไม่เอกพันธ์ และใช้วิธีแบบรอนสเกียน (Susan, 2004) เพื่อหาผลเฉลยของสมการที่ (4) ดังนี้

$$u_b(\theta) = u_{bc}(\theta) + u_{bp}(\theta) \quad (5)$$

โดยที่ $u_b(\theta)$ เป็นผลเฉลยของสมการที่ (4) ซึ่งประกอบด้วย $u_{bc}(\theta)$ เป็นผลเฉลยเอกพันธ์ และ $u_{bp}(\theta)$ เป็นผล

เฉลยเฉพาะ ซึ่งงานวิจัยนี้คำนวณหาค่าของ $u_{bc}(\theta)$ จาก $\frac{d^2 u_b}{d\theta^2} + \left(1 - \frac{\tau\mu}{\ell^2}\right) u_b = 0$ และกำหนดให้

$\beta^2 = \left(1 - \frac{\tau\mu}{\ell^2}\right)$ จะได้ $\frac{d^2 u_b}{d\theta^2} + \beta^2 u_b = 0$ ซึ่งสามารถหาค่าของ $u_{bc}(\theta)$ ได้เป็น

$$u_{bc}(\theta) = e^{p(\theta)} (A \cos(\beta\theta) + B \sin(\beta\theta))$$

$$u_{bc}(\theta) = A \cos(\beta\theta) + B \sin(\beta\theta) \quad ; p(\theta) = 0 \quad (6)$$

กรณีที่มีเฟสเริ่มต้น $A = P \cos(\phi)$, $B = P \sin(\phi)$, โดยที่ $P = A$ แอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุไฟฟ้า จะได้ $u_{bc}(\theta)$ ดังนี้ $u_{bc}(\theta) = P \cos(\phi) \cos(\beta\theta) + P \sin(\phi) \sin(\beta\theta)$

$$u_{bc}(\theta) = A \cos(\beta\theta - \phi) \quad (7)$$

จากสมการที่ (6) กำหนดให้ $u_{b1}(\theta) = \cos(\beta\theta)$, $u_{b2}(\theta) = \sin(\beta\theta)$ หาผลเฉลยเฉพาะของสมการที่ (4) $u_{bp}(\theta)$ จาก $u_{bp}(\theta) = s_{b1}(\theta) \cdot u_{b1}(\theta) + s_{b2}(\theta) \cdot u_{b2}(\theta)$ จากนั้นใช้วิธีรอนสเกียน เราทำการหาค่า W_b , W_{b1} โดยใช้ดีเทอร์มิแนนต์ (Determinant) (Tikjha et al., 2018) ดังนี้

$$\frac{ds_{b1}(\theta)}{d\theta} = \frac{W_{b1}}{W_b} \quad (8)$$

$$W_b = \begin{vmatrix} u_{b1}(\theta) & u_{b2}(\theta) \\ u'_{b1}(\theta) & u'_{b2}(\theta) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos(\beta\theta) & \sin(\beta\theta) \\ -\beta \sin(\beta\theta) & \beta \cos(\beta\theta) \end{vmatrix} = \beta \cos^2(\beta\theta) + \beta \sin^2(\beta\theta) = \beta \quad (9)$$

ต่อไปเราสามารถหา W_{b1} ดังนี้

$$W_{b1} = \begin{vmatrix} 0 & u_{b2}(\theta) \\ f_1(\theta) & u'_{b2}(\theta) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & \sin(\beta\theta) \\ \frac{zq^2\mu \sin^2(\theta)}{\ell^2} + \frac{\alpha q^2\mu \cos^2(\theta)}{\ell^2(1-e^2)^2} & \beta \cos(\beta\theta) \end{vmatrix}$$

$$W_{b1} = -\sin(\beta\theta) \left(\frac{zq^2\mu \sin^2(\theta)}{\ell^2} + \frac{\alpha q^2\mu \cos^2(\theta)}{\ell^2(1-e^2)^2} \right) \quad (10)$$

แทนสมการที่ (9) และ (10) ลงในสมการที่ (8) จะได้

$$\frac{ds_{b1}(\theta)}{d\theta} = \frac{-\sin(\beta\theta)}{\beta} \left(\frac{zq^2\mu \sin^2(\theta)}{\ell^2} + \frac{\alpha q^2\mu \cos^2(\theta)}{\ell^2(1-e^2)^2} \right)$$

ทำการอินทิเกรตสมการข้างต้นเพื่อหาค่า $s_1(\theta)$ จะได้

$$s_{b1}(\theta) = \frac{zq^2\mu}{\ell^2\beta} \int \sin(\beta\theta) \sin^2(\theta) d\theta - \frac{\alpha q^2\mu}{\ell^2\beta(1-e^2)^2} \int \sin(\beta\theta) \cos^2(\theta) d\theta \quad (11)$$

จากสมการที่ (11) หาค่า $\int \sin(\beta\theta) \sin^2(\theta) d\theta$ และ $\int \sin(\beta\theta) \cos^2(\theta) d\theta$ โดยใช้เอกลักษณ์ตรีโกณมิติ และ

$$\int \sin(\beta\theta) \sin^2(\theta) d\theta = \frac{1}{2} \left(\frac{-\cos(\beta\theta)}{\beta} + \frac{\cos((\beta+2)\theta)}{2(\beta+2)} + \frac{\cos((\beta-2)\theta)}{2(\beta-2)} \right)$$

$$\int \sin(\beta\theta) \cos^2(\theta) d\theta = \frac{1}{2} \left(\frac{-\cos(\beta\theta)}{\beta} - \frac{\cos((\beta+2)\theta)}{2(\beta+2)} - \frac{\cos((\beta-2)\theta)}{2(\beta-2)} \right)$$

แทนค่าลงในสมการที่ (11) จะได้

$$s_{b1}(\theta) = -\frac{zq^2\mu}{\ell^2\beta} \left(\frac{-\cos(\beta\theta)}{2\beta} + \frac{\cos(\beta\theta+2\theta)}{4(\beta+2)} + \frac{\cos(\beta\theta-2\theta)}{4(\beta-2)} \right)$$

$$-\frac{\alpha q^2 \mu}{\ell^2 \beta (1-e^2)^2} \left(\frac{-\cos(\beta\theta)}{2\beta} - \frac{\cos(\beta\theta+2\theta)}{4(\beta+2)} - \frac{\cos(\beta\theta-2\theta)}{4(\beta-2)} \right) \quad (12)$$

หาค่า W_{b2} โดยใช้ดีเทอร์มิแนนต์ (Determinant) ดังนี้

$$\frac{ds_{b2}(\theta)}{d\theta} = \frac{W_{b2}}{W_b} \quad (13)$$

ต่อไปเราสามารถหา W_{b2} ดังนี้

$$W_{b2} = \begin{vmatrix} u_{b1}(\theta) & 0 \\ u'_{b1}(\theta) & f(\theta) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sin(\beta\theta) & 0 \\ -\beta \sin(\beta\theta) & \frac{zq^2 \mu \sin^2(\theta)}{\ell^2} + \frac{\alpha q^2 \mu \cos^2(\theta)}{\ell^2 (1-e^2)^2} \end{vmatrix}$$

$$W_{b2} = \cos(\beta\theta) \left(\frac{zq^2 \mu \sin^2(\theta)}{\ell^2} + \frac{\alpha q^2 \mu \cos^2(\theta)}{\ell^2 (1-e^2)^2} \right) \quad (14)$$

และนำสมการที่ (9) และสมการที่ (14) แทนลงในสมการที่ (13) จะได้

$$\frac{ds_{b2}(\theta)}{d\theta} = \frac{\cos(\beta\theta)}{\beta} \left(\frac{zq^2 \mu \sin^2(\theta)}{\ell^2} + \frac{\alpha q^2 \mu \cos^2(\theta)}{\ell^2 (1-e^2)^2} \right)$$

ทำการอินทิเกรตสมการข้างต้นเพื่อหาค่า $s_{b2}(\theta)$ จะได้

$$s_2(\theta) = -\frac{zq^2 \mu}{\ell^2 \beta} \int \cos(\beta\theta) \sin^2(\theta) d\theta + \frac{\alpha q^2 \mu}{\ell^2 \beta (1-e^2)^2} \int \cos(\beta\theta) \cos^2(\theta) d\theta \quad (15)$$

จากสมการที่ (15) เราสามารถหาค่า $\int \cos(\beta\theta) \sin^2(\theta) d\theta$ และ $\int \cos(\beta\theta) \cos^2(\theta) d\theta$ โดยใช้เอกลักษณ์ตรีโกณมิติ จะได้

$$\int \cos(\beta\theta) \sin^2(\theta) d\theta = \frac{1}{2} \left(\frac{\sin(\beta\theta)}{\beta} - \frac{\sin((\beta+2)\theta)}{2(\beta+2)} - \frac{\sin((\beta-2)\theta)}{2(\beta-2)} \right)$$

$$\int \cos(\beta\theta) \cos^2(\theta) d\theta = \frac{1}{2} \left(\frac{\sin(\beta\theta)}{\beta} + \frac{\sin((\beta+2)\theta)}{2(\beta+2)} + \frac{\sin((\beta-2)\theta)}{2(\beta-2)} \right)$$

แทนค่า $\int \cos(\beta\theta) \sin^2(\theta) d\theta$ และ $\int \cos(\beta\theta) \cos^2(\theta) d\theta$ ลงในสมการที่ (15) จะได้

$$s_{b2}(\theta) = \frac{zq^2 \mu}{\ell^2 \beta} \left(\frac{\sin(\beta\theta)}{2\beta} - \frac{\sin(\beta\theta+2\theta)}{4(\beta+2)} - \frac{\sin(\beta\theta-2\theta)}{4(\beta-2)} \right)$$

$$+ \frac{\alpha q^2 \mu}{\ell^2 \beta (1-e^2)^2} \left(\frac{\sin(\beta\theta)}{2\beta} + \frac{\sin(\beta\theta+2\theta)}{4(\beta+2)} + \frac{\sin(\beta\theta-2\theta)}{4(\beta-2)} \right) \quad (16)$$

จากนั้นนำสมการที่ (12) และสมการที่ (16) แทนลงในสมการ $u_p(\theta)$ จะได้

$$\begin{aligned}
u_{bp}(\theta) = & -\frac{zq^2\mu}{\ell^2\beta} \left(\frac{-\cos(\beta\theta)}{2\beta} + \frac{\cos(\beta\theta+2\theta)}{4(\beta+2)} + \frac{\cos(\beta\theta-2\theta)}{4(\beta-2)} \right) \\
& - \frac{\alpha q^2\mu}{\ell^2\beta(1-e^2)^2} \left(\frac{-\cos(\beta\theta)}{2\beta} - \frac{\cos(\beta\theta+2\theta)}{4(\beta+2)} - \frac{\cos(\beta\theta-2\theta)}{4(\beta-2)} \right) \cdot \cos(\beta\theta) \\
& + \frac{zq^2\mu}{\ell^2\beta} \left(\frac{\sin(\beta\theta)}{2\beta} - \frac{\sin(\beta\theta+2\theta)}{4(\beta+2)} - \frac{\sin(\beta\theta-2\theta)}{4(\beta-2)} \right) \\
& + \frac{\alpha q^2\mu}{\ell^2\beta(1-e^2)^2} \left(\frac{\sin(\beta\theta)}{2\beta} + \frac{\sin(\beta\theta+2\theta)}{4(\beta+2)} + \frac{\sin(\beta\theta-2\theta)}{4(\beta-2)} \right) \cdot \sin(\beta\theta)
\end{aligned} \quad (17)$$

แทนสมการที่ (7) และ (17) ลงในสมการที่ (5) จะได้

$$\begin{aligned}
u_b(\theta) = & A\cos(\beta\theta-\phi) + \left(\frac{zq^2\mu\cos(\beta\theta)}{\ell^2\beta} \left(\frac{\cos(\beta\theta)}{2\beta} - \frac{\cos(\beta\theta+2\theta)}{4(\beta+2)} - \frac{\cos(\beta\theta-2\theta)}{4(\beta-2)} \right) \right. \\
& + \frac{\alpha q^2\mu\cos(\beta\theta)}{\ell^2\beta(1-e^2)^2} \left(\frac{\cos(\beta\theta)}{2\beta} + \frac{\cos(\beta\theta+2\theta)}{4(\beta+2)} + \frac{\cos(\beta\theta-2\theta)}{4(\beta-2)} \right) \\
& + \frac{zq^2\mu\sin(\beta\theta)}{\ell^2\beta} \left(\frac{\sin(\beta\theta)}{2\beta} - \frac{\sin(\beta\theta+2\theta)}{4(\beta+2)} - \frac{\sin(\beta\theta-2\theta)}{4(\beta-2)} \right) \\
& \left. + \frac{\alpha q^2\mu\sin(\beta\theta)}{\ell^2\beta(1-e^2)^2} \left(\frac{\sin(\beta\theta)}{2\beta} + \frac{\sin(\beta\theta+2\theta)}{4(\beta+2)} + \frac{\sin(\beta\theta-2\theta)}{4(\beta-2)} \right) \right) \\
u_b(\theta) = & A\cos(\beta\theta-\phi) + \frac{zq^2\mu}{2\ell^2\beta} \left(\frac{1}{\beta} - \frac{\beta\cos(2\theta)}{\beta^2-4} \right) + \frac{\alpha q^2\mu}{2\ell^2\beta(1-e^2)^2} \left(\frac{1}{\beta} + \frac{\beta\cos(2\theta)}{\beta^2-4} \right)
\end{aligned} \quad (18)$$

และเมื่อแทนค่า $u_b = 1/r_b$ จะได้

$$r_b(\theta) = \frac{1}{A\cos(\beta\theta-\phi) + \frac{zq^2\mu}{2\ell^2\beta} \left(\frac{1}{\beta} - \frac{\beta\cos(2\theta)}{\beta^2-4} \right) + \frac{\alpha q^2\mu}{2\ell^2\beta(1-e^2)^2} \left(\frac{1}{\beta} + \frac{\beta\cos(2\theta)}{\beta^2-4} \right)} \quad (19)$$

จากสมการที่ (19) จะถูกเรียกว่า ระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค ($r_b(\theta)$) เป็นสมการบ่งบอกระยะทางของวงโคจรของอนุภาคประจุไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีการวิเคราะห์ทั้งโคจรแบบเปิด และแบบปิด ซึ่งระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เป็นฟังก์ชันของมุมในการเคลื่อนที่ของอนุภาคซึ่งระยะทางของอนุภาคจะถูกแสดงลักษณะเป็นแผนกราฟในหัวข้อผลการวิจัย

การคำนวณหาสมการศักย์ยังผลของอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบพิกัดเชิงขั้วภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง $F(r_b)$

โดยคำนวณจากสมการ $f(r_b) = -\nabla V_b$ ให้เทคนิคอินทิเกรต โดยกำหนดให้ θ คงที่จะได้

$$F(r_b) = -\frac{dV_b}{dr_b} \quad (20)$$

เราทำการแทนแรงเข้าสู่ศูนย์กลางของสมการที่ (1) ลงในสมการที่ (20) และทำการอินทิเกรต จะได้

$$V_b(r_b) = \left(zq^2 \sin^2(q) + \frac{aq^2 \cos^2(q)}{(1-e^2)^2} \right) \int \frac{1}{r_b^2} dr_b - t \int \frac{1}{r_b^3} dr_b$$

จะได้

$$V_b(r_b) = -\frac{1}{r_b} \left(zq^2 \sin^2(\theta) + \frac{\alpha q^2 \cos^2(\theta)}{(1-e^2)^2} \right) + \frac{\tau}{2r_b^2}$$

จากสมการหาค่าศักย์ยังผลของอนุภาค

$$U_{eff} = \frac{L^2}{2mr_b^2} + V_b(r_b)$$

$$U_{eff}(r_b, \theta) = \frac{L^2}{2mr_b^2} - \frac{1}{r_b} \left(zq^2 \sin^2(\theta) + \frac{\alpha q^2 \cos^2(\theta)}{(1-e^2)^2} \right) + \frac{\tau}{2r_b^2} \quad (21)$$

จากสมการที่ (21) จะถูกเรียกว่า ศักย์ยังผลของอนุภาคที่เป็นฟังก์ชันของมุม และระยะทางวงโคจร ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์ศักย์ยังผลของอนุภาค ว่าเป็นศักย์ดูด หรือศักย์ผลักขึ้นอยู่กับ ประจุไฟฟ้า โมเมนตัมเชิงมุม มวลของอนุภาคประจุไฟฟ้า และทอร์กการหมุน ซึ่งศักย์ยังผลของอนุภาคจะถูกแสดงลักษณะเป็นแผนกราฟในหัวข้อผลการวิจัย

การศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เคลื่อนที่ภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง $F(r_b)$

ตารางที่ 1 ศึกษาค่าระยะทางของอนุภาคที่เคลื่อนที่ภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง $F(r_b)$

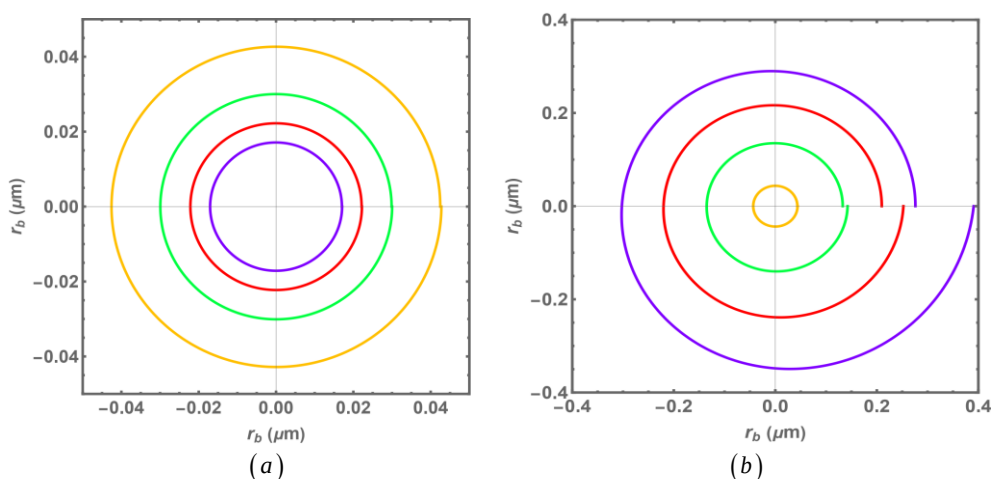
ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
$q_1 = 5 \mu C, q_2 = 6 \mu C$ $q_3 = 7 \mu C, q_4 = 8 \mu C$	ระยะทางของอนุภาคที่เคลื่อนที่	$\tau = 0.6, A = 1, \mu = 0.5$ $\ell = 0.55, \theta = 0 \rightarrow 2\pi, \phi = 0$ $z = 9 \times 10^9, \alpha = 0.5, e = 0.5$
$\mu_1 = 0.50 \mu g, \mu_2 = 0.49 \mu g$ $\mu_3 = 0.48 \mu g, \mu_4 = 0.47 \mu g$	ระยะทางของอนุภาคที่เคลื่อนที่	$\tau = 0.6, A = 1, q = 5 \times 10^{-6}$ $\ell = 0.55, \theta = 0 \rightarrow 2\pi, \phi = 0$ $z = 9 \times 10^9, \alpha = 0.5, e = 0.5$
$\ell_1 = 0.55, \ell_2 = 0.56 \mu g m^2/s$ $\ell_3 = 0.57, \ell_4 = 0.58 \mu g m^2/s$	ระยะทางของอนุภาคที่เคลื่อนที่	$\tau = 0.6, A = 1, q = 5 \times 10^{-6}$ $\mu = 0.5, \theta = 0 \rightarrow 2\pi, \phi = 0$ $z = 9 \times 10^9, \alpha = 0.5, e = 0.5$
$\tau_1 = 0.60 Nm, \tau_2 = 0.59 Nm$ $\tau_3 = 0.58 Nm, \tau_4 = 0.57 Nm$	ระยะทางของอนุภาคที่เคลื่อนที่	$\ell = 0.55, A = 1, q = 5 \times 10^{-6}$ $\mu = 0.5, \theta = 0 \rightarrow 2\pi, \phi = 0$ $z = 9 \times 10^9, \alpha = 0.5, e = 0.5$

ตารางที่ 2 ศึกษาค่าศักย์ยังผลของอนุภาคที่เคลื่อนที่ภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง $F(r_b)$

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
$q_1 = 4 \mu C, q_2 = 6 \mu C$ $q_3 = 8 \mu C, q_4 = 10 \mu C$	ค่าศักย์ยังผลของอนุภาคที่เคลื่อนที่	$L = 0.55, m = 0.5,$ $z = 9 \times 10^9, \theta = 270,$ $e = 0.5, \tau = 0.6, \alpha = 0.5$
$m_1 = 0.8 \mu g, m_2 = 0.5 \mu g$ $m_3 = 0.3 \mu g, m_4 = 0.2 \mu g$	ค่าศักย์ยังผลของอนุภาคที่เคลื่อนที่	$L = 0.55, q = 5.0 \times 10^{-6}$ $z = 9 \times 10^9, \theta = 270$ $e = 0.5, \tau = 0.6, \alpha = 0.5$
$L_1 = 0.50, L_2 = 0.55 \mu g m^2 / s$ $L_3 = 0.60, L_4 = 0.65 \mu g m^2 / s$	ค่าศักย์ยังผลของอนุภาคที่เคลื่อนที่	$m = 0.5, q = 5.0 \times 10^{-6}$ $z = 9 \times 10^9, \theta = 270, \alpha = 0.5$ $e = 0.5, \tau = 0.6$
$\tau_1 = 0.20 Nm, \tau_2 = 0.35 Nm$ $\tau_3 = 0.50 Nm, \tau_4 = 0.65 Nm$	ค่าศักย์ยังผลของอนุภาคที่เคลื่อนที่	$m = 0.5, q = 5.0 \times 10^{-6}$ $z = 9 \times 10^9, \theta = 270, \alpha = 0.5$ $e = 0.5, L = 0.55$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

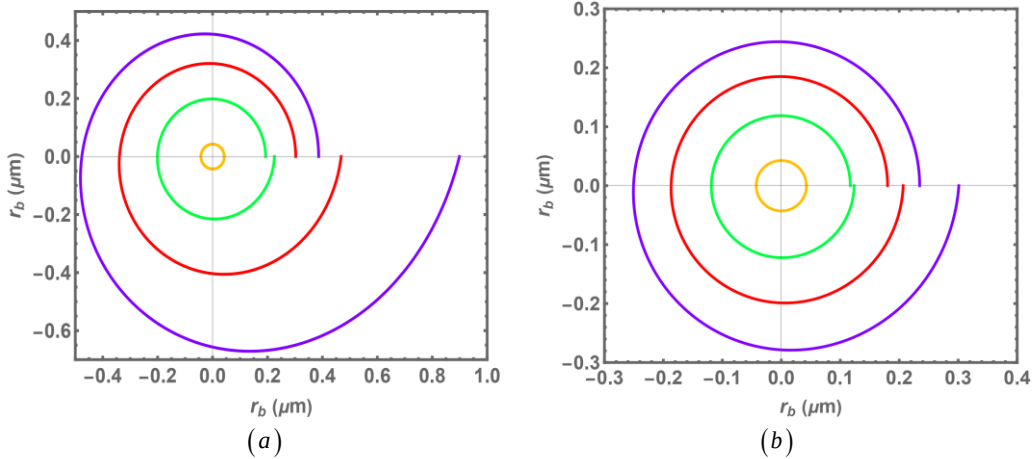
การทดลองหาระยะทางของอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบพิกัดเชิงขั้วภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง $F(r_b)$



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุในระบบพิกัดเชิงขั้ว (a) แสดงลักษณะของระยะทางของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของประจุเริ่มต้นเปลี่ยนจาก $q = 5 \mu C \rightarrow 8 \mu C$ (b) แสดงลักษณะของระยะทางของอนุภาคประจุที่เคลื่อนที่ในระบบพิกัดเชิงขั้ว เมื่อพารามิเตอร์ μ ลดลงเปลี่ยนจาก $\mu = 0.50 \rightarrow 0.47 \mu g$

จากภาพที่ 1 (a) เส้นกราฟสีน้ำตาลแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของประจุเริ่มต้น q_1 มีค่าเท่ากับ $5 \mu C$, เส้นกราฟสีเขียวแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของประจุเริ่มต้น q_2 มีค่าเท่ากับ $6 \mu C$, เส้นกราฟสีแดงแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของ

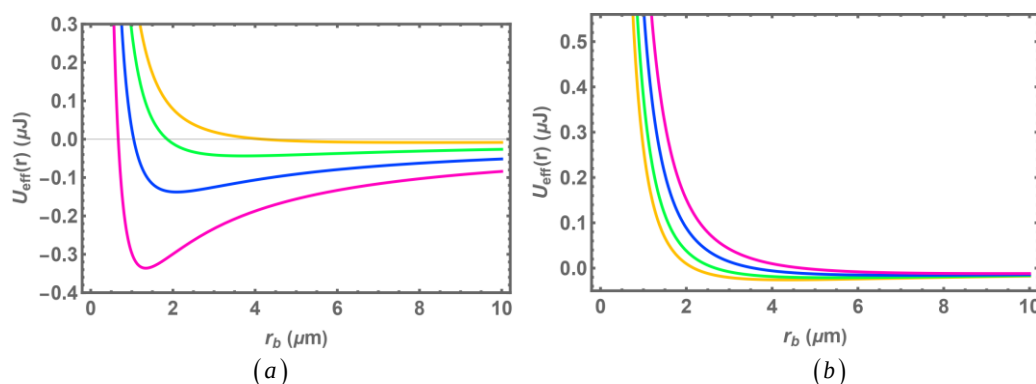
อนุภาคประจุ เมื่อขนาดของประจุเริ่มต้น q_3 มีค่าเท่ากับ $7\mu C$, และเส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของประจุเริ่มต้น q_4 มีค่าเท่ากับ $8\mu C$, จากภาพที่ 1 (b) เส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ μ_1 มีค่าเท่ากับ 0.50, เส้นกราฟสีเขียวแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ μ_2 มีค่าเท่ากับ 0.49, เส้นกราฟสีแดงแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ μ_3 มีค่าเท่ากับ 0.48, และเส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ μ_4 มีค่าเท่ากับ 0.47



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ (a) แสดงลักษณะของกราฟระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อโมเมนตัมเชิงมุมเริ่มต้น ℓ เปลี่ยนจาก $\ell = 0.55 \rightarrow 0.58 \mu g m^2 / s$ (b) แสดงลักษณะของระยะทางของอนุภาคประจุ เมื่อพารามิเตอร์ทอร์กการหมุน τ ลดลงเปลี่ยนจาก $\tau = 0.60 \rightarrow 0.57 Nm$

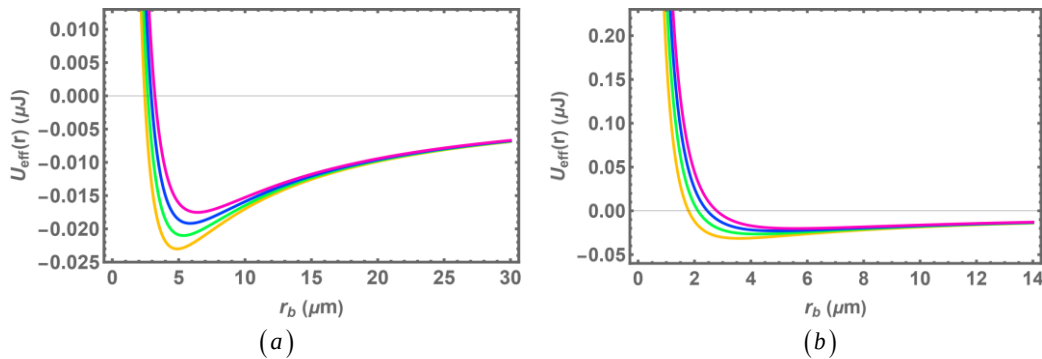
จากภาพที่ 2 (a) เส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของโมเมนตัมเชิงมุมเริ่มต้น l_1 มีค่าเท่ากับ 0.550, เส้นกราฟสีเขียวแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของโมเมนตัมเชิงมุมเริ่มต้น l_2 มีค่าเท่ากับ 0.560, เส้นกราฟสีแดงแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของโมเมนตัมเชิงมุมเริ่มต้น l_3 มีค่าเท่ากับ 0.570, และเส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของโมเมนตัมเชิงมุมเริ่มต้น l_4 มีค่าเท่ากับ 0.580, จากภาพที่ 2 (b) เส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ τ_1 มีค่าเท่ากับ 0.60, เส้นกราฟสีเขียวแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ τ_2 มีค่าเท่ากับ 0.59, เส้นกราฟสีแดงแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ τ_3 มีค่าเท่ากับ 0.58, และเส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงลักษณะของระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ τ_4 มีค่าเท่ากับ 0.57

การทดลองหาค่าที่ยังผลของอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบพิกัดเชิงขั้วภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง $F(r_b)$



ภาพที่ 3 แสดงลักษณะของกราฟศักย์ยังผลเทียบกับระยะทางของอนุภาคประจุในระบบพิกัดเชิงขั้ว (a) แสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุ เมื่อขนาดของประจุเริ่มต้นเปลี่ยนจาก $q = 4\mu C \rightarrow 10\mu C$ (b) แสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุ เมื่อพารามิเตอร์ของมวล m ลดลงเปลี่ยนจาก $m = 0.8 \rightarrow 0.2\mu g$

จากภาพที่ 3 (a) เส้นกราฟสีน้ำตาลแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของประจุเริ่มต้น q_1 มีค่าเท่ากับ $4\mu C$, เส้นกราฟสีเขียวแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของประจุเริ่มต้น q_2 มีค่าเท่ากับ $6\mu C$, เส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของประจุเริ่มต้น q_3 มีค่าเท่ากับ $8\mu C$, และเส้นกราฟสีชมพูแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของประจุเริ่มต้น q_4 มีค่าเท่ากับ $10\mu C$, จากภาพที่ 3 (b) เส้นกราฟสีน้ำตาลแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ m_1 มีค่าเท่ากับ $0.80\mu g$, เส้นกราฟสีเขียวแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ m_2 มีค่าเท่ากับ $0.50\mu g$, เส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ m_3 มีค่าเท่ากับ $0.30\mu g$, และเส้นกราฟสีชมพูแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ m_4 มีค่าเท่ากับ $0.20\mu g$



ภาพที่ 4 แสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุ (a) แสดงลักษณะของกราฟศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเมื่อโมเมนต์เชิงมุม L เปลี่ยนจาก $L = 0.50 \rightarrow 0.65 \mu\text{g m}^2/\text{s}$ (b) แสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเมื่อพารามิเตอร์การหมุน τ เริ่มต้นเปลี่ยนจาก $\tau = 0.20 \rightarrow 0.65 \text{ Nm}$

จากภาพที่ 4 (a) เส้นกราฟสีน้ำตาลแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทางเมื่อขนาดของโมเมนต์เชิงมุมเริ่มต้น L_1 มีค่าเท่ากับ $0.50 \mu\text{g m}^2/\text{s}$, เส้นกราฟสีเขียวแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของโมเมนต์เชิงมุมเริ่มต้น L_2 มีค่าเท่ากับ $0.55 \mu\text{g m}^2/\text{s}$, เส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของโมเมนต์เชิงมุมเริ่มต้น L_3 มีค่าเท่ากับ $0.60 \mu\text{g m}^2/\text{s}$, และเส้นกราฟชมพูแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของโมเมนต์เชิงมุมเริ่มต้น L_4 มีค่าเท่ากับ $0.65 \mu\text{g m}^2/\text{s}$, จากภาพที่ 4 (b) เส้นกราฟสีน้ำตาลแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ τ_1 มีค่าเท่ากับ 0.20 Nm , เส้นกราฟสีเขียวแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ τ_2 มีค่าเท่ากับ 0.35 Nm , เส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ τ_3 มีค่าเท่ากับ 0.50 Nm , และเส้นกราฟสีชมพูแสดงลักษณะของศักย์ยังผลของอนุภาคประจุเทียบกับระยะทาง เมื่อขนาดของพารามิเตอร์ τ_4 มีค่าเท่ากับ 0.65 Nm ในการทดลองคำนวณหาสมการระยะทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบพิกัดเชิงขั้วภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง $F(r_b)$ จากภาพที่ 1 (a) ถ้าประจุไฟฟ้า (q) มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการเคลื่อนที่ของอนุภาคเคลื่อนที่แบบวงกลมมีระยะที่ลดน้อยลง โดยเป็นการเคลื่อนที่ที่ไม่สูญเสียพลังงาน และอนุภาคประจุเป็นการเคลื่อนที่ของวงโคจรแบบปิดเพิ่มขึ้น จากภาพที่ 1 (b) ถ้าค่าพารามิเตอร์ μ มีค่าลดลง จะทำให้อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในลักษณะคล้ายวงรี (แกนเอก และแกนโทของกราฟมีค่าไม่เท่ากัน) ที่มีระยะที่เพิ่มขึ้น โดยเป็นการเคลื่อนที่ที่สูญเสียพลังงาน และอนุภาคประจุเป็นการเคลื่อนที่ของวงโคจรแบบเปิดเพิ่มขึ้น (มีลักษณะกราฟของระยะทางการเคลื่อนที่ประจุไฟฟ้าเป็นแบบวงรี) จากภาพที่ 2 (a) ถ้าค่าพารามิเตอร์ (L) มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในลักษณะคล้ายวงรีที่มีระยะที่เพิ่มขึ้น โดยเป็นการเคลื่อนที่ที่สูญเสียพลังงาน $w = 0$ จะเห็นว่าเมื่อ ค่าพารามิเตอร์ L มีค่าเพิ่มขึ้นจุดเริ่มกับจุดสุดท้ายห่างกันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสูญเสียพลังงาน w มากขึ้น และจากภาพที่ 2 (b) ถ้าค่าพารามิเตอร์ τ มีค่าลดลงจะทำให้อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในลักษณะคล้ายวงรีที่มีระยะที่เพิ่มขึ้น โดยเป็นการเคลื่อนที่ที่สูญเสียพลังงาน $w = 0$ จะเห็นว่าเมื่อ

ค่าพารามิเตอร์ τ ลดลง จุดเริ่มกับจุดสุดท้ายห่างกันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงว่ามีการสูญเสียพลังงาน w เพิ่มมากขึ้น

ในการทดลองคำนวณหาศักย์ยังผลของอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบพิกัดเชิงขั้วภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง $F(r_b)$ จากภาพที่ 3(a) ถ้าประจุไฟฟ้า q มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าศักย์ยังผลของอนุภาคแสดงศักย์ยังผลที่เป็นศักย์ดูดเพิ่มมากขึ้น จากภาพที่ 3(b) ถ้ามวล (m) มีค่าลดลงจะทำให้ค่าศักย์ยังผลของอนุภาคประจุแสดงศักย์ยังผลที่เป็นศักย์ดูดจะเปลี่ยนไปเป็นศักย์ยังผลชนิดศักย์ผลัก จากภาพที่ 4(a) ถ้าค่าพารามิเตอร์ L มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าศักย์ยังผลของอนุภาคประจุแสดงศักย์ยังผลที่เป็นศักย์ดูดจะเปลี่ยนไปเป็นศักย์ยังผลศักย์ผลัก จากภาพที่ 4(b) ถ้าค่าพารามิเตอร์ τ มีค่าลดลงจะทำให้ค่าศักย์ยังผลของอนุภาคประจุแสดงศักย์ยังผลที่เป็นศักย์ดูดจะเปลี่ยนไปเป็นศักย์ยังผลศักย์ผลัก

สรุป

จากการทดลองคำนวณหาสมการการกระจัดของอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบพิกัดเชิงขั้วภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง $F(r_b)$ การกระจัดของอนุภาคที่เป็นประจุไฟฟ้าแปรผันตรงกับค่าพารามิเตอร์ L และจะแปรผกผันกับค่าพารามิเตอร์ τ, μ และประจุไฟฟ้า q จากการทดลองคำนวณหาศักย์ยังผลของอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบพิกัดเชิงขั้วภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง $F(r_b)$ ศักย์ยังผลของอนุภาคที่เป็นประจุไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นศักย์ดูดซึ่งแปรผันตรงกับค่าพารามิเตอร์ τ, μ และประจุไฟฟ้า q แต่จะแปรผกผันกับค่าพารามิเตอร์ (L) จากการทดลองการคำนวณหาค่าการกระจัด และศักย์ยังผลของอนุภาคที่เคลื่อนที่แบบพิกัดเชิงขั้วภายใต้แรงที่ขึ้นอยู่กับรัศมีของวงโคจร $F(r_b)$ อธิบายได้ว่าการเคลื่อนที่ของอนุภาคตามสมการ $F(r_b)$ นั้นมีลักษณะการเคลื่อนที่คล้ายวงรีเนื่องมาจากแรงรบกวนตามฟังก์ชัน $F(r_b)$ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอนุภาคที่เคลื่อนที่ภายใต้แรงที่ขึ้นอยู่กับรัศมีของวงโคจร $F(r_b)$ จะมีลักษณะการเคลื่อนที่คล้ายวงรีสอดคล้องกับกฎของเคปเลอร์

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัย

1. ควรมีการคำนวณเปรียบเทียบกับมุมที่เปลี่ยนไป
2. ควรแยกความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการเปรียบเทียบสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง
2. ควรศึกษาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์อื่นเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ และเวลาในการทำงานวิจัย จนกระทั่งงานสำเร็จจุล่งไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- รัชนี้ รุจิโรดม. (2558). **กลศาสตร์1**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วัชรพงษ์ พลสนาม, และอาทิตย์ หุ้เต็ม. (2561). การคำนวณหาระยะทางการเคลื่อนที่และหาค่าพลังงานการเคลื่อนที่ของวัตถุวงโคจรของอนุภาค. **วารสารวิทยาศาสตร์โลกดาราศาสตร์และอวกาศ**, 1(1), 55-63.
- Atam, P.A. (1990). **Introduction to classical mechanics**. Prentice-Hall.
- Susan, M.L. (2004). **Mathematics for physicists**. Thomson Brooks/cole.
- Roel, S. (2001). **A guided tour of mathematical method**. Cambridge university press.
- Fung, M.K. (2012). The kepler problem and the isotropic harmonics oscillator. **Chiness journal of Physics**, 50(5), 713-719.
- Hideyuki, I. & Hiroshi, N. (2010). Kepler's quartic curve is implemented by a central force. **International Mathematical Forum**, 5(3), 139-144.
- Edison, A.E., Emmanuel E.E. & John, O.A. (2013). The Modified Theory of Central-Force Motion. **IOSR Journal of Applied Physics**, 75-82.
- Michael, N. (2018). Newton's graphical method for central force orbits. **American Journal of Physics**, 764-771.
- Tikjha, W., Normai, T., Jittburus, U., & Pumila, A. (2018). Periodic with period 4 of a piecewise linear system of differential equations with initial conditions being some points on positive y axis. **PSRU Journal of Science and Technology**, 3(2), 26-34.

การศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดหยาบใบปลิงกาสา

ณพัฐอร บัวฉุน^{1*}

Received : August 2, 2021

Revised : December 19, 2021

Accepted : December 22, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบแทนนินทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และสารต้านอนุมูลอิสระของส่วนสกัดหยาบจากใบปลิงกาสา จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 612.79 mg GAE/g, 58.97 mg TAE/g และ 0.62 mg QE/g ตามลำดับ ในการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากใบปลิงกาสาด้วยวิธี DPPH และ ABTS พบว่าสารสกัดหยาบจากใบปลิงกาสา มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 12.28 และ 8.24 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และพบความสามารถเป็นตัวรับอิเล็กตรอนของสารสกัดหยาบใบปลิงกาสา Fe^{3+} เท่ากับ 192.39 ไมโครโมลต่อกรัม น้ำหนักสารสกัดเทียบกับสารมาตรฐาน BHT BHA Vitamin C และ α -Tocopherolrol ซึ่งมีค่า EC_{50} เท่ากับ 13.74 16.18 15.24 และ 14.46 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ข้อมูลการศึกษานี้จะเป็นองค์ความรู้พื้นฐานในการพัฒนาสมุนไพรพื้นบ้านให้เกิดมูลค่าต่ออุตสาหกรรมการรักษาต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกรวม สารประกอบฟลาโวนอยด์รวม ปลิงกาสา

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

*ผู้ติดต่อหลัก อีเมล: napattaorn@hotmail.com

THE STUDY OF TOTAL PHENOLIC COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF A CRUDE EXTRACT FROM *Ardisia polycephala* LEAVES

Napattaorn Buachoon^{1*}

Abstract

This research is to study the amount of the total phenolic compounds, the total tannin compounds, the total flavonoid compounds, and the antioxidant of rough extract from *Ardisia polycephala* leaves. From the analysis of the total compounds, the amount was 612.79 mg GAE/g, 58.97 mg TAE/g and 0.62 mg QE/g respectively. According to the study of antioxidant activity by DPPH and ABTS of rough extract from *Ardisia polycephala* leaves. The antioxidant activity of crude extracts from *Ardisia polycephala* leaves with EC₅₀ values of 12.28 and 8.24 mg/mL and the ability as an electron receptor of crude extracts from *Ardisia polycephala* leaves Fe³⁺ values of 192.39 mol/g extract were compared to standard substances BHT, BHA, Vitamin C, and α -Tocopherol with EC₅₀ values of 13.74, 16.18, 15.24, and 14.46 mg/mL, respectively. This research will serve as the foundational knowledge for the future development of folk herbs to add value to the healing sector.

Keywords: Antioxidant activity, Total phenolic compounds, Total flavonoid compounds, *Ardisia polycephala*

¹ Lecturer of Chemistry Program , Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

*Corresponding author, e-mail: napattaorn@hotmail.com

บทนำ

ประเทศไทยมีทรัพยากรธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ ทั้ง พืช สัตว์ และแร่ธาตุที่หลากหลาย นานาพันธุ์ ภายใต้ระบบนิเวศที่แตกต่างกัน สมุนไพรเป็นพืชที่คนไทยรู้จักนำมาใช้ประโยชน์ ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน และทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้เป็นอาหารและยา มีพืชต่าง ๆ ที่ทำให้เป็นสมุนไพรได้อย่างมากมายนับหมื่นชนิด ทำให้ผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรธรรมชาติได้รับความนิยมที่เพิ่มขึ้น และนำมาใช้เป็นการรักษาแพทย์ทางเลือก นอกจากนี้ยังพบว่าทั่วโลกมีการนำสมุนไพรทั้งที่เป็นสมุนไพรเดี่ยวและชนิดที่ปรุงเป็นตำรับยามาใช้ในการรักษาอาการป่วยขั้นพื้นฐาน เพื่อทดแทนยาแผนปัจจุบันอย่างได้ผลลัพท์ในทางที่ดี ให้คุณประโยชน์ดีกว่ายาที่ได้จากการสังเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ อีกทั้งยังครอบคลุม อาการเจ็บป่วย ได้หลาย ๆ ระบบ เช่น ระบบทางเดินอาหาร ระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น ซึ่งสาเหตุที่ทำให้มนุษย์เกิดโรคร้ายไข้เจ็บ ต่าง ๆ หนึ่งในปัจจัยนั้นคือ อนุมูลอิสระ (Free radical) (ณพัชร บัวฉวน, 2558) ผลจากการศึกษาทั้งในประเทศและต่างประเทศพบว่า อนุมูลอิสระเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่าง ๆ มากมาย อนุมูลอิสระเป็นอะตอมหรือโมเลกุลที่สามารถทำปฏิกิริยากับอะตอมอื่น ๆ ในร่างกายได้อย่างรวดเร็ว และเป็นตัวทำลายภูมิคุ้มกันและเซลล์ต่าง ๆ อนุมูลอิสระในร่างกายเกิดจากกระบวนการต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น กระบวนการเมตาบอลิซึมซึ่งร่างกายจำเป็นต้องอาศัยออกซิเจนช่วยในกระบวนการนี้ทำให้ได้ออกซิเจนที่มีประจุลบซึ่งก็คืออนุมูลอิสระ สารตัวนี้นอกจากจะรวมตัวกับไขมันไม่ดี และยังสามารถรวมตัวกับสารบางชนิดในร่างกายแล้วก่อให้เกิดเป็นสารพิษที่ทำลายเนื้อเยื่อ (ณพัชร บัวฉวน และ เยาวนารณ งามนันท, 2561) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยภายนอกอาจไปกระตุ้นให้เซลล์ของร่างกายผลิตอนุมูลอิสระมากขึ้น เช่น การเผชิญกับรังสียูวี รังสีเอกซ์เรย์ การสูดดมควันบุหรี่ มลพิษจากสิ่งแวดล้อม เช่น โลหะหนัก สารเคมีจากอุตสาหกรรม ซึ่งอนุมูลอิสระจะทำให้เกิดการเสื่อมถอยของร่างกายแสดงออกมาในรูปของริ้วรอย ความเสื่อมของอวัยวะ หากสารอนุมูลอิสระมีความเข้มข้นสูงอาจไปเปลี่ยนแปลงข้อมูลทางพันธุกรรมภายในเซลล์ก่อตัวเป็นเนื้อร้ายหรือเซลล์มะเร็ง ปกติร่างกายของมนุษย์มีกลไกการกำจัดสารอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) โดยไปยังยังแหล่งที่จะเป็นต้นกำเนิดของอนุมูลอิสระหยุดการก่อตัวใหม่ และซ่อมแซมส่วนที่ได้รับความเสียหายจากอนุมูลอิสระทำให้มีสภาพเหมือนเดิมอีกครั้ง ซึ่งร่างกายสามารถสร้างได้เอง ช่วงวัยเด็กและวัยรุ่นสามารถกำจัดสารอนุมูลอิสระได้ดี แต่ด้วยอายุที่มากขึ้นความเครียดสภาพแวดล้อมและวิถีชีวิตของคนในปัจจุบันทำให้สารต้านอนุมูลอิสระที่ร่างกายสร้างขึ้นนั้นลดน้อยลงไม่เพียงพอต่อการกำจัดอนุมูลอิสระที่มีปริมาณมากได้ จึงต้องอาศัยการรับประทานอาหารที่เป็นแหล่งสำคัญของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่พบในพืชสมุนไพร จะพบสารสำคัญ คือ สารพฤกษเคมี (phytochemical) ซึ่งเป็นสารเคมีที่พบในพืช โดยทั้งที่เป็นสารทุติยภูมิ (secondary product) ที่พืชสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อจุดประสงค์ เช่น ป้องกันตัวเองจากเชื้อโรคและแมลง ให้สีสันทับกับพืช ตัวอย่างของสารพฤกษเคมี ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก (polyphenolic compound) แอนโทไซยานิน (anthocyanin) และไอโซฟลาโวน (isoflavones) สารพฤกษเคมีในพืชนั้นมีหลายชนิดและมีฤทธิ์ต่าง ๆ กัน และสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ เนื่องจากมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมีแนวโน้มเป็นสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้ดี

พืลังกาสา (*Ardisia polycephala*) มีการศึกษาวิจัยทางชีวภาพเพื่อสนับสนุนประโยชน์ทางยา พบว่ามีประโยชน์ทางเภสัชวิทยา ประกอบด้วยฤทธิ์ต้านมาลาเรีย ฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ฤทธิ์ในการถ่ายพยาธิ ฤทธิ์ต้านมะเร็งและความเป็นพิษต่อเซลล์ ฤทธิ์ต้านการเจริญพันธุ์ ฤทธิ์การยับยั้ง การจับตัวของลิ่มเลือด ฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ในการปกป้องตับ และฤทธิ์ต้านเบาหวาน นอกจากนี้ยังพบว่าสมุนไพรพืลังกาสายังมีสารต้านอนุมูลอิสระ ด้วยคุณสมบัติอันโดดเด่นหลายประการข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบใบพืลังกาสาที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เพื่อเป็นการศึกษาเบื้องต้น และเป็น

ข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ และส่งเสริมให้สมุนไพรพลังกาสาเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบแทนนินทั้งหมด สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสารสกัดหยาบใบพลังกาสา
2. เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบใบพลังกาสา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารสกัดหยาบเป็นวิธีที่ดัดแปลงจาก Meryem et al. (2017)
สมุนไพรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ใบพลังกาสา (*Ardisia polycephala*) ใช้ใบอ่อนเก็บในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ.2562 จากสวนในอำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี และนำตัวอย่างใบพลังกาสาแบบแห้งไปชั่งให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน 500 กรัม แล้วนำมาสกัดด้วยตัวทำละลาย 95% เอทานอล ด้วยวิธีการแช่หมัก (Maceration) ที่อุณหภูมิห้อง 7 วัน หลังจากนั้นทำการกรองสารละลายโดยใช้การกรองด้วยสุญญากาศ นำสารละลายที่กรองได้ไประเหยด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator; รุ่น Rotavapor®R-100, BUCHI) จะได้เป็นส่วนสกัดหยาบชั้นเอทานอล (Ethanol extract) แล้วชั่งน้ำหนักของสารสกัดหยาบที่ได้ และเก็บตัวอย่างไว้เพื่อตรวจสอบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบแทนนินทั้งหมด และสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

วิธีการคำนวณ จากสูตร

$$\text{Yield Crude Extract} = (b/a) \times 100\%$$

เมื่อ a = น้ำหนักสารที่สกัดได้ (กรัม)

b = ปริมาณใบพลังกาสาที่ใช้ในการสกัด (กรัม)

2. การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของใบพลังกาสา
การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds) เป็นวิธีที่ดัดแปลงจาก Slinkard & Singleton (1997) ใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานจากบริษัท Sigma-Aldrich (ที่ความเข้มข้น 1.0 0.8 0.4 0.2 0.1 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) โดยนำสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นหรือสารสกัดที่ต้องการทดสอบปริมาตร 100 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติม Folin-Ciocalteu reagent 500 ไมโครลิตร เขย่า 1 นาที เติม สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (20% Na_2CO_3) 1,000 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาปั่นเหวี่ยง 3,000 รอบต่อนาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด (mg GAE/ g crude extract)

3. การหาปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมดของใบพลังกาสา
การหาปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมด (Total tannin compounds) เป็นวิธีที่ดัดแปลงจาก Slinkard & Singleton (1997) ใช้กรดแทนนิกเป็นสารมาตรฐานจากบริษัท Sigma-Aldrich (ที่ความเข้มข้น 1.0 0.8 0.4 0.2 0.1 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) โดยนำสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นหรือสารสกัดที่ต้องการทดสอบปริมาตร 100 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติม Folin-Ciocalteu reagent 500 ไมโครลิตร เขย่า 1 นาที เติม สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (20% Na_2CO_3) 1,000 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่

อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาปั่นเหวี่ยง 3,000 รอบต่อนาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ หาปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมดจากกราฟมาตรฐานกรดแทนนิกในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแทนนิกต่อกรัมสารสกัด (mg TAE/ g crude extract)

4. การหาปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total flavonoids compounds) (ดัดแปลงวิธีจาก Prommuak, et al, 2008)

เตรียมสารละลายมาตรฐานเคอร์ซีดินที่ความเข้มข้น 1.0 0.8 0.4 0.2 0.1 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และทำการผสมกับสารละลายอะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ (1% $AlCl_3$) ปริมาตร 1.8 มิลลิลิตร เขย่าและทำการบ่มที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ทำการทดสอบเช่นกันกับสารสกัดเพื่อหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวมจากกราฟมาตรฐานเคอร์ซีดินโดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำเสนอค่าปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของเคอร์ซีดินต่อน้ำหนักสารสกัดแห้ง (mg QE/g extract)

5. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

5.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH radical scavenging activity) โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Zhu et al. (2006) โดยเตรียมสารสกัดที่ความเข้มข้น 50-300 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร นำสารสกัดแต่ละความเข้มข้นหรือสารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบปริมาณ 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 0.1 โมล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 30 นาทีในที่มืด วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader โดยใช้ BHT, BHA, Vitamin C และ α -Tocopherol เป็นสารมาตรฐานจากบริษัท Sigma-Aldrich ทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้วิเคราะห์หาร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (% inhibition DPPH) โดยคำนวณจากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = [(Abs_{\text{Control}} - Abs_{\text{sample}}) \times 100] / Abs_{\text{Control}}$$

นำค่า % radical scavenging activity มาสร้างกราฟเพื่อคำนวณหา EC_{50}

5.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-azobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS radical scavenging activity) โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Re et al. (1999)

โดยเตรียมสาร ABTS ที่ความเข้มข้น 7 มิลลิโมล ผสมกับ potassium persulfate (KPS) ที่ความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมล (2:1) ทำการบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 10 ชั่วโมง นำมาเจือจางและ วัดค่าการดูดกลืนแสงให้มีค่าเท่ากับ 0.700 ± 0.02 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เตรียมสารสกัดตัวอย่างที่ความเข้มข้น 50-300 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และนำสารละลายของสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตร เติมสารละลาย ABTS ปริมาตร 2 มิลลิลิตร บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงให้มีค่าเท่ากับ 0.70 ± 0.02 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader โดยใช้ BHT, BHA, Vitamin C และ α -Tocopherol เป็นสารมาตรฐานทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้วิเคราะห์หาร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS (% Inhibition ABTS) โดยคำนวณจากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = [(Abs_{\text{Control}} - Abs_{\text{sample}}) \times 100] / Abs_{\text{Control}}$$

นำค่า % radical scavenging activity มาสร้างกราฟเพื่อคำนวณหา EC_{50}

5.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Benzie & Strain (1996) เตรียมสารละลาย FRAP reagent โดยผสม Acetate buffer pH 3.5 มิลลิโมลาร์ $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ และ สารละลาย TPTZ ใน 40 มิลลิโมลาร์ HCl อัตราส่วน 10:1:1 ตามลำดับ

ทำการเตรียมสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และนำสารละลายของสารสกัดตัวอย่างมาเติมสาร FRAP reagent ดังนี้

A (Test sample) : สารสกัดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ผสม FRAP reagent 9 มิลลิลิตร

B (Blank) : สารสกัดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ผสม Acetate buffer 9 มิลลิลิตร

C (Control) : Ethanol 1 มิลลิลิตร ผสม FRAP reagent 9 มิลลิลิตร

หลังจากนั้นนำสาร A B และ C มาบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณค่าการดูดกลืนแสงจากสมการ

$$ABS = A - B - C$$

คำนวณความสามารถในการให้อิเล็กตรอน (FRAP value) โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของ Ferrous sulfate ($FeSO_4$) แสดงค่าในรูปของมิลลิโมลาร์สมมูลของ Fe^{2+} ต่อกรัมสารสกัด (mM Fe^{2+} equivalent/g sample extract)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการสกัดสารจากใบปลิงกาสาด้วยเอทานอล

ผลการสกัดใบปลิงกาสาด้วยเอทานอล โดยวิธีการแช่หมักด้วยเอทานอล พบว่า สารสกัดหยาบใบปลิงกาสาที่ได้มีลักษณะมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีเขียวเข้ม นำมาหาร้อยละของสารสกัดหยาบใบปลิงกาสา (% Yield) พบว่า สารสกัดหยาบใบปลิงกาสา มีน้ำหนักของสารสกัดเท่ากับ 24.51 คิดเป็นร้อยละสารสกัดหยาบ เท่ากับ 4.90

2. ผลการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบแทนนินทั้งหมด และสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ของสารสกัดหยาบใบปลิงกาสา

ผลการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่า สารสกัดหยาบใบปลิงกาสา มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด เท่ากับ 612.79 ± 0.01 mg GAE/g, 58.97 ± 0.06 mg TAE/g และ 162.42 ± 0.02 mg QE/g ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมด และสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดหยาบใบปลิงกาสา

สาร	สารสกัดหยาบใบปลิงกาสา
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g extract)	612.79 ± 0.01
สารประกอบแทนนินทั้งหมด (mg TAE/g extract)	58.97 ± 0.06
สารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (mg QE/g extract)	162.42 ± 0.02

3. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบใบปลิงกาสาด้วยวิธี DPPH assay พบว่า สารสกัดหยาบใบปลิงกาสา มีค่า EC_{50} เท่ากับ 12.28 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี ABTS assay สารสกัดหยาบใบปลิงกาสา มีค่า EC_{50} เท่ากับ 8.24 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และพบความสามารถเป็นตัวรับอิเล็กตรอนของสารสกัดหยาบใบปลิงกาสา เท่ากับ Fe^{3+} 192.39 ± 0.23 ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสารสกัด แสดงว่า สารสกัดหยาบใบปลิงกาสา มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ABTS และ FRAP assay ของสารสกัดหยาบใบปลิงกาสา

สาร	DPPH assay EC_{50} (mg/mL)	ABST assay EC_{50} (mg/mL)	FRAP assay $\mu\text{mol/g extract}$
BHT	13.74 ± 0.21	11.56 ± 0.16	202.45 ± 0.22
BHA	16.18 ± 0.12	8.98 ± 0.21	198.39 ± 0.16
Vitamin C	15.24 ± 0.13	10.55 ± 0.20	209.80 ± 0.17
α -Tocopherol	14.46 ± 0.41	9.64 ± 0.19	228.21 ± 0.21
สารสกัดหยาบใบปลิงกาสา	12.28 ± 0.03	8.24 ± 0.01	192.39 ± 0.23

อภิปรายผล

จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ พบว่าสารสกัดหยาบใบปลิงกาสา มีปริมาณสารดังกล่าวเท่ากับ 612.79 ± 0.01 mg GAE/g, 58.97 ± 0.06 mg TAE/g และ 162.42 ± 0.02 mg QE/g ตามลำดับ ซึ่งของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิยศิริ สุนทรนนท์ และคณะ (2557) ที่พบว่าในสารสกัดผลปลิงกาสาที่สกัดด้วยเอทานอลมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 58.38 ± 3.20 เมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) หมายความว่า หากมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สารประกอบแทนนินทั้งหมด และสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมาก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ก็จะสูงด้วย (EC_{50} น้อย) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการรายงานของ Piluzza & Bullitta (2021) ที่รายงานว่าความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด นั่นคือถ้ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงความสามารถในการเป็นฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระก็จะสูงด้วย จากการศึกษาของ ปิยศิริ สุนทรนนท์ และคณะ (2557) พบว่า สารสกัดจากเนื้อปลิงกาสาที่สกัดด้วยเมทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH $\bullet$ ได้ดีที่สุดที่สุดสูงโดยมีค่า EC_{50} เท่ากับ 15.16 mg/mL เมื่อเทียบกับสารละลายมาตรฐาน BHT ผลของการวิจัยของ Dey SK et al (2014) ที่ทำการสกัดด้วยเอทานอลของผลปลิงกาสาพบว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี โดยให้ค่า EC_{50} เท่ากับ 30.75 $\mu\text{g/ml}$ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH scavenging อาจเนื่องจากใบปลิงกาสา มีองค์ประกอบทางเคมีหลากหลายชนิด ได้แก่ tannin, hydrolyzable flavanone, flavone, flavonol, xanthone, anthocyanin, anthocyanidin, epigallocatechin gallate,

epigallocatechin และ epicatechin gallate โดยสารแต่ละชนิดนั้นมีกลไกในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (บรรพต จอมสุวรรณ และคณะ, 2560)

ผลจากการศึกษาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABST จากค่า EC_{50} ของสารสกัดหยาบของ ใบพลิงกาสา (8.24 ± 0.01 mg/mL) พบว่าสารสกัดหยาบใบพลิงกาสามีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ดีที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS กับปริมาณสารประกอบแทนนิน ทั้งหมดพบว่ามีความสัมพันธ์กัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH FRAP และ ABTS มีความสัมพันธ์กับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ จากการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธีของสารสกัดหยาบใบ พลิงกาสา จะพบว่า สารสกัดหยาบใบพลิงกาสามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงเมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน ซึ่งมีการ รายงานว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นเมื่อปริมาณโพลีฟีนอลมีมากขึ้น

จากการทดสอบในแต่ละวิธีจะพบว่า การต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เป็นการทดสอบ ความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการดักจับอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สารต้าน อนุมูลอิสระทำหน้าที่ในการให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ DPPH จะได้เป็นสาร DPPH ที่เสถียร ปฏิกิริยาและจะ เปลี่ยนสารสีม่วงให้เป็นสารสีเหลือง (Amicet et al., 2003) เช่นเดียวกับปฏิกิริยาการต้านอนุมูลอิสระ ABTS ที่อนุมูลอิสระ ABTS เมื่อทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระจะได้สาร ABTS ที่เสถียร ปฏิกิริยาจะเปลี่ยนสาร สีเขียวเข้มเป็นสารสีเขียวที่มีความจางลง และในการวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP Assay เป็นวิธี วิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอร์ริกของสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นอีกกลไกหนึ่งในการต้านอนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตาม ความสามารถให้อิเล็กตรอนของสารประกอบฟีนอลิก มิได้อยู่ภายใต้อิทธิพลของจำนวนหมู่ ฟีนอลิกอย่างเดียวเท่านั้น แต่อาจขึ้นกับตำแหน่งหมู่ ไฮดรอกซิลที่เป็นส่วนประกอบโครงสร้างดังกล่าวด้วย เนื่องจากมีหมู่ ortho-dihydroxyl บนวงแหวนบี (B-ring) ของฟลาโวนอยด์ สามารถให้อิเล็กตรอนได้ดีกว่า หมู่ hydroxyl ที่ตำแหน่งอื่น ๆ บนโมเลกุลเดียวกัน (Morel et al., 1998) ในการทดลองที่พบสารสกัดหยาบ ใบพลิงกาสามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง เนื่องจากมีกลุ่มสารโพลีฟีนอลมาก (ปิยศิริ สุนทรนนท์ และคณะ, 2557) และประกอบใบพลิงกาสามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระซึ่งมีรสฝาด ซึ่งสอดคล้องกับ Pitchaon M. et al. (2006) รายงานวิจัยว่าพืชที่มีรสฝาดจะมีสารโพลีฟีนอลทั้งหมดในปริมาณสูง และไมตรี สุทธิจิตต์และคณะ (2543) ศึกษาวิจัยพบว่าพืชที่มีรสฝาดส่วนใหญ่จะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง และนอกจากนี้ยังพบว่าสารที่มีฤทธิ์ต้าน อนุมูลอิสระมีส่วนช่วยในการป้องกันโรคเรื้อรังบางชนิด เช่น โรคในระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็ง โรคอัลไซเมอร์ เป็นต้น ซึ่ง syringic acid เป็นสารจำพวก phenolic acid และเป็นสารที่พบได้ในใบพลิงกาสา ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าสารสกัดใบพลิงกาสาจึงน่าจะมีบทบาทในการป้องกันโรคเรื้อรังดังกล่าวได้ ผลวิจัยนี้เป็นข้อมูลในการพัฒนานำสารสกัดจากใบพลิงกาสา ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงและปลอดภัย ไปใช้ใ้ นการผสมอาหาร ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อสุขภาพ หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นเช่น ชา

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดหยาบใบพลิงกาสา พบว่า สารสกัดหยาบใบพลิงกาสามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารประกอบแทนนินทั้งหมด และปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูง และพบว่าสารสกัดหยาบใบพลิงกาสามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาต่อยอดนำไปต่อยอดเพื่อศึกษาในโมเดลทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ต่อไป เช่น การยับยั้งแบคทีเรีย การต้านอัลไซเมอร์และการยับยั้งมะเร็ง

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาวิจัยกลไกการออกฤทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับไบโพลิงกาสาและศึกษาในระดับคลินิกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ณพัชร บัวฉน. (2558). สารต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากชะเอมไทย. **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 10(2), 78-95.
- ณพัชร บัวฉน, และเยวนารถ งามนนท์. (2561). การพัฒนาโลชั่นบำรุงผิวจากสารสกัดหยาบชะเอมไทยและพื้งกาสา. **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 13(2), 74-85.
- บรรทด จอมสวรรค์, ธนศักดิ์ ธนะสาร, ประเสริฐ ไวยะกา, และศุภวุฒิ ใจกล้า. (2560).ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ทางชีวภาพของผักจ้ำ. **วารสารการวิจัยกาสะลองคำ**, 11(3), 1-9.
- ปณัฐรา ไชยมุติ. (2546). การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของพืชสมุนไพรบางชนิด. วิทยานิพนธ์วท.ม. (ชีวเคมี) สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ปิยศิริ สุนทรนนท์, อุบล ต้นสม, และสมภพ เกาทอง. (2557). การศึกษากิจกรรมต้านออกซิเดชันจากส่วนต่าง ๆ ของผลพื้งกาสา. ยะลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- ไมตรี สุทธจิตต์, อุดมกัณฑ์ ชาลสุวรรณ, ศิริวรรณ สุทธจิตต์, ปกฤษฏางค์ แก้วสุริยะ, และภาคศิริ สินไชยกิจ. (2543). ความสามารถของสารสำคัญในการต่อต้านออกซิเดชันของสมุนไพรไทย. รายงานการวิจัยแพทย์แผนไทยฉบับสมบูรณ์. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- Amicet Amic D, D. Beslo & N. Trinajstic. (2003). Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. **Croatia Chim Acta**, 76: 55–61.
- Benzie IFF,& Strain JJ. (1996) The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power the FRAP assay. **Analytical biochemistry**, 239(1), 70-76.
- Dey S., Hira A., Howlader MS., Ahmed A., Hossain H., & Jahan IA.(2014) Antioxidant and antidiarrheal activities of ethanol extract of Ardisia elliptica fruits. **Phrm Biol**, 52 :213-220.
- Morel, I., Cillard, P. & Cillard, J. (1998). **Flavonoid-metal Interactions in Biological System**, In C.A. Rice-Evans and L. Packer (eds.). **Flavonoids in Health and Disease** (3rd), New York, 163-177.
- Piluzza, G. & Bullitta, S. (2011). Correlations between phenolic content and antioxidant properties in twenty-four plant species of traditional ethnoveterinary use in the Mediterranean area. **Pharmaceutical Biology**, 49(3), 240-247
- Pitchaon, M., Maitree, S. & Rungnaphar P. (2006). Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. **Food Chemistry**, 100(4): 1409-1418.

- Prommuak, C., D-Eknamkul, W. & Shotipruk, A. (2008). Extraction of flavonoids and carotenoids from thai silk waste and antioxidant activity of extract. **Separation and Purification Technology**, 62, 444-448.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999), Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, 26, 1231-1237.
- Slinkard, K., & Singleton, V.L. (1997). Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. **American Journal of Enology and Viticulture**, 28(1): 49-55.
- Zhu, K., Zhou, H. & Qian, H. 2006. Antioxidant and free radical-scavenging activities of wheat germ protein hydrolysates (WGPH) prepared with alcalase. **Process Biochemistry**, 41(6): 1296-1302.
- Meryem B., Noori S. A., Nawal E. M., Hamada I., Anna C., Thia A.W., & Badiia L. (2017). Antioxidant activity and protective effect of bee bread (honey and pollen) in aluminum-induced anemia, elevation of inflammatory makers and hepato-renal toxicity. **Journal Food Scientists & Technologists**, 54(4): 4205-4212.

การพัฒนาความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุติดเตียง ด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย

ลัดดาวัลย์ ชูทอง^{1*} ยามีละ ดอแม²

Received : September 15, 2021

Revised : December 23, 2021

Accepted : December 24, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย (การนวดและการประคบสมุนไพร) โดยนำกระบวนการ PDCA มาประยุกต์ในวิธีดำเนินการวิจัย กลุ่มเป้าหมาย คือ ผู้สูงอายุติดเตียงที่อาศัยอยู่ตำบลบางปูน อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี จำนวน 30 คน มีค่า ADL ไม่เกิน 12 คะแนน คัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบประเมินดัชนีบาร์เธลเอดีแอล (Barthel ADL index) สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษา พบว่า ระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงเปรียบเทียบก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย โดยกลุ่มพึ่งพิงผู้อื่นบ้าง มีค่าสูงสุด คือ จากร้อยละ 70.00 เป็นร้อยละ 56.67 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าลดลง โดยไปเพิ่มจำนวนอยู่ในกลุ่มพึ่งพิงผู้อื่นเล็กน้อย จากร้อยละ 6.67 เป็นร้อยละ 20.00

การเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย พบว่า คะแนนเฉลี่ยความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงหลังการพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย อยู่ในระดับมากกว่าก่อนการพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย คือ จาก 7.53 เป็น 7.87 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า คะแนนเฉลี่ยความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงเพิ่มมากขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

คำสำคัญ: ความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวัน ผู้สูงอายุติดเตียง การแพทย์แผนไทย

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตร การแพทย์แผนไทยประยุกต์บัณฑิต คณะการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี อีเมล: laddawan_c@mutt.ac.th

² อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาสุขภาพและความงาม คณะการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี อีเมล: yamila_d@mutt.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: laddawan_c@mutt.ac.th

DEVELOPMENT OF ABILITY TO PERFORM ACTIVITIES OF DAILY LIVING OF BEDRIDDEN ELDERLY PEOPLE BY THAI TRADITIONAL MEDICINE

Laddawan Choothong^{1*} Yamila Domea²

Abstract

The purpose of this study was to assess the ability to perform basic Activities of Daily Living (ADL) of bedridden elderly before and after being developed by using Thai traditional medicine (massage and herbal compress). In this study PDCA was applied as a research method. The target group was specifically selected including 30 bedridden elderly people in Bang Phun, Mueang Pathum Thani Province with the ADL score of less than 12. The tool used in this study included, the Barthel ADL index was used. The statistics used for data analysis included frequency, percentages, means, and standard deviation.

The findings of this study clearly showed the levels of ability to perform activities of daily living before and after the application of Thai traditional medicine. The level of ability of moderate dependency was reduced from 70.00% to 56.67% while the that of the elderly people with slightly less dependency in the group was reduced from 6.67% to 20.00%.

The comparison of mean score differences of the ability to perform ADL of the bedridden elderly before and after the application of Thai traditional medicine showed that the life quality score increased from 7.53 to 7.87 after the application of Thai traditional medicine. Therefore, the ability to perform basic daily activities of bedridden elderly was increasing and a significant and statistical proven difference ($P < 0.05$) have been observed.

Keywords: Capacity in activities of daily living, Bedridden elderly, Thai traditional medicine

¹ Department of Applied Thai Traditional Medicine Programe, Faculty of Integrative Medicine, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, e-mail: laddawan_c@mutt.ac.th

² Department of Health and Aesthetics Program, Faculty of Integrative Medicine, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, e-mail: yamila_d@mutt.ac.th

* Corresponding author, e-mail: laddawan_c@mutt.ac.th

บทนำ

การเจ็บป่วยเรื้อรังเป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญและมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะในกลุ่มที่มีความเสื่อมของร่างกายตามอายุ อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรไทยที่กำลังเคลื่อนเข้าสู่ภาวะประชากรสูงวัย โดยในปี พ.ศ. 2568 ประเทศไทยจะก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุคิดเป็นร้อยละ 14.5 จากจำนวนผู้สูงอายุ 9.4 ล้านคน ที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป ของประชากรทั้งหมด 64.5 ล้านคน โดยจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของผู้สูงอายุปีละประมาณ 5 แสนคน และคาดว่าภายในปีดังกล่าวประเทศไทยจะก้าวเข้าสู่การเป็นสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged society) จำนวนผู้สูงอายุจะเพิ่มขึ้นเกินร้อยละ 20 ของประชากรทั้งหมด หรือมีประมาณ 14.4 ล้านคน (กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์, 2558) และมีผู้สูงอายุที่นอนติดบ้าน ติดเตียง ต้องพึ่งพิงคนอื่นช่วยดูแลกว่า 1 ล้านคน โดยร้อยละ 15 หรือประมาณ 960,000 คน เป็นกลุ่มที่ช่วยเหลือตนเองได้บางส่วน ส่วนอีกประมาณ 63,000 คน เป็นกลุ่มที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้เลย (ณรงค์ สหมาพาณิชย์, 2557)

ปัจจุบันผู้ป่วยติดเตียงมีจำนวนเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่จะเป็นผู้สูงอายุที่ต้องได้รับการดูแลจากครอบครัวเป็นอย่างมาก ดังนั้นการดูแลผู้ป่วยติดเตียงที่บ้านจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องให้การดูแลเอาใจใส่รวมทั้งการส่งเสริม สนับสนุนให้ผู้ดูแลสามารถดูแลช่วยเหลือผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันการเจ็บป่วยที่อาจแทรกซ้อนจากการนอนติดเตียงนาน ๆ สำหรับผู้ป่วยติดเตียงที่ไม่สามารถช่วยตัวเองได้เลย เป็นหน้าที่ของผู้ดูแลที่ต้องช่วยปฏิบัติกิจวัตรประจำวันให้ทั้งหมดเพราะผู้ป่วยติดเตียงจะมีความลำบากในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันด้วยตนเอง ต้องพึ่งพาผู้ดูแลให้ช่วยเหลือเกือบตลอดเวลา การดูแลที่ดีมีประสิทธิภาพจะส่งผลต่อการลดภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ เช่น การรักษาความสะอาด สุขอนามัยทางร่างกาย การรับประทานอาหารที่เหมาะสมและถูกหลักอนามัย การพลิกตัว การนวดผิวหนังโดยเฉพาะบริเวณที่จะเกิดแผลกดทับได้ง่าย การพุงนึ่ง การฟื้นฟูสภาพทางกาย แขน ขา เพื่อป้องกันความพิการที่อาจรุนแรงขึ้น (ขนิษฐา ชงโคสันติสุข, 2560) ตลอดจนการดูแลด้านจิตใจของผู้ป่วย เพื่อให้ผู้ป่วยรู้สึกไม่เป็นภาระกับลูกหลาน ไม่รู้สึกท้อถอย ไม่รู้สึกหมดหวังในชีวิต เหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ดูแลและครอบครัวต้องช่วยกันประสานความรักความผูกพันที่มีส่งให้กับผู้ป่วยด้วยความเข้าใจความรู้สึกของมนุษย์ที่มีข้อจำกัดในการดำเนินชีวิต

การพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุที่ติดเตียงมีความจำเป็น เพื่อป้องกันมิให้เกิดภาวะแทรกซ้อนจนเป็นภาระแก่ผู้ดูแลและเกิดภาวะทุพพลภาพในระยะยาว ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นกับกลุ่มผู้ป่วยติดเตียงนั้นควรได้รับความช่วยเหลือจากครอบครัวและการมีส่วนร่วมของคนในชุมชน ซึ่งผลของการที่ผู้สูงอายุกลุ่มติดบ้านติดเตียงได้รับการเยี่ยมบ้านจะส่งผลให้ผู้สูงอายุกลุ่มติดบ้านติดเตียงเกิดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมดูแลตนเอง และสามารถพึ่งตนเองได้ดีกว่าเดิม (จุฑาทิพ งอยจันทร์ศรี และอรสา กงตาล, 2555) ซึ่งผู้ป่วยเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการดูแลต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มที่มีข้อจำกัดในการดูแลสุขภาพที่มีการพึ่งพาผู้ดูแลในระดับสูง จัดเป็น

ภาระงานที่หนักและซับซ้อนในการดูแลที่เป็นความรับผิดชอบของผู้ดูแลและสมาชิกในครอบครัวจากการที่ผู้ดูแลผู้ป่วยมีภาระที่ยาวนานในการดูแลต้องมีการปรับตัวเปลี่ยนแปลงในบทบาทหน้าที่ตนเอง อาจเกิดความคลุมเครือในบทบาทและความไม่สะดวกในการดำเนินชีวิตเกิดขึ้นในบางรายต้องให้ญาติมีส่วนร่วมในการดูแล ดังนั้นชุมชนจึงต้องเข้ามามีส่วนร่วมและพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุที่ติดเตียง โดยการดูแล ส่งเสริมสุขภาพในกลุ่มผู้ป่วยติดเตียงให้เพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยลดปัญหาและผลกระทบต่าง ๆ เพราะสภาวะการเจ็บป่วยของบุคคลในครอบครัวย่อมส่งผลกระทบต่อกลุ่มคนในชุมชนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งนี้เพื่อมุ่งหวังให้เกิดการพัฒนาคุณภาพชีวิตในกลุ่มคนเหล่านี้ให้เพิ่มมากขึ้น

การพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย จำเป็นต้องดูแลสุขภาพอย่างครอบคลุมทั้งทางกายและทางใจเพื่อให้ผู้สูงอายุมีคุณภาพชีวิตที่ดี (พรณภัทร อินทฤทธิ์, 2560) ในการดูแลสุขภาพด้วยการแพทย์แผนไทยเป็นการดูแลสุขภาพ 4 ด้าน คือการรักษาโรค, การส่งเสริมสุขภาพ, การป้องกันโรค และการฟื้นฟูสภาพ โดยด้านการรักษาโรค คือ การใช้ยาสมุนไพร การนวดไทย การตรวจวินิจฉัยด้วยแพทย์แผนไทย และการใช้ยาสมุนไพร (กรกช อินทอง และคณะ, 2561)

จากประเด็นดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาการพัฒนาความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุติดเตียงด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย ในตำบลบางพูน อำเภอมือง จังหวัดปทุมธานี เพื่อดูแลและฟื้นฟูสุขภาพผู้ป่วยให้สามารถกลับมาดูแลตนเองได้อย่างเหมาะสม และสามารถกลับมาใช้ชีวิตได้ตามปกติ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียง ก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย
2. เพื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นรูปแบบการวิจัยเชิงปริมาณแบบกึ่งทดลอง โดยประเมินระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียง ก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการและเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาค้นคว้า โดยมีขั้นตอนตามลำดับต่อไปนี้

แบบแผนการวิจัย

(1) ศึกษาแนวคิดการพัฒนาความสามารถด้วยการประยุกต์ใช้หลัก PDCA คือ Plan (การวางแผน) DO (การปฏิบัติ) Check (การตรวจสอบ) และ Act (การปรับปรุง) เพื่อปรับปรุงคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุติดเตียงด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย

(2) ศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการในการส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุด้วยวิธีการสนทนากลุ่มกับบุคลากรสาธารณสุขโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางพูน 1 ทำให้ทราบถึงปัญหาเบื้องต้น คือ ผู้สูงอายุในเขตรับผิดชอบมีภาวะเจ็บป่วยและนอนติดเตียง ดังนั้นจึงดำเนินการจัดทำแผนการพัฒนาความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุติดเตียงด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย

(3) ติดต่อประสานกับผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ บุคลากรสาธารณสุขโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางพูน 1, ผู้นำชุมชน และ อสม. เพื่อกำหนดกลุ่มเป้าหมายและคัดเลือกผู้สูงอายุติดเตียงในพื้นที่ ตำบลบางพูน อำเภอมือง จังหวัดปทุมธานี

(4) กำหนดกิจกรรมเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุติดเตียงด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย ดังนี้

- ตรวจสอบสัญญาณชีพทุกครั้งเพื่อประเมินร่างกายของผู้สูงอายุเบื้องต้น โดยการวัดอุณหภูมิร่างกาย, วัดความดันโลหิต, จับชีพจรและดูอัตราการเต้นของหัวใจ

- ประเมินลักษณะทั่วไปทุกครั้ง โดยดูลักษณะ รูปร่าง สีผิว สังเกตอิริยาบถในการเคลื่อนไหว เช่น การยืน เดิน นั่ง นอน ยกแขนขา การพลิกตัว การหยิบจับสิ่งของ การกลืน การเคี้ยว การพูด การหลับตา การหายใจ

- ประเมินระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียง โดยใช้แบบประเมินดัชนีบาร์เธลเอดีแอล (Barthel ADL index) ก่อนการพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทยทุกครั้ง

- การตรวจร่างกายก่อนทำหัตถการ ได้แก่ ดูข้อต่อหัวไหล่ วัดสันเท้า ทดสอบกำลังและการเคลื่อนไหวของขา กระดิกนิ้วเท้าขึ้นลง กระดกข้อเท้าขึ้น ทดสอบแรงถีบข้อเท้า ให้ตั้งชันเข้าสองข้าง ทดสอบกำลังสะโพก (ในกรณีผู้ป่วยตั้งชันเข้าได้) ให้ต้านแรง กางเข้า หุบเข้า ทดสอบกำลังและการเคลื่อนไหวของแขน คว่ำหงายมือ กำเหยียดมือ ทดสอบแรงบีบของมือ 2 ข้างเปรียบเทียบกัน ตั้งข้อศอก กระดกข้อมือขึ้นลง ชูแขนชิดหู เหยียดนิ้วมือ ดึงแขน 3 จังหวะ

- พัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย ได้แก่ ทำหัตถการโดยการนวดครั้งละ 1 ชั่วโมง เพื่อกระตุ้นระบบไหลเวียนโลหิต และทำให้ระบบกล้ามเนื้อคลายตัว มีกำลัง ลดการหดเกร็งของเส้นเอ็น, ประคบสมุนไพรครั้งละ 20 นาที เพื่อลดการอักเสบหลังจากการทำหัตถการ ให้คำแนะนำแก่ผู้สูงอายุติดเตียง และญาติผู้ป่วยเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติตัวและเป็นการดูแลฟื้นฟูสภาพร่างกายให้ดียิ่งขึ้น

- ประเมินระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียง โดยใช้แบบประเมินดัชนีบาร์เธลเอดีแอล (Barthel ADL index) หลังการพัฒนาศักยภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทยทุกครั้ง

- ติดตามอาการของผู้สูงอายุติดเตียง เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ๆ ละ 1 ครั้ง เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผู้สูงอายุติดเตียง และทำการบันทึกข้อมูลทุกครั้ง

(5) ลงพื้นที่เป้าหมาย ณ ตำบลบางพูน อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี เพื่อดำเนินกิจกรรมพัฒนาศักยภาพชีวิตผู้สูงอายุติดเตียงด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย ตามรูปแบบที่กำหนด ได้แก่ ตรวจสอบสัญญาณชีพ ประเมินลักษณะทั่วไป ประเมินระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงก่อนและหลัง การตรวจร่างกายก่อนทำหัตถการ พัฒนาศักยภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย และติดตามอาการของผู้สูงอายุติดเตียง

(6) ติดตามและประเมินผลจากการดำเนินกิจกรรม การพัฒนาศักยภาพชีวิตผู้สูงอายุติดเตียงด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย และประเมินระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียง ตามรูปแบบกิจกรรม

(7) สรุปผลและปรับปรุงการดำเนินงาน โดยการจัดประชุม สนทนากลุ่ม เพื่อวิเคราะห์ผลจากการดำเนินกิจกรรม รวมทั้งปัญหา อุปสรรค และหาแนวทางแก้ไข ตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงก่อนและหลังพัฒนาศักยภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย

ประชากรและตัวอย่าง

ประชากร คือ ประชาชนที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป อาศัยอยู่ในเขตรับผิดชอบของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางพูน 1 อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี จำนวน 195 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ ประชาชนที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป จำนวน 30 คน มีค่า ADL ไม่เกิน 12 คะแนน ซึ่งคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง ความดันโลหิตไม่เกิน 140/90 มิลลิเมตรปรอท ชีพจร 60-100 ครั้ง/นาที อุณหภูมิน้อยกว่า 38 องศาเซลเซียส สามารถหายใจได้ด้วยตนเอง ไม่ใช้อุปกรณ์การช่วยหายใจ ไม่มีภาวะติดเชื้อหรือมะเร็ง ไม่มีโรคติดต่อรุนแรง ไม่มีภาวะโรคหัวใจ ไม่มีภาวะข้อหรือกระดูกเคลื่อน/แตก/หัก และเป็นผู้ที่สมัครใจสามารถเข้าร่วมโครงการวิจัย ตลอดจนโครงการวิจัยเสร็จสิ้น

เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบประเมินดัชนีบาร์เธลเอดีแอล (Barthel ADL index) โดยผู้วิจัยเป็นผู้ประเมินโดยใช้แบบสอบถามประเมินผู้สูงอายุและสอบถามผ่านผู้ดูแลผู้สูงอายุ ประกอบด้วยคำถาม จำนวน 10 ข้อ คะแนนเต็ม 20 คะแนน ได้แก่ ความสามารถในการรับประทานอาหาร การล้างหน้า

หวิ้ม แปร่งฟัน การลุกนั่งจากที่นอน หรือจากเตียงไปยังเก้าอี้ การใช้ห้องน้ำ การเคลื่อนที่ภายในห้องหรือบ้าน การสวมใส่เสื้อผ้า การขึ้นลงบันได 1 ชั้น การอาบน้ำ การกลืนอาหาร และการกลืนปัสสาวะ

การแปลผลคะแนน คะแนนความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขึ้นพื้นฐาน ดังนี้

0 - 4 คะแนน ภาวะพึ่งพิงผู้อื่นทั้งหมดหรือพิการ

5 - 11 คะแนน ภาวะพึ่งพิงผู้อื่นบ้าง

12 คะแนนขึ้นไป ภาวะพึ่งพิงผู้อื่นเล็กน้อย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

(1) ติดต่อประสานงานกับบุคลากรสาธารณสุขโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางพูน 1 ที่เกี่ยวข้องกับการดูแลผู้สูงอายุติดเตียง เพื่อชี้แจงรายละเอียดโครงการวิจัย และร่วมสนทนากลุ่มเพื่อขอความร่วมมือในการนัดหมายกลุ่มตัวอย่าง

(2) ประสานบุคลากรสาธารณสุขโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางพูน 1 เพื่อขอความอนุเคราะห์จากผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ผู้นำชุมชน และ อสม. ในการลงพื้นที่และเก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง

(3) ดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเองที่บ้านของกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุติดเตียงที่อาศัยอยู่ในตำบลบางพูน อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี โดยใช้เครื่องมือแบบประเมินดัชนีบาร์เธลเอดีแอล (Barthel ADL index)

(4) รวบรวมข้อมูล มาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การแจกแจงความถี่ การหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้สถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ Paired samples t-test และสรุปผลต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปวิเคราะห์ข้อมูลสถิติดังนี้

(1) สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การแจกแจงความถี่ การหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของข้อมูลส่วนบุคคล

(2) สถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ Paired samples t-test เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขึ้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

ข้อมูลส่วนบุคคลทั่วไปของกลุ่มเป้าหมาย พบว่าผู้สูงอายุติดเตียงที่อาศัยอยู่ตำบลบางพูน อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 60.00 เพศชาย จำนวน 12 คน คิดเป็น

ร้อยละ 40.00 มีอายุ 70-79 ปี จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 50.00 รองลงมา มีอายุ 60-69 ปี จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 33.33 และอายุมากกว่า 80 ปี จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 16.67 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้สูงอายุที่ได้รับการประเมินระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวัน
(n = 30)

ข้อมูลส่วนบุคคล		จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ	ชาย	12	40
	หญิง	18	60
อายุ	60-69 ปี	10	33.33
	70-79 ปี	15	50
	>80 ปี	5	16.67

เมื่อพิจารณาระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียง เปรียบเทียบก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย พบว่า กลุ่มพึ่งพิงผู้อื่นทั้งหมด (0 - 4 คะแนน) มีระดับความสามารถเท่าเดิมทั้งก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย คิดเป็นร้อยละ 23.33 กลุ่มพึ่งพิงผู้อื่นบ้าง (5 - 11 คะแนน) จากร้อยละ 70.00 เป็นร้อยละ 56.67 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าลดลง โดยไปเพิ่มจำนวนอยู่ในกลุ่มพึ่งพิงผู้อื่นเล็กน้อย (12 คะแนนขึ้นไป) จากร้อยละ 6.67 เป็นร้อยละ 20.00 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงก่อน และ
หลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย (n = 30)

ระดับความสามารถ	ก่อนพัฒนาคุณภาพชีวิต		หลังพัฒนาคุณภาพชีวิต	
	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
พึ่งพิงผู้อื่นทั้งหมดหรือพิการ (0 - 4 คะแนน)	7	23.33	7	23.33
พึ่งพิงผู้อื่นบ้าง (5 - 11 คะแนน)	21	70.00	17	56.67
พึ่งพิงผู้อื่นเล็กน้อย (12 คะแนนขึ้นไป)	2	6.67	6	20.00

ผลการศึกษาคะแนนความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐาน ADL เป็นรายชื่อของผู้สูงอายุติดเตียงก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย พบว่า ผู้สูงอายุติดเตียงมี

ความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันในการอาบน้ำ ระดับคะแนนน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.2, 0.4 ตามลำดับ ส่วนการลุกนั่งจากที่นอนหรือจากเตียงไปยังเก้าอี้ มีระดับคะแนนมากที่สุด ก่อนการพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.4, 0.5 ตามลำดับ และหลังการพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.6, 0.5 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คะแนนความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย (n = 30)

กิจวัตรประจำวัน		ก่อน		หลัง	
		mean	S.D.	mean	S.D.
1	การรับประทานอาหาร	0.8	0.4	0.8	0.4
2	การล้างหน้า หวีผม แปรงฟัน	0.6	0.5	0.7	0.5
3	การลุกนั่งจากที่นอนหรือจากเตียงไปยังเก้าอี้	1.4	0.5	1.6	0.5
4	การใช้ห้องน้ำ	0.8	0.4	0.8	0.5
5	การเคลื่อนที่ภายในห้องหรือบ้าน	1.1	0.7	1.1	0.7
6	การสวมใส่เสื้อผ้า	0.3	0.5	0.4	0.5
7	การขึ้นลงบันได 1 ชั้น	0.4	0.5	0.4	0.5
8	การอาบน้ำ	0.2	0.4	0.2	0.4
9	การกลืนอุจจาระ	1.1	0.4	1.1	0.4
10	การกลืนปัสสาวะ	0.9	0.6	0.9	0.61

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย โดยทดสอบด้วยค่าสถิติ Paired samples t-test ที่ระดับนัยสำคัญ .05 พบว่า คะแนนเฉลี่ยความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงหลังการพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย แตกต่างจากก่อนการพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย คะแนนเฉลี่ยความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงเพิ่มมากขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุ
ติดเตียงระหว่างก่อนและหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย (n = 30)

ความสามารถ	n	mean	S.D	95% confidence interval		t	df	sig
				of the difference				
				Lower	Upper			
ก่อนพัฒนาคุณภาพชีวิต	30	7.53	3.43	6.25	8.81	2.76	29	0.005
หลังพัฒนาคุณภาพชีวิต	30	7.87	3.66	6.50	9.23			

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนาความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุติดเตียงด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย พบว่า ระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียง ส่วนใหญ่ช่วยเหลือตนเองได้บ้าง ทั้งก่อนและหลังการพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย (การนวดเพื่อกระตุ้นระบบไหลเวียนโลหิต และทำให้ระบบกล้ามเนื้อคลายตัว มีกำลังลดการหดเกร็งของเส้นเอ็น ร่วมกับประคบสมุนไพรเพื่อลดการอักเสบหลังจากการทำหัตถการ รวมทั้งให้คำแนะนำแก่ผู้สูงอายุติดเตียง และญาติผู้ป่วย) โดยใช้แบบประเมินดัชนีบาร์เธลเอดีแอล (Barthel ADL index) ประเมินกิจวัตรประจำวัน ได้แก่ การรับประทานอาหาร, การล้างหน้า หวีผม แปรงฟัน, การลุกนั่งจากที่นอนหรือจากเตียงไปยังเก้าอี้, การใช้ห้องน้ำ, การเคลื่อนที่ภายในห้องหรือบ้าน, การสวมใส่เสื้อผ้า, การขึ้นลงบันได 1 ชั้น, การอาบน้ำ, การกลืนอาหาร และการกลืนปัสสาวะ ซึ่งสอดคล้องกับ อธิธิพล ดวงจินดา (2562) ศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันกับระดับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุไทยในบริบทพื้นที่จังหวัดชัยนาท พบว่า ผู้สูงอายุในจังหวัดชัยนาทมีความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันโดยรวมอยู่ในระดับพึ่งพาตนเองได้ ร้อยละ 94.11 (Mean=18.56, SD.=4.08) และมีระดับคุณภาพชีวิตโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 75.96 (Mean=86.42, SD.=12.76) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณิชาสกล นาคกุล (2561) ศึกษาเรื่องการพัฒนารูปแบบการดูแลผู้ป่วยเรื้อรังกลุ่มติดบ้าน ติดเตียง ในเขตเทศบาลนครสุราษฎร์ธานี โดยประเมินความสามารถในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวัน (Barthel ADL) พบว่า ส่วนใหญ่เป็นภาวะพึ่งพาโดยสมบูรณ์ ร้อยละ 45.20 เช่นเดียวกับ ราตรี โพธิ์ระวัช (2562) แนวทางการพัฒนาการดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงของผู้สูงอายุในตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร โดยประเมินความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวัน ดัชนีบาร์เธลเอดีแอล (Barthel ADL index) พบว่า ผู้สูงอายุส่วนใหญ่พึ่งตนเองได้จำนวน 341 คน คิดเป็นร้อยละ 97.43 ดูแลตนเองได้บ้าง จำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 1.43 พึ่งตนเองไม่ได้จำนวน 4 คน

คิดเป็นร้อยละ 1.14 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ กิ่งกมล พุทธิบุญ (2563) ศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้การแพทย์พื้นบ้านในการดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง โดยการมีส่วนร่วมของครอบครัวและชุมชน ต.เสนานิคม อ.เสนานิคม จ.อำนาจเจริญ พบว่า การนวดประคบสมุนไพรคลายเส้นป้องกันข้อติด สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง ๆ ละ 1 ชั่วโมง โดยนักบริบาล ผู้สูงอายุ ผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง ได้รับการดูแลที่เหมาะสม และเกิดผลลัพธ์ทางด้านสุขภาพ ได้แก่ ผลการประเมินภาวะซึมเศร้าลดลง ความสามารถในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวัน (ADL) ดีขึ้น สอดคล้องกับ กรกช อินทอง และคณะ (2561) ศึกษาเรื่องรูปแบบการให้บริการสุขภาพด้วยการแพทย์แผนไทยในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล กรณีศึกษาจังหวัดตรัง พบว่า ควรครอบคลุมตามมิติการดูแลสุขภาพ 4 ด้าน คือการรักษาโรค, การส่งเสริมสุขภาพ, การป้องกันโรค และการฟื้นฟูสภาพ โดยด้านการรักษาโรค คือ การใช้ยาสมุนไพร การนวดไทย การตรวจวินิจฉัยด้วยแพทย์แผนไทย การใช้ยาสมุนไพรและยาแผน ไทยในโรคเรื้อรัง และการรับประทานอาหารเป็นยา นอกจากนี้ พรณภัทร อินทฤทธิ์ (2560) ศึกษาเรื่องการดูแลสุขภาพผู้สูงอายุด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย โดยนำมาประยุกต์ใช้ดูแลสุขภาพผู้สูงอายุด้วยหลักธรรมานามัย ประกอบด้วย กายานามัย เป็นการดูแลสุขภาพทางกายของผู้สูงอายุประกอบด้วยการใช้สมุนไพรเป็นอาหารและ ยา และการบริหารร่างกายด้วยฤาษีดัดตนและการนวดตัวเอง จิตตานามัย เป็นการดูแลสุขภาพจิตและอารมณ์ โดยการฝึกปฏิบัติสมาธิ โดยการสวดมนต์ การนั่งสมาธิ การเดินจงกรม และ สูดหายใจ ชีวิตานามัยเป็นการดำเนินชีวิตทางสายกลาง ดังนั้นศาสตร์การแพทย์แผนไทยจึงดูแลสุขภาพของผู้สูงอายุได้อย่างครอบคลุมทำให้ผู้สูงอายุมีคุณภาพชีวิตที่ดี เช่นเดียวกับ สุนันทา โอศิริ และคณะ (2559) ศึกษาเรื่องการสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุด้วยการแพทย์แผนไทย ตามหลักธรรมานามัยประกอบด้วย กายานามัย จิตตานามัย และชีวิตานามัย โดยกิจกรรมสำหรับผู้สูงอายุ ได้แก่ การทำอาหารเพื่อสุขภาพ กายบริหารท่าฤาษีดัดตน การนวดตนเอง การทำลูกประคบสด การสวดมนต์ และการเดินจงกรม ซึ่งสามารถสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุให้มีคุณภาพชีวิตดีขึ้น อีกทั้ง วัฒนีย์ ปานจินดา และพุทธรธรณ ชูเชิด (2559) ศึกษาเรื่องการดูแลแบบองค์รวมในการฟื้นฟูสภาพของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง (Stroke หรือ Cerebrovascular disease) ในคนไทยนิยมเรียกว่า โรคอัมพาต โดยมีการฟื้นฟูสภาพด้านภูมิปัญญาไทย มี 5 ขั้นตอน ได้แก่ การประคบด้วยใบพลับพลึงร้อน การนวดตัวด้วยลูกประคบสมุนไพร การทำธาราบำบัดในน้ำสมุนไพรอุ่นและการออกกำลังกายในน้ำ การเดินในบ่อเลน ในขณะที่ สุรัชย์ โชคครรชิตชัย (2561) อ้างถึงตำราการแพทย์แผนไทยเดิมเล่ม1 กล่าวถึงโรคอัมพฤกษ์หรืออัมพาต เกิดจากลมเบื้องสูง (ลมอุทกังคมาวาตา คือลมพัดขึ้นเบื้องบน จากปลายเท้าถึงศีรษะ) และลมเบื้องต่ำ (ลมอโรคมาวาตา คือ ลมพัดลงเบื้องล่างตั้งแต่ศีรษะถึงปลายเท้า) พัดระคนกัน จนเกิดโทษ ทั้งสองนี้เมื่อระคนกัน คือลมอโรคมาวาตาดัดย่อนขึ้นประคนกับลมอุทกังคมาวาตากับพัดลงหาอโรคมาวาตา จึงเป็นเหตุให้โลหิตถูกพัดเป็นฟองและร้อนดังไฟ ส่วนลมในทิศเบื้องต่ำคือลมอัมพฤกษ์และลมอัมพาตเกิดแต่ปลายเท้าถึงเบื้องบน ลมทั้งสองนี้ เป็นที่ตั้งแห่งฐานลมทั้งหลายเมื่อระคนกันก็ให้หวาดหวั่นไปทั่ว เพราะไปกระทบกับลมหทัยวาตะ คือ ลมประจำทรวง เมื่อลม

ระคนกันให้กำลังโลหิตแปลไป อาการการที่ปรากฏจึงเป็นอาการทางระบบประสาทให้จุกแน่น ชัก กำมือ เท้างอ ดิ้นไป ให้ลิ้นกระด้างแข็ง ขากรรไกรแข็ง เจริญไม่ได้ บ้างสิ้นสติ หรือลมนั้นมีกำลังขับโลหิตให้คั่งเป็นวง ซึ่งอาจทำให้เป็นภาวะผู้ป่วยติดเตียงได้ และ จิริงกูร ญัฐรังสี และคณะ (2561) ศึกษาเรื่องความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันและความสุขของผู้สูงอายุชุมชนทุ่งขุนน้อย อุบลราชธานี ผลการวิจัยพบว่า ระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุ อยู่ในกลุ่มติดสังคม ร้อยละ 97.90 (93 คน) กลุ่มติดบ้านร้อยละ 2.10 (2 คน) ไม่มี กลุ่มติดเตียง กิจกรรมที่ผู้สูงอายุทำได้เองทุกคนได้แก่ การรับประทานอาหาร การสวมใส่เสื้อผ้า การหิ้วม ลางหนา แปรงฟันและโกนหนวด สามารถกลืนอาหารและปัสสาวะได้ร้อยละ 50.00 ระดับความสุขของผู้สูงอายุทุกคนอยู่ในระดับต่ำกว่าคนทั่วไปร้อยละ 38.90 (37 คน) ดังนั้นหากเป็นผู้สูงอายุกลุ่มติดเตียงอาจทำให้ระดับความสุขของผู้สูงอายุต่ำมากกว่ากลุ่มติดสังคม และกลุ่มติดบ้าน

การเปรียบเทียบระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขึ้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียง ก่อน และหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย พบว่า เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ ความสามารถในการลุกนั่งจากที่นอนหรือจากเตียงไปยังเก้าอี้ มีระดับคะแนนมากที่สุด และความสามารถในการอาบน้ำ มีระดับคะแนนน้อยที่สุด จึงสรุปได้ว่า ระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขึ้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงก่อน และหลังพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สอดคล้องกับ ประหยัด ธุระแพง (2561) ศึกษาการพัฒนาาระบบดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงในชุมชนเขตตำบลหนองบัว อำเภอมือง จังหวัดหนองบัวลำพู พบว่า ระบบการดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงที่ได้รับการพัฒนามีกิจกรรมคือ พัฒนาระบบฐานข้อมูล พัฒนาระบบของที่มีสุขภาพครอบครัวและสร้างมีเครือข่ายการดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง หลังการพัฒนาระบบดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง ค่าเฉลี่ยของคะแนนความสามารถในการดำเนินชีวิตประจำวัน ตามดัชนี Barthel ADL Index เพิ่มขึ้น 2.60 คะแนน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) เช่นเดียวกับ ชาญชัย เหลาสาร และคณะ (2563) ศึกษาเรื่องการดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงแบบมีส่วนร่วมของศูนย์ดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเวียง ตำบลกระเดียน อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี โดยหาค่าเฉลี่ยของ ADL เปรียบเทียบก่อนและหลังให้การดูแล พบว่า กลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ย ADL จาก 10.36 เป็น 10.78 คะแนน กลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ย ADL จาก 8.23 เป็น 8.50 คะแนน กลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ย ADL จาก 6.00 เป็น 6.33 คะแนน และกลุ่มที่ 4 ค่าเฉลี่ย ADL จาก 4.00 เป็น 4.00 คะแนน ถือเป็นการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ดีขึ้น

สรุป

การพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุติดเตียงด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย พบว่า ระดับความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขึ้นพื้นฐานของผู้สูงอายุติดเตียงก่อนพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์

แผนไทย กลุ่มพึงพิงผู้อื่นบ้าง มีค่าสูงสุด คือ ร้อยละ 70.00 และหลังจากพัฒนาคุณภาพชีวิตด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย กลุ่มพึงพิงผู้อื่นบ้าง มีค่าลดลงเหลือร้อยละ 56.67 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนดังกล่าวไปเพิ่มอยู่ในกลุ่มพึงพิงผู้อื่นเล็กน้อย โดยที่การอาบน้ำ ยังคงต้องการความช่วยเหลือมากที่สุด ส่วนกิจวัตรอื่นที่สามารถช่วยเหลือตนเองได้ดีขึ้น ได้แก่ การล้างหน้า หวีผม แปรงฟัน, การลุกนั่งจากที่นอนหรือจากเตียงไปยังเก้าอี้ และการสวมใส่เสื้อผ้า ดังนั้นหากมีการดูแลและฟื้นฟูอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ จะทำให้เพิ่มความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันขึ้นพื้นฐานได้มากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1. ให้ความรู้แก่ผู้สูงอายุติดเตียง และญาติผู้ป่วย โดยนำศาสตร์การแพทย์แผนไทยมาประยุกต์ใช้ในการดูแลและฟื้นฟูสุขภาพของร่างกายในชีวิตประจำวันได้อย่างเหมาะสม
2. ศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลเพิ่มขึ้น ได้แก่ เพศกับการเกิดภาวะติดเตียง โรคกับการเกิดภาวะติดเตียง และธาตุเจ้าเรือนทางทฤษฎีการแพทย์แผนไทยกับการเกิดภาวะติดเตียง
3. สามารถนำผลการวิจัยมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการส่งเสริม ฟื้นฟู ดูแลผู้สูงอายุติดเตียงด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทยอย่างเป็นรูปธรรม

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรเพิ่มระยะเวลาในการดูแลและฟื้นฟูสุขภาพแก่ผู้สูงอายุติดเตียง และติดตามความสามารถในการดูแลตนเองอย่างต่อเนื่อง
2. ควรศึกษาเพิ่มเติมด้านความรู้สึกรู้สึกในส่วนของผู้สูงอายุติดเตียงและผู้ดูแล เพื่อนำผลมาพัฒนาและปรับปรุงในการจัดโปรแกรมการดูแลคุณภาพชีวิตที่เหมาะสมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ดูแลและผู้สูงอายุติดเตียงตำบลบางพูน อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี บุคลากรสาธารณสุขโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบางพูน 1 และนักศึกษาหลักสูตรการแพทย์แผนไทยประยุกต์รุ่น 19 วิทยาลัยการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรกช อินทอง, และคณะ. (2561). รูปแบบการให้บริการสุขภาพด้วยการแพทย์แผนไทยในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล กรณีศึกษาจังหวัดตรัง. *วารสารเทคโนโลยีภาคใต้*, 11(1), 193- 203.

กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2558). **สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2550.**

สืบค้นจาก <http://www.m-society.go.th>.

กึ่งกมล พุทธิบุญ. (2563). **การประยุกต์ใช้การแพทย์พื้นบ้านในการดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง โดยการมีส่วนร่วมของครอบครัวและชุมชน ต.เสนานิคม อ.เสนานิคม จ.อำนาจเจริญ.** สืบค้นจาก

http://www.amno.moph.go.th/amno_new/files.../1p7.pdf.

ชนิษฐา ชงโคสันติสุข. (2560). **ศักยภาพของชุมชนในการดูแลผู้ป่วยติดเตียง เขตพื้นที่อำเภองาว จังหวัดลำปาง.**

วารสารวิชาการสุขภาพภาคเหนือ, 4(1), 39-53.

จิรัฐกร ญัฐรังสี, และคณะ. (2561). **ความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันและความสุขของผู้สูงอายุ ชุมชนทุ่งขุนน้อย อุดรราชธานี. วารสารราชธานีนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ**, 2(1), 50-60.

จุฑาทิพ กองจันทร์ศรี, และอรสา กงตาล. (2555). **การพัฒนาการดูแลสุขภาพอย่างต่อเนื่องสำหรับผู้สูงอายุ กลุ่มติดบ้านติดเตียงในชุมชนเขตเทศบาลเมืองเพรชบูรณ์. การประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น**, 17 กุมภาพันธ์ 2555, 658-669.

ชาญชัย เหลาสาร, และคณะ. (2563). **การดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงแบบมีส่วนร่วมของศูนย์ดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเวียง ตำบลกระเดียน อำเภอดงเจริญ จังหวัดอุดรราชธานี. วารสารวิชาการสาธารณสุข**, 29(5), 813-821.

ณรงค์ สหมธาพัฒน์. (2557). **สถานการณ์ผู้สูงอายุติดเตียง.** สืบค้นจาก

<https://www.hfocus.org/content/2014/03/6726>.

ณิสาชล นาคกุล. (2561). **การพัฒนารูปแบบการดูแลผู้ป่วยเรื้อรังกลุ่มติดบ้านติดเตียง ในเขตเทศบาลนครสุราษฎร์ธานี โดยประเมินความสามารถในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวัน (Barthel ADL). วารสารพยาบาลกระทรวงสาธารณสุข**, 28(3), 36-50.

ประหยัด ธุระแพง. (2561). **การพัฒนาระบบดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง ในชุมชนเขตตำบลหนองบัว อำเภอเมือง จังหวัดหนองบัวลำภู. วารสารวิทยาศาสตร์สุขภาพและการสาธารณสุขชุมชน**, 1(2), 15-29.

พรรณนัท อินทฤทธิ์. (2560). **การดูแลสุขภาพผู้สูงอายุด้วยศาสตร์การแพทย์แผนไทย โดยนำมาประยุกต์ใช้ดูแลสุขภาพผู้สูงอายุด้วยหลักธรรมานามัย. วารสารหมอยาไทยวิจัย**, 3(2), 35-42.

ราตรี โพธิ์ระวัช. (2562). **แนวทางการพัฒนาการดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงของผู้สูงอายุในตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร. สักทอง : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (สทมส)**, 25(4), 76-85.

วัฒน์ย์ ปานจินดา, และพุทธวรรณ ชูเชิด. (2559). **การดูแลแบบองค์รวมในการฟื้นฟูสภาพของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง. วารสารวิชาการ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย**, 5(2), 70-78.

สุนันทา โอศิริ, และคณะ. (2559). **การสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุด้วยการแพทย์แผนไทย ตามหลักธรรมานามัย.วารสารสาธารณสุขมหาวิทยาลัยบูรพา**, 11(2), 33-43.

สุรัชย์ โชคครรชิตชัย. (2561). **คู่มือแนวทางเวชปฏิบัติการแพทย์แผนไทย การแพทย์พื้นบ้าน และการแพทย์ทางเลือก เขตสุขภาพที่ 3.** สืบค้นจาก

http://www.ppho.go.th/webppho/dl_strat/F20181018140227.pdf.

อิทธิพล ดวงจินดา. (2562). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการประกอบกิจวัตรประจำวันกับระดับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุไทยในบริบทพื้นที่จังหวัดชัยนาท. วารสารวิจัยสุขภาพและการพยาบาล, 35(3), 60-73.

การผลิตเม็ดบีดส์ขอสมะม่วงโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม

อัศพงษ์ อุประวรรณ^{1*} ชนันภรณ์ ทองโรจน์² จรรยา โทะนาบุตร³

Received : October 27, 2021

Revised : December 24, 2021

Accepted : December 28, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและพัฒนาสูตรขอสมะม่วงเป็นเม็ดบีดส์ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม โดยการวางแผนการทดลองแบบผสม พบว่า สูตรที่เหมาะสมในการพัฒนาเป็นเม็ดบีดส์ขอสมะม่วง คือ อัตราส่วนระหว่าง มะม่วง:น้ำตาล:น้ำมะนาว เท่ากับ 6:3:1 เมื่อนำสูตรที่เหมาะสมมาพัฒนาเป็นเม็ดบีดส์ขอสมะม่วงโดยใช้โซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1, 1.5 และ 2 พบว่า เม็ดบีดส์ที่ผลิตจากโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดซึ่งอยู่ในระดับชอบมาก (7.45) และยังพบว่าอัตราส่วนของส่วนผสมส่งผลต่อค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองของเม็ดบีดส์ เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างเป็นเวลา 8 วัน ที่อุณหภูมิ 3 ± 1 องศาเซลเซียส พบว่า ตัวอย่างมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา (Total plate count) ระหว่างการเก็บรักษา (< 25 CFU/กรัม) และเมื่อนำเม็ดบีดส์ขอสมะม่วงไปทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อผู้บริโภคจำนวน 200 คน พบว่า ได้รับคะแนนความชอบอยู่ระหว่างชอบชอบปานกลาง-ชอบมาก (6.77, 6.81, 7.61, 6.88 และ 7.39 คะแนนสำหรับคุณลักษณะด้าน-สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารไทยที่ให้ความเห็นว่าการผลิตเม็ดบีดส์ขอสมะม่วงเพื่อประยุกต์ใช้เสิร์ฟข้าวเหนียวมูนสามารถสร้างความน่าสนใจ แปลกใหม่ และทดแทนการใช้เนื้อมะม่วงปกติได้ในกรณีที่มะม่วงมีราคาสูงและ/หรือต้องการการนำเสนออาหารด้วยความแปลกใหม่

คำสำคัญ: การขึ้นรูปทรงกลม โซเดียมอัลจิเนต มะม่วง เม็ดบีดส์

¹อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาเทคโนโลยีการประกอบอาหารและการบริการ โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์การศึกษาต่างจังหวัดลำปาง จังหวัดลำปาง อีเมล: utsaphong.u@gmail.com

²นักวิจัย สถาบันนวัตกรรมและถ่ายทอดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา อีเมล: chananbhorn.t@gmail.com

³อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิชาเทคโนโลยีการประกอบอาหารและการบริการ โรงเรียนการเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์การศึกษาต่างจังหวัดลำปาง จังหวัดลำปาง อีเมล: janya_tho@outlook.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: utsaphong.u@gmail.com

PRODUCING MANGO SAUCE BEADS BY SPHERIFICATION TECHNIQUE

Utsaphong Uprarawanna^{1*} Chananbhorn Thongrote² Janya Thonabut³**Abstract**

This study aimed to study and develop mango sauce beads using spherification technique with Mixture Design experiment. The result revealed that the optimum recipe for developing mango sauce beads was 6:3:1 (w/w) of mango: sugar: lime juice respectively. When study effect of Sodium alginate concentration (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 % by weight), it was found that 0.5 % sodium alginate mango sauce beads had the highest score of satisfaction (7.45 scores) and the ingredient ratio of different mango sauces had effects on color (lightness, redness and yellowness) values. When storing sodium alginate mango sauce beads for 8 days in temperature of 5 ± 2 degree Celsius, of it could be found that phenolic compounds and antioxidant capacity were decreased significantly ($p\leq 0.05$) whereas, total microbial count did not changed (<25 CFU/g). The result of sensory evaluation by 200 consumers showed that the caviar had the moderate to highest score of satisfaction (6.77, 6.81, 7.61, 6.88 and 7.39 scores for color, flavor, taste, texture and overall, respectively) which corresponds to Thai food exports who commented that the mango sauce beats served with sweet sticky rice (Kaw-neaw-moon) can be interesting, exotic and can be used to replace regular mangoes in case mango prices soar or to present the food in exotic way and/or for food presentation.

Keywords: Spherification, Sodium alginate, Mango, Beads

¹ Lecturer of division of Culinary Technology and Service, School of Culinary Arts, Suan Dusit University, Lampang Center, e-mail: utsaphong.u@gmail.com

² Researcher of Innovation and Technology Transfer Institute, University of Phayao, Phayao, e-mail: Chananbhorn.t@gmail.com

³ Lecturer of division of Culinary Technology and Service, School of Culinary Arts, Suan Dusit University, Lampang Center, e-mail: janya_tho@outlook.com

* Corresponding author, e-mail: utsaphong.u@gmail.com

บทนำ

มะม่วงเป็นผลไม้เขตร้อนที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทย เป็นที่ยอมรับของนานาชาติและมีการส่งออกเป็นลำดับต้นๆ ของโลก (Ledeker et al., 2014) อีกทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการ และสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่มีประโยชน์ (Dar et al., 2016; Oliveira et al., 2016; Salinas-Roca et al., 2016; Sogi et al., 2015) เช่น โพลีฟีนอล ซึ่งจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีคุณสมบัติด้านการอักเสบ (Anti-inflammatory) และต้านสารก่อมะเร็ง (Anti-carcinogenic) เป็นต้น (Kuria et al., 2021) โดยสารประกอบฟีนอลิกที่พบในมะม่วง ได้แก่ แมนิกิเฟอริน (Mangiferin) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดแกลลิก (Gallic acid) และแทนนิน (tannin) เป็นต้น (Abdalla et al., 2007) ซึ่งมีงานวิจัยหลายชิ้น กล่าวว่า สารประกอบฟีนอลิกมีฤทธิ์ช่วยต้านการเกิดมะเร็งได้ (Fernández-Arroyo et al., 2012; Taamalli et al., 2012; Vuong et al., 2014) นอกจากนี้ในมะม่วงยังมีเพคติน ซึ่งเป็นใยอาหาร ร้อยละ 0.4-0.5 ของน้ำหนักสด โดยมีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อรวมตัวกับน้ำตาลและกรดในปริมาณที่เหมาะสม เกิดเป็นเจล (Kermani et al., 2015) มะม่วงสามารถรับประทานได้ทั้งผลสุกและดิบ มะม่วงสุกจะเก็บรักษาในรูปผลสดได้ยาก เพราะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและเคมี (Labaky et al., 2020; Li et al., 2014; Chongchatuporn et al., 2013) การเก็บรักษามะม่วงสุกในรูปแบบแช่เยือกแข็งและพวเร (Puree) นิยมใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษา แต่วิธีการเก็บรักษาทั้ง 2 วิธีจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส การแปรรูปมะม่วงสุกให้มีความหลากหลายมากขึ้นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการยืดอายุการเก็บรักษา และเพิ่มมูลค่าของสินค้าในตลาดได้

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เพื่อปรับปรุงและเพิ่มความน่าสนใจให้กับผลิตภัณฑ์ โดยนำหลักการโมเลคิวลาร์แกสโตรมี (Molecular gastronomy) (Tsai et al. 2017; Aguilera, 2012; Baldwin, 2012; Lane, 2013; Lightner & Rand, 2014; Rognså et al., 2014; Vega & Ubbink, 2008) และการขึ้นรูปทรงกลม (Spherification) เป็นส่วนหนึ่งของเทคนิคโมเลคิวลาร์แกสโตรมี ซึ่งเป็นเทคนิคในการสร้างชั้นที่กินได้ (Edible membrane) ห่อหุ้มของเหลวไว้ข้างในด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดจากสาหร่าย เรียกว่า อัลจิเนต และสารละลายแคลเซียม (Comaposada et al., 2015) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดหลากหลายขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนาเม็ดปิดส์จากมะม่วง ซึ่งสามารถใช้มะม่วงแช่เยือกแข็งและพวเรมะม่วง (Mango puree) น้ำดอกไม้แช่เยือกแข็งเป็นวัตถุดิบ รวมถึงศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบทางการเกษตร และได้ประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้กับอาหารจานหวานของไทยโดยนำเม็ดปิดส์ที่ได้ไปใช้ทดแทนเนื้อมะม่วงในข้าวเหนียวมะม่วง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาและพัฒนาซอสมะม่วง (2) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดบีดส์ซอสมะม่วง (3) การวิเคราะห์ทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์และประสาทสัมผัส และ (4) ประยุกต์ใช้เม็ดบีดส์ซอสมะม่วงที่พัฒนาขึ้นกับผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวมูนเพื่อทดแทนเนื้อมะม่วงแบบเดิม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การพัฒนาสูตรซอสมะม่วงเพื่อใช้ในการผลิตเม็ดบีดส์

วางแผนทดลองแบบผสม (Mixture design) โดยกำหนดสัดส่วนของซอสมะม่วง คือ เนื้อมะม่วง ร้อยละ 60 ถึง 80 น้ำมะนาว ร้อยละ 10 ถึง 30 และน้ำตาล ร้อยละ 10 ถึง 30 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สูตรซอสมะม่วงจากการวางแผนการทดลองแบบผสม

สูตรที่	ปริมาณส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	มะม่วง	น้ำตาล	น้ำมะนาว
1	60	30	10
2	60	10	30
3	80	10	10
4	70	15	15

นำสูตรที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบผสม ไปผลิตเป็นซอสมะม่วง โดยนำส่วนผสมทั้งหมด มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นปั่นด้วยเครื่องปั่นอเนกประสงค์ (HR2221, PHILIPS, ประเทศไทย) แล้วกรองผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร พักให้เย็น นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าสี (CIE-Lab) (Minolta chroma meter, CR-300, Japan) วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (AOAC, 2000) และทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบจำนวน 50 คน โดยประเมินคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด)

2. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดบีดส์ซอสมะม่วง

นำสูตรซอสมะม่วงที่ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด มาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดบีดส์ซอสมะม่วง โดยเติมโซเดียมอัลจีเนต (Food grade, ยูเนียนชาयน์, ประเทศไทย) ในซอสมะม่วง ร้อยละ 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 โดยน้ำหนัก พักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 3 ± 1 องศาเซลเซียส และเตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Food grade, ยูเนียนชาयน์, ประเทศไทย) ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นนำซอสมะม่วงที่เตรียมไว้ (ยกเว้นชุดควบคุม) หยดลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ แช่เม็ดบีดส์ที่ได้ในสารละลายดังกล่าวเป็นเวลา 100 วินาที ตักขึ้นมาล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ วัดขนาดของเม็ดบีดส์กึ่งกลางของเม็ดบีดส์โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Calipers)

(AACC, 1977) ชั่งน้ำหนักครั้งละ 100 เม็ดด้วยเครื่องชั่ง (AACC, 1977) วัดค่าสี (CIE Lab) (Minolta chroma meter, CR-300, Japan) วัดเนื้อสัมผัสหัตถ์ P/50 กดลงครั้งที่ 1 ด้วยความเร็ว 1.0 mm/s และกดลงครั้งที่ 2 ด้วยความเร็ว 10.0 mm/s ด้วยแรงกด 5 กรัม และแรงเค้นร้อย 95 (Texture analyzer, รุ่น TA-XT plus, USA) บันทึกค่าความแน่นเนื้อและความคืนตัว วัดค่าความเป็นกรด-เบสของเม็บบิตส์ (AOAC, 2000) และทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบจำนวน 50 คน โดยประเมินคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด)

3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบของเม็บบิตส์ซอสมะม่วง

นำเม็บบิตส์ซอสมะม่วงที่คัดเลือกจากตอนที่ 2 ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ± 1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 2, 4, 6 และ 8 วัน จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ขนาดของเม็บบิตส์มะม่วง โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Calipers) (AACC, 1977) ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง (AACC, 1977) วัดค่าสี (CIE Lab) (Minolta chroma meter, รุ่น CR-300, ญี่ปุ่น) สมบัติทางเคมี ซึ่งวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก โดยวิธี Folin-Denis reagent (AOAC, 2000) และ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay (Brand-Williams et al., 1995) วัดค่าความเป็นกรด-เบสของเม็บบิตส์ (AOAC, 2000) ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000) และทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบจำนวน 50 คน โดยประเมินคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด)

4. ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคและผู้เชี่ยวชาญต่อเม็บบิตส์ซอสมะม่วงโดยการจัดเสิร์ฟกับข้าวเหนียวมูน

ทำการจัดเม็บบิตส์ซอสมะม่วงที่ผลิตได้กับข้าวเหนียวมูน นำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบทางสัมผัสของผู้บริโภคจำนวน 200 คน โดยประเมินคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด)

ทำการจัดเตรียมเม็บบิตส์ซอสมะม่วงที่ผลิตได้กับข้าวเหนียวมูน นำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้เชฟและผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารไทยจำนวน 10 คน ที่มีประสบการณ์ด้านอาหารไทย ขนมไทย และการจัดตกแต่งอาหาร (Food Stylist) ทั้งในและต่างประเทศรวมไม่ต่ำกว่า 10 ปี โดยประเมินคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด)

5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomized design - CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) และทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized complete block design - RCBD) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows เวอร์ชัน 19 (International Business Machines-IBM, USA)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การพัฒนาสูตรซอสมะม่วงเพื่อใช้ในการทำเม็ดบีดส์ซอสมะม่วง

จากการวางแผนการทดลองแบบผสม โดยกำหนดอัตราส่วนวัตถุดิบหลักในการผลิตซอสมะม่วง คือ เนื้อมะม่วงร้อยละ 60 ถึง 80 น้ำมะนาวร้อยละ 10 ถึง 30 และน้ำตาลร้อยละ 10 ถึง 30 โดยน้ำหนัก และเมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าสี (ตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของส่วนผสมทั้ง 3 ชนิด คือ มะม่วง น้ำตาลและน้ำมะนาว ส่งผลต่อค่าความสว่าง (L^*) และความเป็นสีแดง (a^*) แต่ไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของซอสมะม่วงเนื่องจากในมะม่วงจะมีสารประกอบฟีนอลิกซึ่งจะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ แต่ในตัวอย่างซอสที่มีปริมาณน้ำมะนาวสูงขึ้นจะส่งผลโดยตรงให้ค่าความเป็นกรด-เบสลดลงส่งผลในการช่วยยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในซอสมะม่วงที่จะส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) สูงกว่า และลดค่าความเป็นสีแดง (a^*) ดังแสดงในตารางที่ 2 เพราะน้ำมะนาวมีความเป็นกรดสูงค่าความเป็นกรด-เบสจึงลดลงจนไม่เหมาะกับการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase enzyme) ที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาลที่เป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้ค่าความสว่างลดลงและเพิ่มค่าความเป็นสีแดง (Teribia et al., 2021) แต่เมื่อเปรียบเทียบสูตรที่มีเนื้อมะม่วงเท่ากัน พบว่า ปริมาณน้ำมะนาวที่มากกว่าจะมีค่าความสว่างสูงกว่าและค่าสีแดงน้อยกว่าเพราะกรดจากน้ำมะนาวช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอล ซึ่งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (Shukla et al., 2000; Sommano et al., 2020) ลดการเกิดปฏิกิริยาเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ได้ (นิธิยา รัตนพานนท์, 2549)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 3) พบว่า ซอสมะม่วงสูตรที่ 1 ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างมะม่วง:น้ำตาล:น้ำมะนาว ในอัตราส่วนเท่ากับ 60:30:10 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดในด้าน สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบปานกลางถึงชอบมาก

ตารางที่ 2 ค่าสีและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของซอสมะม่วง

สูตร (มะม่วง:น้ำตาล:น้ำมะนาว)	ค่าสี			pH
	L^*	a^*	b^{*ns}	
สูตรที่ 1 (60:30:10)	17.11 ^b ±0.64	11.79 ^b ±0.29	30.92±0.37	2.98 ^b ±0.01
สูตรที่ 2 (60:10:30)	26.06 ^a ±1.03	9.20 ^c ±0.58	31.80±0.06	2.58 ^d ±0.02
สูตรที่ 3 (80:10:10)	13.82 ^c ±1.11	13.22 ^a ±1.03	31.09±0.35	3.07 ^a ±0.02
สูตรที่ 4 (70:15:15)	24.29 ^a ±1.01	9.61 ^c ±0.04	31.10±±0.34	2.88 ^c ±0.01

หมายเหตุ ^{a,b,c} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในกลุ่มเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 คะแนนความชอบของซอสมะม่วง

สูตร (มะม่วง : น้ำตาล : น้ำมะนาว)	คุณลักษณะของซอสมะม่วง (n = 50)			
	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความชอบ โดยรวม
สูตรที่ 1 (60:30:10)	7.05 ^a ±.94	7.05 ^a ±1.00	7.35 ^a ±1.04	7.45 ^a ±1.10
สูตรที่ 2 (60:10:30)	6.10 ^b ±1.17	6.30 ^{ab} ±1.69	6.8 ^{ab} ±1.99	6.55 ^{ab} ±1.79
สูตรที่ 3 (80:10:10)	6.85 ^a ±1.14	6.00 ^a ±1.56	5.75 ^b ±2.12	6.05 ^b ±1.79
สูตรที่ 4 (70:15:15)	6.90 ^a ±1.07	6.05 ^{ab} ±1.57	5.85 ^{ab} ±1.96	5.95 ^b ±1.85

หมายเหตุ ^{a,b} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. สภาพที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดบีดส์ซอสมะม่วง

ผลการศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดบีดส์ซอสมะม่วง (ตารางที่ 4) พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตทำให้น้ำหนัก ขนาด ความแน่นเนื้อ การคืนตัว และความสว่าง (L^*) ของเม็ดบีดส์เพิ่มมากขึ้น จากรายงานของ Rhim (2004) กล่าวว่า การประสานกัน (Crosslink) เป็นโครงสร้างร่างแหระหว่างโพลิเมอร์ของอัลจิเนต 2 สายร่วมกับแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) มีโครงสร้างคล้ายกล่องไข่ (Egg box) โดยมี Ca^{2+} เกาะอยู่กับประจุลบของหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) บนโพลิเมอร์ของอัลจิเนต (Hu et al., 2021; Uprarawanna et al., 2021) ทำให้เกิดเจลใส และสอดคล้องกับงานวิจัยของ อัจฉรา ดลวิทยาคุณ และวรรณวิมล พุ่มโพธิ์ (2561) พบว่า เมื่อความเข้มข้นของอัลจิเนตและแคลเซียมไอออนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานของพัชรี คำประเวช และสุธีรา วัฒนกุล (2561) ซึ่งพบว่า ค่าความแข็งของเม็ดบีดส์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมแลคเตทและระยะเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น ประกอบกับเนื้อมะม่วงมีสารแพคตินที่มีคุณสมบัติการเกิดเจลและสามารถรวมกับอัลจิเนต เมื่อมีความเข้มข้นสูงเกินไปจะทำให้เนื้อสัมผัสแข็ง ยังส่งผลต่อการปลดปล่อยรสชาติ และทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Lupo et al., 2015)

ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของคาร์เวียร์มะม่วง

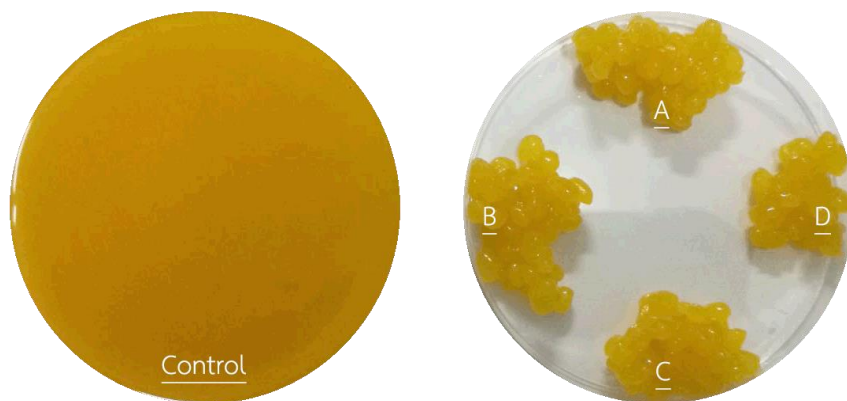
ลักษณะ	ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตที่ใช้ผลิตเม็ดบีดส์มะม่วง (ร้อยละ)				
	0	0.5	1	1.5	2
น้ำหนัก (กรัมต่อ 100 เม็ด)	-	6.84 ^d ±0.55	7.59 ^c ±0.76	7.70 ^b ±0.47	8.21 ^a ±0.82
ขนาด (มิลลิเมตร)	-	4.69 ^c ±0.14	5.07 ^b ±0.03	5.05 ^b ±0.02	5.25 ^a ±0.08
เนื้อสัมผัส					
ความแน่นเนื้อ (กรัม)	-	31.94 ^d ±2.64	58.26 ^c ±9.09	80.72 ^b ±4.24	132.25 ^a ±18.10
ความคืนตัว (ร้อยละ)	-	30.80 ^b ±4.58	41.46 ^{ab} ±8.91	50.44 ^a ±8.64	48.93 ^a ±4.09

ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของคาร์เวียร์มะม่วง (ต่อ)

ลักษณะ	ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินเตที่ใช้ผลิตเม็ดบีดส์มะม่วง (ร้อยละ)				
	0	0.5	1	1.5	2
ความเป็นกรด-เบส (pH)	3.01 ^d ±0.01	3.35 ^c ±0.08	3.38 ^c ±0.12	3.52 ^b ±0.11	3.76 ^a ±0.18
ค่าสี					
L*	17.44 ^c ±0.02	22.46 ^c ±0.06	24.96 ^b ±0.09	24.49 ^b ±0.02	29.06 ^a ±0.03
a*	10.53 ^a ±0.04	10.53 ^b ±0.01	9.57 ^c ±0.03	9.42 ^d ±0.03	9.23 ^e ±0.40
b*	28.83 ^e ±0.05	30.66 ^d ±1.27	31.28 ^c ±0.06	32.05 ^b ±0.5	32.23 ^a ±0.10

หมายเหตุ ^{a,b,c,...} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำตัวอย่างเม็ดบีดส์ซอสมะม่วงไปทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 5) พบว่า การใช้โซเดียมอัลจินเตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ได้รับคะแนนความชอบด้านต่างๆ สูงสุด แต่เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินเตเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 1, 1.5 และ 2 ตามลำดับ ส่งผลทำให้คะแนนความชอบด้านต่าง ๆ ลดลง ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องมาจากเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นและรสชาติที่ได้รับน้อยลง (Lupo et al., 2015) สอดคล้องกับรายงานของ สวามินี อีระวุฒิ และปฎิยุทธ์ ขวัญอ่อน (2557) ที่ พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของอัลจินเตที่เคลือบบนเนื้อหอยแมลงภู่มัด ทำให้ผู้ทดสอบไม่ชอบลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นเมือกจากอัลจินเตหลังจากรับประทาน



ภาพที่ 1 ซอสมะม่วงสูตรควบคุม (Control) และเม็ดบีดส์ซอสมะม่วงที่ผลิตจากแอลจินเตความเข้มข้นต่างกัน 4 ระดับ (A, B, C และ D มีความเข้มข้นของแอลจินเตเท่ากับร้อยละ 0.5, 1, 1.5 และ 2 โดยน้ำหนักตามลำดับ)

ตารางที่ 5 คะแนนความชอบของเม็ดบีดส์ขอสมะม่วง

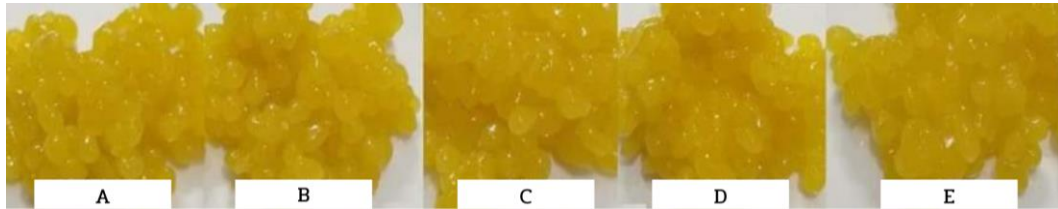
ความเข้มข้นของ โซเดียมอัลจิเนต (ร้อยละ)	คุณลักษณะของเม็ดบีดส์ขอสมะม่วง (n = 50)				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
ขอสมะม่วง (ชุดควบคุม)	6.32 ^{ab} ±1.33	6.48 ^{ab} ±1.59	6.90 ^a ±1.78	6.80 ^b ±1.45	6.84 ^{ab} ±1.73
0.5	7.13 ^a ±1.20	7.13 ^a ±1.23	7.13 ^a ±1.23	7.25 ^a ±1.11	7.55 ^a ±1.26
1	6.77 ^b ±1.02	6.13 ^b ±1.38	6.10 ^{bc} ±1.85	6.00 ^{bc} ±1.78	6.35 ^{bc} ±1.76
1.5	6.55 ^b ±1.31	6.03 ^b ±1.33	5.71 ^c ±1.75	5.70 ^c ±1.56	5.71 ^c ±1.72
2	7.03 ^b ±0.98	6.29 ^b ±1.37	5.87 ^c ±1.80	5.50 ^c ±1.29	5.97 ^{bc} ±1.82

หมายเหตุ ^{a,b,c} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

3. การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และการประเมินทางประสาทสัมผัสของเม็ดบีดส์ขอสมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์ทางกายภาพ (ตารางที่ 6) พบว่า น้ำหนัก ขนาดและค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) แต่เนื้อสัมผัส (ความแน่นเนื้อและร้อยละการคืนตัว) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา ส่วนค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ซึ่งแปรผกผันกับค่าความเป็นสีแดง (a*) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dea et al. (2010) และ Siddiq et al. (2013) ซึ่งพบว่า มะม่วงตัดแต่งจะมีค่าความสว่างลดลงหลังจากการเก็บรักษา ถึงแม้ว่าการผลิตเม็ดบีดส์จะช่วยลดการเสื่อมสลายของสารประกอบฟีนอลได้บางส่วนที่ส่งผลต่อค่าสีก็ตาม (Uprarawanna et al., 2021) เมื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี (ตารางที่ 7) พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ (DPPH) มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกจะถูกทำลายได้เร็วขึ้นจากการเร่งปฏิกิริยาจากแสงและออกซิเจน การผลิตเม็ดบีดส์ขอสมะม่วงจึงเหมือนเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวทำให้สารดังกล่าวถูกทำลายได้เพิ่มมากขึ้น (Kim et al, 2018; Buchner et al., 2006)

ในขณะที่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดของเม็ดบีดส์ขอสมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา 8 วัน พบ <25 CFU/กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ในวันที่ 8 คะแนนความชอบด้านต่าง ๆ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางกายภาพข้างต้น



ภาพที่ 2 ลักษณะเม็ดปิดส่มะม่วงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 วัน [ตัวอย่างก่อนการเก็บรักษาหรือตัวอย่างควบคุม (A), เก็บรักษาเป็นเวลา 2 วัน (B), 4 วัน (C), 6 วัน (D) และ 8 วัน (E) ตามลำดับ]

ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของของเม็ดปิดส่มะม่วงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ± 1 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 8 วัน

ลักษณะ	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)				
	0	2	4	6	8
น้ำหนัก (กรัมต่อ 100 เม็ด) ^{ns}	31.94 $\pm$ 2.64	31.52 $\pm$ 1.86	32.37 $\pm$ 1.63	32.22 $\pm$ 1.02	31.63 $\pm$ 0.46
ขนาด (มิลลิเมตร) ^{ns}	30.80 $\pm$ 4.58	28.68 $\pm$ 1.19	28.73 $\pm$ 1.14	29.52 $\pm$ 1.44	29.55 $\pm$ 1.98
เนื้อสัมผัส					
ความแน่นเนื้อ (กรัม)	31.94 ^a $\pm$ 2.64	31.26 ^a $\pm$ 1.21	30.83 ^a $\pm$ 2.11	28.12 ^{ab} $\pm$ 0.69	26.76 ^b $\pm$ 1.34
ความคืนตัว (ร้อยละ)	30.80 ^a $\pm$ 4.58	30.81 ^a $\pm$ 1.25	28.88 ^a $\pm$ 1.00	26.49 ^{ab} $\pm$ 1.01	23.52 ^{ab} $\pm$ 1.10
ความเป็นกรด-เบส (pH) ^{ns}	3.29 $\pm$ 0.12	3.33 $\pm$ 0.36	3.32 $\pm$ 0.28	3.31 $\pm$ 0.18	3.33 $\pm$ 0.28
ค่าสี					
L*	26.06 ^a $\pm$ 1.03	24.61 ^b $\pm$ 0.50	22.84 ^c $\pm$ 0.76	20.40 ^d $\pm$ 0.64	16.76 ^e $\pm$ 0.31
a*	9.20 ^e $\pm$ 0.58	10.02 ^d $\pm$ 0.20	13.58 ^c $\pm$ 0.40	14.85 ^b $\pm$ 0.24	15.88 ^a $\pm$ 0.11
b* ^{ns}	31.28 $\pm$ 0.06	30.90 $\pm$ 0.09	31.25 $\pm$ 1.02	31.25 $\pm$ 0.47	31.22 $\pm$ 0.46

หมายเหตุ ^{a,b,c,...} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในกลุ่มเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ตารางที่ 7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดบีดส์ขอสมะม่วง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ระยะเวลาในการเก็บ รักษา (วัน)	ปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม/100 กรัม)	ความสามารถในการ ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) (ร้อยละ)
0	107.33 ^a ±6.43	81.58 ^a ±0.53
2	104.33 ^a ±5.13	75.23 ^b ±2.93
4	96.33 ^b ±1.15	75.37 ^b ±1.20
6	88.50 ^c ±1.32	66.64 ^c ±2.16
8	84.83 ^c ±2.02	63.81 ^c ±1.58

หมายเหตุ ^{a,b,c} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ 8 คะแนนความชอบของเมล็ดบีดส์ขอสมะม่วงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3±1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 วัน

ระยะเวลาใน การเก็บรักษา (วัน)	คุณลักษณะของเมล็ดบีดส์มะม่วง (n = 50)				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	7.40 ^a ±0.70	7.00 ^a ±0.99	7.30 ^a ±1.06	7.20 ^a ±1.01	7.50 ^a ±1.18
2	7.00 ^a ±1.24	7.30 ^a ±1.16	7.60 ^a ±1.43	7.00 ^a ±1.25	7.20 ^a ±1.31
4	7.10 ^a ±0.74	7.00 ^a ±0.94	7.20 ^a ±1.48	7.00 ^a ±1.42	7.30 ^a ±1.42
6	6.50 ^{ab} ±0.92	6.90 ^{ab} ±0.57	7.20 ^a ±0.79	6.50 ^b ±1.31	7.20 ^a ±0.79
8	5.00 ^b ±0.67	6.20 ^b ±0.94	6.20 ^b ±0.82	5.00 ^b ±0.82	5.50 ^b ±0.74

หมายเหตุ ^{ns} ค่าเฉลี่ยในกลุ่มเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

4. การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคและผู้เชี่ยวชาญต่อเมล็ดบีดส์ขอสมะม่วงโดยการจัดเสิร์ฟกับข้าวเหนียวมูน

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของเมล็ดบีดส์ขอสมะม่วง เมื่อรับประทานคู่กับข้าวเหนียวมูน (ตารางที่ 9) พบว่า ได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง และได้รับคะแนนด้านรสชาติในระดับชอบมาก โดยผู้บริโภคให้ข้อมูลเกี่ยวกับความน่าสนใจในรูปแบบที่แตกต่างจากการรับประทานข้าวเหนียวมูนกับมะม่วงในรูปแบบปกติ ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนผลกรทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารไทย นอกจากนั้น ผู้เชี่ยวชาญยังให้คะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบมากโดยให้เหตุผลว่า นอกจากมุมมองด้าน

รสชาติและเนื้อสัมผัสที่ดีในการใช้รับประทานคู่กับข้าวเหนียวมันแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นยังมีลักษณะเด่นคือ สามารถประยุกต์ใช้กับอาหารประเภทอื่นๆ ให้เกิดความแปลกใหม่และสร้างสรรค์ได้เป็นอย่างดี หรือสามารถใช้ทดแทนเนื้อมะม่วงเมื่อต้องเสิร์ฟคู่กับความเหนียวมันในกรณีที่ทำเนื้อมะม่วงสดไม่ได้หรืออยู่ในต่างประเทศที่ไม่มีเนื้อมะม่วงที่มีคุณภาพและ/หรือมีราคาแพง ซึ่งเป็นช่องทางเลือกอีกช่องทางหนึ่งสำหรับเชฟและผู้ประกอบการร้านอาหาร

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อคุณลักษณะของเม้ดบิตส์ซอสมะม่วงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน

ตัวอย่างเม้ดบิตส์ซอส มะม่วงจัดคู่กับข้าวเหนียว มัน	คุณลักษณะของเม้ดบิตส์ซอสมะม่วง				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
ผู้บริโภคน (n = 200)	6.77 ± 1.52	6.81 ± 1.54	7.61 ± 1.09	6.88 ± 1.23	7.39 ± 1.31
ผู้เชี่ยวชาญ (n = 10)	6.70 ± 0.67	6.90 ± 0.74	7.90 ± 0.74	6.80 ± 0.63	7.70 ± 0.95

สรุป

จากผลงานวิจัยนี้ พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตซอสมะม่วงของเนื้อมะม่วง น้ำตาล น้ำมะนาว อยู่ในอัตราส่วน 6:3:1 ซึ่งได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมสูงที่สุด เมื่อนำไปผลิตเป็นเม้ดบิตส์ซอสมะม่วงโดยใช้โซเดียมอัลจิเนต ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.5, 1 และ 2 พบว่า เม้ดบิตส์ซอสมะม่วงที่ผลิตจากโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีลักษณะทางกายภาพและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด เมื่อนำมาศึกษาระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 วัน พบว่า ลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าสี เนื้อสัมผัส ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลง แต่ยังไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ในวันที่ 8 คะแนนความชอบด้านต่าง ๆ ของตัวอย่างมีค่าลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อนำเม้ดบิตส์ซอสมะม่วงจัดคู่กับข้าวเหนียวมัน เพื่อทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ได้รับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง และได้รับคะแนนด้านรสชาติในระดับชอบมาก โดยผู้บริโภคให้ข้อมูลเกี่ยวกับความน่าสนใจในรูปแบบที่แตกต่างจากการรับประทานข้าวเหนียวมันกับมะม่วงในรูปแบบปกติ สอดคล้องกับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านอาหารที่ให้คะแนนความชอบด้าน สี กลิ่น และเนื้อสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง และคะแนนด้านรสชาติและความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ชอบมาก

ข้อเสนอแนะ

ผลิตภัณฑ์เม็ดบีดส์นั้นถึงแม้จะเป็นลักษณะที่แปลกใหม่ โดยเฉพาะในรูปแบบการจัดเสิร์ฟกับขนมไทย เช่น ข้าวเหนียวมูน แต่เป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นที่จะตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค และจากผลการวิจัยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเม็ดบีดส์ซอสมะม่วง คือ ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินเตร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก หากทำการทดลองอีกครั้งหรือกับตัวอย่างอื่น ๆ ไม่ควรปรับลดปริมาณโซเดียมอัลจินเตมาจนเกินไป เพราะตัวอย่างที่มีสภาวะเป็นกรดสูงจะลดความสามารถในการเกิดเจลของอัลจินเต ประกอบกับตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้เป็นซอสมะม่วงมีส่วนผสมของพุทราเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งประกอบด้วยเพคตินจำนวนมากจะช่วยเพิ่มคุณสมบัติการเกิดเจลของอัลจินเต

กิตติกรรมประกาศ

ในการนี้ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยสวนดุสิตและมหาวิทยาลัยพะเยา ซึ่งเป็นต้นสังกัดของคณะผู้วิจัย ที่ให้โอกาสในการดำเนินโครงการดังกล่าวจนลุล่วงไปด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงสร้างสรรค์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- นิธิยา รัตนานนท์. (2549). **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- พัชรีย์ คำประเวช, และสุธีรา วัฒนกุล. (2561). การผลิตเม็ดบีดส์น้ำเสาวรสดด้วยเทคนิครีเวิร์สสเฟียไรเซชัน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 26(8), 1381-1393.
- สวามินี ชีระวุฒิ, และปฎิยุทธ์ ขวัญอ่อน. (2557). การยืดอายุการเก็บรักษาหอยแมลงภู่สุกด้วยการเคลือบอัลจินเตผสมสารกันหืนร่วมกับการบรรจุแบบปรับ สภาพบรรยากาศ: ผลของสารละลายอัลจินเตผสมสารกันหืน. (รายงานการวิจัย). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา
- อัจฉรา ตลวิทยาคณ, และวรรณวิมล พุ่มโพธิ์. (2561). การผลิตหีบหุ้มกรอบโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมแบบแช่แข็งย้อนกลับ. **วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม**, 13(2), 49-59.
- AACC. (1977). *Analytical Cereal Method*. American Associated of Cereal Chemists, USA.
- Abdalla, A. E., Darwish, S. M., Ayad, E. H., & El-Hamahmy, R. M. (2007). Egyptian mango by-product 2: Antioxidant and antimicrobial activities of extract and oil from mango seed kernel. **Food chemistry**, 103(4), 1141-1152.
- AOAC. (2000). **Official Method of AOAC International**. 17th ed The Association of Official Analytical Chemists, Inc. USA.
- Aguilera, J. M. (2012). The engineering inside our dishes. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, 1(1), 31-36.
- Baldwin, D. E. (2012). Sous vide cooking: A review. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, 1(1), 15-30.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, 28(1), 25-30.

- Buchner, N., Krumbein, A., Roh, S. & Kroh, L. W., (2006). Effect of thermal process on the flavonols rutin and quercetin. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, 20, 3229-3235.
- Chongchatuporn, U., Ketsa, S., & van Doorn, W. G. (2013). Chilling injury in mango (*Mangifera indica*) fruit peel: Relationship with ascorbic acid concentrations and antioxidant enzyme activities. **Postharvest Biology and technology**, 86, 409-417.
- Comaposada, J., Gou, P., Marcos, B., & Arnau, J. (2015). Physical properties of sodium alginate solutions and edible wet calcium alginate coatings. **LWT- Food Science and Technology**, 64(1), 212-219.
- Dar, M. S., Oak, P., Chidley, H., Deshpande, A., Giri, A., & Gupta, V. (2016). **Nutrient and flavor content of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars: an appurtenance to the list of staple foods**. In Nutritional composition of fruit cultivars (pp. 445-467). Elsevier.
- Dea, S., Brecht, J. K., Nunes, M. C. N., & Baldwin, E. A. (2010). Quality of fresh-cut ‘Kent’ mango slices prepared from hot water or non-hot water-treated fruit. *Postharvest biology and technology*, 56(2), 171-180.
- Arráez-Román, D. and Segura-Carretero, A. (2019) Evolution of bioactive compounds of three mango cultivars (*Mangifera indica* L.) at different maturation stages analyzed by HPLC- DAD- q- TOF- MS. **Food Research International**. 125, 1-9.
- Fernández-Arroyo, S., Gómez-Martínez, A., Rocamora-Reverte, L., Quirantes-Piné, R., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., & Ferragut, J. (2012). Application of nanoLC-ESI-TOF-MS for the metabolomic analysis of phenolic compounds from extra-virgin olive oil in treated colon-cancer cells. **Journal of pharmaceutical and biomedical analysis**, 63, 128-134.
- Hu, C., Lu, W., Mata, A., Nishinari, K. & Fang, Y., (2021). Ions-induced gelation of alginate: Mechanisms and applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, 177, 578-588.
- Kermani, Z. J., Shpigelman, A., Bernaerts, T. M., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E. (2015). The effect of exogenous enzymes and mechanical treatment on mango purée: Effect on the molecular properties of pectic substances. **Food Hydrocolloids**, 50, 193-202.
- Kim, A., Kim, H., Chun, J., Heo, H. J., Kerr, W. L. & Choi, S., (2018). Degradation kinetics of phenolic content and antioxidant activity of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta*) puree at different storage temperature. **LWT - Food Science and Technology**, 89, 535-541.
- Kuria, M. W., Matofari, J. W., & Nduko, J. M. (2021). Physicochemical, antioxidant, and sensory properties of functional mango (*Mangifera indica* L.) leather fermented by lactic acid bacteria. **Journal of Agriculture and Food Research**, 6, 100206.

- Labaky, P., Grosmaire, L., Ricci, J., Wisniewski, C., Louka, N. & Dahdouh, L. (2020). Innovative non-destructive sorting technique for juicy stone fruits: textural properties of fresh mangos and puree. **Food and Bioproducts Processing**, 123, 188-198.
- Lane, C. (2013). Taste makers in the “fine-dining” restaurant industry: The attribution of aesthetic and economic value by gastronomic guides. **Poetics**, 41(4), 342-365.
- Ledeker, C. N., Suwonsichon, S., Chambers, D. H., & Adhikari, K. (2014). Comparison of sensory attributes in fresh mangoes and heat-treated mango purées prepared from Thai cultivars. **LWT-Food Science and Technology**, 56(1), 138-144.
- Li, P., Zheng, X., Liu, Y., & Zhu, Y. (2014). Pre-storage application of oxalic acid alleviates chilling injury in mango fruit by modulating proline metabolism and energy status under chilling stress. **Food Chemistry**, 142, 72-78.
- Lightner, M., & Rand, S. (2014). The enhancement of natural colors to provoke seasonality. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, 2(1), 55-59.
- Lupo, B., Maestro, A., Gutierrez, J.M. & Gonzalez, C., (2015). Characterization of alginate beads with encapsulated cocoa extract to prepare functional food: Comparison of two gelation mechanisms. **Food Hydrocolloids**, 49, 25-34.
- Oliveira, B. G., Costa, H. B., Ventura, J. A., Kondratyuk, T. P., Barroso, M. E., Correia, R. M. & Romão, W. (2016). Chemical profile of mango (*Mangifera indica* L.) using electrospray ionisation mass spectrometry (ESI-MS). **Food Chemistry**, 204, 37-45.
- Rhim, J.-W. (2004). Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. **LWT-Food science and technology**, 37(3), 323-330.
- Rognså, G. H., Rathe, M., Paulsen, M. T., Petersen, M. A., Brüggemann, D. A., Sivertsvik, M., & Risbo, J. (2014). Preparation methods influence gastronomical outcome of hollandaise sauce. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, 2(1), 32-45.
- Salinas-Roca, B., Soliva-Fortuny, R., Welti-Chanes, J., & Martín-Belloso, O. (2016). Combined effect of pulsed light, edible coating and malic acid dipping to improve fresh-cut mango safety and quality. **Food Control**, 66, 190-197.
- Shukla, A., Das, C. & Goud, V., (2020). Infusion of gingerols into candied mango enhances shelf-life by inhibiting browning and associated quality parameters during storage. **Food Chemistry**, 316, 126354.
- Siddiq, M., Sogi, D. S., & Dolan, K. D. (2013). Antioxidant properties, total phenolics, and quality of fresh-cut ‘Tommy Atkins’ mangoes as affected by different pre-treatments. **LWT - Food Science and Technology**, 53(1), 156-162.
- Sogi, D. S., Siddiq, M., & Dolan, K. D. (2015). Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT-Food Science and Technology**, 62(1), 564-568.

- Sommano, S. R. , Chanasut, U. & Kumpoun, W. , (2020). 3 - Enzymatic browning and its amelioration in fresh-cut tropical fruits. **Fresh-Cut Fruits and Vegatable**,51-76.
- Taamalli, A., Arráez-Román, D., Barrajón-Catalán, E., Ruiz-Torres, V., Pérez-Sánchez, A., Herrero, M. & Segura-Carretero, A. (2012). Use of advanced techniques for the extraction of phenolic compounds from Tunisian olive leaves: Phenolic composition and cytotoxicity against human breast cancer cells. **Food and Chemical Toxicology**, 50(6), 1817-1825.
- Teribia, N., Buve', C., Bonerz, D., Aschoff, J., Hendrickx, M. & Loey A.V., (2021). Impact of processing and storage conditions on color stability of strawberry puree: The role of PPO reactions revisited. **Journal of Food Engineering**, 294, 110402.
- Tsai, F. , Kitamur, Y. & Kokawa, M. (2017). Liquid-core alginate hydrogel beads loaded with functional compounds of radish by-products by reverse spherification: Optimization by response surface methodology. **International Journal of Biological Macromolecules**, 96, 600-610.
- Uprawanna, U. , Jaimun, R. & Kanha, N. , (2021). Effects of Chitosan Concentrations in the Chitosan-Alginate Composite on The Quality Mulberry Caviar during Storage. **Journal of Food Health and Bioenvironmental Science**. 14(2), 34-46.
- Vega, C., & Ubbink, J. (2008). Molecular gastronomy: a food fad or science supporting innovative cuisine?. **Trends in food Science & technology**, 19(7), 372-382.
- Vuong, Q. , Hirun, S. , Phillips, P. , Chuen, T. , Bowyer, M. , Goldsmith, C. , & Scarlett, C. (2014). Fruit- derived phenolic compounds and pancreatic cancer: Perspectives from Australian native fruits. **Journal of ethnopharmacology**, 152(2), 227-242.

**การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ในการผลิตขนมเทียนแช่เยือกแข็ง
ของกลุ่มแม่บ้านขนมไทยบ้านบางพยอมใต้ ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก**

กุลชญา ลีวหงวน^{1*} วิรัชยา อินทะกันท์²

Received : July 8, 2021

Revised : December 25, 2021

Accepted : December 28, 2021

บทคัดย่อ

การใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งเพื่อเป็นการชะลอการเกิดผลึกน้ำแข็งในแป้งขนมเทียน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งของกลุ่มแม่บ้านขนมไทยบ้านบางพยอมใต้และเพื่อศึกษาอายุการเก็บของขนมเทียนแช่เยือกแข็ง โดยศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ในขนมเทียนแช่เยือกแข็ง ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ชนิดและปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ แชนแทนกัม และโอออต้า-คาราจีแนน ปริมาณร้อยละ 0.5 และ 1 ของน้ำหนักแป้ง จากนั้นทดสอบทางกายภาพ พบว่า ค่าสีไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) และค่าเนื้อสัมผัส พบว่า ค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารแชนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง มีค่าน้อยที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) กับผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารโอออต้าคาราจีแนนที่ปริมาณร้อยละ 0.5 และร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง ดังนั้นจึงเลือกผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารแชนแทนกัมร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง มาศึกษาอายุการเก็บโดยตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยา กายภาพและเคมี 0 ถึง 4 เดือน พบว่า คุณภาพทางจุลชีววิทยา มีค่าไม่เกินกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของขนมไทย คุณภาพทางกายภาพ ในเดือนที่ 4 ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง เท่ากับ 61.84 3.10 และ 10.75 ตามลำดับ ค่าเนื้อสัมผัส มีค่า Hardness ในเดือนที่ 0 และ 4 มีความแตกต่างกัน เท่ากับ 2150.63 และ 2435.47 ตามลำดับ ค่า Springiness Cohesiveness และ Chewiness ในเดือนที่ 0 และ 4 ไม่มีความแตกต่าง และคุณภาพทางเคมี ในเดือนที่ 4 ปริมาณเถ้า ปริมาณความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน และปริมาณคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 0.39 กรัม 6.26 กรัม 32.22 กรัม 3.36 กรัม และ 57.77 กรัม ตามลำดับ และปริมาณ Malondialdehyde เท่ากับ 1.19 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

คำสำคัญ: ขนมเทียน แชนแทนกัม อาหารแช่เยือกแข็ง โอออต้า-คาราจีแนน

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก อีเมล: kunchaya@psru.ac.th

² อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก อีเมล: wirachya067@gmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: kunchaya@psru.ac.th

THE USES OF HYDROCOLLOIDS IN FROZEN KHA-NOM THIEN OF THE BAN BANG PHAYOM
TAI THAI DESSERT HOUSEWIFE GROUP IN PHLAI CHUMPHON SUB-DISTRICT, MUEANG
PHITSANULOK DISTRICT, PHITSANULOK PROVINCE

Kunchaya Siwnguan^{1*} Wirachya Intakan²

Abstract

The purpose of the research on the uses of hydrocolloids in frozen Kha-Nom Thien in order to reduce the production of ice crystals in the product was to develop the frozen Kha-Nom Thien of the Ban Bang Phayom Tai Thai dessert housewife group and to evaluate the shelf-life of the frozen Kha-Nom Thien. The research was conducted by studying optimum contents of hydrocolloids added in the frozen Kha-Nom Thien. The factors studied were types and contents of hydrocolloids namely xanthan gum and iota-carrageenan at the contents of 0.5% and 1% of starch weight. From the physical experiment, it was found that the analysis of color values not statistically different ($p \geq 0.05$) from the analysis of texture values, it was revealed that the hardness value of frozen Kha-Nom Thien added with xanthan gum at the content of 1% of flour weight was at the least value. Nonetheless, there was not statistically different ($p \geq 0.05$) with the frozen Kha-Nom Thien added with iota-carrageenan at contents of 0.5% and 1% of starch weight. Therefore, the frozen Kha-Nom Thien added with xanthan gum at the content of 1% of flour weight was chosen to study the shelf life by investigating microbiological, physical and chemical qualities during the periods of 0-4 months. The results obtained revealed that the microbiological quality had its value unexceeding the community product standard of Thai desserts. For the physical quality in the 4th month, the brightness value, red and yellow values were 61.84, 3.10 and 10.75, respectively. The texture values had different hardness values in the 0 and the 4th month at 2,150.63 and 2,435.47, respectively. The springiness cohesiveness and chewiness values in the 0 and the 4th month were indifferent. For the chemical quality in the 4th month, the contents of ash, moisture, fat, protein and carbohydrate were 0.39g, 6.26g, 32.22g, 3.36g and 57.77g, respectively. And the content of Malondialdehyde was 1.19 mg/ml.

Keywords: Kha-Nom Thien, Xanthan gum, Frozen Food, Iota-carrageenan

¹ Lecturer of Home Economics program, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkran Rajabhat University, e-mail: kunchaya@psru.ac.th

² Lecturer of Home Economics program, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkran Rajabhat University, e-mail: wirachya067@gmail.com

* Corresponding author, e-mail: kunchaya@psru.ac.th

บทนำ

สารไฮโดรคอลลอยด์มีคุณสมบัติเมื่อละลายน้ำจะทำให้เกิดเจลและความหนืด สกัดได้จากยางไม้ สหรัาย เมล็ดพืช และการหมักของเชื้อจุลินทรีย์ สามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายประเภท ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดจากแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน เช่น การใช้ในผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งใช้เพื่อชะลอการเกิดผลึกน้ำแข็ง คือ เจลาติน คาราจีแนน โลคัสปีนัม แชนแทนกัม กัวกัม (Milani & Maleki, 2012) ซึ่งโอออต้า-คาราจีแนนสกัดได้จากสหรัายเจลที่ได้จะสามารถกำหนดความแข็งและยืดหยุ่นได้ และหลอมขึ้นรูปใหม่ได้ และแชนแทนกัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากการหมักของเชื้อจุลินทรีย์เป็นเจลที่มีความหนืดสูง ผลิตภัณฑ์ขนมเทียนนั้นใช้ส่วนผสมหลักคือแป้งข้าวเหนียว ซึ่งเมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะใสและเหนียว การเก็บรักษาไว้นานจะทำให้แป้งเกิดการแห้งแข็งอย่างรวดเร็วมีเนื้อสัมผัสแข็งกระด้าง ดังนั้นจึงได้นำสารไฮโดรคอลลอยด์มาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง

กลุ่มแม่บ้านขนมไทยบ้านบางพยอมใต้ เป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ผลิตขนมไทยเพื่อจำหน่ายตามช่วงเทศกาลต่าง ๆ เช่น เทศกาลตรุษจีน สารทจีน กลุ่มแม่บ้านขนมไทยบ้านบางพยอมใต้ จะผลิตขนมเทียน ซึ่งเป็นขนมไทยที่ทำจากแป้งข้าวเหนียว นวดกับน้ำเชื่อมแล้วหมักจากนั้นจึงนำมาใส่ไส้ (มยุรี เจริญหิน, 2537) มีรสชาติอร่อยมีเนื้อสัมผัสเหนียวนุ่มเฉพาะตัว ในงานเทศกาลหรืองานประเพณีต่างๆ (ลดาวลย์ เตชะวุฒิพงษ์, 2552) ซึ่งในปัจจุบันพบว่าขนมเทียนไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน รวมทั้งยังไม่มีผลิตภัณฑ์ขนมเทียนกึ่งสำเร็จรูปที่พร้อมบริโภคที่ทางกลุ่มสามารถผลิตได้ เป็นการพัฒนาชุมชนเพื่อให้พึ่งตนเองโดยการส่งเสริมศักยภาพของชุมชน โดยใช้ทุนที่มีอยู่จนสามารถพึ่งตนเองได้ เป็นการส่งเสริมและการพัฒนาศักยภาพในด้านการเป็นผู้ประกอบการ การผลิตผลิตภัณฑ์ เพื่อนำไปสู่การพึ่งตนเอง (ปาริชาติ วลัยเสถียร และคณะ, 2552)

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเทียนของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านขนมไทยบ้านบางพยอมใต้ เป็นผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ตามแนวทางวิสาหกิจชุมชน ซึ่งจะช่วยให้ชุมชนค้นพบและพัฒนาศักยภาพของตนเองพร้อมทั้งสร้างความเข้มแข็งและมั่นคงแก่ครอบครัวและชุมชนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแม่บ้านขนมไทยบ้านบางพยอมใต้ ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก
2. เพื่อศึกษาอายุการเก็บของขนมเทียนแช่เยือกแข็ง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมในการทำขนมเทียนแช่เยือกแข็ง

เตรียมตัวอย่างขนมเทียนแช่เยือกแข็งสำหรับศึกษาชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสม โดยผลิตขนมเทียนจากสูตรของกลุ่มแม่บ้านขนมไทยบ้านบางพยอมใต้ ทำการเตรียมแป้งขนมเทียนโดยเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ลงในแป้งข้าวเหนียว โดยแปรผันชนิดและปริมาณของของสารไฮโดรคอลลอยด์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง ปัจจัยที่ต้องการศึกษา คือ ชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ คือ แขนแทนกัม และโอออต้า-คาราจีแนน จำนวน 2 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5 และ 1.0 ของน้ำหนักแป้ง จากนั้นนำกะทิมาผสมกับน้ำตาลมะพร้าวจากนั้นค่อยๆ เติมแป้งข้าวเหนียวที่ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์แล้วลงไปคนให้เข้ากันแล้วพักไว้ประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมไส้ขนม โดยนำถั่วเขียวเลาะเปลือกมาแช่น้ำไว้ประมาณ 3-4 ชั่วโมง แล้วนำมาบดให้ละเอียด นำหอมแดงมาผัดให้หอมแล้วเติมถั่ว เกือบป่น พริกไทยป่น และน้ำตาลทราย พักไว้ให้เย็น นำมาปั้นเป็นก้อนแล้วนำแป้งมาห่อให้มิดใส่ลงในพิมพ์ที่ทาด้วยน้ำมันพืชเพื่อป้องกันไม่ให้แป้งติดพิมพ์และเนื้อแป้งแห้งจนเกินไป จากนั้นนำไปนึ่งประมาณ 20 นาที พักให้เย็นแล้วนำมาบรรจุลงโดยปิดปากถุงด้วยเครื่องปิดปากถุงสุญญากาศแล้วทำการแช่เยือกแข็งแบบแช่ด้วยวิธีการใช้ตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1.1 การวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง โดยใช้เครื่อง Color Meter แสดงค่าสีที่วัดได้เป็นค่า L^* และ b^* โดยที่ค่าสี L^* แสดงค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) ค่าสี a^* แสดงค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว และค่าสี b^* แสดงค่าความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน จำนวน 5 ซ้ำ

1.2 การวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส Texture profile analysis (TPA) โดยใช้เครื่อง Texture Analyser นำขนมเทียนแช่เยือกแข็งวางไว้ในอุณหภูมิห้อง 15 นาที ทำการละลายน้ำแข็งด้วยเครื่องไมโครเวฟกำลังไฟ 800 วัตต์ เวลา 1 นาที แล้ววัดค่าโดยใช้หัวกดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร (P50) เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีระยะทางที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร้อยละ 75 ดัดแปลงตามวิธีการของ ชนิษฐา วงศ์บาสก์ (2553) จำนวน 10 ซ้ำ

ชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง พิจารณาเปรียบเทียบกับค่าเนื้อสัมผัสและค่าสีทั้ง 4 สิ่งทดลอง แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่คัดเลือกไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและอายุการเก็บรักษาในตอนต่อไป

2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมเทียนแช่เยือกแข็งและอายุการเก็บรักษา

นำผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่ผ่านการวิเคราะห์ จากข้อ 1 โดยการสุ่มตัวอย่างมาเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเป็นระยะเวลา 4 เดือน จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา คือ จุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนยีสต์และรา *Salmonella* spp. *Staphylococcus aureus* *Bacillus cereus* และ *Escherichia coli* ตามวิธี AOAC (2000)

2.2 การวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส Texture profile analysis (TPA) โดยใช้เครื่อง Texture Analyser นำขนมเทียนแช่เยือกแข็งวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที ทำการละลายน้ำแข็งด้วยเครื่องไมโครเวฟกำลังไฟ 800 วัตต์ เวลา 1 นาที แล้ววัดค่าโดยใช้หัวกดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร (P50) เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีระยะทางที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร้อยละ 75 ดัดแปลงตามวิธีการของ ชนิษฐา วงศ์บาสก์ (2553) จำนวน 10 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างเดือนที่ 0 และ 4 โดยใช้การทดสอบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คือ ปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต และพลังงานทั้งหมด ตามวิธี AOAC (2012) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างเดือนที่ 0 และ 4 โดยใช้การทดสอบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

2.4 การวิเคราะห์ค่า TBARS (Thiobarbituric acid reactive substance) ตามวิธี Buege & Aust (1978) ผสมกรดไทโอบาบิทริก 0.0375 กรัม กรดไตรคลอโรอะซิติก 15 กรัม และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.25 โมลาร์ 0.875 มิลลิลิตรให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตร จนได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำขนมเทียนแช่เยือกแข็งวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที ทำการละลายน้ำแข็งด้วยเครื่องไมโครเวฟกำลังไฟ 800 วัตต์ เวลา 1 นาที ซึ่งแป้งขนมเทียน 0.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 15 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย TBARS 2.5 มิลลิลิตร และไฮโมจิโนสเป็นเวลา 2 นาที นำใส่หลอดทดลองแล้ววางลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95 – 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที แล้วนำไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็วรอบ 3600 X g 20 นาที แยกส่วนใสไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ 532 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐาน 1,1,3,3-tetramethoxypropane ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0 ถึง 6 ppm TBARS รายงานผลเป็นมิลลิกรัม Malonaldehyde ต่อ กิโลกรัมตัวอย่าง ดัดแปลงวิธีการเตรียมตัวอย่างตามวิธีการของ กิตติพงษ์ และคณะ (2563) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างเดือนที่ 0 และ 4 โดยใช้การทดสอบ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้วิธี Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตัวอย่างด้วยวิธี Duncan's new multiple's range test (DMRT) (Duncan, 1955) และวิธี T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรม SPSS

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมในการทำขนมเทียนแช่เยือกแข็งจากการนำขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดและปริมาณที่ต่างกันของสารไฮโดรคอลลอยด์ในการทำขนมเทียนแช่เยือกแข็ง โดยนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้ผลการทดลองดังนี้

1.1 ผลการวัดค่าสี

เมื่อวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่พัฒนาโดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ในปริมาณที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Color parameters of frozen Khanom Thien

Color	% Hydrocolloid substance in frozen Khanom Thien flour (by weight)			
	Xanthan gum		Iota-Carageenan	
	0.5	1	0.5	1
Lightness ^{ns} (L*)	59.69±0.55	60.20±0.48	61.42±0.87	60.31±0.38
Redness ^{ns} (a*)	2.29±1.00	2.66±0.57	2.82±0.64	2.51±0.82
Yellowness ^{ns} (b*)	10.85±0.99	10.97±0.37	11.13±0.75	10.31±0.21

หมายเหตุ Values are expressed as mean ± standard deviation, ns = no significant difference (p≥0.05)

จากตารางที่ 1 พบว่า ด้านค่าสี L* (ค่าความสว่าง) ผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง ที่เติมสารแซนแทนกัมปริมาณร้อยละ 0.5 และ 1 ของน้ำหนักแป้ง และที่เติมสารไอโอดต้าคาราจีแนนร้อยละ 0.5 และ 1 ของน้ำหนักแป้ง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ด้านค่าสี a* (ค่าสีแดง) ผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง ที่เติมสารแซนแทนกัมปริมาณร้อยละ 0.5 และ 1 ของน้ำหนักแป้ง และที่เติมสารไอโอดต้าคาราจีแนนร้อยละ 0.5 และ 1 ของน้ำหนักแป้ง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ด้านค่าสี b* (ค่าสีเหลือง) ผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง ที่เติมสารแซนแทนกัมปริมาณร้อยละ 0.5 และ 1 ของน้ำหนักแป้ง และที่เติมสารไอโอดต้าคาราจีแนนร้อยละ 0.5 และ 1 ของน้ำหนักแป้ง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากสารแซนแทนกัมและไอโอดต้าคาราจีแนนเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่มีลักษณะเป็นผงสีขาวเมื่อผสมกับน้ำจะทำให้มีลักษณะใสเป็นเจล เมื่อนำไปผสมกับแป้งขนมเทียนจึงทำให้ค่าสีของผลิตภัณฑ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

1.2 ผลการวัดค่าน้ำสัมผัส

จากการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ในแป้งขนมเทียนแล้วนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาวัดค่าน้ำสัมผัส Texture profile analysis (TPA) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Texture profile analysis (TPA) of frozen Khanom Thien

Physical characteristics	% Hydrocolloid substance in frozen Khanom Thien flour (by weight)			
	Xanthan gum		Iota-Carrageenan	
	0.5	1	0.5	1
Hardness [*]	2518.41 ^b ±0.58	1899.62 ^b ±0.99	2286.33 ^b ±0.87	3842.44 ^a ±0.55
Springiness [*]	0.56 ^b ±0.69	0.65 ^a ±0.98	0.64 ^a ±0.27	0.65 ^a ±0.61
Cohesiveness ^{ns}	0.40±0.21	0.40±0.11	0.46±0.39	0.48±0.42
Chewiness ^{ns}	518.61±0.49	577.16±0.19	737.34±0.53	808.26±0.89

หมายเหตุ Values are expressed as mean ± standard deviation

The superscripts with the different letters within the same column are significantly different ($p \leq 0.05$).

ns = no significant difference ($p \geq 0.05$), * = significant difference ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารไอโอดีนคาร์ราจีแนนที่ปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง มีค่ามากที่สุด มีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารไอโอดีนคาร์ราจีแนนที่ปริมาณร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักแป้งและผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารแซนแทนกัมปริมาณร้อยละ 0.5 และ 1 ของน้ำหนักแป้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่า Springiness ของผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารไอโอดีนคาร์ราจีแนนที่ปริมาณร้อยละ 0.5 และ 1 ของน้ำหนักแป้ง และผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารแซนแทนกัมปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารแซนแทนกัมปริมาณร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักแป้ง ค่า Cohesiveness และ Chewiness ของผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารแซนแทนกัมปริมาณร้อยละ 0.5 และ 1 ของน้ำหนักแป้ง และผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารไอโอดีนคาร์ราจีแนนที่ปริมาณร้อยละ 0.5 และ 1 ของน้ำหนักแป้ง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากสารไฮโดรคอลลอยด์เป็นสารเพิ่มความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร (Guarda et al., 2004) ดังนั้นปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งจึงมีผลทำให้มีค่า Hardness และ Springiness ของผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งมีค่าต่างกัน จะเห็นได้ว่าปริมาณไอโอดีนคาร์ราจีแนนมีค่า Hardness สูงขึ้นเมื่อมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ วรลักษณ์ แสงธาราทิพย์, อนุวัตร แจ่มชัด และกมลวรรณ แจ่มชัด (2563) เนื่องจากไอโอดีนคาร์ราจีแนนมีคุณสมบัติสามารถเกิดเจลได้แต่แซนแทนกัมจะมีความหนืดสูงและสามารถเกิดเจลอย่างอ่อนๆ (ประจเวท สาตมาลี, 2560) จึงทำการเลือกผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารแซนแทนกัมปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง มาทำการศึกษาอายุการเก็บและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เนื่องจาก มีค่า Hardness ต่ำที่สุด ซึ่งตรงกับงานวิจัยของ เวรกา เฉลิมแสน (2560) เรื่องการพัฒนาขนมครกแช่เยือกแข็ง พบว่า การเพิ่มปริมาณไฮโดรคอลลอยด์ส่งผลให้ค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์ลดลง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารแซนแทนกัมปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนัก

แป้ง มีค่า Hardness ต่ำกว่า ผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารแทนแทนกัมปริมาณร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักแป้ง

2. ผลการศึกษาอายุการเก็บและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมเทียนแช่เยือกแข็งสูตรปรับปรุง

2.1 ผลการวิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยา

การวิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยา ของขนมเทียนแช่เยือกแข็ง เดือนที่ 0 ถึง เดือนที่ 4 ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 Microbiological quality of frozen Khanom Thien

Months	Yeasts and Molds cfu/g	Total Plate Count cfu/g	<i>Salmonella</i> spp. per 25 g	<i>Staphylococcus aureus</i> cfu/g	<i>Bacillus cereus</i> cfu/g	<i>Escherichia coli</i> MPN/g
0	<10est	<25x10 ²	Not Detected	<10est.	<10	<3.0
1	<10est	<25x10 ²	Not Detected	<10est.	<10	<3.0
2	<10est	<25x10 ²	Not Detected	Not Detected	1.0x10 ²	<3.0
3	<10est	<25x10 ²	Not Detected	Not Detected	1.0x10	<3.0
4	1.5x10 ²	<25x10 ²	Not Detected	Not Detected	2.0x10	<3.0

การวิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยา ตารางที่ 3 พบว่า ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง เดือนที่ 0 และเดือนที่ 1 ไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp. เดือนที่ 2 - 4 ไม่พบเชื้อ *Salmonella* spp. และ *Staphylococcus aureus* และ ในเดือนที่ 0 - 4 ปริมาณ Yeasts and Molds Total Plate Count *Bacillus cereus* และ *Escherichia coli* มีค่าไม่เกินกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของขนมไทยตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2546) คือ Total Plate Count ต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อ ตัวอย่าง 1 กรัม Yeasts ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อ ตัวอย่าง 1 กรัม Molds ต้องไม่เกิน 500 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม *Salmonella* spp. ต้องไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม *Staphylococcus aureus* ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อ ตัวอย่าง 1 กรัม *Bacillus cereus* ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อ ตัวอย่าง 1 กรัม และ *Escherichia coli* ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม เนื่องจากการทำการแช่เยือกแข็งเป็นการลดอุณหภูมิของขนมเทียนให้ต่ำลงจนถึงระดับที่ทำให้จุลินทรีย์ที่มีปะปนอยู่ในอาหารหยุดการเจริญเติบโต (สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2546)

2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

จากการวัดค่าสี $L^*a^*b^*$ ของขนมเทียนแช่เยือกแข็ง เดือนที่ 0 ถึง เดือนที่ 4 ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 Color parameters of frozen Khanom Thien

Color	Frozen Khanom Thien (Months)				
	0	1	2	3	4
Lightness ^{ns} (L^*)	61.44±0.57	61.86±0.69	61.82±0.79	61.23±0.69	61.84±0.26
Redness ^{ns} (a^*)	3.11±0.56	3.20±0.95	3.14±0.57	3.10±0.64	3.10±0.87
Yellowness ^{ns} (b^*)	11.14±0.13	10.75±0.26	11.10±0.56	11.09±0.87	10.75±0.46

หมายเหตุ Values are expressed as mean ± standard deviation

ns = no significant difference ($p \geq 0.05$), * = significant difference ($p \leq 0.05$)

จากการวัดค่าสี $L^*a^*b^*$ ตารางที่ 4 พบว่า ด้านค่าสี L^* (ค่าความสว่าง) ผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งเดือนที่ 0 1 2 3 และ 4 ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซียส ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ด้านค่าสี a^* (ค่าสีแดง) ผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง เดือนที่ 0 1 2 3 และ 4 ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซียส ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ด้านค่าสี b^* (ค่าสีเหลือง) ผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง เดือนที่ 0 1 2 3 และ 4 ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซียส ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) นั่นคือ สีของผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซียส นาน 4 เดือน ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส ของขนมเทียนแช่เยือกแข็ง เดือนที่ 0 ถึง และ ที่ 4 ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 Texture profile analysis (TPA) of frozen Khanom Thien

Physical characteristics	Texture profile analysis (Months)	
	0	4
Hardness [*]	2150.63±0.89	2435.47±0.73
Springiness ^{ns}	0.65±0.90	0.56±0.89
Cohesiveness ^{ns}	0.39±0.52	0.35±0.81
Chewiness ^{ns}	541.45±0.44	475.72±0.11

หมายเหตุ Values are expressed as mean ± standard deviation

ns = no significant difference ($p \geq 0.05$), * = significant difference ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่าเนื้อสัมผัสของขนมเทียนแช่แข็ง มีค่า Hardness ในเดือนที่ 0 และ 4 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยในเดือนที่ 4 มีค่า Hardness มากกว่า และมีค่า Springiness Cohesiveness และ Chewiness ในเดือนที่ 0 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากสารแทนแทนก็สามารถคงความชื้นหนืดให้คงที่ได้แม้ว่าอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลง (กลุ่มส่งเสริมอุตสาหกรรมชีวภาพ, ม.ม.ป.) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยเพิ่มความคงตัว (Stephen et al., 2006) และเนื่องจากสารไฮโดรคอลลอยด์มีคุณสมบัติทำให้โมเลกุลของน้ำบางส่วนไม่เคลื่อนที่เป็นการลดอัตราการระเหยของน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งไม่แห้งแข็งกระด้าง ยังคงมีความยืดหยุ่น มีการเกาะตัวกัน และมีความยากง่ายในการเคี้ยวไม่ต่างกันในเดือนที่ 0 และ 4 เมื่อทำละลายแล้ว (Grotto et al., 2009)

2.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณเถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ของขนมเทียนแช่เยือกแข็ง เดือนที่ 0 ถึง และ ที่ 4 ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 Proximate chemical compositions of Frozen Khanom Thien

Proximate Analysis	Frozen Khanom Thien (Months)	
	1	4
Ash ^{ns}	0.36±0.72	0.39±0.45
Fat ^{ns}	6.62±0.38	6.26±0.31
Moisture ^{ns}	32.50±0.41	32.22±0.11
Protien ^{ns}	3.51±0.56	3.36±0.16
Carbohydrate ^{ns}	57.01±0.76	57.77±0.87

หมายเหตุ Values are expressed as mean ± standard deviation

ns = no significant difference ($p \geq 0.05$), * = significant difference ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 6 พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง เดือนที่ 1 และ 4 ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ปริมาณเถ้า ไขมัน ความชื้น โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) เนื่องจากการแช่เยือกแข็งอาหารเป็นการทำให้อายุการเก็บรักษาอาหารนานขึ้นและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าแบบการเก็บแบบแช่เย็น (สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2546)

2.5 ผลการวิเคราะห์ค่า TBARS (Thiobarbituric acid reactive substance)

จากการวิเคราะห์ค่า TBARS (Thiobarbituric acid reactive substance) เป็นเวลา 4 เดือน เพื่อหาปริมาณ Malondialdehyde ในผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 Changes of Malondialdehyde in Frozen Khanom Thien

Frozen Khanom Thien (Months)	Malondialdehyde (mg/ml)
1	0.82±0.77 ^b
2	0.86±0.19 ^b
3	0.91±0.78 ^b
4	1.19±0.37 ^a

หมายเหตุ Values are expressed as mean ± standard deviation

The superscripts with the different letters within the same column are significantly different ($p \leq 0.05$).

จากตารางที่ 7 พบว่าปริมาณ Malondialdehyde ในผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง เดือนที่ 1 2 และ 3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับปริมาณ Malondialdehyde ในผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง เดือนที่ 4 เนื่องจากในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งได้มีการใช้น้ำมันพืชทาพิมพ์ขนมก่อนที่จะนำไปนึ่งเพื่อป้องกันการติดของตัวแบ่งกับพิมพ์ขนม ซึ่งปริมาณ Malondialdehyde ในอุตสาหกรรมอาหารเป็นตัวบอกการเสื่อมสภาพของอาหารในระหว่างการเก็บรักษา (Grotto et al., 2009) Malondialdehyde เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารที่มีไขมันประเภทไม่อิ่มตัวเป็นส่วนผสม เป็นสารก่อมะเร็ง (Fermindez et al., 1997) การที่ผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งมีปริมาณ Malondialdehyde สูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นแสดงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งเสื่อมลง

สรุป

ชนิดและปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็ง คือ แชนแทนกัม ปริมาณ ร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง ผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส ค่า Hardness ของผลิตภัณฑ์ขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักแป้ง มีค่ามากที่สุด การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมเทียนแช่เยือกแข็งที่พัฒนาได้ระหว่างการเก็บรักษา ในระยะเวลา 4 เดือน ด้านคุณภาพทางจุลชีววิทยามีค่าไม่เกินกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของขนมไทย ค่าสี ค่า เนื้อสัมผัส และค่า Proximate analysis ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่มีปริมาณ Malondialdehyde พบว่า เพิ่มขึ้นทุกเดือน แต่ในเดือนที่ 1-3 มีปริมาณไม่แตกต่างกัน ทำให้สรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์ขนมเทียนที่เติมสารไฮโดรคอลลอยด์สามารถเก็บได้มากกว่า 3 เดือน ซึ่งมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้นส่งผลให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนสามารถผลิตขนมเทียนสูตรใหม่เพื่อต่อยอดสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ได้ ทั้งยังสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมไทยชนิดอื่นๆต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. สามารถนำสารไฮโดรคอลลอยด์ไปใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งชนิดอื่น เช่น ขนมชั้น ขนมขนมขอม่วง เส้นหมี่ข้าว เป็นต้น
2. พัฒนารรจุภัณฑ์ของขนมเทียนแช่เยือกแข็งเพื่อใช้แทนใบตองในการห่อ และพิมพ์สำหรับขึ้นรูปขนมเทียน เพื่อเป็นขนมเทียนแช่เยือกแข็งสำเร็จรูป
3. พัฒนาขนมเทียนแช่เยือกแข็งแบบอุตสาหกรรมและขนมเทียนแช่เยือกแข็งสำเร็จรูป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในปีงบประมาณ 2561 และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้การสนับสนุนด้านระบบบริหารงานวิจัยและอำนวยความสะดวกด้านสถานที่

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มส่งเสริมอุตสาหกรรมชีวภาพ. (ม.ม.ป.). Xanthan gum อุตสาหกรรมต่อเนื่องจากอ้อยและน้ำตาล. สืบค้นจาก <http://www.ocsb.go.th/upload/bioindustry/fileupload/10140-7072.pdf>.
- กิตติพงษ์ จิระพงษ์สุวรรณ, เจนจิรา นิเวศน์, ดารชาต์ เทียมเมือง, กรรภา อรรถนิตย์ และกานต์ ทิพย์ไกรศรี. (2563). การเปรียบเทียบวิธีเตรียมอกปูนาทอดต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและการเกิดออกซิเดชันของไขมัน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 58: สาขาพืช, สาขาสัตว์, สาขาสัตวแพทยศาสตร์, สาขาประมง, สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์, (หน้า 329-337). กรุงเทพฯ: สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.
- ชนิษฐา วงศ์บาสก์. (2553). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างประเภทหนึ่งจากแป้งข้าวเหนียวกลึงงอกใส่ถั่วกวนผสมสตอเบอร์รี่กวน. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประจเวท สดมาลี. (2560). การเลือกใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในอุตสาหกรรมอาหาร. วารสารอาหาร, 47(4), 29-34.
- ปาริชาติ วลัยเสถียร, พระมหาสุทิตย์ อบอุ่น, สหทัยา วิเศษ, จันทนา เบญจทรัพย์ และชลกาญจน์ ฮาชันนารี. (2552). กระบวนการและเทคนิคการทำงานของนักพัฒนา. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์พิมพ์ลักษณ์.
- มยุรี เจียมหยิน. (2537). ปัจจัยที่มีผลต่อความเหนียวนุ่มของแป้งขนมเทียน. กรุงเทพมหานคร: ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทย.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2546). ขนมไทย. สืบค้นจาก <http://158.108.94.117:8005/koha-libku/pic/ขนมไทย.pdf>.
- ลดาวลีย์ เตชะวุฒิพงษ์. (2552). บทสัมภาษณ์ “ขนมมงคล” ทำกินง่าย ขายดีช่วงเทศกาล. คอลัมน์ก้าวแรกเศรษฐกิจ หนังสือพิมพ์มติชน (เส้นทางเศรษฐกิจ). ฉบับที่ 228.
- วรลักษณ์ แสงธาราทิพย์, อนุวัตร แจ่มชัด และกมลวรรณ แจ่มชัด. (2563). ผลของการจี่เนน กลูโคแมนแนน และโกล์สปีนกับ ต่อเนื้อสัมผัสและลักษณะทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์เยลลี่กระเจี๊ยบพร้อมดื่ม. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 58: สาขาวิทยาศาสตร์, สาขา

- วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 58. (หน้า 607-614). สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ.
- เวธกา เฉลิมแสน. (2560). **การพัฒนาขนมครกแช่เยือกแข็ง**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง. (2546). **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AOAC. (2000). **Official Method of Analysis of AOAC International**. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Virginia.
- AOAC. (2012). **Official methods of analysis of AOAC International**. 19thed. The Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Buege, J.A., & Aust, S.D. (1978). Microsomal Lipid Peroxidation. **Methods in Enzymology**, 52, 302-310.
- Duncan, D.B. (1955). Multiple range and multiple F tests. **Biometrics**, 11:1-42.
- Fermindez, J. et al. (1997). Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. **Food Chemistry**. 59: 345-353.
- Grotto, D. et al. (2009). Importance of the lipid peroxidation biomarkers and methodological aspects for malondialdehyde quantification. **Quim. Nova**, 32: 169-174.
- Guarda, A., Rosell, C. M., Benedito, C. & Galotto, M. J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. **Food Hydrocolloids**, 18: 241-247.
- Milani, J & Maleki G. (2012). **Hydrocolloids in food industry**. Retrieved from <https://cdn.intechopen.com/pdfs/29151.pdf>.
- Stephen, A.M., Phillips, G. O., & Williams, P. A. (2006). **Food Polysaccharides and Their Applications**. Retrieved from https://ttnngmai.files.wordpress.com/2012/10/foodpolysacc_haridesttheirapplications.pdf.

การใช้ผงเมือกจากผลมะตาดและผลกระเจี๊ยบเขียวเป็นสารให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ซูปซันผง

จूरिमात् दीआमात्^{1*} ศสมล ผาสุ² ปุณยณुช นิลแสง³

Received : August 10, 2021

Revised : December 26, 2021

Accepted : December 28, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ผงเมือกจากผลมะตาดและผลกระเจี๊ยบเขียวเป็นสารให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ซูปซันผง โดยมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชท้องถิ่นมีเมือกเส้นของประเทศไทย ช่วยให้มีคุณค่าของอาหาร ช่วยเพิ่มปริมาตร รสสัมผัสที่ดี และส่งผลดีกับระบบทางเดินอาหาร สามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารได้ ซึ่งการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเสริมผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวในซูปซัน ศึกษาคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีการเตรียมเมือกโดยใช้เนื้อกระเจี๊ยบเขียวและเนื้อมะตาดต่อน้ำสะอาด 1:7 (w/w) ตั้งไฟที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 10 นาที กรองเอาน้ำเมือกตีผสมกับโปรตีนไข่ขาว (Egg albumin) ต่อมอลโทเดร็กทิน (Maltodextrin) อัตราส่วน 1.5:15 (w/w) ใช้น้ำเมือก 200 กรัม อบแห้งบดเป็นผง จากนั้นเสริมผงมะตาดและผลกระเจี๊ยบเขียวในผลิตภัณฑ์ 4 ระดับคือ ร้อยละ 0, 3, 5 และ 7 คัดจากน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9-point hedonic scale และนำมาวิเคราะห์ทางกายภาพ โดยผลการทดสอบพบว่า สามารถใช้ผงเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวได้ร้อยละ 7 ในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีระดับคะแนนความชอบเฉลี่ยด้านประสาทสัมผัสสูงสุดและยังคงลักษณะที่ดี มีความเป็นเนื้อเดียวกันไม่แยกชั้น มีสีเหลืองนวล ความชื้นพอเหมาะ เมื่อทดสอบทางกายภาพของผลิตภัณฑ์พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ลดลง ส่วนค่าสีแดง (a*) และค่าค่าสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้น มีค่า pH อยู่ในระดับสูงภาวะเป็นกลาง และค่าความหนืด (Viscosity) เพิ่มขึ้น ทำให้เห็นว่า ผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวใช้เป็นสารให้ความชื้นได้ในผลิตภัณฑ์ซูปซัน อีกทั้งนำผลิตภัณฑ์มาทำการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 4.00, 3.57, 12.78, 0.37, 10.63 และ 69.02 ตามลำดับ การศึกษาในครั้งนี้ จึงสรุปได้ว่า สามารถใช้ผงเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวได้ร้อยละ 7 คัดจากน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เป็นสารให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ: กระเจี๊ยบเขียว ซูปซัน ผงเมือก มะตาด สารให้ความชื้น

¹ นิสิตปริญญาเอก หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: jureemart@vru.ac.th

² รองศาสตราจารย์ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: sasamol@vru.ac.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล: poonyanuch@vru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: jureemart@vru.ac.th

USE OF MUCILAGE FROM MATARD (*Dillenia indica* Linn) AND OKRA (*Abelmo chusesculentus* L. Moench) AS A THICKENER IN SOUP POWDER

Jureemart Deeammart^{1*} Sasamol Phasuk² Poonyanuch Nilsang³

Abstract

This research examined the application of Mucilage from Matard and Okra as a thickener for soup powder. The Matard and Okra are local plants with slippery mucilage, helps to have the viscosity of food add volume, good taste and has a beneficial effect on the digestive system. The objective of this research was to study the supplementation of the powder extracted from Matard and Okra in soup. The physical and chemical quality of the product was studied. The preparation using Matard and Okra per water 1:7 (w/w). Heat temperature at 90 degrees celsius for 10 minutes. Mucilage is mixed with egg albumin for maltodextrin ratio 1.5:15 (w/w) use 200 grams of mucilage, Dried and ground into powder. The ratio of Matard and Okra powder in soup was studied at 4 levels: 0, 3, 5 and 7 percent based upon total weight of the mix. Sensory evaluation by 9-point hedonic scale and physical analysis were conducted. It was found that 7 percent It was arrange in randomized complete block design (RCBD) of the powder in the product was appropriate because it had the highest average sensory rating scale. The powder was mixed well, was brightly yellow, and moderately thick. When the physical test of the product was performed, it was found that the lightness (L^*) decreased, while the redness (a^*) and yellowness (b^*) increased; the pH was high and the viscosity increased. This showed that the powder extracted from Matard and Okra can be used as a thickening agent in soup products. The chemical compositions of the product including moisture, protein, fat, fiber, ash and carbohydrate were 4.00, 3.57, 12.78, 0.37, 10.63 and 69.02 %, respectively. This research was concluded that 7 percent. of the powder extracted from Matard and Okra as a thickener in soup powder product.

Keywords: Okra, Soup, Mucilage, Matard, Thickener

¹ Doctor of Philosophy, Science Education, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under The Royal Patronage, e-mail: jureemart@vru.ac.th

² Assoc. Prof, Science Education, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under The Royal Patronage, e-mail: sasamol@vru.ac.th

³ Assist. Prof, Science Education, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University Under The Royal Patronage, e-mail: poonyanuch@vru.ac.th

* Corresponding author, e-mail : jureemart@vru.ac.th

บทนำ

ผักในประเทศไทยที่มีเมือกเส้น ได้แก่ กระเจี๊ยบเขียว มะตาด ผักปรัง ผักกูด ฯลฯ ซึ่งกระเจี๊ยบเขียวและผลมะตาดเป็นพืชท้องถิ่นที่ชาวเม็กซิกันนิยมบริโภค โดยกระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชท้องถิ่นที่นิยมนำมาบริโภคอย่างแพร่หลาย ประกอบกับเป็นพืชส่งออกของประเทศไทย กระเจี๊ยบเขียวสามารถนำมาปรุงประกอบอาหาร เช่น แกงส้ม แกงใส่ปลาอย่าง เครื่องเคียงน้ำพริก ส่วนในต่างประเทศใช้ทำสลัด ซุป หรือสตูว์ ส่วนมะตาดเป็นพืชเฉพาะถิ่น นิยมบริโภคในชุมชนมอญ มีลักษณะเป็นไม้ยืนต้น ส่วนผลให้รสเปรี้ยว มีเมือกเหนียวคล้ายวุ้น นิยมรับประทานใช้ในการประกอบอาหาร เช่น แกงส้มมะตาด แกงคั่วมะตาด เป็นต้น ส่วนผลให้สารพลาโนนอยด์และสารฟีนอลิก มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งคุณสมบัติของเมือกในผักจัดเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ คือ เพคติน (Pectin) มิวซิเลจ (Mucilage) และกัม (Gum) ใช้สำหรับผสมอาหาร ให้ความหนืดของอาหาร ช่วยเพิ่มปริมาตรและรสชาติสัมผัสที่ดีขึ้น นอกจากถูกสกัดเพื่ออุตสาหกรรมอาหารและการผลิตยา (ปิยนุสรณ์ น้อยดั่ง, 2555) มีประโยชน์ต่อร่างกายช่วยให้กระเพาะไม่ระคายเคือง ช่วยเคลือบกระเพาะอาหาร ช่วยรักษาโรคกระเพาะอาหารและลำไส้ไม่ให้อุดตัน ทำให้อาหารผ่านลำไส้ได้สะดวกขึ้น ลดอาการท้องผูก รักษาความดันให้เป็นปกติ เป็นยาบำรุงสมอง เป็นยาระบาย ให้เส้นใยอาหารธรรมชาติ มีแคลเซียมและวิตามินสูง ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันโรคเบาหวาน จากที่กล่าวมาเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ประเภทเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber) เมื่อละลายน้ำจะดูดซับน้ำไว้ ทำให้มีความหนืดข้นเพิ่มขึ้น ซึ่งจัดเป็นพรีไบโอติกส์ (Prebiotics) ร่างกายไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ในระบบทางเดินอาหารส่วนบน แต่สามารถผ่านไปลำไส้ใหญ่ได้ในสภาพที่สมบูรณ์ มีผลช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่อาศัยในลำไส้ใหญ่สามารถย่อยพอลิแซ็กคาไรด์ได้ จึงส่งผลดีกับระบบทางเดินอาหาร เช่น ทำให้อุจจาระนุ่ม ขับถ่ายง่าย ป้องกันมะเร็งลำไส้ ลดน้ำตาลและไขมันในเลือด ช่วยควบคุมน้ำหนัก ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ เป็นต้น (รวีโรจน์ อนันตธนาชัย, 2551) จะเห็นได้ว่าผักมีเมือกเป็นวัตถุดิบที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ใช้แทนสารให้ความข้นในอาหาร มีความปลอดภัยต่อการบริโภค และเพิ่มการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายในผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีความสอดคล้องการวิจัยผลิตภัณฑ์จากพืช ดังเช่น การใช้ผงเมือกกระเจี๊ยบเขียวเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ต (ปิยนุสรณ์ น้อยดั่ง และพัชรี โพธิ์ชัย, 2554) การใช้ประโยชน์จากพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวเป็นสารให้ความคงตัวในเครื่องดื่มนมปรับกรด (อภินิษฐ์ พิศาลวัชรินทร์ และธนะบุญย์ สัจจอนันตกุล, 2555) ดังนั้นงานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเสริมผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวในซูปซันที่เหมาะสม และศึกษาคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณผงเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวในซูปซันผง
2. เพื่อศึกษาทางกายภาพของซูปซันผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียว
3. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของซูปซันผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียว

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาปริมาณผงเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวในซูปชั้นผง

1.1 การเตรียมผงเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียว

โดยมีการเตรียมวัตถุดิบในเบื้องต้นคือ นำกระเจี๊ยบเขียวและมะตาด ล้างทำความสะอาด กระเจี๊ยบแกะเม็ดออกเอาแต่เนื้อ 50 กรัม และมะตาดใช้ส่วนกลีบหุ้มผล 50 กรัม หั่นผักเป็นชิ้นเล็กให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร นำผักแช่ในน้ำอย่างละ 350 กรัม ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 5 นาที ในอัตราส่วนเนื้อกระเจี๊ยบเขียวและเนื้อมะตาดต่อน้ำสะอาด 1:7 (w/w) นำขึ้นตั้งไฟต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 10 นาที กรองเอาน้ำเมือกด้วยผ้าขาวบาง พักไว้ให้เย็น ดัดแปลงวิธีการจากพรเพชร ใจชื่น และวิสุทธนา สมุทรศรี (2557) จากนั้นทำแห้งด้วยรูปแบบโฟมเมท โดยใช้สารทำให้เกิดโฟมคือ โปรตีนไข่ขาว (Egg albumin) ต่อมอลโทเดร็กติน (Maltodextrin) อัตราส่วน 1.5:15 (w/w) ใช้น้ำเมือก 200 กรัม นำโปรตีนไข่ขาวร่อนรวมกันกับมอลโทเดร็กตินค่อยๆ เติมนจนเกิดโฟม ด้วยเครื่องผสมอาหารหัวตะกร้อ ความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 10 นาที ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที นำมาบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรง บรรจุในถุงพลาสติกซิปล็อก นำไปเป็นส่วนผสมในซูปชั้นผงฯ

1.2 การศึกษาลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

โดยการเสริมผงเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวในซูปชั้นผง โดยซูปชั้นผงมีส่วนผสมคือ ข้าวกล้อง ร้อยละ 6.76, นมถั่วเหลือง ร้อยละ 2.70, ครีมน้ำตาล ร้อยละ 4.05 น้ำตาลทราย ร้อยละ 5.41 และน้ำร้อน ร้อยละ 81.08 คิดจากน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด (w/w) ซึ่งมีกรรมวิธีการทำคือ นำส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน ปั่นด้วยเครื่องปั่นละเอียด และร่อนผ่านตะแกรง หากนำมาทดสอบให้ผสมกับน้ำร้อน 240 กรัม ที่อุณหภูมิ 90 ± 5 องศาเซลเซียส คนผสมให้เข้ากันไม่ให้เป็นก้อน ซึ่งการเสริมผงเมือกมะตาดและผงกระเจี๊ยบเขียวในซูปชั้น มี 4 ระดับ คือร้อยละ 0, 3, 5 และ 7 คิดจากน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) โดยนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งใช้ตัวอย่าง ปริมาณ 10 กรัม ในถ้วยพลาสติก จากนั้นทดสอบโดยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9-Point hedonic scale จาก 1 (ไม่ชอบมากที่สุด) ถึง 9 (ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ทำการทดสอบ 2 ซ้ำ ซึ่งพิจารณาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ลักษณะปรากฏ สี ความข้น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม

1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan is new multiple rang test (DMRT) ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS

2. การศึกษาทางกายภาพของซูปชันผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียว

โดยการวิเคราะห์ทางกายภาพของซูปชันผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียว ทำการทดสอบค่าสี ด้วยเครื่องวัดสี (Konica Minolta CR-400) ระบบ CIELAB ค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) วิเคราะห์ค่าความชื้นด้วยเครื่อง Moisture Analyzers MA35 วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง Novasina labswift จำนวน 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ค่าความหนืด (Viscosity) ด้วยเครื่อง Brook field Viscometer โดยใช้ Small Adapter เข็มเบอร์ 02 ความเร็วรอบ 100 rpm นาน 5 นาที และควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส นำซูปชัน 500 มิลลิลิตร ใส่ใน Small Adapter จากนั้นติดตั้งเข้ากับเครื่อง Brookfield บันทึกผลที่วัดได้ มีการแสดงผลในหน่วยเซนติพอยด์ (cP) วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ยมีการวิเคราะห์ผลด้วย One-way analysis of variance ที่ระดับความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของซูปชันผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียว

นำผลิตภัณฑ์วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือ เส้นใยหยาบ และคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ (AOAC, 1995) โดยเปรียบเทียบกับระหว่างสูตรทางการค้าและสูตรที่ผ่านพัฒนาแล้ว ทดสอบ 3 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ผล t-test

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของการเสริมผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวในซูปชัน

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของซูปชันผงเสริมผงจากมะตาดและกระเจี๊ยบเขียว แสดงดังตารางที่ 1 มีผลในทุกคุณลักษณะที่ประเมิน ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี ความชื้น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยคะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงเมือกมะตาดและผงกระเจี๊ยบเขียวในแต่ละระดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีการเสริมผงร้อยละ 3-7 ได้รับคะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะคือ 6.36-7.16 คะแนน อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง จากการทดสอบมีคะแนนความชอบที่ใกล้เคียงกันของร้อยละ 3 และ 5 ซึ่งการเสริมผงจากเมือกในผลิตภัณฑ์มีปริมาณใกล้เคียงกันจึงทำให้ผลที่ได้ไม่แตกต่างกัน โดยความชื้นและเนื้อสัมผัสได้จากวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ข้าวกล้อง ผงเมือก และมอลโทแตร็กดิน เมื่อเสริมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นเพิ่มขึ้นเช่นกันสอดคล้องกับ รজনพรธน บพิตรสุวรรณ และธนกร โรจนกร (2560) เป็นส่วนช่วยเพิ่มเนื้อและละลายน้ำได้ดี ดังนั้นจากการทดสอบการเสริมผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวในซูปชัน สามารถเสริมได้ไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ซึ่งผู้ทดสอบให้การยอมรับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงลักษณะที่ดีของซูป มีความเป็นเนื้อเดียวกันไม่แยกชั้น มีสีเหลืองนวล ความชื้นพอเหมาะ

ตารางที่ 1 Sensory analysis of Soup with Mucilage from Matard and Okra

Attributes	Percentage of Mucilage Powder in Soup (%)			
	0	3	5	7
Appearance	6.50 ± 1.55 ^b	6.84 ± 1.41 ^{ab}	6.96 ± 1.17 ^{ab}	7.16 ± 1.37 ^a
Color ^{ns}	6.46 ± 1.45	6.52 ± 1.37	6.48 ± 1.40	6.60 ± 1.60
Thickener	5.76 ± 1.39 ^b	6.76 ± 1.31 ^a	6.60 ± 1.49 ^a	6.96 ± 1.76 ^a
Texture	6.24 ± 1.57 ^b	6.88 ± 1.39 ^{ab}	6.70 ± 1.48 ^{ab}	7.06 ± 1.70 ^a
Overall acceptance	6.12 ± 1.47 ^b	6.56 ± 1.41 ^{ab}	6.36 ± 1.57 ^b	7.12 ± 1.68 ^a

หมายเหตุ Data were reported as mean ± standard deviation; ^{a,b} means with different letter in the same row were significantly different ($p \leq 0.05$); ^{ns} means with the same row were not significantly different ($p \geq 0.05$)

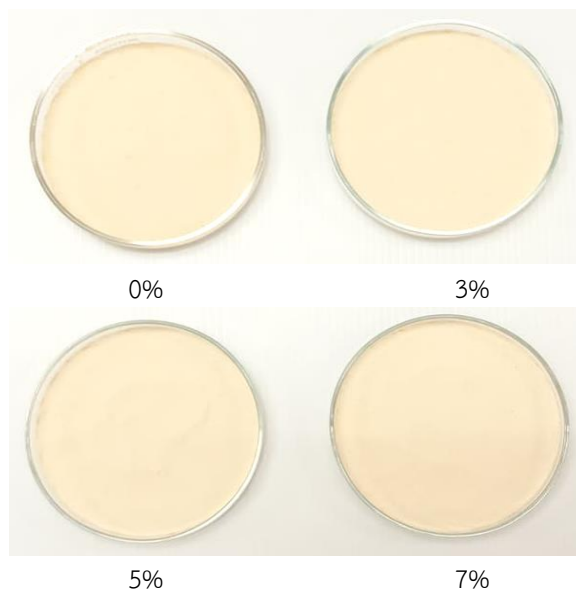
2. ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของการเสริมผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวในซุปรุ่น

ซุปรุ่นเสริมผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียว ที่มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นในแต่ละระดับ มีผลทำให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง ส่วนค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวมีสีเหลืองออกเขียว เมื่อนำมาสกัดเมือกและทำแห้ง ลักษณะผงที่ได้เกิดสีขาวนวลออกเขียว ประกอบกับมีส่วนผสมของนมถั่วเหลืองผงที่มีสีเหลืองนวล เมื่อนำมาผสมเป็นผลิตภัณฑ์จึงมีผลต่อค่าสี ส่วนผลของค่า pH มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 6.63-6.79 และความหนืด (Viscosity) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นในแต่ละระดับของการเสริมผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียว 200.20-353.33 (cP) เนื่องจากเมือกกระเจี๊ยบเขียวและมะตาดจัดเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งมีพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นจึงส่งผลให้ค่าความหนืดสูงขึ้น อีกทั้งส่วนผสมประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ (Nakamura et. al., 2003) ที่มีประจุล่อรอบทำให้เกิดแรงผลัก ที่เรียกว่า แรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) (มานพ สุพรรณธริกา, 2560) ทำให้ส่วนผสมสามารถกระจายตัวได้ดีไม่แยกชั้น (อกนิษฐ์ พิตาลวัชรินทร์ และ ธนบูลย์ สัจจาอนันตกุล, 2555) หากอยู่ในภาวะค่า pH สูงในสภาพเป็นกลางจะเพิ่มความหนืดเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยลักษณะของผลิตภัณฑ์ซุปรุ่นเสริมผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียว มีลักษณะแห้งเป็นผง สีเหลืองนวล มีกลิ่นหอม ไม่จับตัวเป็นก้อน ปรากฏดังตารางที่ 2 และภาพที่ 1

ตารางที่ 2 Physical analysis of Soup supplement Mucilage from Matard and Okra

Parameters	Percentage of Mucilage Powder in Soup (%)			
	0	3	5	7
Surface colors				
L*	58.34 ± 0.02 ^a	56.97 ± 0.03 ^b	55.90 ± 0.04 ^c	55.36 ± 0.04 ^d
a*	0.59 ± 0.08 ^c	0.82 ± 0.13 ^{ab}	0.72 ± 0.02 ^{bc}	0.90 ± 0.06 ^a
b*	13.61 ± 0.07 ^c	14.15 ± 0.10 ^a	13.71 ± 0.04 ^c	13.93 ± 0.01 ^b
pH	6.79 ± 0.01 ^a	6.73 ± 0.02 ^b	6.65 ± 0.01 ^c	6.63 ± 0.03 ^c
Viscosity (cP)	200.20 ± 0.20 ^a	237.07 ± 1.22 ^b	331.50 ± 0.61 ^c	353.33 ± 1.15 ^d

หมายเหตุ Data were reported as mean±standard deviation; ^{a,b,c} means with different letter in the same row were significantly different ($p \leq 0.05$); ^{ns} means with the same row were not significantly different ($p \geq 0.05$)

**ภาพที่ 1** Soup supplement Mucilage from Matard and Okra of studied at 4 levels.

3. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีการเสริมผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวในซุปรุ่น

นำผลิตภัณฑ์ซุปรุ่นการเสริมผงจากเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวในซุปรุ่นเปรียบเทียบกับสูตรทางการค้า ผลการวิเคราะห์พบว่า ผลิตภัณฑ์ซุปรุ่นฯ มีความชื้นต่ำกว่า เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้มีลักษณะเป็นผงแห้งทั้งหมด ส่วนโปรตีน เส้นใย เกล็ด และคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณมากกว่า เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้คือ ถั่วเหลืองผง

ข้าวกล้องงอก และเมือกงอกเป็นหลัก จึงส่งผลให้มีโปรตีน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น โดยมีผลการวิเคราะห์ดังนี้ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต มีร้อยละ 4.00, 3.57, 12.78, 0.37, 10.63 และ 69.02 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์มีคาร์โบไฮเดรตสูง เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต เช่น ข้าวกล้องงอก นํ้านมถั่วเหลือง นํ้าตาลทราย เมือกมะตาดและกระเจี๊ยบ เป็นต้น ส่วนโปรตีนเป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณน้อยซึ่งได้จากนมถั่วเหลืองงอก ส่วนไขมันได้จากนมถั่วเหลืองเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 3 Chemical analysis of commercial recipes and supplement Mucilage from Matard and Okra

Chemical composition (% dry)	Commercial recipes	Soup supplement Mucilage
Moisture content	6.10 ± 0.87*	4.00 ± 0.95*
Protein	0.92 ± 0.41*	3.57 ± 0.15*
Fat	27.25 ± 0.82*	12.78 ± 0.80*
Crude fiber	0.05 ± 0.01*	0.37 ± 0.09*
Ash	15.26 ± 0.95*	10.63 ± 0.94*
Carbohydrate	50.47 ± 0.01*	69.02 ± 0.01*

หมายเหตุ Data were reported as mean ± standard deviation; * means with different letter in the same row were significantly different (p<0.05)

สรุป

การเสริมผงเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวในผลิตภัณฑ์ซูพซัน สามารถใช้ผงเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวได้ร้อยละ 7 คิดจากน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เป็นระดับที่มีความเหมาะสม ประกอบกับได้การยอมรับจากผู้ทดสอบ มีระดับคะแนนความชอบปานกลาง อีกทั้งการวิเคราะห์ทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ มีค่าสี ความสว่างลดลง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่วนค่า pH มีค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับอยู่ที่ 6.70 และค่าความหนืด (Viscosity) มีความแตกต่างกัน เนื่องจากผงเมือกมะตาดและกระเจี๊ยบเขียวให้ความชื้น เมื่อใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นในแต่ละระดับเช่นกัน ทั้งนี้เห็นควรให้นำผลิตภัณฑ์มาเป็นส่วนประกอบในการปรุงประกอบอาหาร ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ใช้แทนสารให้ความชื้นที่ได้จากธรรมชาติ มีความปลอดภัยต่อการบริโภค เพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบในท้องถิ่น และเพิ่มการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายในผลิตภัณฑ์

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาเพิ่มเติมด้านโภชนาการ ศึกษาสารสำคัญในพืชที่คงอยู่เมื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ ศึกษาอายุการเก็บรักษา และพัฒนาในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ซึ่งเป็นการนำเอาสารเมือกในผักท้องถิ่นของไทยมาพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายในผลิตภัณฑ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ปิยนุสรณ์ น้อยด้วง. (2555). กัมและมิวซิเลจจากพืช. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 7(1), 1-10.
- ปิยนุสรณ์ น้อยด้วง, และพัชรี โพธิ์ชัย. (2554). การใช้ผงเมือกกระเจี๊ยบเขียวเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโบราณ. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 6(1), 35-43.
- พรเพชร ใจชื่น, และวิสุทธนา สมุทรศรี. (2557). อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดสารเมือกจากกระเจี๊ยบเขียว เห็ดหูหนูดำ ผักปลัง และผักกูด. การประชุมวิชาการการพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 4 ประจำปี 2557, 11-13 มิถุนายน 2557 ณ โรงแรมเซ็นทาราแอนด์คอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 451-419.
- มานพ สุพรรณธรีกา. (2560). วิทยากระแส: การประยุกต์ในอุตสาหกรรมอาหาร. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รวีโรจน์ อนันตธนาชัย. (2551). รายงานการวิจัย การศึกษาพฤติกรรมการบริโภคอาหารกับภาวะการมีอายุยืนของผู้สูงอายุไทย. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต, กรุงเทพฯ.
- รจนพรรณ บพิตรสุวรรณ, และธนกร โรจนกร. (2560). ผลของมอลโทเดกซ์ทรินต่อลักษณะทางกายภาพบางประการของเยื่อหุ้มเมล็ดผักข้าวผงแห้งจากการทำแห้งแบบโฟมเมท. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษา ระดับชาติและนานาชาติ, 10 มีนาคม 2560 ณ อาคารพจน์ สารสิน มหาวิทยาลัยขอนแก่น. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 467-474.
- อกนิษฐ์ พิศาลวัชรินทร์, และธนະบุลย์ สัจจาอนันตกุล. (2555). การใช้ประโยชน์จากพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวเป็นสารให้ความคงตัวในเครื่องดื่มนมปรับกรด. การประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อการพัฒนาวิจัยอย่างยั่งยืน, วันที่ 25-26 ธันวาคม 2555 ณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพฯ: สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 1335-1343.
- AOAC. (1995). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists International. Arlington, Virginia.

Nakamura, A., H. Furuta, M. Kato, H. Maeda and Y. Nagamatsu. (2003). Effect of soybean soluble polysaccharides on the stability of milk protein under acidic conditions. **J. Food Hydrocolloids**, 17 (3). 333-343.

ผลของการทดแทนไขมันบางส่วนด้วยเนื้ออะโวคาโดในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดเพื่อสุขภาพ

สุพิชญา คำคม^{1*} วรัชญา หงษ์ทอง²

Received : November 1, 2021

Revised : December 27, 2021

Accepted : December 29, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโด (*Persea Americana* Mill.) ต่อสี (L^* , a^* และ b^*) คุณค่าทางโภชนาการ สมบัติทางประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำสลัด โดยศึกษาการทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดในผลิตภัณฑ์น้ำสลัด 6 ระดับ คือ 0 (สูตรควบคุม), 10, 20, 30, 40 และร้อยละ 50 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ผลการวิจัยพบว่าเนื้ออะโวคาโดส่งผลต่อสี (L^* , a^* และ b^*) คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อน้ำสลัด เมื่อเพิ่มปริมาณเนื้ออะโวคาโดจากร้อยละ 0 เป็น 50 ส่งผลให้ค่า b^* เพิ่มขึ้นจาก 18.88 เป็น 24.05 นอกจากนี้ค่า L^* และ a^* ลดลง ($p \leq 0.05$) คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์น้ำสลัด ได้แก่ พลังงาน ไขมัน และกรดไขมันอิ่มตัวของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดลดลงตามปริมาณของเนื้ออะโวคาโดที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ใยอาหาร แคลเซียม โพแทสเซียม และวิตามินซีเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์น้ำสลัดที่ใช้เนื้ออะโวคาโดทดแทนร้อยละ 50 ได้รับการยอมรับสูงสุด อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์น้ำสลัดสามารถเก็บได้นานถึง 4 สัปดาห์ โดยภาพรวมจากผลการวิจัยพบว่าเนื้ออะโวคาโดจะเหมาะกับการใช้ทดแทนไขมันในน้ำสลัดเพื่อสุขภาพ

คำสำคัญ: การทดแทนไขมัน น้ำสลัด อะโวคาโด

¹ อาจารย์สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

อีเมล: Supichaya_culinary@hotmail.com

² นักศึกษาสาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

อีเมล: Valatchaya7@gmail.com

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: Supichaya_culinary@hotmail.com

RESULT OF PARTIAL FAT REPLACEMENT WITH AVOCADO (*Persea americana* Mill.) PULP IN HEALTHY SALAD DRESSING PRODUCT

Supichaya Khumkhom^{1*} Valatchaya Hongthong²

Abstract

This research aimed to study the fat replacement with avocado (*Persea americana* Mill.) pulp on color (L^* , a^* , and b^*), nutritional values, sensory properties, and shelf life of the salad dressing products by studying the proper ratio of the avocado pulp as a fat replace in salad dressing for 6 levels: 0 (control formula), 10, 20, 30, 40, and 50% (w/v). The results showed that avocado pulp affects the color (L^* , a^* , and b^*), nutritional values, and consumer acceptance of salad dressing. When increasing the contents of avocado pulp from 0 to 50%, the b^* value increased from 18.88 to 24.05. Moreover, the L^* and a^* value decreased ($p \leq 0.05$). The nutritional values of the salad dressing product, namely energy, fat and saturated fatty acids of salad dressing products was decreased as the ratios of avocado pulp increased while dietary fiber, calcium, potassium, and vitamin C increased. Salad dressing products with avocado pulp replacement at 50 % showed the highest acceptance. However, the salad dressing products can be stored for 4 weeks. Overall, the results showed that avocado pulp may be suitable as a fat replacement in healthy salad dressing applications.

Keywords: Fat replacers, Salad dressing, Avocado

¹ Lecturer of Home economics Program, Faculty of Science and Technology, Phranakorn Si Ayutthaya Rajabhat University Phranakorn, e-mail: Supichaya_culinary@hotmail.com

² Undergraduate student of Home economics Program, Faculty of Science and Technology, Phranakorn Si Ayutthaya Rajabhat University Phranakorn, e-mail: Valatchaya7@gmail.com

* Corresponding author, e-mail: Supichaya_culinary@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคสมัยใหม่หันมาบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพที่ให้คุณค่าทางโภชนาการและพลังงานต่ำ น้ำสลัดจึงเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่นิยมรับประทานกับผัก ผลไม้หรือกลุ่มของธัญพืชชนิดต่าง ๆ ทั้งนี้การที่เมนูสลัดจะเป็นที่ยอมรับนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ คุณภาพของผัก และชนิดของน้ำสลัดซึ่งมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน การเลือกชนิดของน้ำสลัดมารับประทานร่วมกับผักสลัดจึงเป็นตัวแปรที่จะทำให้สลัดมีรสชาติ คุณค่าทางโภชนาการและให้พลังงานที่แตกต่างกัน (บุศราภา สิละวัฒน์ และไตรรัตน์ แก้วสะอาด, 2563) น้ำสลัดครีมเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water) มีการกระจายตัวอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำ (continuous phase) ของน้ำส้มสายชู น้ำตาล และเกลือ โดยมีไข่แดงเป็นตัวผาสุกให้เป็นเนื้อเดียวกัน หรือเรียกว่าอิมัลซิไฟเออร์ (นิธิยา รัตนพานนท์, 2548) ซึ่งจะทำหน้าที่เพื่อให้เกิดความคงตัวและลดแรงตึงผิว (surface tension) ช่วยป้องกันอิมัลชันไม่ให้แยกชั้น โดยลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสทั้งสองเฟสหรือส่งเสริมการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดน้ำมันในเฟสต่อเนื่องได้อย่าง สม่าเสมอทำให้น้ำกับน้ำมันสามารถรวมตัวกันได้ ซึ่งโดยทั่วไปน้ำสลัดครีมทำมาจากน้ำส้มสายชู น้ำมันพืช หรือน้ำมันสลัด มายองเนส มัสตาร์ดและน้ำตาล มีปริมาณไขมันอยู่ในสูตรไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของน้ำหนัก และไม่เกินร้อยละ 60 มีปริมาณไข่แดงที่คิดเป็นปริมาณของแข็งแล้วไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 ของปริมาณไข่แดงทั้งหมดในสูตร (Susan, 2016) เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าน้ำสลัดครีมมีรสชาติหวานและมีปริมาณไขมันสูงมากจึงส่งผลต่อสุขภาพได้ หากเลือกรับประทานบ่อยหรือเป็นประจำอาจทำให้ร่างกายได้รับไขมันในปริมาณที่มากเกินไปจนเกิดความเหมาะสม ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อโรคต่าง ๆ เช่น โรคอ้วน โรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น ด้วยสาเหตุนี้จึงต้องมีการศึกษาวิจัยการทดแทนไขมันมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสลัดเพื่อสุขภาพ

อะโวคาโด (*Persea Americana* Mill.) เป็นผลไม้กึ่งเขตร้อนที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศเม็กซิโกและอเมริกากลาง และมีการผลิตและบริโภคอย่างกว้างขวางทั่วโลก จัดอยู่ในวงศ์ *Lauraceae* และสกุล *Persea* ซึ่งมีมากกว่า 150 พันธุ์ ในประเทศไทยมีการเพาะปลูกอะโวคาโดมายาวนานไม่น้อยกว่า 80 ปี โดยมีหิซันนารีชาวอเมริกันนำเข้ามาปลูกที่จังหวัดน่านและมูลนิธิโครงการหลวงได้แนะนำให้เกษตรกรชาวเขาปลูกเป็นอาชีพเสริม จนกระทั่งเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งบนพื้นที่สูง อะโวคาโดเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง (Super fruit) (ศรัญญา อุทธิยาเส้า และคณะ, 2559) ประกอบไปด้วยโปรตีน (ร้อยละ 1–3) คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 0.8–4.8) โยอาหาร (ร้อยละ 1.4–3; โยอาหารไม่ละลายน้ำร้อยละ 70 และโยอาหารที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 30) วิตามิน (วิตามินซี, วิตามินอี, วิตามินเค, โคลีน ไนอาซิน และกรดแพนโทธิก) และแร่ธาตุ (ร้อยละ 0.8–1.5) นอกจากนี้ผลอะโวคาโดเป็นที่รู้จักมากที่สุดว่ามีปริมาณไขมันสูง (ร้อยละ 12–24) ซึ่งส่วนใหญ่มีไขมันอิ่มตัว (มากกว่า ร้อยละ 70) มีความสำคัญและจำเป็นต่อเยื่อหุ้มเซลล์ (Salazar-Lopez et al., 2020; Jimenez et al., 2020) อีกทั้งเนื้ออะโวคาโดเป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพมีผลดีต่อสุขภาพ จากรายงานของ Melgara et al. (2018) พบว่าอะโวคาโดช่วยลดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Tremocoldi et al., 2018) การทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารด้วยสารที่มีสมบัติทางกายภาพและทำหน้าที่คล้ายไขมันทั่วไปจึงเป็น ทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาช่วยลดการเติมไขมันในอาหารได้ โดยสารทดแทนไขมันนี้ช่วยให้พลังงานในอาหารลดลง ในขณะที่ยังคงรักษาความอร่อยของอาหาร รวมถึงรักษาน้ำสัมผัสและความรู้สึกในปาก (Mouthfeel) ได้ไม่แตกต่างจากไขมันปกติ (O'Connor & O'Brien, 2016) จากประโยชน์และความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดเพื่อสุขภาพ โดยศึกษาปริมาณเนื้ออะโวคาโดที่จะนำมาลดปริมาณไขมันที่เป็นส่วนผสมของน้ำ

สลดลง คุณค่าทางโภชนาการ สมบัติทางประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำสลัดที่ดีต่อสุขภาพ และมีปริมาณไขมันและพลังงานลดลงเป็นทางเลือกหนึ่งของผู้ที่รักสุขภาพ



ภาพที่ 1 อะโวคาโดพันธุ์บัคคาเนีย (*Persea americana* Mill.; Buccaneer)

ที่มา : ภาพถ่ายโดยผู้เขียน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณเนื้ออะโวคาโดที่เหมาะสมสำหรับการทดแทนไขมันต่อคำสี และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดเพื่อสุขภาพ
2. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดเพื่อสุขภาพ
3. เพื่อศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดเพื่อสุขภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมน้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยอะโวคาโด

การเตรียมน้ำสลัด ทำได้โดยเริ่มต้นด้วยการนำส่วนผสมที่เป็นของแข็ง (ตารางที่ 1) ได้แก่ น้ำตาลทราย พริกไทย และเกลือ ผสมให้เข้ากัน และเติมส่วนผสมที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำส้มสายชู นมข้นหวาน มัสตาร์ด ไข่ไก่และเนื้ออะโวคาโดผลแก่สุกสีเหลืองเล็กน้อย (ร้อยละ 0-50) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ (กรวิทย์ สักแกแก้ว และคณะ, 2563) จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดไปปั่นผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่นเอนกประสงค์ ที่ความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นค่อย ๆ เติมน้ำมันพืชลงไปอย่างช้า ๆ จนกระทั่งหมด หลังจากนั้นจึงเพิ่มความเร็วเป็น 5,300 รอบต่อนาที นาน 2 นาที แล้วบรรจุลงในขวดแก้วแล้วปิดฝาให้สนิทนำไปพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 15 นาที จากนั้นหยุดทำการลดความร้อนทันทีในอ่างน้ำแข็ง นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสก่อน นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพต่อไป

2. การศึกษาปริมาณเนื้ออะโวคาโดทดแทนไขมันในน้ำสลัด

นำผลิตภัณฑ์น้ำสลัดสูตรควบคุมที่ผ่านการคัดเลือกมาศึกษาหาปริมาณเนื้อผลอะโวคาโดที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์น้ำสลัด 6 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0 (100:0) สูตรควบคุม, ร้อยละ 10 (90:10), ร้อยละ 20 (80:20), ร้อยละ 30 (70:30), ร้อยละ 40 (60:40) และร้อยละ 50 (50:50) โดยน้ำหนักของส่วนผสมน้ำมัน ตารางที่ 1 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่

ลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-Point hedonic scale test เพื่อคัดเลือกน้ำสลัดที่ทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดที่ได้รับการยอมรับสูงสุดจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านอาหารและนักศึกษาสภาวิชาชีพเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จำนวน 50 คน

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดที่ทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดในระดับที่แตกต่างกัน

ส่วนประกอบ	ปริมาณการทดแทนเนื้ออะโวคาโด (ร้อยละ)					
	0	10	20	30	40	50
น้ำมันถั่วเหลือง	250	225	200	175	150	125
เนื้ออะโวคาโด	0	25	50	75	100	125
ไข่ไก่	50	50	50	50	50	50
น้ำส้มสายชู	75	75	75	75	75	75
นมข้นหวาน	45	45	45	45	45	45
น้ำตาลทราย	100	100	100	100	100	100
มัสตาร์ด	5	5	5	5	5	5
เกลือ	5	5	5	5	5	5
พริกไทย	5	5	5	5	5	5

3. การวิเคราะห์ลักษณะของสีและคุณค่าทางโภชนาการของน้ำสลัดเนื้ออะโวคาโดที่ระดับการทดแทนที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 0-50)

3.1 การวัดค่าสีของน้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโด ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัดสี รุ่น Color Quest XE (HunterLab, USA) ทำการทดลอง 5 ซ้ำต่อตัวอย่าง

3.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโด

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐาน (proximate composition) ของน้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดร้อยละ 50 ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ความชื้นและเถ้า โดยวิธีของ AOAC (2000)

3.3 ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของน้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดร้อยละที่แตกต่างกัน

ทำการคำนวณสารอาหารในตัวอย่างโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Inmucal-Nutrients V. 4.0 (Institution of Nutrition, 2018) โดยคำนวณจากปริมาณส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิตน้ำสลัดที่มีการทดแทนด้วยเนื้ออะโวคาโดในปริมาณที่แตกต่างกันเพื่อหาค่าของพลังงาน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน วิตามินและแร่ธาตุอื่น ๆ

4. วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ นำน้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดร้อยละ 50 มาบรรจุใส่ขวดแก้วใสที่ผ่านการฆ่าเชื้อและเก็บที่อุณหภูมิห้องและทำการทดสอบอายุการเก็บรักษา โดยวิเคราะห์คุณภาพ

ทางจุลินทรีย์ ได้แก่ จุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) ยีสต์และรา (Yeast and mold) ตามวิธีของ AOAC (2000)

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

งานวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomized design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) และการทดสอบทางด้านการประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลของปริมาณเนืออะโวคาโดทดแทนไขมันที่เหมาะสมต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์น้ำสลัด

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนืออะโวคาโด ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของส่วนผสมน้ำมัน และนำมาทดสอบ ได้แก่ คุณลักษณะด้านลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scaling test (ตารางที่ 2) พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนืออะโวคาโดในปริมาณที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้ค่าคะแนนเฉลี่ยทุกคุณลักษณะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะตัวอย่างน้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนืออะโวคาโดร้อยละ 50 มีค่าคะแนนความชอบ ด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีค่าคะแนนเท่ากับ 8.08, 8.20, 8.24 และ 8.22 คะแนนตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับความชอบมาก ยกเว้นค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในด้านลักษณะที่ปรากฏและรสชาติดีมีค่าคะแนนเท่ากับ 8.18 และ 8.18 คะแนนตามลำดับ รองลงมาคือตัวอย่างน้ำสลัดที่ทดแทนไขมันด้วยเนืออะโวคาโดร้อยละ 40, 30, 20, 10 และสูตรควบคุมตามลำดับ ซึ่งมีค่าคะแนนความชอบทุกคุณลักษณะอยู่ในระดับความชอบมากถึงชอบปานกลาง โดยผลิตภัณฑ์น้ำสลัดที่ทดแทนไขมันด้วยเนืออะโวคาโดร้อยละ 10 และ 20 มีคะแนนความชอบทุกคุณลักษณะมากกว่าน้ำสลัดสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งอยู่ในระดับความชอบปานกลาง อาจเนื่องจากเมื่อทดแทนเนืออะโวคาโดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-50) ลักษณะคุณภาพของน้ำสลัดไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุม จากการรายงานการวิจัยของ (ชุรัตน์ ศรีจันทร์วงศ์ และคณะ (2564) ที่ทำการศึกษาคู่ประกอบทางเคมีของอะโวคาโด พบว่าปริมาณไขมันร้อยละ 4.61 ซึ่งปริมาณไขมันในอะโวคาโดร้อยละ 60-80 เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ดังนั้นการทดแทนเนืออะโวคาโดในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักส่งผลให้โครงสร้างและเนื้อสัมผัสของน้ำสลัดยังคงตัวใกล้เคียงกับสูตรควบคุม อีกทั้งจากการสอบถามผู้ทดสอบชิมทราบถึงประโยชน์ของอะโวคาโดเป็นผลไม้เพื่อสุขภาพจึงเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชนิตร์น ผึ้งบรรหาร และคณะ (2564) ได้ศึกษาการใช้เนืออะโวคาโดทดแทนเนยขาวร้อยละ 100 ในผลิตภัณฑ์ครีมตกแต่งหน้าเค้กซึ่งผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส เนื่องจากเมื่อนำเนืออะโวคาโดมาทดแทนเนยขาว เนือครีมแต่งหน้าเค้กมีลักษณะเรียบเนียน ไม่หยาบ เนือสัมผัสที่มีความใกล้เคียงกับสูตรครีมแต่งหน้าเค้กทั่วไป

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโด

ปริมาณ การ ทดแทน เนื้อ อะโวคาโด (ร้อยละ)	คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส					
	ลักษณะที่ ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยชอบ
0 (control)	7.68 ^b ±1.15	7.64 ^b ±0.98	7.02 ^c ±0.95	7.56 ^c ±0.86	7.48 ^c ±0.86	7.72 ^b ±0.80
10	7.92 ^{ab} ±0.75	7.80 ^{ab} ±0.80	7.46 ^b ±0.86	7.74 ^{bc} ±0.92	7.58 ^c ±0.90	7.88 ^{ab} ±0.87
20	8.00 ^{ab} ±0.99	7.86 ^{ab} ±1.01	7.72 ^{ab} ±0.80	8.08 ^{ab} ±0.87	7.90 ^{ab} ±0.95	7.94 ^{ab} ±0.81
30	8.26 ^a ±0.75	7.96 ^{ab} ±1.00	7.90 ^{ab} ±0.09	8.36 ^a ±0.69	8.08 ^a ±0.92	8.16 ^a ±0.76
40	8.10 ^a ±0.81	7.60 ^b ±1.14	8.02 ^{ab} ±0.84	8.14 ^a ±0.96	8.40 ^a ±0.80	8.18 ^a ±0.85
50	8.18 ^a ±0.77	8.08 ^a ±0.82	8.20 ^{ab} ±0.91	8.18 ^a ±0.98	8.24 ^a ±0.79	8.22 ^a ±0.91

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. ปริมาณเนื้ออะโวคาโดที่เหมาะสมต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์น้ำสลัด

การศึกษาผลของปริมาณเนื้ออะโวคาโดต่อค่าสีของน้ำสลัด ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าทั้งค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีความแตกต่างกันตามปริมาณองค์ประกอบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อทดแทนปริมาณเนื้ออะโวคาโดเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0-50) ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ลดลง จาก 62.90 เป็น 57.09 และจาก 1.55 เป็น -1.46 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นจาก 18.88 เป็น 24.05 ทั้งนี้เนื่องจากในเนื้ออะโวคาโดมีสารสีหรือรงควัตถุที่มีชื่อว่าคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งสารสีชนิดนี้จะลดลงเมื่อผลไม้สุกได้ที่หรือแก่จัดจึงทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น (Lopez-Vega et al., 2021) และจากการรายงานของ ชุชรรัตน์ ศรีจันทร์วงศ์ และคณะ (2564) พบว่าเนื้ออะโวคาโดประกอบไปด้วยสารสีกลุ่มแคโรทีนอยด์และมีปริมาณเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene) เท่ากับ 65.94 $\mu\text{g}/100 \text{ g}$. จึงแสดงค่าสีให้เห็นเป็นเหลืองและแดงเมื่อทดแทนร้อยละปริมาณที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิยนุสรณ์ น้อยด่าง และคณะ (2558) ซึ่งทำการศึกษาการใช้ผงเยื่อฟักข้าวแห้งเสริมในมายองเนส 4 ระดับคือ (ร้อยละ 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20) และพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงเยื่อฟักข้าวแห้งที่ใช้มากขึ้น มีผลทำให้มายองเนสที่ผลิตได้ มีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสว่างมีแนวโน้มที่ลดลง

ตารางที่ 3 ค่าสีของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดในระดับที่แตกต่างกัน

ปริมาณเนื้อ อะโวคาโด (ร้อยละ)	ค่าสี		
	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าความเป็นสีแดง (a*)	ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)
0 (control)	62.90±0.65a	1.55±0.07a	18.88±0.17c
10	63.45±0.34a	-0.34±0.12b	19.02±0.47c
20	60.55±0.41b	-1.16±0.43c	22.45±0.27b
30	55.47±0.24b	-1.55±0.52cd	25.30±0.25a
40	56.72±0.05c	-1.77±0.16d	25.84±0.50a
50	57.09±0.45c	-1.46±0.54cd	24.05±0.62a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. ผลของปริมาณเนื้ออะโวคาโดทดแทนไขมันต่อคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์น้ำสลัด

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Inmulcal-Nutritrents v.4.0) แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าน้ำสลัดที่ทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 50 ของส่วนผสมน้ำมันมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีพลังงานลดลงจาก 601 เป็น 396.21 กิโลแคลอรี มีปริมาณไขมัน และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวลดลงจาก 53.41 และ 29.28 เป็น 8.74 และ 5.08 กรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ และมีคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ใยอาหาร เพิ่มขึ้น จาก 27.93, 2.28 และ 0.31 เป็น 30.69, 2.52 และ 0.76 กรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ อีกทั้งมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และวิตามินซีเพิ่มขึ้นจาก 37.24, 52.35, 58.66 และ 0.09 เป็น 41.45, 58.66, 173.92 และ 3.78 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดร้อยละ 50 ทำให้พลังงาน ไขมันและกรดไขมันอิ่มตัวลดลง และช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเนื้ออะโวคาโดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เท่ากับ 7.71, 1.0 และ 4.61 ตามลำดับ (ชูรัตน์ ศรีจันทร์วงศ์ และคณะ, 2564) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิตรา กลิ่นดี และคณะ (2548) ซึ่งทำการศึกษาชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของอะโวคาโดพันธุ์บัคคาเนีย พบว่า กรดไขมันที่มีมากที่สุดคือ กรดโอเลอิก (Oleic acid) และมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในไขมันจากเนื้ออะโวคาโดพันธุ์บัคคาเนีย เท่ากับ 3.25 และ 6.75 กรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ ดังนั้นการบริโภคน้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดจึงส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค

ตารางที่ 4 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดต่อปริมาณ 100 กรัม ปริมาณเนื้ออะโวคาโด (ร้อยละ)

คุณค่าทางโภชนาการ	0	10	20	30	40	50
พลังงาน (Kcal)	601.0	582.0	519.50	478.4	437.3	396.21
คาร์โบไฮเดรต (g)	27.93	28.48	29.04	29.59	30.14	30.69
ไขมัน (g)	53.41	48.58	43.75	38.92	34.09	29.28
โปรตีน (g)	2.28	2.33	2.38	2.43	2.47	2.52
ใยอาหาร (g)	0.31	0.40	0.49	0.58	0.67	0.76
กรดไขมันอิ่มตัว (g)	8.74	8.01	7.27	6.54	5.81	5.08
แคลเซียม (mg)	37.24	38.09	38.93	39.77	40.61	41.45
ฟอสฟอรัส (mg)	52.35	53.61	54.87	56.14	57.40	58.66
โพแทสเซียม(mg)	58.66	81.71	104.76	127.81	150.87	173.92
วิตามินซี (mg)	0.09	0.83	1.57	2.30	3.04	3.78

4. องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดที่ผ่านการคัดเลือก

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโด ร้อยละ 50 แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าตัวอย่าง 100 กรัม มีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน แล้ ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 2.16, 27.64, 1.49, 38.83 และ 29.88 กรัมตามลำดับ

5. อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดที่ผ่านการคัดเลือก

ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดร้อยละ 50 เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 28-33 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำสลัดมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 4.2×10^3 โคโลนีต่อกรัม ยีสต์ และรา 1.0×10^2 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำสลัด มผช.672/2547 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) กำหนดมาตรฐานของจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม สอดคล้องกับงานวิจัยของกรณิการ์ อ่อนสำลี, (2561) ที่ได้ทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาของน้ำสลัดที่ทดแทนด้วยมิวซิเลจจากแมลต์แมงลัก ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิห้อง 28-33 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำสลัดชนิดนี้ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และราอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำสลัด

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานและอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดร้อยละ 50

การวิเคราะห์	ผลิตภัณฑ์น้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโด ร้อยละ 50
องค์ประกอบทางเคมี	
โปรตีน (ร้อยละ)	2.16
ไขมัน (ร้อยละ)	27.64
เถ้า (ร้อยละ)	1.49
ความชื้น (ร้อยละ)	38.83
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	29.88
จุลินทรีย์	
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	4.2×10^3
ยีสต์และรา (CFU/g)	1.0×10^2

สรุป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสลัดด้วยการทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดต่อค่า L^* , a^* และ b^* คุณค่าทางโภชนาการ สมบัติทางประสาทสัมผัส และอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์น้ำสลัด โดยศึกษาการทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโดในผลิตภัณฑ์น้ำสลัดจำนวน 6 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม), 10, 20, 30, 40 และ 50 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ผลการวิจัยพบว่าเนื้ออะโวคาโดส่งผลต่อค่า L^* , a^* และ b^* คุณค่าทางโภชนาการ และการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อน้ำสลัด เมื่อเพิ่มปริมาณเนื้ออะโวคาโดจาก 0 เป็น 50 % ค่า b^* เพิ่มขึ้นจาก 18.88 เป็น 24.05 นอกจากนี้ ค่า L^* และ a^* ลดลง ($p < 0.05$) คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์น้ำสลัด ได้แก่ พลังงาน ไขมัน และกรดไขมันอิ่มตัวของผลิตภัณฑ์น้ำสลัดลดลงตามปริมาณของเนื้ออะโวคาโดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ใยอาหาร แคลเซียม โพแทสเซียม และวิตามินซีเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์น้ำสลัดที่ใช้เนื้ออะโวคาโดทดแทนร้อยละ 50 ได้รับการยอมรับสูงสุด อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์น้ำสลัดสามารถเก็บได้นาน 4 สัปดาห์ โดยภาพรวมจากการวิจัยพบว่าเนื้ออะโวคาโดสามารถใช้ทดแทนไขมันในน้ำสลัดเพื่อสุขภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และวิเคราะห์หาความคงตัว (Consistency) ของน้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโด
2. ควรทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาของน้ำสลัดตัวอย่างควบคุมเปรียบเทียบกับน้ำสลัดทดแทนไขมันด้วยเนื้ออะโวคาโด เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์และสนับสนุนเครื่องมือวิจัยจากสาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ อ่อนสำลี. (2561). การใช้มิวซิเลจของเมล็ดแมงลักทดแทนไขมันในน้ำสลัดเพื่อสุขภาพ. **วารสารเกษตร**, 34 (2), 319-329.
- กรวิทย์ สักแกแก้ว, พรทิพย์ พสุกมลเศรษฐ์, และน้องนุช ศิริวงศ์. (2563). ผลของการทดแทนไขมันด้วยเพคตินจากเปลือกแก้วมังกรต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำสลัด. **วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี**, 14 (3), 328-342.
- จิตรา กลิ่นดี, จริญญา พันธุ์รักษา, และนิรมล อุตมอ่า. (2548). ส่วนประกอบทางเคมีและคุณลักษณะทางกายภาพของอะโวคาโดที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่. **วารสารเกษตร**, 21(2), 117-125.
- ชุรัตน์ ศรีจันทร์วงศ์, ขนิษฐา ศรีนวล, วิลาสินี ติปัญญา, กฤติกา บุรณโชคไพศาล และขวัญจิตต์ อนุกุลวัฒนา. (2564). ปริมาณของแคโรทีนอยด์และสารต้านอนุมูลอิสระในอะโวคาโด เสาวรส และกระชายดำจากท้องถิ่นอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์. **Life Sciences and Environment Journal**, 22 (2), 216- 223.
- ชนิรัตน์ ผึ้งบรรหาร, ฤชณา เกตุคำ, การันต์ ผึ้งบรรหาร และนิรุต ชันทรี. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมแต่งหน้า เค้กเพื่อสุขภาพจากอะโวคาโด. **วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ**, 9 (1), 38-51.
- นิธิยา รัตนพานนท์. (2548). **วิทยาศาสตร์ทางอาหารของไขมันและน้ำมัน**. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- บุศราภา สิละวัฒน์, และไตรรัตน์ แก้วสะอาด. (2563). การพัฒนาน้ำสลัดไขมันต่ำเสริมแป้งข้าวเจ้า. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 28 (5), 774-789.
- ปิยนุสรณ์ น้อยด้วง, ญัฐพร ตะเกาทอง และเกศรินทร์ มาลีสีรังสี. (2558). การใช้ผงฟักข้าวแห้งเป็นสารกันเหี่ยวในผลิตภัณฑ์มายองเนส. **วารสารเทคโนโลยีอาหาร**, 10 (1), 9-18.
- เพ็ญศิริ คงสิทธิ์. (2560). ปริมาณที่เหมาะสมในการทำน้ำสลัดชนิดข้น. **วารสารเกษตร**, 33 (1), 153-161.
- ศรัญญา อุทธิยาเส้า, นพพร บุญปลอด และดรุณี นภาพรหม. (2559). ผลของสารพาโคลบิวทราโซลต่อการออกดอกของอะโวคาโดพันธุ์บักคาเนีย. **วารสารวิทยาศาสตร์ มศว**, 32 (1), 157-165.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำสลัด**. มผช. 672/2547. กรุงเทพมหานคร.
- AOAC. (2000). **Official Methods of Analysis**. Gaithersburg, Maryland, USA.
- Jimenez, P., Garcia, P., Quiral, V., Vasquez, K., ParraRuiz, C., Reyes-Farias, M., Garcia-Diaz, D. F., Robert, P., Encina, C. & Soto-Covasich, J. (2020). Pulp, leaf, peel and seed of avocado fruit: A review of bioactive compounds and healthy benefits. **Food Reviews International**, 1–37. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1717520>
- Institution of Nutrition. (2018). **M. U. Nutrients calculation software: INMUCAL- Nutrients V.4.0 (Version Database version NB.)**. Thailand

- Lopez-Vega, L.A., Gil-Cortez, J.M., Sierra-Sarmiento, M.A. & Hoyos-Leyva, J.D. (2021). Hass avocado oil extraction: In the way of malaxation process optimization. **LWT-Food Science and Technology**, 152, 112312.
- Melgara, B., Dias, M. I., Ciric, A., Sokovic, M., Garcia-Castello, E. M., Rodriguez-Lopez, A. D., Barros, L. & Ferreira, I.C.R.F. (2018). Bioactive characterization of Persea americana Mill. by-products: A rich source of inherent antioxidants. **Industrial Crops and Products**, 111, 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.024>.
- O'Connor, T. P. & O'Brien, N. M. (2016). **Butter and Other Milk Fat Products: Fat Replacers**. In **Encyclopedia of Dairy Sciences**. 2nd ed :528–532, University College, Cork, Ireland.
- Tremocoldi, M. A., Rosalen, P.L., Franchin, M., Massarioli, A. P., Denny, C., Daiuto, É. R., Paschoal, J. A.R., Melo, P. S. & Alenca, S. M. D. (2018). Exploration of avocado by-products as natural sources of bioactive compounds. **PLoS ONE**, 1–12.
- Salazar-Lopez, N. J., Domínguez-Avila, J. A., Yahia, E. M., Belmonte-Herrera, B. H., Wall-Medrano, A., Montalvo-Gonzalez, E. & alez-Aguilar, G. A. G. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds”. **Food Research International**, 138, 109774.
- Susan, F. (2016). **Mayonnaise and salad dressing products, a Complete Course in Canning and Related Process**. In Woodhead Publishing Series in Food Science. Technology and Nutrition. (14th ed). Woodhead Publishing Sawston.

การพยากรณ์จำนวนผู้สมัครเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา
กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เปรมวดี อาวุธกรรมปรีชา^{1*}

Received : October 14, 2021

Revised : December 27, 2021

Accepted : December 29, 2021

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจำนวนผู้สมัครเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือด้วยวิธีการของบ็อกซ์-เจนกินส์ และเพื่อหาค่าพยากรณ์จำนวนผู้สมัครเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา จำนวนกลุ่มตัวอย่างมีจำนวน 38 ค่า เป็นจำนวนผู้สมัครเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา จำแนกเป็นระดับปริญญาเอก และปริญญาโท แบ่งเป็นการรับสมัครทั้งภาคการศึกษาที่ 1 และภาคการศึกษาที่ 2 ตั้งแต่ปีการศึกษา 2555-2564 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ด้วยวิธีการของ Box –Jenkins ซึ่งผลจากการคัดเลือกตัวแบบเพื่อใช้ในการพยากรณ์พบว่าตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์ผู้สมัครระดับปริญญาโท ได้แก่ ARIMA (1,1,4) ส่วนตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้สมัครระดับปริญญาเอก ได้แก่ ARIMA (0,1,4) ซึ่งผลจากการพยากรณ์พบว่า จำนวนผู้สมัครปีการศึกษา 2565 ของระดับปริญญาโทมีจำนวน 589 คน และ ระดับปริญญาเอกมีจำนวน 71 คน

คำสำคัญ: การพยากรณ์ บ็อกซ์-เจนกินส์ ระดับบัณฑิตศึกษา

¹ นักวิชาการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

อีเมล: premwadee@grad.kmutnb.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: premwadee@grad.kmutnb.ac.th

FORECASTING THE NUMBER OF APPLICANTS FOR GRADUATE LEVEL: A CASE STUDY OF KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY NORTH BANGKOK

Premwadee Avutgampreecha^{1*}

Abstract

The objectives of this study were to create the most suitable forecasting model for the number of applicants for graduate study a case study King Mongkut's University of Technology North Bangkok using the Box-Jenkins approach and to indicate the forecasting value of applicants for graduate level. There were 38 samples used for this data. The applicants were classified into doctoral degree level and master's degree level in they were divided admissions of both the first semester and the second semester of academic year 2012-2021. The Box-Jenkins approach was used as the research instrument. The results revealed that the suitable model for forecasting master's degree students is ARIMA (1,1,4), while the suitable model for forecasting doctoral students is ARIMA (0,1,4). The result found that the number of applicants in the academic year 2022 were 589 people for master's degree level and 71 people for doctoral degree level.

Keywords: Forecasting, Box-Jenkin, Graduate Level

¹ Educator, Graduate College King Mongkut's University of Technology North Bangkok,
e-mail: premwadee@grad.kmutnb.ac.th

* Corresponding author, e-mail: premwadee@grad.kmutnb.ac.th

บทนำ

มาตรฐานการดำเนินการตามภารกิจของสถาบันอุดมศึกษาประกอบด้วยมาตรฐานต่าง ๆ ด้านหนึ่งของการดำเนินการคือด้านการผลิตบัณฑิต โดยดำเนินการรับนักศึกษาเข้าเรียนที่มีคุณสมบัติและจำนวนตรงตามแผนการศึกษาและสอดคล้องกับเป้าหมายการผลิตบัณฑิตอย่างมีคุณภาพ ประสิทธิภาพของสถาบันอุดมศึกษาเน้นการพัฒนานักวิชาการและนักวิชาชีพ ที่มีความรู้ความสามารถระดับสูง ในสาขาวิชาต่าง ๆ (สำนักมาตรฐานและประเมินผลอุดมศึกษา, 2560) ในส่วนของระดับอุดมศึกษาในปัจจุบันเพื่อตอบสนองการสร้างขีดความสามารถในระดับสากลส่งผลต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตความเป็นอยู่ และกำหนดทิศทางการบริหารจัดการแผนอุดมศึกษาระยะยาว กล่าวคือผลิตบัณฑิตที่สะท้อนตามจุดเน้นของสถาบันเป็นบัณฑิตที่เก่งทั้งวิชาการและวิชาชีพโดยคำนึงถึงเกณฑ์มาตรฐานทางวิชาการ (สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, 2551) ในยุคแห่งการแข่งขันทางสังคมค่อนข้างสูงในปัจจุบัน ส่งผลต่อการปรับตัวให้ทันทันเทียมและเท่าทันกับความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในบริบททางสังคมในทุกมิติรอบด้าน การจัดการเรียนการสอนระดับบัณฑิตศึกษา มีสถาบันการศึกษาทั้งของรัฐและเอกชน เปิดรับสมัครการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษามากขึ้นทุกปี โดยมีหลักสูตรต่าง ๆ ให้นักศึกษาที่สนใจสมัครเลือกศึกษาต่ออยู่ภายใต้กรอบข้อบังคับหรือระเบียบตามเกณฑ์และคุณสมบัติในสาขานั้น ๆ ให้นักศึกษามีโอกาสเลือกจะเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษามากขึ้น การกำหนดกลยุทธ์หรือเป้าหมายของสถาบันอุดมศึกษาเพื่อวางแผนการคัดเลือกนักศึกษาเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาโดยเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจของนักศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือเป็นสถาบันการศึกษามีการจัดการเรียนการสอนและผลิตบัณฑิตทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีองค์ความรู้ทางวิชาการและการพัฒนาเทคโนโลยี มีการพัฒนางานวิจัย การศึกษาจัดการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สำหรับปีการศึกษา 2564 มีหลักสูตรทั้งหมด 88 หลักสูตร ปริญญาเอก มีจำนวน 31 หลักสูตร ปริญญาโท มีจำนวน 57 หลักสูตร การรับสมัครนักศึกษาใหม่เป็นกระบวนการหนึ่งที่มหาวิทยาลัยจัดการดำเนินงาน ซึ่งในแต่ละปีมีจำนวนผู้สมัครแตกต่างกัน และโดยสถานการณ์ปัจจุบันผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาการพยากรณ์จำนวนผู้สมัครเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อการวางแผนและตัดสินใจ ในการกำหนดทิศทางการรับสมัคร ทั้งนี้การพยากรณ์จำนวนผู้สมัครระดับบัณฑิตศึกษาที่แม่นยำเป็นส่วนช่วยการดำเนินการจัดงบประมาณและประชาสัมพันธ์การรับสมัครนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจำนวนผู้สมัครเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือด้วยวิธีการของบอซซ์-เจนกินส์
2. เพื่อหาค่าพยากรณ์จำนวนผู้สมัครเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ เป็นจำนวนผู้สมัครเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา จำแนกเป็นผู้สมัครระดับปริญญาเอก และผู้สมัครปริญญาโท โดยภาคการศึกษาที่ 1 แบ่งตามช่วงเวลาของการรับสมัคร และผู้สมัครในภาคการศึกษาที่ 2 ตั้งแต่ปีการศึกษา 2555-2564 จำนวน 38 ค่า

2. การสร้างตัวแบบการพยากรณ์โดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ทำโดยการตรวจสอบคุณสมบัติฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) โดยตัวแบบนี้ทำการประมาณการค่าพารามิเตอร์และพยากรณ์ค่าของตัวแปรโดยอาศัยข้อมูลในอดีตและค่าความคลาดเคลื่อน (residual) ของตัวแปรนั้น ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (Moving average part (q)) และที่เป็นส่วนถดถอย (autoregressive part (p)) (Alzahrani et al., 2020) (Aditya et al., 2021) (Mohamed, 2020) (Al-Gounmeein & Mohd, 2020) (Schaffer et al., 2021) สำหรับส่วนของ autoregressive process ซึ่งแสดงด้วย AR(p) โดยแสดงสมการต่อไปนี้

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

โดยกำหนดให้ $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

ทำการนิยาม L^n เป็นช่วงเวลาที่ถอยหลังไปในอดีตจำนวน n ช่วงเวลา ดังนั้นจึงสามารถแสดงสมการที่ (1) ได้ดังนี้

$$y_t (1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2 - \dots - \phi_p L^p) = \varepsilon_t, \quad (2)$$

และสามารถเขียนในรูปแบบย่อ ได้โดย

$$\phi(L) y_t = \varepsilon_t. \quad (3)$$

สำหรับในส่วน of ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (moving average process) ซึ่งแสดงด้วย MA(q) โดยเป็นส่วนที่แสดงถึงอิทธิพลของค่าความคลาดเคลื่อนของ y สามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$y_t = \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q}. \quad (4)$$

ซึ่งสามารถเขียนในรูปของช่วงเวลาที่ถอยหลังไปในอดีตจำนวน n ช่วงเวลา ได้ดังนี้

$$y_t = \varepsilon_t (1 + \theta_1 L + \theta_2 L^2 + \dots + \theta_q L^q), \quad (5)$$

และเมื่อกำหนดให้ $\theta_0 = 1$ สมการที่ (5) สามารถแสดงในรูปแบบย่อ ได้โดย

$$y_t = \theta(L) \varepsilon_t. \quad (6)$$

ทำการรวมสมการที่ (3) และสมการที่ (6) จะได้ตัวแบบ ARIMA ดังนี้

$$\phi(L)y_t = \theta(L)\varepsilon_t. \quad (7)$$

และเพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขความหยุดนิ่งของข้อมูล (Stationary) จึงกำหนดให้ $(1-L)^d$ แทนการนำผลต่างลำดับที่ d ดังนั้นจึงแสดงตัวแบบ ARIMA (p,l,q) ได้ด้วย

$$\phi(L)(1-L)^d y_t = \theta(L)\varepsilon_t. \quad (8)$$

การสร้างและการหาคุณภาพเครื่องมือ โดยการกำหนดค่าที่เหมาะสมและทำการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบเพื่อใช้พยากรณ์ ด้วย ค่า R-squared ค่า Akaike info criterion (AIC) ค่า F-statistic รวมทั้งความเสถียรของตัวแบบด้วยการคำนวณหาตำแหน่ง ของ AR และ MA สำหรับการกำหนดค่า จะอาศัยหลักเกณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดค่า p และค่า q ด้วยที่ได้จาก ACF และ PACF

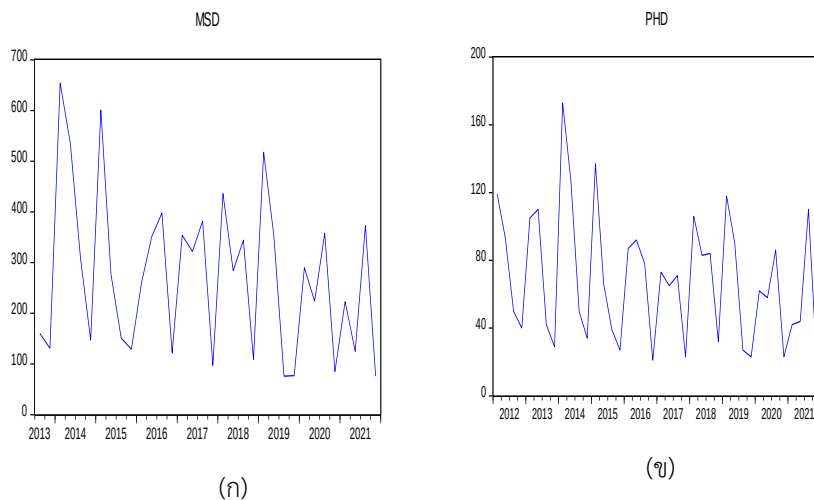
ชนิดของตัวแบบ	รูปแบบของ ACF	รูปแบบของ PACF
AR(p)	ลู็โค้งเข้าหาแกน	เกิดค่าที่ชัดเจนเพียง p ค่าแล้วหายไป
MA(q)	เกิดค่าที่ชัดเจนเพียง q ค่าแล้วหายไป	ลู็โค้งเข้าหาแกน
ARMA(p,q)	ลู็โค้งเข้าหาแกน	ลู็โค้งเข้าหาแกน

Gujarati (2003)

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลจากการนำข้อมูลผู้สมัครเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา จำแนกเป็นระดับปริญญาเอก และปริญญาโท ได้แก่ จำนวนผู้สมัครที่เข้าศึกษาในแต่ละรอบที่รับสมัคร ในระดับปริญญาโทและระดับปริญญาเอก มาจัดเรียงให้อยู่ในรูปแบบที่สอดคล้องกับความต้องการของตัวแบบที่ใช้ในการพยากรณ์โดยข้อมูลที่นำมาใช้พยากรณ์ คือจำนวนผู้สมัครระดับปริญญาโทและจำนวนผู้สมัครระดับปริญญาเอก ปีการศึกษา 2555-2564 จำนวน 38 ค่า ในการวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยได้ใช้ตัวแบบ ARIMA ภายใต้หลักการของ Box-Jenkins โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์จะมีการแปลงค่าด้วยการทำส่วนต่างลำดับที่หนึ่ง (first difference) เพื่อให้ข้อมูลมีลักษณะที่หยุดนิ่ง (Stationary) สำหรับสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าความหยุดนิ่งของข้อมูลด้วย Augmented Dickey Fuller (ADF) การกำหนดค่า p ด้วยค่าที่ได้จาก Autocorrelation function (ACF) และกำหนดค่า q ด้วยค่าที่ได้จาก Partial autocorrelation function (PACF) นอกจากนั้นในการคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสม ได้มีการใช้ค่า R-squared Akaike info criterion (AIC) และ F-statistic

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ก่อนการวิเคราะห์เพื่อกำหนดตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการพยากรณ์จำนวนผู้สมัครเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ผู้วิจัยได้มีการนำข้อมูลที่รวบรวมได้ ซึ่งมีรูปแบบแสดงดังภาพที่ 1 มาทำการทดสอบความหยุดนิ่งของข้อมูลด้วยค่าสถิติ Dickey-Fuller ซึ่งปรากฏว่าข้อมูลไม่มีความหยุดนิ่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการแปลงข้อมูลด้วยการทำการหาค่าส่วนต่างลำดับที่หนึ่ง ซึ่งปรากฏว่าข้อมูลที่ได้หลังจากการแปลงค่านั้นมีการหยุดนิ่งตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ตามหลักของ Box-Jenkins โดยค่าสถิติ Dickey-Fuller แสดงในตารางที่ 2

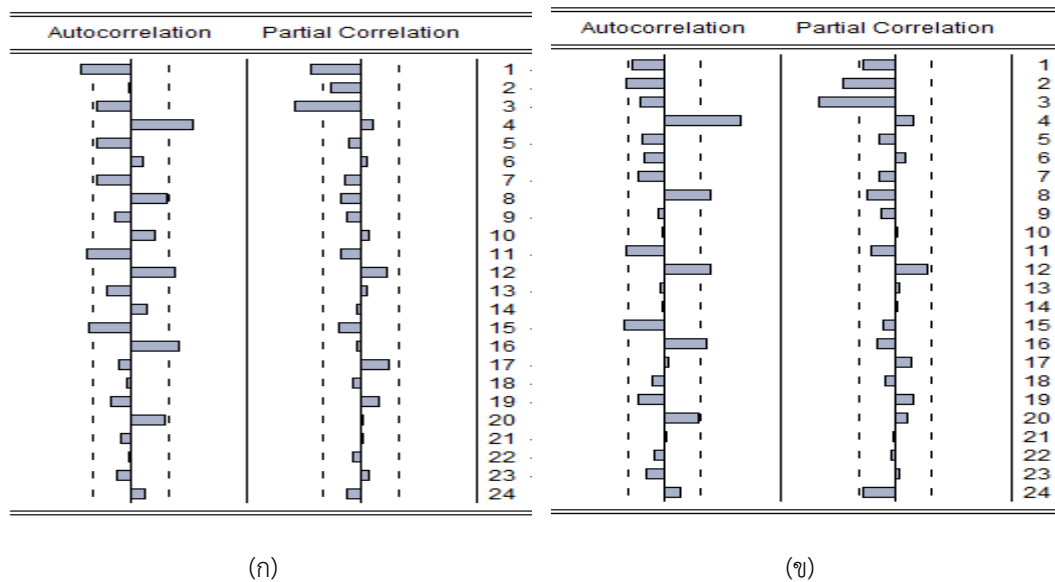


ภาพที่ 1 รูปแบบข้อมูล (ก) ผู้สมัครระดับปริญญาโท (ข) ผู้สมัครระดับปริญญาเอก

ตารางที่ 2 ค่าสถิติ Dickey-Fuller

		MSD		PHD	
		t-Statistic	Prob.	t-Statistic	Prob.
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-10.88821	0.0000	-13.67617	0.0000
Test critical values:	1% level	-2.644302		-2.630762	
	5% level	-1.952473		-1.950394	
	10% level	-1.610211		-1.611202	

สำหรับค่าที่ได้จาก Autocorrelation function (ACF) และ Partial autocorrelation function (PACF) เพื่อใช้ในการกำหนดค่า p และ ค่า q แสดงดังภาพที่ 2



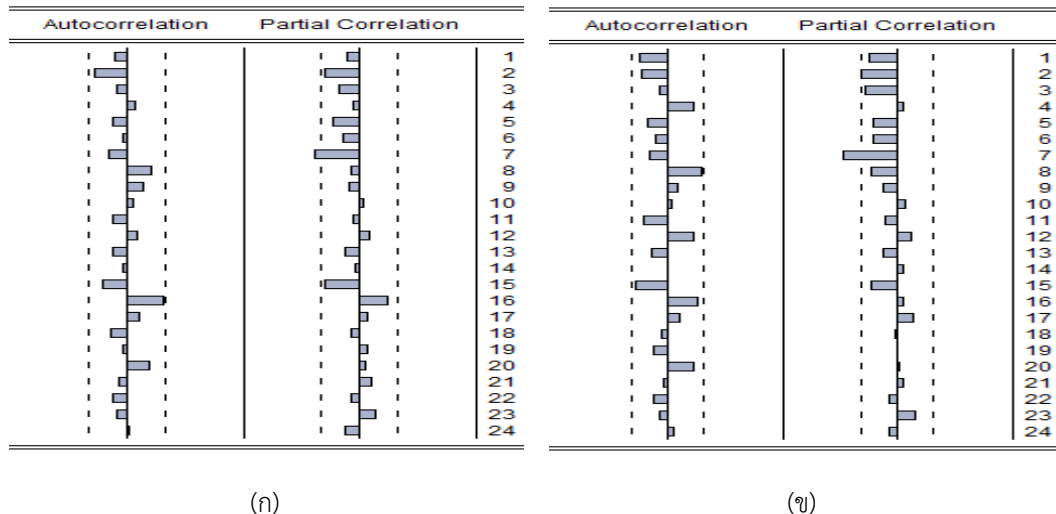
ภาพที่ 2 Autocorrelation function (ACF) และ Partial autocorrelation function (PACF) สำหรับ (ก) ผู้สมัครระดับปริญญาโท (ข) ผู้สมัครระดับปริญญาเอก

จากภาพที่ 2 ผู้วิจัยจึงกำหนดตัวแบบเพื่อทำการทดสอบ และให้ได้มาซึ่งตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ จำนวนผู้สมัครในระดับปริญญาโทและระดับปริญญาเอก ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวแบบ ARIMA สำหรับการทดสอบ

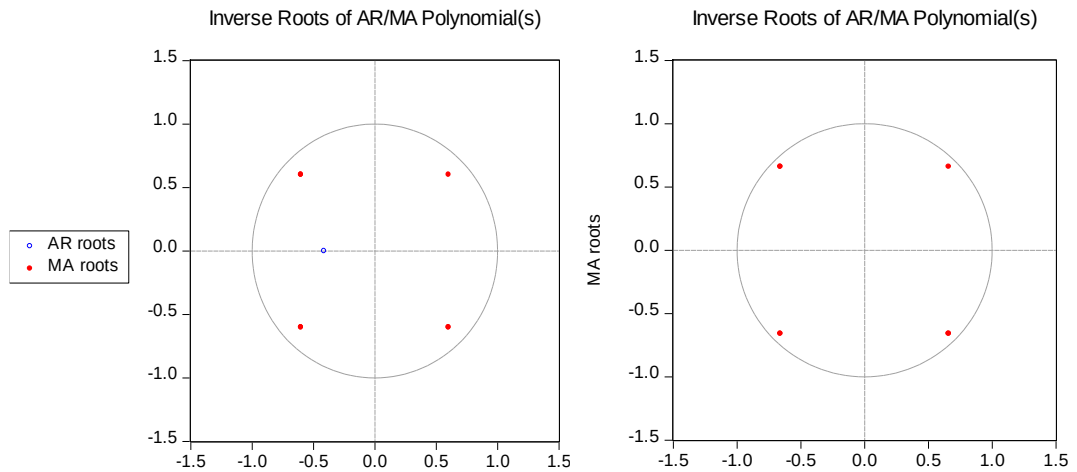
Models	R-squared	Akaike info criterion (AIC)	F-statistic	P-value
ปริญญาโท				
ARIMA(1,1,0)	0.214919	13.64929	4.106302	0.026529
ARIMA(0,1,4)	0.321562	13.53785	7.109600	0.002969
ARIMA(1,1,4)	0.441462	13.40704	7.640415	0.000654
ปริญญาเอก				
ARIMA(0,1,4)	0.488401	10.35828	17.18382	0.000006
ARIMA(2,1,2)	0.332792	10.62258	5.819129	0.002459
ARIMA(3,1,2)	0.313423	10.70534	5.325835	0.003954

จากข้อมูลในตารางที่ 3 พบว่าตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ผู้สมัครระดับปริญญาโท ได้แก่ ARIMA (1,1,4) และตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ผู้สมัครระดับปริญญาเอก ได้แก่ ARIMA (0,1,4) อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้ทดสอบลักษณะของค่าความคลาดเคลื่อน (residuals) ว่ามีลักษณะที่เป็น white noise หรือไม่ซึ่งค่า Autocorrelation function (ACF) และ Partial autocorrelation function (PACF) ของตัวแบบ ARIMA (1,1,4) และตัวแบบที่ ARIMA (0,1,4) แสดงดังภาพที่ 3

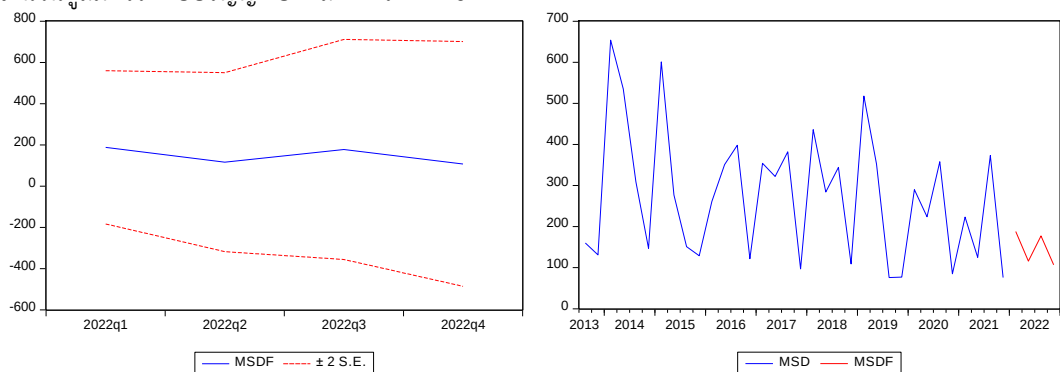


ภาพที่ 3 ค่าความคลาดเคลื่อนของ (ก) ตัวแบบ ARIMA (1,1,4) และ (ข) ตัวแบบที่ ARIMA (0,1,4)

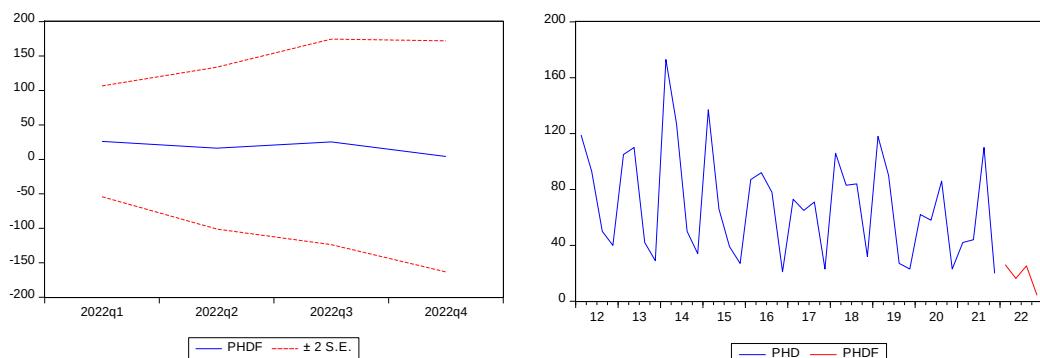
โดยจากผลการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนเพียงหนึ่งช่วงเวลาของแต่ละตัวแบบออกจากขอบเขตบนหรือขอบเขตล่าง ซึ่งทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีลักษณะที่เป็น white noise ที่ไม่สมบูรณ์ตัวแบบทั้งสองมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการพยากรณ์จำนวนผู้สมัครระดับปริญญาโทและระดับปริญญาเอกในลำดับต่อไป ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบด้วยการคำนวณหาตำแหน่งของราก ของ AR และ MA ซึ่งผลจากการคำนวณพบว่ารากของ AR และ MA ของทั้งสองตัวแบบที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์อยู่ในตำแหน่งเหมาะสม ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความเสถียรของ (ก) ตัวแบบ ARIMA (1,1,4) และ (ข) ตัวแบบที่ ARIMA (0,1,4) สำหรับผลการพยากรณ์จำนวนผู้สมัครระดับปริญญาโทแสดงดังภาพที่ 5 และผลการพยากรณ์จำนวนผู้สมัครระดับปริญญาเอกแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ผลการพยากรณ์จำนวนผู้สมัครระดับปริญญาโท ด้วยตัวแบบ ARIMA (1,1,4)



ภาพที่ 6 ผลการพยากรณ์จำนวนผู้สมัครระดับปริญญาเอก ด้วยตัวแบบ ARIMA (0,1,4)

ผลจากการพยากรณ์จำนวนผู้สมัครระดับปริญญาโทซึ่งแสดงดังภาพที่ 5 พบว่าในช่วงเวลาแรกของการพยากรณ์ผู้สมัครระดับบัณฑิตศึกษาปีการศึกษา 2565 จะมีจำนวนผู้สมัครระดับปริญญาโทจำนวน 589 คน

และจำนวนผู้สมัครระดับปริญญาเอกจำนวน 71 คน อย่างไรก็ตามจำนวนผู้สมัครจะมีแนวโน้มลดลง ในช่วงของการพยากรณ์ สำหรับผลจากการพยากรณ์จำนวนผู้สมัครระดับปริญญาเอกซึ่งแสดงดังภาพที่ 6 พบว่าในช่วงเวลาแรกของการพยากรณ์ ช่วงที่ 1 ของปีการศึกษา 2565 จะมีจำนวนผู้สมัครเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยผันผวนขึ้นลง ซึ่งมีแนวโน้มลดลงคล้ายกับจำนวนผู้สมัครระดับปริญญาโท

สรุป

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาทำให้ทราบว่าจำนวนผู้สมัครระดับบัณฑิตศึกษามีลักษณะแนวโน้มที่ลดลงโดยการศึกษาการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลอง ARIMA ด้วยวิธี Box-Jenkins ค่าสหสัมพันธ์ข้อมูลมีลักษณะของผู้สมัครทั้งระดับปริญญาเอก และปริญญาโท ลดลงซึ่งแสดงให้เห็นข้อมูลของช่วงเวลา การวิเคราะห์ ตัวแบบจำลอง ARIMA หลายตัวแบบและคัดตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดการพยากรณ์ผู้สมัครระดับบัณฑิตศึกษา กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พบว่า แบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ผู้สมัครระดับปริญญาโท ได้แก่ ARIMA (1,1,4) และการพยากรณ์ผู้สมัครระดับปริญญาเอก ได้แก่ ARIMA (0,1,4) ผลจากการพยากรณ์พบว่าจำนวนผู้สมัครปีการศึกษา 2565 ของระดับปริญญาโทมีจำนวน 589 คน และระดับปริญญาเอกมีจำนวน 71 คน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งนี้

1. ผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำผลการพยากรณ์ผู้สมัครระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนและกำหนดทิศทางการรับสมัครในระดับบัณฑิตศึกษาได้

2. การเก็บรวบรวมข้อมูลขนาดใหญ่หรือเพิ่มช่วงเวลาของการรับสมัครเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานจะทำให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมโดยมีการเพิ่มตัวแปรภายนอกอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่อการพยากรณ์จำนวนผู้สมัครระดับบัณฑิตศึกษา และหาเทคนิคการพยากรณ์อื่น ๆ ที่อาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. (2551). **กรอบแผนอุดมศึกษาระยะยาว 15 ปี ฉบับที่ 2**

(พ.ศ.2551-2565). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงศึกษาธิการ.

สำนักมาตรฐานและประเมินผลอุดมศึกษา. (2560). **เกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2558.**

กรุงเทพมหานคร: กระทรวงศึกษาธิการ.

Aditya, S., Christophorus, B., William, D., Bellatasya, U., & Novita, H. (2021). Time Series Analysis and Forecasting of Coronavirus Disease in Indonesia Using ARIMA Model and PROPHET. **Procedia Computer Science**, (179), 524–532.

- Al-Gounmeein, Remal S., & Mohd T. (2020). Forecasting the Exchange Rate of the Jordanian Dinar versus the US Dollar Using a Box-Jenkins Seasonal ARIMA Model. **International Journal of Mathematics and Computer Science**, 15(1), 27–40.
- Alzahrani, Saleh A., & Ebrahim A. (2020). Forecasting the Spread of the COVID-19 Pandemic in Saudi Arabia Using ARIMA Prediction Model under Current Public Health Interventions. **Journal of Infection and Public Health**, 13(7), 914–919.
- Gujarati, Damodar N. (2003). **Basic Econometrics**. 4thed. New York: McGraw-Hill.
- Mohamed, Jama. (2020). Time Series Modeling and Forecasting of Somaliland Consumer Price Index: A Comparison of ARIMA and Regression with ARIMA Errors. **American Journal of Theoretical and Applied Statistics**, 9(4), 143.
- Schaffer, Andrea D., & Sallie-Anne P. (2021). Interrupted Time Series Analysis Using Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Models: A Guide for Evaluating Large-Scale Health Interventions. **BMC Medical Research Methodology**, 21(1), 58.

ความต้านทานไฟฟ้าของถ่านกัมมันต์จากการเตรียมด้วยเปลือกพืชตระกูลแตงที่ใช้ตัวกระตุ้นที่แตกต่างกัน

กาญจนาพร อ่อนทรายแก้ว¹ ปรีชา ปัญญา^{2*}

Received : November 1, 2021

Revised : December 27, 2021

Accepted : December 29, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวกระตุ้นที่เหมาะสมในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตง จากแตงโม แคนตาลูป และแตงไทย และเพื่อนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้เป็นขั้วไฟฟ้า โดยทำการศึกษาศักยภาพของตัวกระตุ้น ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรดทาร์ทาริก โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด หาพื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์จากสมการไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ของการดูดซับเมทิลีนบลู และทดสอบความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัดค่าความต้านทานแบบเพิ่ม ผลการศึกษา พบว่า สำหรับเปลือกแตงโม เปลือกแคนตาลูป และเปลือกแตงไทยที่ถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์สามารถเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงสุด โดยมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 139, 162 และ 110 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับค่าความต้านทานไฟฟ้า สรุปได้ว่าจากลักษณะพื้นที่ผิวที่สูงและขนาดรูพรุนในถ่านกัมมันต์สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบในซูเปอร์คาปาซิเตอร์ได้

คำสำคัญ: ความต้านทานไฟฟ้า ถ่านกัมมันต์ เปลือกพืชตระกูลแตง พื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์ ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์

¹ นักศึกษา หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร อีเมล: tangkua.kanjanaporn@gmail.com

² รองศาสตราจารย์ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร อีเมล: preecha@kpru.ac.th

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล: preecha@kpru.ac.th

ELECTROCHEMICAL RESISTANCE OF ACTIVATED CARBONS FROM PREPARATION WITH CUCURBIT PEEL ACTIVATED BY DIFFERENT ACTIVATORS

Kanjanaporn Onsaikaew¹ Preecha Panya^{2*}

Abstract

The purpose of this research was to study appropriate activators for preparing activated carbons from peels of cucurbits, watermelon, cantaloupe and muskmelon and to prepare electrochemical resistance via chemical activation, in which zinc chloride (ZnCl_2), potassium hydroxide (KOH) and tartaric acid ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$) were used as activators. The surface morphology and pore size of the activated carbon were characterized by scanning electron microscope (SEM). Langmuir isotherm of methylene blue adsorption was conducted to identify the surface area value of the activated carbon. The electrochemical resistance was tested by analog multimeter. The results showed that the activated carbon from watermelon peel, cantaloupe peel and muskmelon peel activated by ZnCl_2 presents the highest surface area of 139, 162 and 110 m^2/g , respectively. The results were corresponded with the electrochemical resistance values. This can be concluded that the appearance of higher surface area and pore size in activated carbon was applied for supercapacitor composition.

Keywords: Electrochemical resistance, Activated carbon, Cucurbit peel, Surface area of activated carbon, Langmuir isotherm

¹ Bachelor of Education Program in Chemistry, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet Province, e-mail: tangkua.kanjanaporn@gmail.com

² Associate Professor in Chemistry, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet Province, e-mail: preecha@kpru.ac.th

* Corresponding author, e-mail: preecha@kpru.ac.th

บทนำ

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติหรืออินทรีย์วัตถุซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก มาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ (Activation process) จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง และมีสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี มีพื้นที่ผิวมากและมีความพรุน จึงมีความสามารถในการดูดซับสูง (Mahaninia et al., 2015) โดยถ่านกัมมันต์สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบทุกชนิดที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ถ่านหิน หรือวัสดุชีวมวลต่างๆ ได้แก่ กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และไม้ แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันได้มีความพยายามหาวัสดุทางเลือกใหม่ ๆ ที่มีราคาต่ำ หาได้ง่าย หรือเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เช่น ขานอ้อย ฟางข้าว เปลือกถั่วพิทาชิโอ เปลือกถั่วแมคคาเดเมีย ยางรถยนต์ หรือกากตะกอนน้ำเสีย เป็นต้น

ปัจจุบันการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับความต้องการในการนำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้ วิธีการโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เช่น การบด การอบแห้ง การทำให้เป็นเม็ด แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนการกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ (ธีระ วงศ์เนตร และปรีชา ปัญญา, 2554) ซึ่งการกระตุ้นแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) และการกระตุ้นทางเคมี (Chemical activation) โดยการกระตุ้นทางกายภาพเป็นการกระตุ้นโดยใช้แก๊ส เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกซิเจน (O_2) หรือไอน้ำ (Steam) ที่อุณหภูมิ 800 – 1,100 °C ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่พื้นผิวของคาร์บอน ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ และทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น ส่วนการกระตุ้นทางเคมีเป็นการเติมสารเคมี สารกระตุ้น หรือตัวกระตุ้น เช่น ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นต้น ลงไปผสมกับวัตถุดิบ แล้วนำตัวอย่างไปเข้าสู่กระบวนการคาร์บอนเซชันต่อไป (ยุวรัตน์ เงินเย็น และคณะ, 2561)

พืชตระกูลแตง (Cucurbit) เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญของโลก แตงที่รู้จักกันทั่วไป ได้แก่ แตงโม แคนตาลูป แตงไทย และเมล่อน เป็นต้น มีการปลูกและใช้ประโยชน์จากพืชในตระกูลนี้มานาน พืชตระกูลแตงเป็นผักที่มีความสำคัญเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการและการนำไปใช้ในการทำอาหาร แต่เปลือกที่ถูกทิ้งเป็นขยะของเสียทั้งระหว่างการบริโภคและการแปรรูปอันเนื่องมาจากเป็นพืชมีเปลือกหนาและเมล็ดใหญ่ ของเสียเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นสำหรับการกำจัด เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่ถูกนำไปใช้ประโยชน์มากนัก (Shetty et al., 2012)

ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ (Supercapacitor) หรือตัวเก็บประจุยิ่งยวด ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าที่มีรูพรุนที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง (Reece et al., 2019) โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญตัวหนึ่งที่ทำให้เกิดตัวเก็บประจุความจุสูงนี้ขึ้นมาได้ นั่นคือ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งมี 2 ชั้น คือ ชั้นแอโนดและชั้นแคโทด โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำหน้าที่เป็นไดอิเล็กตริก ด้วยคุณสมบัติที่พิเศษของถ่านกัมมันต์ เช่น พื้นที่จำเพาะสูง ค่าการนำไฟฟ้าที่สมดุล มีโครงสร้าง

เป็นรูปทรงปริมาณมากและมีความคงตัวสูงในสถานะที่เป็นกรด ทำให้เป็นวัสดุในอุดมคติสำหรับใช้ทำขั้วไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง การปรับโครงสร้างที่มีรูปทรงและการปรับเปลี่ยนพื้นผิวเป็นวิธีสำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของถ่านกัมมันต์ (Otgonbayar et al., 2021)

ที่ผ่านมา มีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยูคาลิปตัส (กนกวรรณ สิริอด และวรินราไพ เศรษฐ์ธนบุตร, 2561) ถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระเทียม และก้านพริก (ยุวรัตน์ เงินเย็น และคณะ, 2561) จากเปลือกมังคุด (สุภาพร รัตนพันธ์ และคณะ, 2557) จากเศษเปลือกแตงโม (Geçgel et al., 2019) และมีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการเตรียมถ่านกัมมันต์เพื่อประยุกต์ใช้เป็นซูเปอร์คาปาซิเตอร์ (Gandla et al., 2021; Elanthamilan et al., 2019; Wei et al., 2019; Sultan et al., 2019) แต่ยังไม่มีการศึกษาถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตงและนำไปประยุกต์ใช้เป็นขั้วไฟฟ้า ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในซูเปอร์คาปาซิเตอร์หรือตัวเก็บประจุยิ่งยวด

การประยุกต์ใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ได้แก่ อุปกรณ์สตาร์ทเครื่องยนต์ที่ต้องการกำลังสูงในเวลาอันสั้น และอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานที่ต้องการชาร์จอย่างรวดเร็ว อุปกรณ์ตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่มีในแบตเตอรี่รถยนต์ไฮบริด อุปกรณ์ส่งกำลังระเบิดในเซลล์เชื้อเพลิง อุปกรณ์สำหรับประจุฉุกเฉินในเครื่องบินแอร์บัส ซึ่งแม้ว่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์จะเก็บพลังงานได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ แต่ให้พลังงานอย่างรวดเร็วและแสดงพลังงานเฉพาะที่สูงมาก (Boulanger et al., 2021)

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกแตงโม แคนตาลูป และแตงไทย ซึ่งสามารถหาได้ง่ายตามตลาด และร้านขายผลไม้มาเป็นวัสดุตั้งต้นที่สำคัญในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้สารกระตุ้นทางเคมีที่ต่างกัน และนำไปประยุกต์ใช้เป็นขั้วไฟฟ้า โดยเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งสำหรับการผลิตถ่านกัมมันต์ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อไปใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาตัวกระตุ้นที่เหมาะสม ได้แก่ $ZnCl_2$, KOH และ $C_4H_6O_6$ ในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตง ได้แก่ เปลือกแตงโม แคนตาลูป และแตงไทย และหาพื้นที่ผิว วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์
2. เพื่อทดสอบความต้านทานไฟฟ้าของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตง

ล้างเปลือกแตงโม (Wm), แตงไทย (Mm) และแคนตาลูป (Cl) ด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดฝุ่นและสิ่งสกปรก นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

แล้วนำไปอบให้ละเอียดเป็นผง และร่อนด้วยตะแกรง นำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยใส่ในถ้วยระเหย ผสมวัตถุดิบกับตัวกระตุ้นต่างๆ ได้แก่ $ZnCl_2$, KOH และ $C_4H_6O_6$ ในอัตราส่วนโดยมวล 1:2 ผสมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้แท่งแม่เหล็กกวนสาร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ล้างถ่านกัมมันต์ด้วยน้ำกลั่น จนค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการล้างมีค่าคงที่ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นติดฉลากกำกับและนำไปเก็บไว้ในโถสุญญากาศ แล้วนำไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา และขนาดของรูพรุน และนำไปหาพื้นที่ผิวโดยวิธีการดูดซับสารเมทิลีนบลู

2. การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตง

ติดเทปคาร์บอนสองหน้าบนแท่นติดชิ้นงาน ตักตัวอย่างมาใส่ภาชนะ แล้วคว่ำแท่นติดชิ้นงานที่ติดเทปคาร์บอนสองหน้าให้ผิวหน้าของเทปคาร์บอนสองหน้าสัมผัสกับอนุภาค โดยระวางอย่าให้แท่นติดชิ้นงานกดทับอนุภาค เพราะจะทำให้อนุภาคผิดรูปและจมได้ จากนั้นใช้ลูกยางเป่าส่วนที่ไม่ติดออกไป แล้วนำไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-IT200 ประเทศญี่ปุ่น) เพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตง และวัดขนาดรูพรุนโดยใช้ SEM หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากทั้งหมด 5 ชิ้นงาน/ตัวอย่าง

3. การศึกษาหาพื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตง

3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเมทิลีนบลู

ชั่งเมทิลีนบลู ($C_{16}H_{18}N_8ClS \cdot 3H_2O$) มา 0.5 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 500 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร จากนั้นการเตรียมสารละลายมาตรฐานเมทิลีนบลู โดยเจือจางสารละลายให้เป็น 5, 10, 20 และ 40 ppm จากนั้นนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV-1800 ประเทศญี่ปุ่น) ที่ความยาวคลื่น 660 nm. บันทึกผลเพื่อสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของเมทิลีนบลู (แกน X) กับค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y)

3.2 การทดลองการดูดซับเมทิลีนบลู

เตรียมสารละลายมาตรฐานเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 ppm เพื่อทดลองการดูดซับเมทิลีนบลูโดยการทดลองแบบแบตช์ (Batch method) บนถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตงที่กระตุ้นด้วยตัวกระตุ้นที่แตกต่างกัน ชั่งถ่านกัมมันต์ 0.05 g (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ใส่ในขวดโพลีเอทิลีนขนาด 50 mL แล้วเติมสารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้นต่างๆ ที่เตรียมได้ลงในขวดที่มีถ่านกัมมันต์อยู่จำนวน 25 mL ปิดฝา แล้วนำไปผสมด้วยเครื่องหมุนแบบลูกกลิ้ง (Roller mixer ยี่ห้อ Stuart

รุ่น SRT6D ประเทศอังกฤษ) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (จากผลการทดลองเวลาเข้าสู่ภาวะสมดุลของการดูดซับ) เมื่อครบกำหนดเวลา นำสารละลายทั้งหมดไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 660 nm. คำนวณปริมาณการดูดซับเมทิลีนบลูตามสมการ (1) (ปรีชา ปัญญา, 2557; ทิชากร สอนใจดี และปรีชา ปัญญา, 2559)

$$q = \frac{(C_i - C_{eq}) \times V}{1000 \times m} \quad (1)$$

เมื่อ q = ปริมาณการดูดซับของสารละลายเมทิลีนบลูต่อ 1 กรัมของถ่านกัมมันต์ (mg/g)

C_i = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมทิลีนบลู (mg/L)

C_{eq} = ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายเมทิลีนบลู (mg/L)

V = ปริมาตรสารละลายเมทิลีนบลูที่ใช้ (mL)

m = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ (g)

สูตรการคำนวณสำหรับไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ดังสมการ (2)

$$\frac{C_{eq}}{q} = \frac{C_{eq}}{N_M} + \frac{1}{K_L N_M} \quad (2)$$

เมื่อ q = ปริมาณการดูดซับของสารละลายเมทิลีนบลูต่อ 1 กรัมของถ่านกัมมันต์ (mg/g)

C_{eq} = ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายเมทิลีนบลู (mg/L)

N_M = จำนวนเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับขึ้นเดียวต่อ 1 กรัมของถ่านกัมมันต์ (mg/g)

K_L = ค่าคงที่ของการดูดซับแบบแลงเมียร์

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองการดูดซับเมทิลีนบลูไปพล็อตกราฟตามสมการไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ โดยให้ C_{eq}/q เป็นแกน y และ C_{eq} เป็นแกน x โดยกราฟที่ได้ค่า r^2 จะต้องมีความเข้าใกล้ 1 จะได้ค่าความชัน (Slope) เท่ากับ $1/N_M$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $1/K_L N_M$ ซึ่งสามารถคำนวณหาจำนวนเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับขึ้นเดียว (N_M) จากสมการ 3

$$N_M = \frac{1}{\text{Slope}} \quad (3)$$

3.3 การคำนวณค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือกพีชตระกูลแดงจากไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์

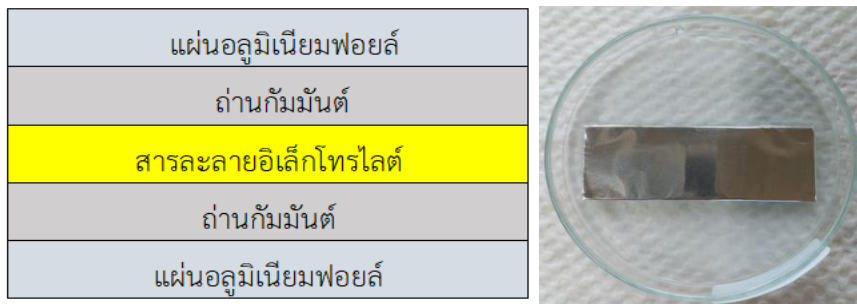
จากสมการ (3) จะได้ค่า N_M แล้วนำค่า N_M ที่ได้ไปแทนลงในสมการที่ (4) เมื่อคำนวณออกมาจะได้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (S_{MB}) (Pashley & Karaman, 2004; Nunes & Guerreiro, 2011; ทิชากร สอนใจดี และปรีชา ปัญญา, 2559)

$$S_{MB} = \frac{N_M \cdot a_{MB} \cdot N_A}{M} \quad (4)$$

- เมื่อ S_{MB} = พื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ต่อ 1 กรัมของถ่านกัมมันต์ (m^2/g)
- N_M = จำนวนเมทิลีนบลูที่ถูกดูดซับขึ้นเดียว (mg/g)
- a_{MB} = ค่าพื้นที่ผิวที่ครอบครองเมทิลีนบลู 1 โมเลกุล = $197.2 \times 10^{-20} m^2$
- N_A = เลขอาโวกาโดร = $6.02 \times 10^{-23} (mol^{-1})$
- M = มวลโมเลกุลของเมทิลีนบลู 373.9 (g/mol)

4. การเตรียมขั้วไฟฟ้าและการทดสอบค่าความต้านทาน

นำตัวอย่างถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตงผสมกับแกรไฟต์ และโพลีเตตระฟลูออไรด์ (Polyvinylidene fluoride, PVDF) ในอัตราส่วนโดยมวล 85:10:5 จากนั้นเติมอะซิโตน ปริมาณ 90 mL แล้วผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ $35^\circ C$ โดยใช้แท่งแม่เหล็กกวนสาร แล้วนำสารละลายที่ได้มาเคลือบลงบนแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $80^\circ C$ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ตัดขั้วไฟฟ้าให้ได้ขนาด $1 cm^2$ จากนั้นเตรียมเซลล์ไฟฟ้าเคมี ดังภาพที่ 1 โดยใช้ 6.0 M KOH เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยหยดลงในระหว่างชั้นของถ่านกัมมันต์ นำไปทดสอบค่าความต้านทานด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์แบบเข็ม (Analog multimeter ยี่ห้อ SPA รุ่น YX-360TRE-B ประเทศจีน) (Sultan et al, 2019)



ภาพที่ 1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์เพื่อทดสอบค่าความต้านทาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

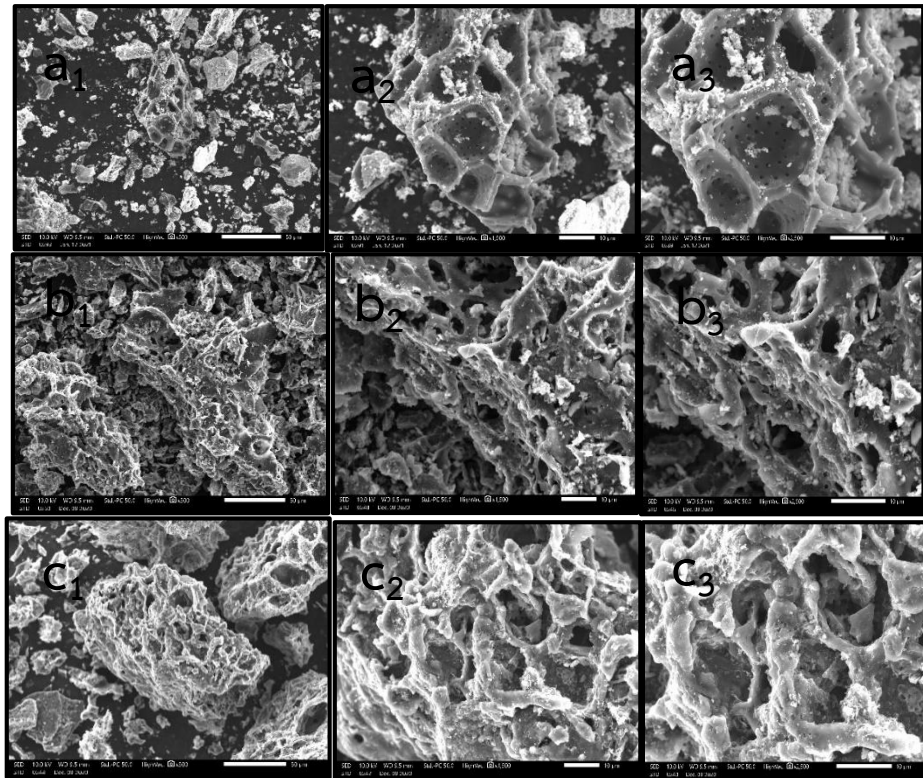
1. ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาของพื้นผิวถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากการนำตัวอย่างถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตงไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500, 1500 และ 2500 เท่า ได้ผลดังภาพที่ 2 – 4

500 เท่า

1500 เท่า

2500 เท่า



ภาพที่ 2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านกัมมันต์จากเปลือกแตงโม (Wm) ได้แก่ (a₁ - a₃) Wm-ZnCl₂, (b₁ - b₃) Wm-KOH และ (c₁ - c₃) และ Wm-C₄H₄O₆

จากภาพที่ 2 a₁ - a₃ แสดงให้เห็นพื้นผิวของ Wm-ZnCl₂ ที่มีขนาดรูพรุนที่เล็กจำนวนมาก โดยมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 0.63 μm (ตารางที่ 1) รูป b₁ - b₃ และ c₁ - c₃ แสดงให้เห็นพื้นผิวของ Wm-KOH และ Wm-C₄H₄O₆ ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่กว่า โดยมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 2.44 และ 2.74 μm ตามลำดับ

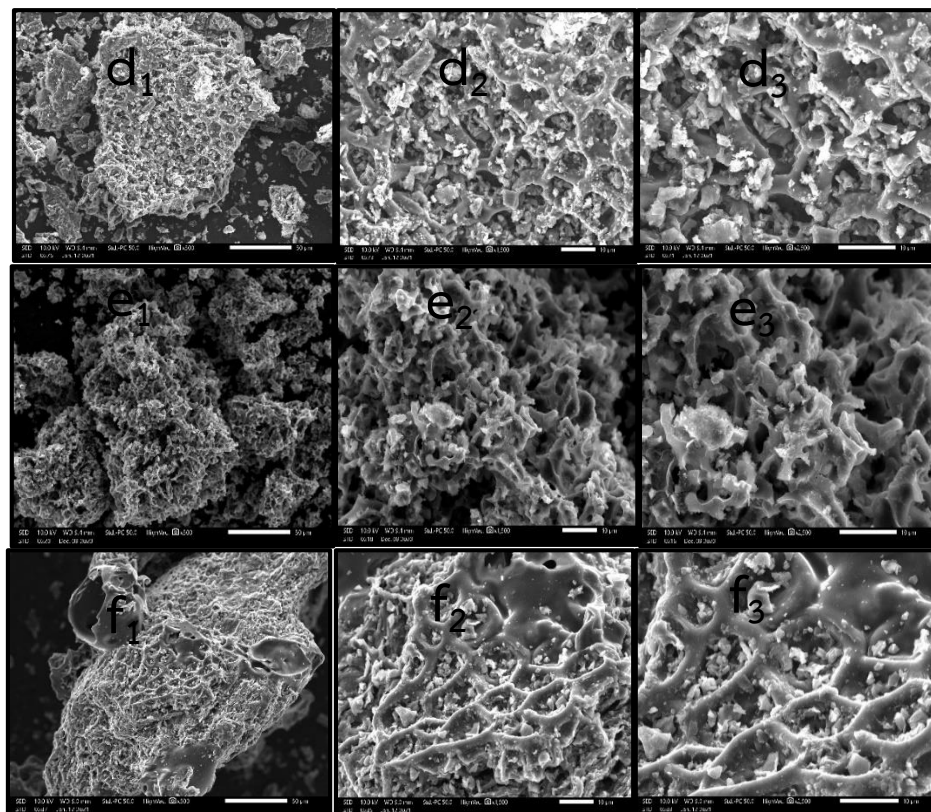
จากภาพที่ 3 d₁ - d₃ แสดงให้เห็นพื้นผิวของ Cl-ZnCl₂ ที่มีขนาดรูพรุนที่เล็ก โดยมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 0.81 μm รูป e₁ - e₃ แสดงให้เห็นพื้นผิวของ Cl-KOH ที่มีลักษณะคล้ายกับรังผึ้ง รูป f₁ - f₃ แสดงให้เห็นพื้นผิวของ Cl-C₄H₄O₆ ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่กว่าและมีการปรากฏค่อนข้างน้อย

จากภาพที่ 4 g₁ - g₃ แสดงให้เห็นพื้นผิวของ Mm-ZnCl₂ มีขนาดรูพรุนที่เล็กเฉลี่ยเท่ากับ 0.40 μm (ตารางที่ 1) รูป h₁ - h₃ แสดงให้เห็นพื้นผิวของ Mm-KOH ที่มีลักษณะคล้ายกับรังผึ้ง และรูพรุนที่มีลักษณะกลมซ้อนกันหลายๆ ชั้น รูป i₁ - i₃ แสดงให้เห็นพื้นผิวของ Mm-C₄H₄O₆ ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่กว่า

500 เท่า

1500 เท่า

2500 เท่า



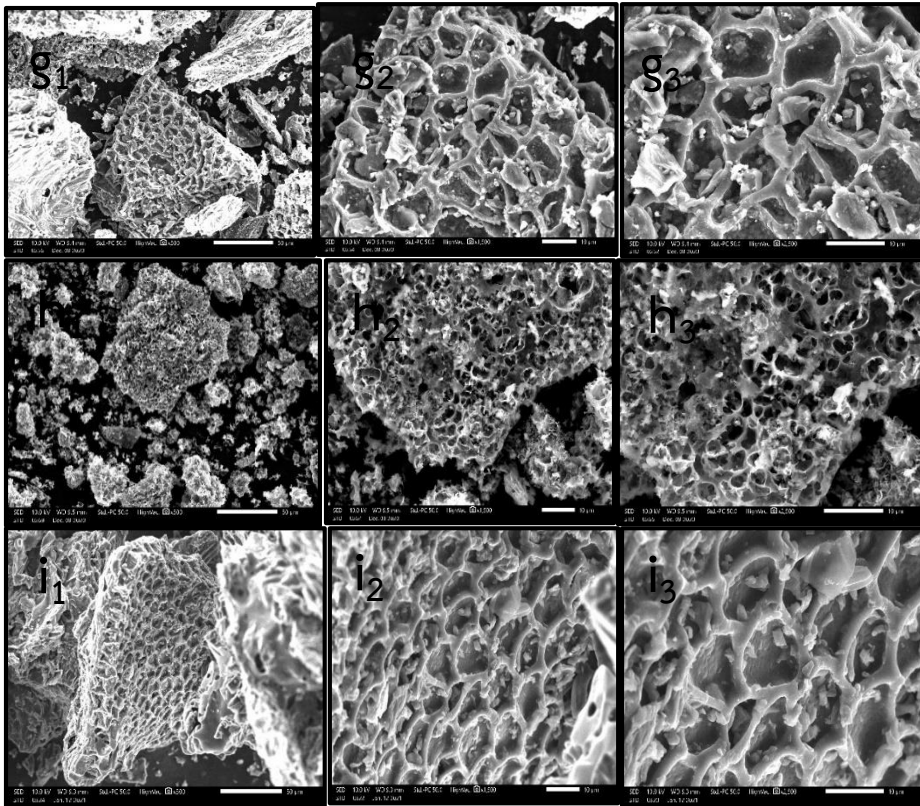
ภาพที่ 3 รูปที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านกัมมันต์จากเปลือกแคนตาลูป (CL) ได้แก่ (d₁ - d₃) Cl-ZnCl₂, (e₁ - e₃) Cl-KOH และ (f₁ - f₃) Cl-C₄H₄O₆

สำหรับขนาดรูพรุนที่ได้ตามตารางที่ 1 มีขนาดใกล้เคียงกับการศึกษาที่ผ่านมา โดย Rahmah et al. (2017) ได้รายงานขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์จากเปลือกกล้วยที่กระตุ้นด้วย NaOH อยู่ในช่วง 5-17 μm . สำหรับวัสดุชีวมวลชนิดเดียวกัน การใช้สภาวะในการกระตุ้นต่างกัน จะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติรูพรุนต่างกัน ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของสุโรชนี สกลดวงดี (2545) และสุนีย์ คุ่ยเสงี่ยม (2544) ใช้วัตถุดิบในการเตรียมถ่านกัมมันต์คือ กะลาปาล์มเหมือนกัน แต่ใช้สภาวะในการกระตุ้นต่างกัน ได้แก่ ชนิดของสารกระตุ้น อุณหภูมิ และเวลาในการกระตุ้น ทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติรูพรุนต่างกัน การกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ให้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวและค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ สอดคล้องกับงานวิจัยของภิเชกรุ่งโรจน์ชัยพร (2554) ที่รายงานว่าลักษณะรูพรุนและขนาดรูพรุนของวัสดุรูพรุนมีผลต่อพื้นที่ผิว โดยขนาดรูพรุนของวัสดุมีขนาดกลางจนถึงขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสูง ในทางตรงกันข้ามเมื่อขนาดของรูพรุนมีขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่พื้นที่ผิวจะมีค่าต่ำ

500 เท่า

1500 เท่า

2500 เท่า



ภาพที่ 4 รูปที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของถ่านกัมมันต์จากเปลือกแตงไทย (Mm) ได้แก่ (g₁ - g₃) Mm-ZnCl₂, (h₁ - h₃) Mm-KOH และ (i₁ - i₃) Mm-C₄H₄O₆

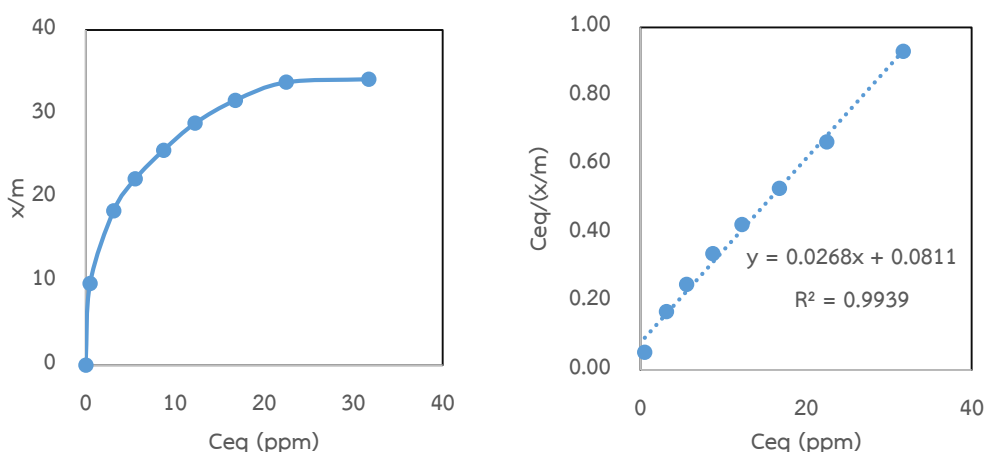
2. ผลการศึกษาพื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตง

จากการศึกษาวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตงโดยใช้วิธีการการดูดซับเมทิลีนบลูด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และใช้ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ในการคำนวณค่าพื้นที่ผิว มีตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 5

จากภาพที่ 5 ตัวอย่างไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลู และไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกแคนตาลูปที่กระตุ้นด้วยกรดทาร์ทาริก มีค่าความเป็นเส้นตรง ($R^2 = 0.9939$) และความชัน = 0.0268 นำไปแทนในสมการที่ 3 จะได้ N_M ดังนี้

$$\text{Slope} = 0.0268 \quad \text{g/mg}$$

$$N_M = 1/(0.0268) = 37.3134 \text{ mg/g} = 37.3134 \times 10^{-3} \text{ g/g}$$



ภาพที่ 5 ไอโซเทอร์มการดูดซับเมทิลีนบลู (ซ้าย) และไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (ขวา)
ของถ่านกัมมันต์จากเปลือกแคนตาลูปที่เตรียมได้จากตัวกระตุ้น $C_4H_6O_6$

แล้วนำค่า N_M ที่ได้ไปแทนลงในสมการที่ (4) เมื่อคำนวณออกมาจะได้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (S_{MB}) จากเปลือกแคนตาลูปที่เตรียมได้จากตัวกระตุ้น $C_4H_6O_6$ ดังนี้

$$S_{MB} = (37.3134 \times 10^{-3} \text{ g/g} \times 197.2 \times 10^{-20} \text{ m}^2 \times 6.02 \times 10^{-23} \text{ mol}^{-1}) / 373.9 \text{ g/mol} \\ = 118.47 \text{ m}^2/\text{g}$$

สำหรับการคำนวณพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ตัวอื่น ๆ ได้ผลดังตารางที่ 1 สำหรับเปลือกแตงโม เปลือกแคนตาลูป และเปลือกแตงไทย พบว่าซิงค์คลอไรด์สามารถเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงที่สุด โดยมีพื้นที่ผิว 139, 162 และ 110 m^2/g ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรดทาร์ทาริก ตามลำดับ พบว่าผลที่ได้อาจแตกต่างจากการศึกษาที่ผ่านมา (Geçgel et al., 2019) เนื่องจากผลของตัวแปรอื่น ๆ ในการเตรียมถ่านกัมมันต์ เช่น ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้กระตุ้น อุณหภูมิและเวลาในการคาร์บอนไนซ์ และวิธีการหาพื้นที่ผิวที่แตกต่างกัน เป็นต้น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของยุวรัตน์ เงินเย็น และชนิษฐา คำวิลัยศักดิ์ (2556) ที่รายงานไว้ว่าวัสดุชีวมวลมีองค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยชีวมวลแต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบเหล่านี้ต่างกัน ทำให้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีสมบัติรูพรุนต่างกัน เช่น งานวิจัยของสุจนีย์ คุ่ยเสียม (2544) ที่ทำการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวและกะลาปาล์ม โดยมีสภาวะการเตรียมเหมือนกัน พบว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลามะพร้าวมีพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนรวม และค่าการดูดซับไอโอดีนสูงกว่าถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกะลาปาล์ม

3. ผลการวัดค่าความต้านทานของขั้วไฟฟ้าที่เตรียมด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตง

จากการนำตัวอย่างถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตงที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าในซูเปอร์คาปาซิเตอร์ และนำไปทดสอบความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัดแบบเข็ม ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และค่าความต้านทานไฟฟ้าของถ่านกัมมันต์จากเปลือกพืชตระกูลแตง

ตัวอย่าง	S_{MB} (m^2/g)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (μm)	R (Ω)
Wm-ZnCl ₂	139.26±0.61	0.63±0.14	<0.10
Wm-KOH	127.51±0.52	2.44±0.21	<0.20
Wm-C ₄ H ₄ O ₆	126.00±0.50	2.74±0.30	12500
Cl-ZnCl ₂	162.00±0.83	0.81±0.15	<0.10
Cl-KOH	140.13±3.63	1.09±0.16	<0.10
Cl-C ₄ H ₄ O ₆	118.47±0.45	2.66±0.67	30000
Mm-ZnCl ₂	110.63±0.39	0.40±0.46	<0.10
Mm-KOH	109.86±0.38	1.87±0.25	<0.10
Mm-C ₄ H ₄ O ₆	91.24±0.26	4.34±0.34	32000

จากตารางที่ 1 พบว่า พบว่าขั้วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์ที่ถูกเตรียมด้วยเปลือกพืชตระกูลแตงโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการนำไฟฟ้าสูงที่สุด จึงเหมาะสมนำไปประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบในซูเปอร์คาปาซิเตอร์ได้ เนื่องจากมีความต้านทานที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยการกระตุ้นด้วยกรดทาร์ทาริก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Balbasi & Sahin (2015) ที่รายงานว่าขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมในซูเปอร์คาปาซิเตอร์ต้องมีค่าความต้านทานน้อยกว่า 1Ω และเมื่อพิจารณาขนาดรูพรุนจะพบว่า ขนาดที่เล็กกว่าจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าน้อยกว่าขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่า และขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่เล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวสูงกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wei et al., (2019) ที่รายงานว่าขนาดรูพรุนที่เล็กของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถลดความต้านทานได้

สรุป

1. ถ่านกัมมันต์ที่ถูกเตรียมด้วยเปลือกพืชตระกูลแตง ได้แก่ เปลือกแตงโม เปลือกแคนตาลูป และเปลือกแตงไทย โดยผ่านการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์ สามารถเตรียมถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงสุด โดยมีพื้นที่ผิว 139, 162 และ 110 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ การกระตุ้นด้วยสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรดทาร์ทาริก ตามลำดับ

2. ลักษณะรูพรุนและขนาดรูพรุนของวัสดุรูพรุนมีผลต่อพื้นที่ผิว โดยรูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรดทาร์ทาริก กล่าวได้ว่าเมื่อขนาดของรูพรุนมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่ผิวจะมีค่าสูงกว่า

3. ขั้วไฟฟ้าจากถ่านกัมมันต์ที่ถูกเตรียมด้วยเปลือกพืชตระกูลแตงโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยซิงค์คลอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการนำไฟฟ้าสูงที่สุดเนื่องจากมีความต้านทานที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้โดยการกระตุ้นด้วยกรดทาร์ทาริก ขนาดรูพรุนที่เล็กกว่าจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่า

ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาผลของตัวแปรอื่นๆในการเตรียมถ่านกัมมันต์ เช่น ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้กระตุ้น อุณหภูมิและเวลาในการกระตุ้น เป็นต้น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อสมบัติรูพรุนของถ่านกัมมันต์ และควรใช้วิธีการศึกษาหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์โดยวิธีอื่นเพื่อเปรียบเทียบ ได้แก่ วิธีบีอีที (BET) ที่ใช้การดูดซับแก๊สไนโตรเจน และควรใช้เครื่องมือที่สามารถทดสอบค่าความจุของเซลล์ไฟฟ้าที่เตรียมจากถ่านกัมมันต์

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ สิริอด, และวรินรา โพธิ์ศรีธนะบุตร. (2561). สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษไม้ยูคาลิปตัสโดยใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้น. *วารสารวิจัย มข.*, 19(3), 13-27.
- ทิชากร สอนใจดี, และปรีชา ปัญญา. (2559). การกำจัดฟีนอลโดยการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ที่ปรับปรุงด้วยเซทิลพริดีเนียมคลอไรด์. *สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.)*, 3(2), 69-76.
- ธีระ วงศ์เนตร, และปรีชา ปัญญา. (2554). การผลิตถ่านกัมมันต์จากเหง้ามันสำปะหลัง. *สัปดาห์ : วารสารการวิจัย*, 17, 13-20.
- ปรีชา ปัญญา. (2557). *เคมีพื้นผิว*. กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร. (2554). วัสดุรูพรุนคืออะไร. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, 20(1), 60-69.

- ยุวรัตน์ เงินเย็น, และชนิษฐา คำวิสัยศักดิ์. (2556). ถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลของประเทศไทย: การทบทวนวรรณกรรม. *วิศวกรรมสาร มข.*, 40(2), 267-283.
- ยุวรัตน์ เงินเย็น, วีรวิทย์ ผิวเรืองนนท์, และรัชพล อดนาชัย. (2561). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกกระท้อนและก้านพริก. *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, 4(2), 98-107.
- สุจรรย์ คู่ยเสงี่ยม. (2544). การกำจัดตะกั่วและปรอทจากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มและกะลามะพร้าว. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุภาพร รัตนพันธ์, เพ็ญภา เพ็งแจ่ม, และพินิตา กังซุ่น. (2557). การเตรียมและลักษณะจำเพาะของถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด. พัทลุง: มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- สุโรชนี สุกุลดวงดี. (2545). การเตรียมถ่านกัมมันต์และการทดสอบความชอบในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มโดยใช้สารละลายซิงค์คลอไรด์ในการกระตุ้น. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Balbasi, M., & Sahin, A. (2015). Symmetrical supercapacitor application with low activated carbon content. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (4), 683-692.
- Boulanger, N., Skrypnichuk, V., Nordenström, A., Moreno-Fernández, G., Granados-Moreno, M., Carriazo, D., Mysyk, R., Bracciale, G., Bondavalli, P., & Talyzin, A.V. (2021). Spray deposition of supercapacitor electrodes using environmentally friendly aqueous activated graphene and activated carbon dispersions for industrial implementation. *ChemElectroChem*, 8, 1349–1361.
- Elanthamilan, E., Rajkumar, S., Yesuraj, J., Premkumar, D., Kumaresan, M., Karthikeyan, K. & Princy, M.J. (2019). Low cost activated carbon derived from Cucumis melo fruit peel for electrochemical supercapacitor application. *Applied Surface Science*, 486, 527-538.
- Gandla, D., Wu, X., Zhang, F., Wu, C., & Tan, D.Q. (2021). High-performance and high-voltage supercapacitors based on N-doped mesoporous activated carbon derived from dragon fruit peels. *ACS Omega*, 6, 7615–7625.
- Geçgel, O., Ünal, G., & Yüksel, B. (2019). Preparation and characterization of mesoporous activated carbons from waste watermelon rind by using the chemical activation method with zinc chloride. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 3621-3627.

- Mahaninia M., Rahimian, P., & Kaghazchi, T. (2015). Modified activated carbons with amino groups and their copper adsorption properties in aqueous solution. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, 23, 50–56.
- Nunes, C.A., & Guerreiro, M.C. (2011). Estimation of surface area and pore volume of activated carbons by methylene blue and iodine numbers. **Química Nova**, 34(3), 472-476.
- Otgonbayar, Z., Yang, S., Kim, I.J., & Oh, W.C. (2021). Surface modification effect and electrochemical performance of LiOH-high surface activated carbon as a cathode material in EDLC. **Molecules**, 26, 2187-2015.
- Pashley, R. M., & Karaman, M. E. (2004). **Applied colloid and surface chemistry**. Chichester: John Wiley & Sons.
- Rahmah, A., Zainollah, A., Fitriani, O.A., Ramadhan, D.S., Cahayo, M., & Masruroh. (2017). EDLC type supercapacitor electrode based on banana peels activated carbon. **Indonesian Journal of Applied Physics**, 7 (1), 46-51.
- Reece, R., Lekakou, C., & Smith, P.A. (2019). A structural supercapacitor based on activated carbon fabric and a solid electrolyte. **Materials Science and Technology**, 35 (3), 368–375.
- Shetty, A.A., Rana, R., Buckseth, T., & Preetham, S.P. (2012). Waste utilization in cucurbits: A review. **Waste Biomass Valor**, 3, 363–368.
- Sultan, A., Ahsan, A., & Rafat, M. (2019). Supercapacitor performance of activated carbon derived from rotten carrot in aqueous, organic and ionic liquid based electrolytes. **Journal of Saudi Chemical Society**, 22, 993-1002.
- Wei, Q., Chen, Z., Cheng, Y., Wang, X., Yang, X., & Wang, Z. (2019). Preparation and electrochemical performance of orange peel based-activated carbons activated by different activators. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, 574, 221-227.

ภาคผนวก

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน กม.48 ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

โทรศัพท์ 0 2909 3036 โทรสาร 0 2909 3036 E-mail: rdi_journalsci@vru.ac.th Website http://rd.vru.ac.th

แบบนำส่งบทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่

วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. ข้าพเจ้าชื่อ (นาย, นาง, น.ส., ยศ) นามสกุล
2. วุฒิการศึกษาสูงสุด ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก
คุณวุฒิ สาขา
สถาบัน
☐ สำเร็จการศึกษา ☐ กำลังศึกษา ปีที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา วันที่
3. สถานะภาพของผู้นิพนธ์บทความวิจัย ☐ อาจารย์ ☐ นักศึกษาปริญญาเอก ☐ นักศึกษาปริญญาโท ☐ บุคคลทั่วไป
ตำแหน่งทางวิชาการ ตำแหน่งทางบริหาร
4. ชื่อหน่วยงาน/สถานที่ทำงาน
เลขที่ ถนน ซอย ตำบล/แขวง
อำเภอ/เขต จังหวัด รหัสไปรษณีย์
โทรศัพท์ โทรสาร
E-mail
5. ที่อยู่สำหรับติดต่อและจัดส่งเอกสาร
เลขที่ ถนน ซอย ตำบล/แขวง
อำเภอ/เขต จังหวัด รหัสไปรษณีย์
โทรศัพท์ โทรสาร
E-mail
มือถือ
6. มีความประสงค์ขอส่งบทความเรื่อง
ชื่อบทความ(ภาษาไทย)
ชื่อบทความ(ภาษาอังกฤษ)

เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสาร วิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ยังไม่เคยนำลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับใดๆ มาก่อน ทั้งนี้ ข้าพเจ้าได้ศึกษากฎเกณฑ์และคำแนะนำในการส่งบทความวิจัยเพื่อนำลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์แล้ว และยินดีปฏิบัติตามเงื่อนไขทุกประการ พร้อมนี้ข้าพเจ้าได้ชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นจำนวนเงิน 2,500 บาทเรียบร้อยแล้ว

โดยชำระเป็น ☐ โอนเงินผ่านทางธนาคารกรุงศรีอยุธยา สาขาย่อยนวนนคร ชื่อบัญชี สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 258-1-84630-3

ลงชื่อ.....ผู้นำส่งบทความวิจัย

(.....)

วันที่/...../.....

ระเบียบการตีพิมพ์บทความวิจัย
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

ในการส่งบทความวิจัยลงตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เพื่อให้การตีพิมพ์บทความวิจัยเป็นไปโดยเรียบร้อยได้มาตรฐาน TCI และเป็นประโยชน์ทั้งผู้ส่งบทความวิจัย ผู้ใช้ประโยชน์จากบทความวิจัย รวมทั้งสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในการจัดทำวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จึงได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์ในวารสารฯ ตลอดจนคำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับ ดังนี้

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์ในวารสาร

1. เป็นบทความวิจัยในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตามรูปแบบของต้นฉบับในข้อกำหนดของคำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
2. บทความวิจัยที่ส่งมาพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารต้องเป็นบทความวิจัยที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อนและไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
3. เนื้อหาในต้นฉบับควรเกิดจากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเอง ไม่ได้ลอกเลียนหรือตัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
4. ผู้ส่งบทความวิจัยต้องชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นจำนวนเงิน 2,500 บาท โดยสามารถโอนเงินผ่านบัญชี ธนาคารกรุงศรีอยุธยา สาขาย่อยนคร ช่อชัยภูมิ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 258-1-84630-3 พร้อมส่งสำเนาหลักฐานการชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารฯ ได้ 3 ช่องทาง ดังนี้
 - 4.1 ไปรษณีย์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เลขที่ 1 หมู่ที่ 20 กม.48 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180 โดยวงเล็บมุมซองว่า (ชำระค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์)
 - 4.2 โทรสาร 0 2909 3036
 - 4.3 E-mail address: rdi_journalsci@vru.ac.th หรือเว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/index>
5. ผู้เขียนบทความวิจัยต้องดำเนินการปรับแก้ไขบทความตามผลการอ่านประเมินของกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อย่างต่อเนื่องตลอดการตีพิมพ์ หากผู้เขียนบทความวิจัยซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าผู้นิพนธ์บทความไม่ปฏิบัติตามระเบียบการตีพิมพ์บทความวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ กองบรรณาธิการมีสิทธิ์แจ้งยกเลิกการพิจารณาตีพิมพ์บทความวิจัยโดยไม่คืนเงินค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
6. บทความวิจัยที่ส่งมาจะได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ต่อเมื่อได้ผ่านกระบวนการประเมินเห็นสมควรให้ตีพิมพ์เผยแพร่โดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์แต่งตั้งขึ้น อย่างน้อย 2 ท่าน

คำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับ วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

1. **การเตรียมต้นฉบับ** ต้นฉบับบทความวิจัยต้องจัดทำสำหรับกระดาษขนาด B5(JIS) (18.2 ซม. X 25.7 ซม.) ความยาว 15 หน้ากระดาษ ตามรูปแบบวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ พิมพ์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Word เวอร์ชัน 2007 ขึ้นไป
2. **การตั้งค่าหน้ากระดาษ** ระยะขอบกระดาษด้านบน (Top Margin) 2.54 เซนติเมตร ด้านซ้าย (Left Margin) ด้านขวา (Right Margin) และด้านล่าง (Bottom Margin) 2 เซนติเมตร
3. **รูปแบบตัวอักษร** ใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น ชื่อหัวข้อพิมพ์เป็นตัวหนา ขนาด 14 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ และเนื้อหาพิมพ์เป็นตัวปกติ ขนาด 14 Point จัดกระจายหน้ากระดาษ
4. **องค์ประกอบบทความวิจัยประกอบด้วย**
 - 4.1 **ชื่อเรื่อง** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกินภาษาละ 2 บรรทัด สามารถอธิบายสาระของเรื่องได้ตีรูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
 - 4.2 **ชื่อผู้นิพนธ์บทความ** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเต็มไม่ต้องระบุคำนำหน้าชื่อ ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลเรียงลำดับตามจำนวนผู้นิพนธ์บทความและใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้บนเลขยกเพื่อแสดงว่าเป็นผู้นิพนธ์หลัก รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ โดยใส่รายละเอียดที่อยู่ผู้นิพนธ์บทความและอีเมลผู้นิพนธ์หลักในเชิงอรรถ
 - 4.3 **ที่อยู่ผู้นิพนธ์บทความ** ใส่รายละเอียดในเชิงอรรถข้อความที่เขียนไว้ส่วนล่างของหน้ากระดาษและมีเส้นคั่นระหว่างเชิงอรรถกับตัวบทคัดย่อ (Abstract) อย่างชัดเจน โดยขีดเส้นคั่นจากริมกระดาษด้านซ้าย ไปทางด้านขวาประมาณ 1 นิ้ว หรือ 7 ตัวอักษร ใส่ตัวเลขกำกับไว้เหนือตัวอักษรตัวแรกเล็กน้อย ตัวเลขต้องตรงกับตัวเลขที่กำกับไว้กับชื่อผู้นิพนธ์บทความ ให้ระบุตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี) สถานที่ทำงาน หน่วยงานหรือสถาบัน และอีเมลแอตเดรส (E-mail Address) ของผู้นิพนธ์บทความทุกท่าน เช่น นักศึกษาระดับ.... สาขา.... คณะ มหาวิทยาลัย.... อีเมล.... หรือ อาจารย์.... สาขา..... คณะ..... มหาวิทยาลัย.... อีเมล.... หรือ ตำแหน่ง... บริษัท... ที่อยู่... อีเมล... รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 12 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ
 - 4.4 **บทคัดย่อ(Abstract)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด หรือ 350 คำ โดยใช้จำนวนให้กระชับ ชัดเจนที่สุด รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 14 Point จัดกระจายหน้ากระดาษ
 - 4.5 **คำสำคัญ(Keyword)** ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษอยู่ใต้บทคัดย่อ(Abstract) คำสำคัญภาษาไทย จำนวน 3 – 5 คำเรียงตามลำดับอักษรระหว่างคำวรรค 2 วรรค ส่วน Keyword หรือคำสำคัญภาษาอังกฤษให้เรียงตามคำสำคัญภาษาไทยคั่นระหว่างคำด้วยจุลภาค (.)
 - 4.6 **เนื้อหาของบทความวิจัย** ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้
 - 4.6.1 **บทนำ** เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การศึกษาวิจัย
 - 4.6.2 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย** ให้ชี้แจงถึงจุดมุ่งหมายของการวิจัย
 - 4.6.3 **วิธีดำเนินการวิจัย** ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล
 - 4.6.4 **ผลการวิจัยและอภิปรายผล** เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็นลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพ ประกอบการอธิบาย ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจนและมีคำบรรยายได้รูป จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ กรณีที่จำเป็นอาจใช้ภาพสีได้

- 4.6.5 **สรุป** เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยและควรมีการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต
- 4.6.6 **ข้อเสนอแนะ** ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอในการนำผลการวิจัยไปใช้ และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป
- 4.6.7 **กิตติกรรมประกาศ** (ถ้ามี) ข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ
- 4.6.8 **เอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง** การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อด้วยเอกสารภาษาต่างประเทศ

4.7 การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิงในระบบ APA (American Psychological Association)

- 4.7.1 ชื่อวารสาร ชื่อหนังสือ และปีที่ (Volume) ไม่ใช่ชื่อย่อ
- 4.7.2 ชื่อภาษาอังกฤษ เขียนชื่อผู้แต่งโดยขึ้นต้นด้วย Last name ตามด้วยจุลภาค (,) และชื่อย่อตามด้วยมหัพภาค (.)
- 4.7.3 ชื่อไทย เขียนชื่อผู้แต่งโดยขึ้นต้นด้วยชื่อตัว ตามด้วยนามสกุล
- 4.7.4 กรณีผู้แต่งมากกว่าหนึ่งคน ให้เขียนชื่อผู้แต่งทั้งหมดทุกคน คั่นระหว่างชื่อด้วยจุลภาค (,) และมีคำว่า “and” หรือ “&” ในกรณีชื่อภาษาอังกฤษ หรือ “และ” ในกรณีชื่อภาษาไทยก่อนชื่อสุดท้าย
- 4.7.5 ถ้าไม่มีชื่อผู้แต่ง ให้ขึ้นต้นด้วยชื่อเรื่อง หรือชื่อวารสาร หรือชื่อหนังสือ ตามด้วยปีที่พิมพ์
- 4.7.6 ถ้าผู้แต่งเป็นหน่วยงาน หรือองค์กร ให้ใช้ชื่อหน่วยงานหรือองค์กรแทนชื่อผู้แต่ง
- 4.7.7 เรียงลำดับรายการตามตัวอักษรชื่อผู้แต่ง รายการที่มีทั้งเอกสารภาษาไทยและอังกฤษ ให้นำข้อมูลภาษาไทยขึ้นก่อน
ตามด้วยข้อมูลภาษาอังกฤษ พิมพ์โดยใช้ระยะห่างระหว่างบรรทัด อย่างน้อย (At least) 12 Point
- 4.7.8 บรรทัดที่สองและบรรทัดต่อไปของแต่ละรายการให้ย่อหน้าเข้ามา 7 ตัวอักษร หรือ 1.25 เซนติเมตร
- 4.7.9 การอ้าง – อ้างโดย(ชื่อผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์)
- 4.7.10 ไม่อ้างโดยใช้คำว่า “และคณะ” หรือ “และคนอื่นๆ” หรือ et al. ยกเว้นกรณีอ้างในเนื้อเรื่องที่มีผู้แต่งตั้งแต่สามคนขึ้นไปและหลังจากได้มีการอ้างครั้งแรกไว้ก่อนหน้านี้แล้ว หรือการอ้างที่มีผู้แต่งตั้งแต่หกคนขึ้นไป
- 4.7.11 การอ้างจากวารสารและนิตยสารให้ระบุหน้าแรกถึงหน้าสุดท้าย โดยไม่ใช่คำย่อ “p.” หรือ “pp.” นอกจากหนังสือ
- 4.7.12 การติดต่อส่วนตัวโดยสื่อใดๆ ก็ตาม สามารถอ้างอิงได้ในเนื้อเรื่อง แต่ต้องไม่มีการระบุไว้ในรายการเอกสารอ้างอิง เพราะผู้อื่นไม่สามารถติดตามข้อมูลเหล่านั้นได้
- 4.7.13 การอ้างอิงจาก Website ให้ระบุวัน เดือน ปีที่พิมพ์ ถ้าไม่ปรากฏให้อ้างวันที่ทำการสืบค้น และระบุ URL ให้ชัดเจน ถูกต้อง เมื่อจบ URL address ห้ามใส่จุด (.) ข้างท้าย
- 4.7.14 Website ไม่บอกวันที่ ให้ระบุ n.d.
- 4.7.15 หลัง มหัพภาค “.” (period) เว้น 2 บรรทัด
- 4.7.16 หลัง จุลภาค “,” (comma) เว้น 1 บรรทัด
- 4.7.17 หลัง อัฒภาค “;” (semicolon) เว้น 1 บรรทัด
- 4.7.18 หลัง ทวิภาค “:” (colons) เว้น 1 บรรทัด
- 4.7.19 รูปแบบและตัวอย่างการอ้างอิงจากสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ

- รูปแบบ: 1. หนังสือหรือตำรา
ตัวอย่างเช่น ชื่อผู้แต่ง. //(ปีที่พิมพ์).//ชื่อหนังสือ./ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี). //เมืองที่พิมพ์: /สำนักพิมพ์.
ไพรัช รัชพงษ์, และกฤษณะ ช่างกล่อม. (2541). **งานพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสารสนเทศแห่งชาติ
เพื่อการศึกษา**. กรุงเทพฯ: แพร่พิทยา.
Mitchell, T. R., & Larson, J. R., Jr. (1987). **People in organizations: An introduction to
organizational behavior** (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- รูปแบบ: 2. หนังสือหรือตำราที่มีบรรณาธิการ
ตัวอย่างเช่น ชื่อบรรณาธิการ(ผู้รวบรวม). //(ปีที่พิมพ์).//ชื่อหนังสือ./เมืองที่พิมพ์: /สำนักพิมพ์.
อดุลย์ วิริยเวชกุล, (บก.). (2541). **คู่มือจัดการเรียนการสอนระดับบัณฑิตศึกษา**. นครปฐม:
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
Gibbs, J. T., & Huang, L. N. (Eds.). (1991). **Children of color: Psychological
interventions with minority youth**. San Francisco: Jossey-Bass.
- รูปแบบ: 3. วิทยานิพนธ์
ตัวอย่างเช่น ชื่อผู้แต่ง. //(ปีที่พิมพ์).//ชื่อวิทยานิพนธ์./ระดับวิทยานิพนธ์./มหาวิทยาลัย.
พรพิมล เฉลิมพลาภาพ. (2535). **พฤติกรรมการแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการ
สื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์
วารสารศาสตรมหาบัณฑิต คณะวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
Almeida, D.M. (1990). **Fathers' participation in family work: Consequences for
fathers' stress and father-child relations**. Unpublished master's thesis,
University of Victoria, Victoria British Columbia, Canada.
- รูปแบบ: 4. รายงานการประชุมหรือสัมมนาทางวิชาการ
ตัวอย่างเช่น ชื่อผู้แต่ง. //ปีที่พิมพ์.//ชื่อเรื่อง.//ชื่อเอกสารรวมเรื่องรายงานการประชุม./วัน เดือน ปี สถานที่จัด.
เมืองที่พิมพ์: /สำนักพิมพ์.
กรมวิชาการ. 2538. **การจัดกิจกรรมส่งเสริมนิสัยรักการอ่าน**. การประชุมปฏิบัติการณรงค์เพื่อ
ส่งเสริมนิสัยรักการอ่าน, 25-29 พฤศจิกายน 2528 ณ วิทยาลัยครูมหาสารคาม
จังหวัดมหาสารคาม. กรุงเทพฯ: ศูนย์พัฒนาหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ.
Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1991). **A motivational approach to self:
Integration in personality**. In R. Dienstbier (Ed.), *Nebraska Symposium on
Motivation: Vol. 38. Perspectives on Motivation* (pp. 237-288). Lincoln:
University of Nebraska Press. *Motivation: Vol. 38. Perspectives on
Motivation* (pp. 237-288). Lincoln: University of Nebraska Press.
- ตัวอย่างเช่น 5. พจนานุกรม
พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. (2546). กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชัน.
Shorter Oxford English dictionary (5 th ed.). (2002). New York: Oxford
University Press.

6. วารสาร/นิตยสาร

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อเรื่อง.// ชื่อวารสารหรือนิตยสาร, ปีที่ (ฉบับที่), หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.
- ตัวอย่างเช่น ชำนิ กิ่งแก้ว, และอุษา คณ. (2551). การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์. *วารสารเทคโนโลยีภาคใต้*, 1(2), 27-35.
- Klimoski, R., & Palmer, S. (1993). The ADA and the hiring process in organizations. *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, 45(2), 10-36.

7. บทความจากหนังสือพิมพ์

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์, เดือน, วันที่).// ชื่อเรื่อง.// ชื่อหนังสือพิมพ์, หน้าที่นำมาอ้าง.
- ตัวอย่างเช่น สายใจ ดวงมาลี. (2548, มิถุนายน 7) มาลาเรียลาม3จว.ได้ตอนบน สธ.เร่งคุมเข้มกันเชื้อแพร่หนัก. *คม-ชัด-ลึก*, 25.
- Di Rado, A. (1995, March 15). Trekking through college: Classes explore modern society using the world of Star Trek. *Los Angeles Time*, p. A3.

8. สื่ออิเล็กทรอนิกส์

- รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อเรื่อง.// สืบค้นจาก// URL
- Author, A. A. (Year). **Title of post**. Retrieved from URL
- ตัวอย่างเช่น สำนักงานคณะกรรมการวัฒนธรรมแห่งชาติ กระทรวงวัฒนธรรม. (2545). **ประเพณีใส่กระเจดชาวไทยพวนสอนให้รู้จักแบ่งปัน มีน้ำใจ**. สืบค้นจาก http://www.m-culture.go.th/culture01/highlight/highlightdetail.php?highlight_id=114&lang=th
- Lynch, T. (1996). **DS9 trials and tribble-ations review**. Retrieved from <http://www.bradley.edu/psiphi/DS9/ep/503r.html>

5. **การส่งต้นฉบับ** ผู้นิพนธ์บทความต้องส่งต้นฉบับที่พิมพ์ตามรูปแบบของต้นฉบับในข้อกำหนดของคำแนะนำการเขียนและส่งต้นฉบับวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในรูปแบบ Word Document (.docx) และ PDF File (.pdf) พร้อมแบบนำส่งบทความวิจัยลงตีพิมพ์เผยแพร่วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์และสำเนาหลักฐานการชำระเงินค่าธรรมเนียมบำรุงวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ มาที่เว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/vrurdistjournal/index> บทความวิจัยที่ปฏิบัติตามคำแนะนำจะได้รับพิจารณาดำเนินการโดยทันที

6. การประเมินบทความวิจัย และลิขสิทธิ์ในการตีพิมพ์เผยแพร่

- 6.1 **การอ่านประเมินต้นฉบับ** บทความวิจัยต้นฉบับที่ส่งเข้ามาเพื่อลงตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จะได้รับการอ่านประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขานั้น ๆ อย่างน้อยจำนวน 2 ท่านต่อเรื่องและส่งผลการอ่านประเมินคืนผู้นิพนธ์บทความให้เพิ่มเติม แก้ไข แล้วแต่กรณี โดยบทความที่ผ่านการประเมินได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ผู้นิพนธ์บทความจะได้รับหนังสือแจ้งพิจารณาการตีพิมพ์ พร้อมวารสารฉบับที่บทความวิจัยนั้นลงตีพิมพ์ จำนวน 1 ฉบับ

- 6.2 **ลิขสิทธิ์บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์** ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ห้ามนำข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเป็นลายลักษณ์อักษร

- 6.3 **ความรับผิดชอบ** เนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นความรับผิดชอบของผู้นิพนธ์บทความหรือผู้เขียนเอง ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

รูปแบบบทความวิจัย
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2.54 ซม.

หน้า 1.25 ซม. หรือประมาณ 7 ตัวอักษร

ชื่อเรื่องภาษาไทย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดกึ่งกลาง)
(เว้น 14 point)

ชื่อผู้พิมพ์ภาษาไทย¹//ชื่อผู้พิมพ์ภาษาไทย²//ชื่อผู้พิมพ์ภาษาไทย³// (ตัวหนาขนาด 14 point จัดกึ่งกลาง)
(เว้น 14 point)

บทคัดย่อ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

บทคัดย่อควรสรุปเนื้อหาทั้งหมดของบทความวิจัย โดยมีเนื้อหาครอบคลุมถึงความสำคัญของปัญหา
วัตถุประสงค์ ผลวิจัยและสรุปผลของการวิจัย กำหนดให้มีความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด หรือ 350 คำ เพื่อให้
บทความของท่านได้รับการจัดพิมพ์อย่างถูกต้อง ครบถ้วน ในวารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์

หมายเหตุ เครื่องหมาย / หมายถึง การเว้นวรรค 1 วรรค

2 ซม.

เชิงอรรถ สำหรับบรรณสถานะและที่อยู่ของผู้พิมพ์บทความ

..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)
(เว้น 14 point)

คำสำคัญ: (3-5 คำ) (ตัวปกติขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
(เว้น 14 point)

¹(บรรณสถานะและที่อยู่สำหรับติดต่อของผู้พิมพ์บทความที่ 1 ตัวเอียง ขนาด 12 point จัดชิดซ้าย) ตัวอย่างเช่น
นักศึกษาหลักสูตรดุขฎฐฎฎฎฎฎฎฎฎ สาขาวิชาบริหารการศึคศึกษา มหาวิทยาลัยราชฎฎฎฎฎฎฎฎ วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปฎฎฎฎฎฎฎฎ
อีเมล: rdi_journalsci@vru.ac.th

²(บรรณสถานะและที่อยู่สำหรับติดต่อของผู้พิมพ์บทความที่ 2 ตัวเอียง ขนาด 12 point จัดชิดซ้าย)

³(บรรณสถานะและที่อยู่สำหรับติดต่อของผู้พิมพ์บทความที่ 3 ตัวเอียง ขนาด 12 point จัดชิดซ้าย)

*ผู้พิมพ์หลัก อีเมล:

2 ซม.

2.54 ซม.

ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดกึ่งกลาง)
(เว้น 14 point)

ชื่อผู้พิมพ์ภาษาอังกฤษ¹//ชื่อผู้พิมพ์ภาษาอังกฤษ²//ชื่อผู้พิมพ์ภาษาอังกฤษ³// (ตัวหนาขนาด 12 point จัดกึ่งกลาง)
(เว้น 14 point)

Abstract (ตัวหนาขนาด 14 point ชิดซ้าย)
Abstract must be written in Thai and English, within a maximum of 350 words for each language

ย่อหน้า 1.25 ซม. หรือประมาณ 7 ตัวอักษร

2 ซม.

2 ซม.

..... (ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)
(เว้น 14 point)

Keyword:,,,, (ตัวปกติขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)
(เว้น 14 point)

.....

¹Position, Office address, Email address: author 1
²Position, Office address, Email address: author 2
³Position, Office address, Email address: author 3
*Corresponding author, e-mail:

2 ซม.

2.54 ซม.

บทนำ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การศึกษาวิจัย

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ให้ชี้แจงถึงจุดมุ่งหมายของการวิจัย.....

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

วิธีดำเนินการวิจัย (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็นลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจนและมีคำบรรยายใต้รูป กรณีที่จำเป็นอาจใช้ภาพสีได้.....

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

2 ซม.

สรุป (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์.....

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

2 ซม.

ข้อเสนอแนะ (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอเกี่ยวกับงานวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

กิตติกรรมประกาศ(ถ้ามี) (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

ข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

(เว้น 14 point)

เอกสารอ้างอิง (ตัวหนาขนาด 14 point จัดชิดซ้าย)

การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) เท่านั้น ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อกับเอกสารภาษาต่างประเทศ.....

(ตัวปกติขนาด 14 point จัดกระจาย)

2 ซม.

[ชื่อเรื่องบทความวิจัยภาษาไทย (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวหนา, จัดกึ่งกลาง)]

[ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย]^{1*} [ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย]² [ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย]³

บทคัดย่อ

บทคัดย่อ ควรจะสรุปเนื้อหาทั้งหมดของบทความวิจัย โดยใช้สำนวนให้กระชับ ชัดเจนที่สุด มีความยาวไม่เกิน 15 บรรทัด หรือ 350 คำ รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวปกติ ขนาด 14 point จัดกระจายแบบไทย “ชื่อเรื่อง” มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ มีความยาวไม่เกินภาษาละ 2 บรรทัด และให้อธิบายสาระสำคัญของเรื่องได้ดี รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ “ชื่อผู้นิพนธ์บทความวิจัย” มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ชื่อเต็มไม่ต้องระบุค่านำหน้าชื่อ ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลพร้อมใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงถึงความสำคัญของการเป็นผู้นิพนธ์หลัก หากมีผู้นิพนธ์บทความมากกว่าหนึ่งท่านให้ใส่เครื่องหมายเชิงอรรถเป็นตัวเลขยกไว้ท้ายนามสกุลเรียงลำดับตามจำนวนผู้นิพนธ์พร้อมใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงถึงความสำคัญของการเป็นผู้นิพนธ์หลัก รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวหนา ขนาด 14 Point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ และใส่รายละเอียดที่อยู่ผู้นิพนธ์บทความไว้ในเชิงอรรถส่วนล่างของกระดาษ โดยระบุตำแหน่งทางวิชาการหรือตำแหน่งทางบริหาร(ถ้ามี) สถานที่ทำงาน หน่วยงานหรือสถาบัน และอีเมลแอดเดรส (E-mail Address) ของผู้นิพนธ์บทความทุกคน เช่น ¹ นักศึกษาระดับ ... สาขา... คณะ... มหาวิทยาลัย... อีเมล: หรือ อาจารย์... สาขา... คณะ... มหาวิทยาลัย... อีเมล: หรือ ตำแหน่ง... บริษัท... ที่อยู่.... อีเมล: ... * ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล:รูปแบบตัวอักษร TH SarabunPSK ตัวเอียง ขนาด 12 Point จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ.....

คำสำคัญ : คำสำคัญ คำสำคัญ คำสำคัญ

¹ นักศึกษา หลักสูตรครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล :

² อาจารย์ประจำหลักสูตร ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี อีเมล :

³ เจ้าหน้าที่การเงิน บริษัท ธุรกิจการพิมพ์ จำกัด จังหวัดนนทบุรี อีเมล :

* ผู้นิพนธ์หลัก อีเมล :

[First A. Author1]^{1*} [Second B. Author2]² [Third C. Author3]³

Abstract must be written in Thai and English, within a maximum of 350 words for each language.

language.

* Corresponding author, e-mail :

บทนำ

[บทนำ เป็นส่วนของความสำคัญและมูลเหตุที่นำไปสู่การวิจัย].....
 (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

[วัตถุประสงค์ของการวิจัย เป็นส่วนของเนื้อหาที่บอกความเป็นมา และเหตุผลนำไปสู่การ
 ศึกษาวิจัย]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

วิธีดำเนินการวิจัย

[วิธีดำเนินการวิจัย ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง ที่มาของกลุ่ม
 ตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์
 ข้อมูล]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

[ผลการวิจัยและอภิปรายผล ควรเสนอผลที่ชัดเจน ตรงประเด็น เป็นการเสนอสิ่งที่ได้จากการวิจัยเป็น
 ลำดับอาจแสดงด้วยตารางกราฟ แผนภาพประกอบการอธิบาย] ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มี
 เส้นขอบตารางด้านซ้ายและด้านขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ตารางควรมีเฉพาะที่จำเป็นไม่ควรเกิน 5
 ตาราง และมีคำอธิบายตาราง เช่น

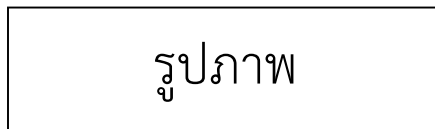
ตารางที่ 1 รูปแบบ ขนาดและลักษณะของตัวอักษร

ส่วนประกอบ	ขนาดอักษร	ลักษณะอักษร
ชื่อบทความ (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)	TH SarabunPSK, 14	หนา
ชื่อผู้เขียน (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ)	TH SarabunPSK, 14	หนา
สถานที่ติดต่อ(ระบุในเชิงบรรณ)	TH SarabunPSK, 12	เอียง, ปกติ
บทคัดย่อ / Abstract	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
คำสำคัญ / Keywords	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
หัวข้อหลัก	TH SarabunPSK, 14	หนา
หัวข้อย่อย	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
เนื้อความทั่วไป	TH SarabunPSK, 14	ปกติ

ตารางที่ 1 รูปแบบ ขนาดและลักษณะของตัวอักษร (ต่อ)

ส่วนประกอบ	ขนาดอักษร	ลักษณะอักษร
ตารางและภาพ	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
กิตติกรรมประกาศ	TH SarabunPSK, 14	ปกติ
เอกสารอ้างอิง	TH SarabunPSK, 14	ปกติ

สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพขาว-ดำ ที่ชัดเจน มีขนาดของรูปภาพที่เหมาะสมและมีคำบรรยายใต้รูปภาพ



ภาพที่ 1 ตัวอย่างการจัดรูปภาพ (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

สรุป

เป็นการสรุปผลที่ได้จากการวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่เพียงใด และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบเพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็น.....
(TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

ข้อเสนอแนะ

[เนื้อหาข้อเสนอแนะ ควรมี 2 ส่วน คือ ข้อเสนอเกี่ยวกับงานวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป] (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

กิตติกรรมประกาศ

[กิตติกรรมประกาศ ให้เขียนถึงข้อความแสดงความขอบคุณผู้มีส่วนสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัย รวมถึงแหล่งทุนสนับสนุนต่างๆ]
(TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

เอกสารอ้างอิง

[การเขียนเอกสารอ้างอิงและการอ้างอิง ให้ใช้ระบบ APA (American Psychological Association) เท่านั้น ให้เรียงลำดับชื่อผู้แต่งหรือผู้รายงานตามลำดับอักษรเริ่มด้วยเอกสารภาษาไทยก่อน แล้วต่อด้วยเอกสารภาษาต่างประเทศ]..... (TH SarabunPSK, 14 point, ตัวปกติ, จัดกระจายแบบไทย)

ขั้นตอนการตีพิมพ์บทความวิจัย
วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

