



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Udon Thani Rajabhat University Journal of Science and Technology

ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน 2566) | Vol.11 Issue.1 (January – April 2023)

ISSN 2287 – 0083

บทความ

- อิทธิพลของสัดส่วนอากาศต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ในหัวเผาชีวมวลชนิดวางตั้ง
ชินภัทร ชูระการ, อภิชน มุ่งชู, กัมปนาท ไชยเพชร และ อนุวัช แสนพงษ์ 1
- สถานะที่เหมาะสมของเพคตินที่สกัดจากใบอ้อย
เอราวัฒน์ เข้าทอง, วินัย มีแสง, วณิชยา จรูญพงษ์, พลอยระดา ภูมิ
และ อัจฉรวาดี เครือภักดี 19
- การทดสอบเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ
ของหอมแดงที่สกัดด้วยเทคนิควิธีการที่แตกต่างกัน
ปภาภัสสร ธีระพัฒน์วงศ์ และ กฤษฎา พันธุ์เดช 31
- ผลของสารเคลือบผิวจากโคโคซานต่อคุณภาพของผลมะเดื่อฝรั่งพันธุ์มาซุย ดอร์ฟิน
ยศวรรธน์ จันทนา, สมคิด ฤทธิ์เนติกุล, จุฑาทิพย์ น้าชม, กัลยา ตะกรุดเพชร,
โสภิตา ทองโคตร และ ศิวดล แจ่มจำรัส 47
- THERMAL AND CATALYTIC PYROLYSIS OF MUNICIPAL PLASTICS WASTE
FROM SAMUI ISLAND LANDFILL 59
Jiraphan Chotiratanasak, Tharapong Vitidsant and Maneerat Khemkhao
- เครื่องช่วยเดินด้วยวิธีการตรวจจับใบหน้าและระบบแจ้งเตือนการล้มผ่านแอปพลิเคชัน
สำหรับผู้สูงอายุ 75
วรินทร์ นวลทิม, ธาราดล ผิวละออง, นัทธพงษ์ วงศรี และ อมรรัตน์ คำบุญ



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (2566)

UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY
JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Vol.1 Issue.1 (2023)

ISSN 2287-0083

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (2566)

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY; ISSN 2287-0083) ชื่อย่อภาษาอังกฤษ “UDRU Sci. & Tech. J.” มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการและนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวารสารรับการตีพิมพ์เผยแพร่บทความ ในกลุ่มวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา และคณิตศาสตร์ กลุ่มวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วัสดุศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพ กลุ่มเกษตรศาสตร์ สาขาพืชศาสตร์ เศรษฐศาสตร์เกษตร ประมง และสัตวศาสตร์ และกลุ่มวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเครื่องกล, พลังงาน อิเล็กทรอนิกส์ ไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ โดยมีกำหนดเผยแพร่ ปีละ 3 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน) ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม) และฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม) ของทุกปี

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิตรา วัฒนสุนทรสกุล	อธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ม่วงปฐม	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระยุทธ เพ็งชัย	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาวิตรี บุญมี	รองอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล สิงห์คำ	รองอธิการบดี
ดร.วิบูล เป็นสุข	รองอธิการบดี
ดร.เอกราช ตีนาง	รองอธิการบดี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิบาท	คณบดีคณะเทคโนโลยี
ดร.อภิรักษ์ ลอยแก้ว	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (2566)

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.นิรวรรณ กุณัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ยศวริศ เสมามิ่ง

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปิ่นล่อ

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉลอง วชิราภากร

รองศาสตราจารย์ ดร.ลัดดา มีสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม

รองศาสตราจารย์ ดร.โฆษิต ศรีภูธร

รองศาสตราจารย์ ดร.น.สพ.ฤทธิชัย พิลาไชย

รองศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ เหมวงษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงภู อดุตรา

รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณพงศ์ สมสุข

รองศาสตราจารย์ ดร.สุมาลินทร์ พ่อคำ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชภักย์ จิตต์อารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติต คำหล้า

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำไพศักดิ์ ทีบุญมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา วงษ์สวัสดิ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (2566)

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร สุทธิปาก	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.กริช สมกันธา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี ปิระเต	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล มงคลธนะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรุญ สารินทร์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงฤทัย ศรีแดง	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลักขณาวัลย์ เจริญสุข	มหาวิทยาลัยนวมินทราชิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑาพร แสงแก้ว	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเมษฐ์ จันทร์เพ็ง	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงกรด พิมพิศาล	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ ทาทอง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรจงศักดิ์ พิภพสมบูรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา อัจฉริยจิต	มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ ศรีชาติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ทูมมู	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมทินี วสุนธรวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีร์วัช สิงหศิริ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปองพล แสนสอน	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิไลพร กุลตั้งวัฒนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.พิชชา โชติวรรณกุล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.หวานใจ หล้าพรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.ปรีชา เทียมปัญญา	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทระเกษม
ดร.เบญจธรรม สุขณวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (2566)

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

ดร.ศกุนตลา ศิริอุดม

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ดร.อาทิตย์ ใจช่วง

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

คณะกรรมการดำเนินงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี

ประธานกรรมการ

รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณวงค์ สุวรรณวงค์

รองประธานกรรมการ

นายกวีพงษ์ หงส์ทอง

กรรมการ

ดร.เบญจธรรม สุขณวัฒน์

กรรมการ

นางสาวศิวพร ภูทอง

กรรมการ

นายธราดล ปราบภัย

กรรมการ

นางพิมพ์พรณ ศรีภูธร

กรรมการ

นายอภิเดช อภิพัฒน์ภาคกุล

กรรมการ

นางสาวนัชชา คำบุญมา

กรรมการ

นายธนวิษณุ ปัจจามาตย์

กรรมการ

นางสาววณัฐพร แพงขวา

กรรมการ

นายรุ่งโรจน์ มีแก้ว

กรรมการและเลขานุการ

นางสาวศศิตา พงศาวัลี

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการตรวจสอบภาษาต่างประเทศ

รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพรพย์ เลิศปรีดากร

พิธีกรอักษร

นางสาวศิวพร ภูทอง

ออกแบบปก

นายสุริยา ชัยดำรงณ์

นางสาวศศิตา พงศาวัลี

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (2566)

กำหนดการเผยแพร่

- 3 ฉบับต่อปี ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน)
ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม)
ฉบับที่ 3 (กันยายน – ธันวาคม)

สถานที่ติดต่อ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
64 ถ.ทหาร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000
โทรศัพท์: 042-211040 ต่อ 1702
เว็บไซต์: <http://rdi.udru.ac.th>
เว็บไซต์วารสาร: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/scudru>
อีเมล: scjournal@udru.ac.th

“ข้อความที่ปรากฏในบทความแต่ละเรื่องในวารสารวิชาการเล่มนี้
ไม่ใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของคณะผู้จัดทำ บรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ซึ่งความรับผิดชอบด้านเนื้อหาและการตรวจร่างบทความ
แต่ละเรื่องเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน”

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เป็นวารสารที่ได้รับการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการจากศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) อยู่ในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 4 พ.ศ. 2563-2567 ได้ประกาศให้วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ถูกจัดให้เป็นวารสารกลุ่มที่ 2 ซึ่งฉบับนี้เป็นปีที่ 11 ฉบับที่ 1 ประจำปี พ.ศ. 2566 มีบทความวิจัยจำนวน 9 บทความ ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมทั้งด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการ เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษาและผู้อ่านทุกท่าน สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ส่งบทความ และทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานของวารสาร

ปิยวดี ยาบุษดี

บรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
อิทธิพลของสัดส่วนอากาศต่อพฤติกรรมเผาไหม้ในหัวเผาชีวมวลชนิดวางตั้ง <i>ชินภัทร ชูระการ, อภิชน มุ่งชู, กัมปนาท ไชยเพชร และ อนุวัช แสนพงษ์</i>	1
สถานะที่เหมาะสมของเพคตินที่สกัดจากใบอ้อย <i>เอราวัณ เบ้าทอง, วินัย มีแสง, วณิชยา จรุงพงษ์, พลอยระดา ภูมิ และ อัจฉราวดี เครือภักดี</i>	19
การทดสอบเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ของหอมแดงที่สกัดด้วยเทคนิควิธีการที่แตกต่างกัน <i>ปภาภัสสร วีระพัฒน์วงศ์ และ กฤษฎา พันธุ์เดช</i>	31
ผลของสารเคลือบผิวจากไคโตซานต่อคุณภาพของผลมะเดื่อฝรั่งพันธุ์มาซุย ดอร์ฟิน <i>ยศวรรธน์ จันทนา, สมคิด ฤทธิเนติกุล, จุฑาทิพย์ น่ำชม, กัลยา ตะกรุดเพชร, โสภิตา ทองโคตร และ ศิวดล แจ่มจำรัส</i>	47
THERMAL AND CATALYTIC PYROLYSIS OF MUNICIPAL PLASTICS WASTE FROM SAMUI ISLAND LANDFILL <i>Jiraphan Chotiratanasak, Tharapong Vitidsant and Maneerat Khemkhao</i>	59
เครื่องช่วยเดินด้วยวิธีการตรวจจับใบหน้าและระบบแจ้งเตือนการล้ม ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ สำหรับผู้สูงอายุ <i>วรินทร์ นวลทิม, ชาราดล ผิวละออง, นัทธพงษ์ วงศรี และ อมรรัตน์ คำบุญ</i>	75
การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์ <i>ณัฐลิมา ไทจันทร์, ณททัย โชติกลาง, กนกวรรณ ปุณณะตระกูล และอัจฉราพร สมภาร</i>	93

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและคาร์บอนเครดิตจากป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลด่านศรีสุข อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย <i>ศศิธร เพชรแสน, สันติภาพ ศิริวัฒน์ไพบูลย์, ดารินทร์ ล้วนวิเศษ, วณิชยา จรูญพงษ์ และ ศรียา อินทสิน</i>	109
การยับยั้งสารไนเตรท/ไนไตรท์และไนโตรซามีนในผลิตภัณฑ์ปลาร้า จากสารต้าน อนุมูลอิสระในพืชสมุนไพร <i>เศรษฐา เรืองไชย, วิวรรณ แก่นสา และ สุขสันติ ประกอบวงษ์</i>	127

อิทธิพลของสัดส่วนอากาศต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ในหัวเผาชีวมวลชนิดวางตั้ง

THE EFFECT OF AIR RATIO ON COMBUSTION BEHAVIOR IN VERTICAL BIOMASS BURNER

ชินภัทร ชูระการ, อภิชน มุ่งชู, กัมปนาท ไชยเพชร และ อนุวัช แสนพงษ์*

Chinnapat Turakarn, Aphichon Mungchu, Kumpanat Chaiphet,

and Anuwat Saenpong*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,

Kalasin University

Received: 13 December 2022

Revised: 14 February 2023

Accepted: 20 March 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนอากาศส่วนที่หนึ่งและอากาศส่วนที่สองต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ภายในหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบวางตั้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 30 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร อากาศที่ป้อนเข้าสู่ภายในหัวเผาแบ่งเป็นสองส่วน อากาศส่วนที่หนึ่งเป็นอากาศที่นำพาเชื้อเพลิงจากสกรูลำเลียงเข้าสู่ส่วนล่างของหัวเผา และอากาศส่วนที่สองถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาบริเวณกึ่งกลางในลักษณะหมุนควงสามทาง โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่นจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาดรู 1.5 มิลลิเมตร การเผาไหม้ที่กำลังความร้อน 150 กิโลวัตต์ ด้วยสภาวะอากาศส่วนเกินร้อยละ 10 และทดสอบที่อัตราส่วนอากาศ 2 : 3, 1 : 1 และ 3 : 2 ตามลำดับ จากผลการวิจัยพบว่า อิทธิพลของอากาศส่วนที่สองส่งผลให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างรุนแรงในบริเวณจุดศูนย์กลางภายในหัวเผา ระหว่างระยะ r/R 0.33 ถึง 1.00 เมื่อพิจารณาลักษณะของเปลวไฟ พบว่าปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งมากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิเชื้อเพลิงขนาดใหญ่หลุดออกมาเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายนอกหัวเผาเป็นจำนวนมาก และการเผาไหม้ที่อัตราส่วนอากาศส่วนที่หนึ่งต่อ

* Corresponding author: อนุวัช แสนพงษ์

E-mail: anuwat.sa@ksu.ac.th

ส่วนที่สอง 2 ต่อ 3 ให้อุณหภูมิของแก๊สร้อนบริเวณท่อไอไฟสูงสุด 925 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอยคิดเป็นร้อยละ 38.22 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ร้อยละ 89.29

คำสำคัญ: หัวเผา, เชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่น, อากาศส่วนเกิน, อากาศส่วนที่สอง

Abstract

The objective of this research was to investigate the effect of primary and secondary air ratios on the combustion behavior. In this experiment, the vertical biomass burners had an internal diameter of 30 cm. and the height of 70 cm. The air that enters the burner is split into two portions. The primary air transports the fuel from the screw conveyor to the bottom of the burner, while the secondary air feeds the center burner in a three-way swirling air system. This experiment used rubber-wood sawdust as biomass; biomass fuel, dust from rubber wood ivy sifted through a 1.5 mm hole sieve. Combustion with a heating power of 150 kW and 10 percent excess air, tested at primary and secondary air ratios of 2:3, 1:1, and 3:2, respectively. The result showed that injecting secondary air creates an intensive combustion reaction inside the burner's center, between the radius ratio (r/R) 0.33 to 1.00. Considering the flame's nature, it was discovered that when the primary air increases, numerous large particles escape and catch fire outside the burner. A primary and secondary air ratio of 2:3 results in a maximum flue gas temperature of 925 °C and a minimum carbon residual in flying ash of 38.22 %. The combustion efficiency is expected to be 89.29 %.

Keywords: Burner, Pulverized biomass, Excess air, Secondary air

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานของประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น (ปานใจ สื่อประเสริฐ สิทธิ และคณะ, 2563, พลชัย ขาวนวล และคณะ, 2563). ตามพัฒนาการของประเทศ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานไฟฟ้า ความร้อนและเชื้อเพลิงชีวภาพ (พิมพ์พรรณ อัมพันธ์ทอง และคณะ, 2564) ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตประจำวัน พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ได้แก่ ถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ เป็นต้น แหล่งพลังงานเหล่านี้ใช้แล้วหมดไป ประกอบกับวิกฤตการณ์ราคาน้ำมันที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ทั้งภาครัฐ และเอกชนพยายามมองหาแหล่งพลังงานใหม่ ๆ มาใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิล ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรจำนวนมากซึ่งเป็นวัสดุหาง่ายและราคาถูก (ปกรณ อุ่นไธสง และ รชต มณีโชติ, 2562) เช่น เศษไม้ยางพารา ฟางข้าว ชังข้าวโพด แกลบ และขี้เลื่อย เป็นต้น เศษวัสดุทางการเกษตรถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน (เยาวพล ชุมพล และ โฉมยง ไชยอุบล, 2563, ภราภรณ์ เหล็กสูงเนิน และคณะ, 2560) ลักษณะการใช้งานชีวมวลต้องนำเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้เพื่อให้ได้พลังงานความร้อน เช่น กระบวนการผลิตไอน้ำหรือน้ำร้อน ทดแทนพลังงานจากน้ำมันเตาซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด แต่การนำชีวมวลมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตความร้อนนั้น จำเป็นต้องหาเทคโนโลยีหรือเทคนิคมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และเกิดมลพิษที่น้อย (Garcia-Maraver et al., 2015; Riaza et al., 2017; Saeed et al., 2017; Sousa & Azevedo, 2016, คณิต มานะธูระ และ อุกฤษ สมัครสมาน, 2565, นิกราน หอมดวง และคณะ, 2564) การเผาไหม้เชื้อเพลิงมีองค์ประกอบ 3 ส่วนหลัก ๆ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจนในอากาศ และความร้อน ดังนั้นลักษณะการป้อนอากาศและเชื้อเพลิงจึงมีความสำคัญต่อการเผาไหม้เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงให้ความสนใจกับการออกแบบหัวเผาสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา โดยศึกษาอิทธิพลของอากาศส่วนเกินต่อพฤติกรรมเผาไหม้ในหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งนำไปสู่สมรรถนะการเผาไหม้ที่เหมาะสมจากการทำงานของหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบวางตั้งและคาดว่าในอนาคตสามารถนำหัวเผาที่ถูกสร้างขึ้นมาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

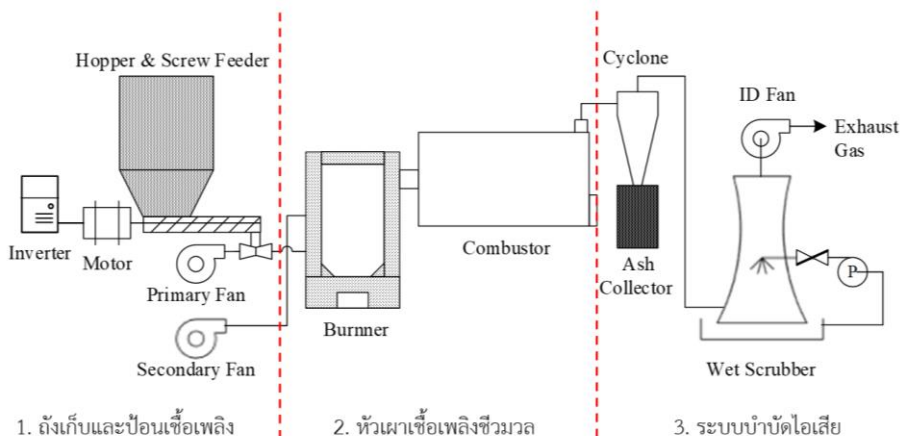
รูปที่ 1 แสดงแผนภาพชุดทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้

1. ถังเก็บและป้อนเชื้อเพลิง ที่สามารถควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง ด้วยการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของสกรูลำเลียง (Kamal, 2008)

2. หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวล มีลักษณะวางในแนวตั้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของห้องเผาไหม้ 30 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร พิจารณารูปที่ 2(ก) อากาศที่ป้อนเข้าสู่ภายในหัวเผาจะแบ่งออกเป็นสองส่วน อากาศส่วนที่หนึ่ง (primary air) เป็นอากาศที่นำพาเชื้อเพลิงจากสกรูลำเลียงเข้าสู่ส่วนล่างของหัวเผาและอากาศส่วนที่สอง (secondary air) ถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาบริเวณกึ่งกลางในลักษณะหมุนควงสามทาง ซึ่งให้อัตราการไหลของแก๊สร้อนที่มีความปั่นป่วนสูง การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ และประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่อัตราความร้อนสูง (Jugjai & Polmart, 2003; Rasoulkhani et al., 2018.)

3. ระบบบำบัดไอเสีย ซึ่งประกอบด้วยไซโคลน (cyclone) และระบบบำบัดไอเสียแบบเปียก (wet scrubber) ซึ่งเถ้าลอยที่อยู่ภายในส่วนล่างของไซโคลนถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอย (unburnt char)

โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นที่จะศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นหลัก



รูปที่ 1 แผนภาพชุดทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ซีลื้อยไม้ยงพอรชนดลละเอียดถูกเลือกใช้เป็นเชื้อเพลิงในการทดลอง เนื่องจากเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ และมีค่าความร้อนสูง 17.5 MJ/kg (Laphirattanakul et al., 2020) โดยเริ่มต้นเชื้อเพลิงทดสอบถูกนำไปผึ่งแดดในสภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการจัดเก็บเชื้อเพลิง จากนั้นนำไปรอนผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ซีวมวลซีลื้อยไม้ยงพอรามีสมบัติ และขนาดดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ตารางสมบัติเชื้อเพลิงซีลื้อยยงพอร

การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis)						
Volatiles (%W)		Fixed Carbon (%W)		Moisture (%W)		Ash (%W)
76.8		15.2		5.8		2.2
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis)					As received Base	
C (%W)	H (%W)	N (%W)	S (%W)	O (%W)	HHV (MJ/kg)	LHV (MJ/kg)
49.4	6.1	0.4	0	43.9	17.5	16.2

ที่มา: Laphirattanakul et al. (2020)

ตารางที่ 2 ขนาดของเชื้อเพลิงซีลื้อยไม้ยงพอรในงานวิจัยครั้งนี้

ขนาดของเชื้อเพลิง (ไมโครเมตร)	ร้อยละโดยน้ำหนัก
≥ 1000	24.00
$500 \leq S \leq 1000$	40.00
$250 \leq S \leq 500$	16.00
$125 \leq S \leq 250$	10.00
$53 \leq S \leq 125$	6.00
≤ 53	4.00

เงื่อนไขการทดลองและการเผาไหม้

สำหรับการทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลจากซีเลื่อยไม้ยางพารา ให้กำลังความร้อนที่ 150 กิโลวัตต์ ก่อนการทดสอบนำข้อมูลองค์ประกอบของธาตุและค่าความร้อนของชีวมวล จากตารางที่ 1 มาคำนวณปริมาณเชื้อเพลิง ปริมาณอากาศตามทฤษฎี และปริมาณอากาศส่วนเกิน ที่ใช้สำหรับกระบวนการเผาไหม้ โดยสมการความสัมพันธ์ที่ 1, 4 และ 7 ตามลำดับ (Koppejan & Van Loo, 2012; Stephen, 2000) ซึ่งจากการคำนวณได้เงื่อนไขของการทดลองตามตารางที่ 3

อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (m_{fuel} , kg/s) สำหรับการเผาไหม้ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$m_{fuel} = \frac{\text{Thermal Throughput}}{LHV} \quad (1)$$

เมื่อ *Thermal Throughput* คือ กำลังความร้อนของหัวเผา (kW)

LHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)

ปริมาณออกซิเจน ($m_{O_2,Air}$) สำหรับการเผาไหม้ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$m_{O_2,Air} \left[\frac{\text{kg } O_2}{\text{kg fuel (waf)}} \right] = \left(X_C \frac{M_{O_2}}{M_C} + \frac{X_H}{4} \frac{M_{O_2}}{M_H} + X_S \frac{M_{O_2}}{M_S} - X_O \right) (1 - X_{H_2O}) \lambda \quad (2)$$

เมื่อ $M_i \left[\frac{\text{kg}}{\text{kmole}} \right]$ คือ มวลโมเลกุลของธาตุ *i*

X_i คือ สัดส่วนโดยมวลของธาตุ *i* ในเชื้อเพลิงที่ปราศจากความชื้นและเถ้า (daf)

X_{H_2O} คือ สัดส่วนโดยมวลของน้ำ (H₂O) ในเชื้อเพลิงที่ปราศจากเถ้า (waf)

λ คือ อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน (excess air ratio)

ปริมาณไนโตรเจน $m_{N_2,Air}$ ที่อยู่ในอากาศสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$m_{N_2,Air} \left[\frac{\text{kg } N_2}{\text{kg fuel (waf)}} \right] = m_{O_2,Air} \frac{Y_{N_2,Air}}{Y_{O_2,Air}} \frac{M_{N_2}}{M_{O_2}} \quad (3)$$

เมื่อ $Y_{O_2,Air}$ คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของออกซิเจน O₂ ในอากาศ (โดยปกติจะเท่ากับ 0.21)

$Y_{N_2,Air} = 1 - Y_{O_2,Air}$ คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของออกซิเจน N₂ ในอากาศ

ปริมาณอากาศ m_{Air} สำหรับการเผาไหม้ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$m_{Air} \left[\frac{kg \text{ air}}{kg \text{ fuel (waf)}} \right] = m_{O_2, Air} + m_{N_2, Air} \quad (4)$$

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี $(A/F)_{stoic}$ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5

$$(A/F)_{stoic} = \left(\frac{m_{air}}{m_{fuel}} \right) \quad (5)$$

ร้อยละอากาศส่วนเกิน ($\% excess \text{ air}$) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$\% excess \text{ air} = \frac{(1-\Phi)}{\Phi} \times 100\% \quad (6)$$

เมื่อ Φ คือ Equivalence ratio ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 7

$$\Phi = \frac{(A/F)_{stoic}}{(A/F)} \quad (7)$$

การคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ *Combustion Efficiency* (η_{comb})

$$Combustion \text{ Efficiency } (\eta_{comb}) = 100 - \frac{flue \text{ heat losses}}{fuel \text{ heating value}} \times 100 \quad (8)$$

โดยที่

$$flue \text{ heat losses} = \dot{m}_{unburn} \times H_{burnout} \quad (9)$$

เมื่อ \dot{m}_{unburn} คือ ปริมาณอนุภาคคาร์บอนที่ไม่ได้รับการเผาไหม้ (kg/s)

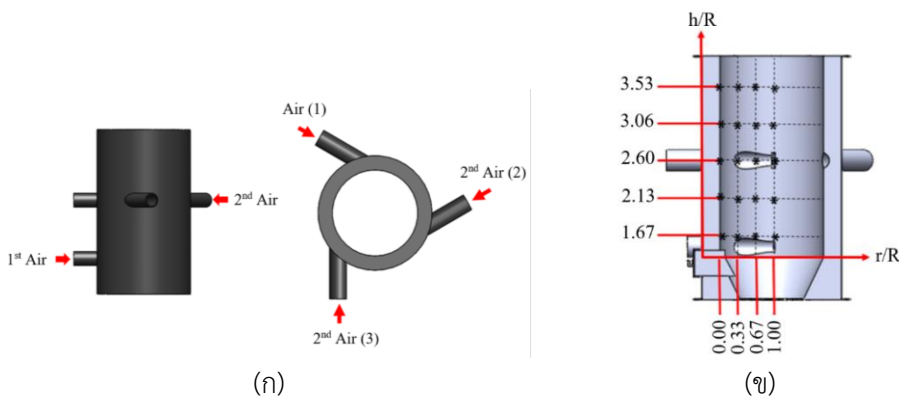
$H_{burnout}$ คือ ค่าความร้อนของคาร์บอน (MJ/kg)

ตารางที่ 3 เงื่อนไขการทดลอง

กำลังความร้อน (Thermal Throughput) [kW]	150 ± 5.40
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง [kg/min]	0.56 ± 0.02
ปริมาณอากาศตามทฤษฎี [m^3/min]	2.63 ± 0.05
ปริมาณอากาศส่วนเกินร้อยละ 10 [m^3/min]	2.89 ± 0.05
อัตราส่วนอากาศส่วนที่หนึ่งต่ออากาศส่วนที่สอง (primary - secondary air ratio)	2 : 3 หรือ ร้อยละ 40 : 60 1 : 1 หรือ ร้อยละ 50 : 50 3 : 2 หรือ ร้อยละ 60 : 40

วิธีการทดลอง

การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ภายในหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวล จะทำการบันทึกผลการกระจายตัวของอุณหภูมิ ภายในหัวเผาทั้งหมด 20 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) โดยใช้ Thermocouple type k และบันทึกข้อมูลผ่าน Data logger ยี่ห้อ Graphtec รุ่น midi LOGGER GL840 ซึ่งมีค่าความแม่นยำ ± 0.05 และมีลำดับการทดลองดังนี้



รูปที่ 2 ลักษณะหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวล (ก) ตำแหน่งของอากาศส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สอง และ (ข) ตำแหน่งในการบันทึกค่าอุณหภูมิภายในหัวเผา

1. ทำการอุ่นหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวล โดยใช้หัวเผาแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG pilot burner) เปิดการทำงานของเครื่องอัดอากาศส่วนที่หนึ่ง สังเกตการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

2. เมื่ออุณหภูมิของผนังภายในหัวเผาเพิ่มขึ้นถึง 300 องศาเซลเซียส ทำการเปิดการทำงานของเครื่องอัดอากาศส่วนที่สอง และปรับอัตราส่วนของอากาศตามเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งร้อยละ 40 นั้นเป็นปริมาณอากาศขั้นต่ำที่สามารถนำพาเชื้อเพลิงจากสกรูลำเลียงเข้าสู่ส่วนล่างของหัวเผาได้อย่างต่อเนื่อง

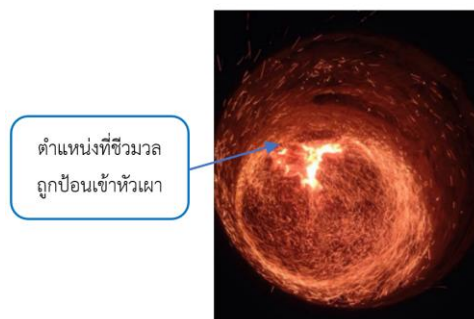
3. ทำการเปิดการทำงานของสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล แล้วปรับความเร็วรอบของสกรูลำเลียงที่ให้อัตราการป้อนของเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.56 กิโลกรัมต่อนาที

4. เมื่ออุณหภูมิภายในหัวเผาคงที่ บันทึกภาพลักษณะของเปลวไฟที่ท่อไฟ อุณหภูมิภายในหัวเผา และอุณหภูมิทางออกของแก๊สร้อน พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างเถ้าบริเวณส่วนล่างของไซโคลน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอย

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

พฤติกรรมการเผาไหม้ภายในหัวเผาชีวมวล

อากาศส่วนที่หนึ่งซึ่งถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาในทิศของการสัมผัสเส้นรอบวง จะส่งผลให้ลักษณะของเปลวไฟที่เกิดขึ้นภายในหัวเผามีลักษณะหมุนวน และสัมผัสกับผนังภายในหัวเผาโดยรอบ ดังแสดงในรูปที่ 3 และเมื่อพิจารณารูปที่ 4 การกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในหัวเผาที่สภาวะอากาศส่วนเกินร้อยละ 10 พบว่าที่อัตราส่วนความสูง (h/R) เท่ากับ 1.67 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อนุภาคเชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่หัวเผา ในทุกเงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิบริเวณนี้จะสูงมากกว่า 800 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าเมื่อเชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่หัวเผา เชื้อเพลิงจะเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง ปลดปล่อยสารระเหย และเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ได้ทันที จึงส่งผลให้หัวเผาสามารถคงสภาวะการไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง



ตำแหน่งที่ชีวมวล
ถูกป้อนเข้าหัวเผา

รูปที่ 3 พฤติกรรมการหมุนวนของอากาศภายในหัวเผา ขณะทำการอุ่นหัวเผา

ปฏิกิริยาการเผาไหม้สารระเหย ยังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ที่ระยะ h/R เท่ากับ 2.13 ส่งผลให้อุณหภูมิภายในหัวเผาเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 900 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อนุภาคคาร์บอนเริ่มเกิดปฏิกิริยาการไหม้ และด้วยพฤติกรรมของอากาศส่วนที่หนึ่งที่มีลักษณะหมุนควง จึงส่งผลให้การกระจายตัวของอุณหภูมิตามแนวรัศมีของอัตราส่วนความสูงค่อนข้างสม่ำเสมอ โดยเงื่อนไขการเผาไหม้ที่อัตราส่วนอากาศส่วนที่หนึ่งต่ออากาศส่วนที่สองเท่ากับ 2 : 3 ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 926 องศาเซลเซียส

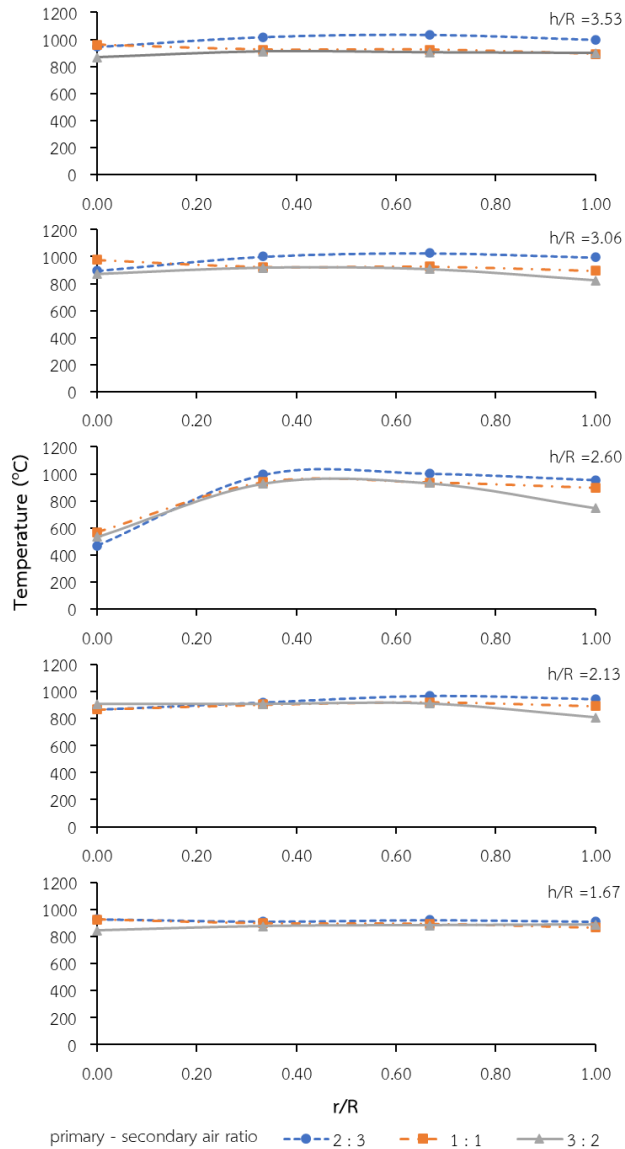
ที่ระยะ h/R เท่ากับ 2.60 เป็นตำแหน่งที่อากาศส่วนที่สองถูกป้อนเข้าสู่ภายในหัวเผา อนุภาคคาร์บอนจะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้บริเวณตำแหน่งระหว่างอัตราส่วนรัศมี r/R เท่ากับ 0.33 ถึง 1.00 ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในบริเวณดังกล่าวค่อนข้างสูงกว่าบริเวณผนังหัวเผา แต่ด้วยมวลของอากาศส่วนที่สองซึ่งเป็นอากาศที่เย็น ส่งผลให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดความหน่วง อุณหภูมิบริเวณที่ชิดกับผนังหัวเผาที่อัตราส่วนความสูงนี้จึงลดต่ำลง

ปฏิกิริยาการเผาไหม้กลับมารุนแรงอีกครั้งที่ระยะ h/R เท่ากับ 3.06 และ 3.53 เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศที่เพียงพอต่อการเผาไหม้คาร์บอน ส่งผลให้การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาสูงขึ้น โดยเฉพาะที่ระยะ r/R ระหว่าง 0.33 ถึง 1.00 ซึ่งเงื่อนไขการทดลองอัตราส่วนอากาศส่วนที่หนึ่งต่ออากาศส่วนที่สองเท่ากับ 2 : 3 ยังคงให้ค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าเงื่อนไขอัตราส่วนอากาศอื่น ๆ โดยสามารถทำอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดได้ที่ 1,035 องศาเซลเซียส ที่ตำแหน่ง h/R และ r/R เท่ากับ 3.53 และ 0.67 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขการเผาไหม้ที่อัตราส่วนอากาศ 2 : 3 พบว่าในทุกระยะอัตราส่วนความสูง h/R อุณหภูมิสูงสุดของแก๊สร้อนภายในหัวเผาจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งอัตราส่วนระยะตามแนวรัศมี r/R เท่ากับ 0.67 แสดงให้เห็นว่าอากาศส่วนที่หนึ่งมีลักษณะหมุนเหวี่ยงตามแนวเส้นรอบวง และอากาศส่วนที่สอง ถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาบริเวณกึ่งกลางในลักษณะหมุนควงสามทาง ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่รุนแรงภายในบริเวณดังกล่าว

เมื่อพิจารณารูปที่ 5 อุณหภูมิของแก๊สร้อนบริเวณท่อไฟ พบว่าการเผาไหม้เงื่อนไขอัตราส่วนอากาศส่วนที่หนึ่งต่ออากาศส่วนที่สอง 2 : 3 ทำให้อุณหภูมิแก๊สร้อนสูงสุด รองลงมาคือเงื่อนไขการเผาไหม้ที่อัตราส่วนอากาศ 1 ต่อ 1 โดยเงื่อนไขการเผาไหม้ที่อัตราส่วนอากาศ

3 : 2 จะให้อุณหภูมิแก๊สร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 924 857 และ 827 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการกระจายตัวของอุณหภูมิการเผาไหม้ภายในหัวเผาที่ระยะ h/R เท่ากับ 3.53

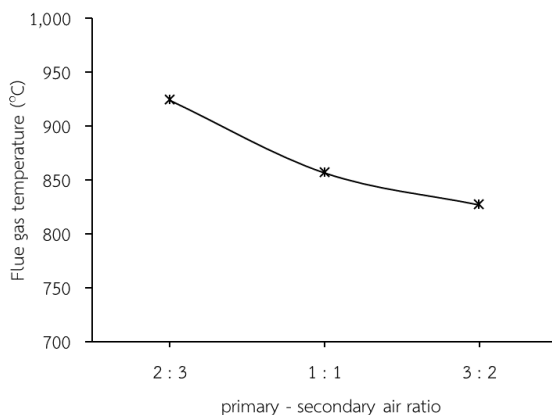


รูปที่ 4 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในหัวเผาที่สภาวะอากาศส่วนเกินร้อยละ 10 และ อัตราส่วนอากาศส่วนที่หนึ่งต่ออากาศส่วนที่สองเท่ากับ 2 : 3, 1 : 1 และ 3 : 2

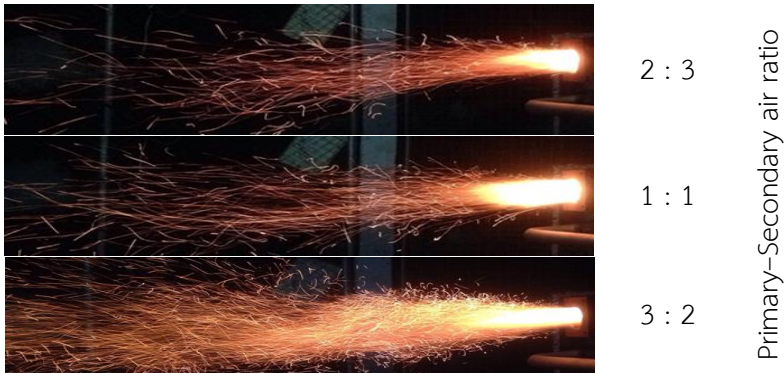
ลักษณะของเปลวไฟที่พุ่งออกจากหัวเผา

เมื่อพิจารณารูปที่ 6 จะพบว่ามิสเสกเกิดเปลวไฟที่พุ่งออกจากหัวเผาบริเวณท่อไพลักษณะดังกล่าวเกิดจากอนุภาคเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่หลุดลอยออกมาพร้อมกับแก๊สร้อน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ (residence time) ของอนุภาคเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ ภายในหัวเผาไม่เพียงพอ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nishiyama et al. (2007) ที่ระบุว่า การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่นนั้นเหมาะกับอนุภาคเชื้อเพลิงที่มีขนาดไม่เกิน 500 ไมโครเมตร

เมื่อพิจารณาลักษณะของเปลวไฟ พบว่าความยาวของเปลวไฟที่พุ่งออกมาจากหัวเผา จะแปรผกผันกับปริมาณอากาศส่วนที่สอง นั่นคือเมื่อสัดส่วนของอากาศส่วนที่สองเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้เปลวไฟที่พุ่งออกมามีความยาวลดลง เนื่องจากอากาศส่วนที่สองซึ่งถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาในลักษณะหมุนควงสามทาง จะเหนี่ยวนำให้เกิดการเผาไหม้ที่บริเวณกึ่งกลางภายในของหัวเผา ยิ่งปริมาณอากาศส่วนที่สองมาก ความสามารถในการเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาภายในหัวเผาจึงมากขึ้นตาม จึงเป็นเหตุผลให้ความยาวของเปลวไฟลดลง ในขณะที่เมื่อปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งมากขึ้น ความรุนแรงของการหมุนเหวี่ยง และการลอยตัวของอนุภาคจะมีมากขึ้นตามไปด้วย จึงส่งผลให้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาภายในหัวเผาสั้นลง อนุภาคเชื้อเพลิงขนาดใหญ่จึงหลุดออกมาเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายนอกหัวเผาเป็นจำนวนมาก สังเกตได้จากที่เปลวไฟมีมิสเสกเกิดไฟของอนุภาคพุ่งออกมาเป็นจำนวนมาก ซึ่งเปลวไฟในลักษณะนี้มีโอกาสที่จะมีอนุภาคคาร์ที่เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หลุดลอยไปกับแก๊สได้



รูปที่ 5 อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่ออุณหภูมิของแก๊สร้อนบริเวณท่อไพล



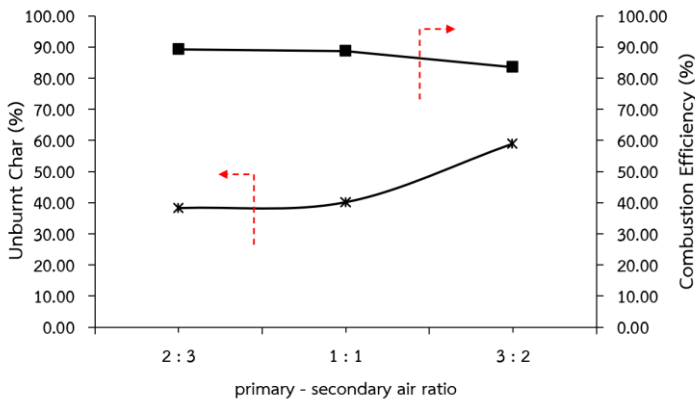
รูปที่ 6 อิทธิพลของสัดส่วนอากาศต่อลักษณะของเปลวไฟที่พุ่งออกจากหัวเผา

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอยและประสิทธิภาพการเผาไหม้

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอยนั้น ทำการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (Ash) ในตัวอย่างเถ้าลอยที่เก็บจากบริเวณส่วนล่างของไซโคลน โดยควบคุมการทดลองตามมาตรฐาน ASTM D 3174 (ASTM D3174-12, 2018) โดยนำตัวอย่างเถ้าลอยมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปเผาด้วยความร้อน 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จนกระทั่งคาร์บอนถูกเผาไหม้หมดสิ้น หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักเถ้าอีกครั้ง น้ำหนักส่วนต่างที่หายไป คือ ปริมาณคาร์บอนคงเหลือ แต่เนื่องจากการทดลองไม่สามารถวัดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในองค์ประกอบของแก๊สไอเสียได้ ดังนั้นการคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ (η_{comb}) จึงพิจารณาเฉพาะค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอย ดังสมการที่ 8 ซึ่งการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่นนั้นปริมาณคาร์บอนที่ไม่ได้รับการเผาไหม้กว่าร้อยละ 90 จะอยู่ในรูปของคาร์บอนคงเหลือที่ปนไปกับเถ้าหนักและเถ้าลอย (ชินภัทร ชูระการ, 2558)

เมื่อพิจารณารูปที่ 7 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อปริมาณคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอย และประสิทธิภาพการเผาไหม้ พบว่าเงื่อนไขการเผาไหม้ที่อัตราส่วนอากาศส่วนที่หนึ่งต่ออากาศส่วนที่สอง 2 : 3 มีปริมาณคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอยน้อยที่สุด รองลงมาคือเงื่อนไขการเผาไหม้ที่อัตราส่วนอากาศ 1 ต่อ 1 โดยเงื่อนไขการเผาไหม้ที่ 3 : 2 มีปริมาณคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอยมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 38.22, 40.08 และ 58.98 ตามลำดับ และเมื่อนำปริมาณคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอยมาคำนวณเพื่อประมาณการถึงประสิทธิภาพ

การเผาไหม้ พบว่าเงื่อนไขการเผาไหม้ที่อัตราส่วนอากาศ 2 : 3 มีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด ร้อยละ 89.29 ซึ่งจากตัวเลขการกระจายตัวของอุณหภูมิ ปริมาณคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอย และประสิทธิภาพการเผาไหม้ดังกล่าว ชี้ให้เห็นว่าเงื่อนไขการเผาไหม้ที่อัตราส่วนอากาศส่วนที่หนึ่งต่ออากาศส่วนที่สอง 2:3 มีความเหมาะสมกับลักษณะการเผาไหม้ในหัวเผาชีวมวลฝุ่นชนิดวางตั้ง ที่สภาวะการเผาไหม้อากาศส่วนเกินร้อยละ 10



รูปที่ 7 อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อปริมาณคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอย และประสิทธิภาพการเผาไหม้

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่หัวเผาสูงกว่าอุณหภูมิของกระบวนการปลดปล่อยสารระเหย จะส่งผลให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง อากาศส่วนที่สองจะส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณขีดผนังห้องเผาไหม้ลดลงที่ระยะ r/R ต่ำกว่า 0.33 โดยอุณหภูมิผนังที่ลดลงแปรผันตามปริมาณอากาศส่วนที่สองที่ถูกป้อนเข้าสู่หัวเผา แต่ความยาวของเปลวไฟที่พุ่งออกมาจากหัวเผาจะแปรผกผันกับปริมาณอากาศส่วนที่สอง ในขณะที่เมื่อปริมาณอากาศส่วนที่หนึ่งมากขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิเชื้อเพลิงขนาดใหญ่หลุดออกมาเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายนอกหัวเผาเป็นจำนวนมาก ซึ่งการเผาไหม้ที่อัตราส่วนอากาศ 2 : 3 ให้อุณหภูมิของแก๊สร้อนบริเวณท่อไฟสูงสุด 925 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณคาร์บอนคงเหลือในเถ้าลอยคิดเป็นร้อยละ 38.22 ประสิทธิภาพการเผาไหม้ร้อยละ 89.29 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสัดส่วนอากาศส่วนที่หนึ่งต่อส่วนที่สอง 2 ต่อ 3 มีความเหมาะสมกับหัวเผาชีวมวล

ผู้ชนิดวางตั้ง และคาดว่าจะสามารถนำหัวเผาดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม เกษตร และเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

คณิต มานะธูระ และ อุกฤษ สมัครสมาน. (2565). สมรรถนะของเตาไฟโรไลซิกลามะพร้าว ชนิดให้ความร้อนด้วยตนเอง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 11(2), 13–20.

ชินภัทร ชูระการ. (2558). *การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในหม้อน้ำอุตสาหกรรม*. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง).

นิกราน หอมดวง, พันธวัฒน์ ไชยวรรณ, ภูนิชต์ สายแก้ว, ประภัสสร รัตนไพบูลย์, กิตติกร สาสุจิตต์, เสริมสุข บัวเจริญ, นงเยาว์ หอมดวง, ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล และ ชูรัตน์ ธารารักษ์ (2564). การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไฟโรไลซิสสำหรับการใช้งานผลิตความร้อนถ่านชีวภาพ. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*, 4(1), 47–53.

ปกรณ์ อุ่นไธสง และ รชต มณีโชติ. (2562). การสร้างเครื่องและหาประสิทธิภาพถ่านอัดแท่งจากฝักราชพฤกษ์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 7(2), 147–157.

ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์, ศิริวรรณ แก้วสวิง และ อมรประภา ทิศกระโทก. (2563). การผลิตถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวจากเปลือกทุเรียน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 39(5), 580–586.

พลชัย ขาวนวล, สมบูรณ์ ประสงค์จันทร์ และ สุนารี บดีพงศ์. (2563). การพัฒนาสมรรถนะเตาชีวมวลชนิด TLUD ระดับครัวเรือน. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ*, 14(1), 52–62.

- ภราภรณ์ เหล็กสูงเนิน, วรชาติ วิศวรพัฒน์ และ ดาวจรัส เกตุโรจน์. (2560). ผลการใช้ถ่านชีวภาพจากแกลบต่อสภาพการละลายจุลธาตุอาหารพืชและการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินเหนียว. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์*, 4(3), 65–74.
- เยาวพล ชุมพล และ โฉมยง ไชยอุบล. (2564). ผลของถ่านไม้มะม่วงชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดข้าวเหนียว. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 9(1), 113–125.
- พิมพ์พรรณ อ่าพันธ์ทอง, เสริมศิริ ปราบเสริญ และ ลลิตพัทธ์ สุขเรือน. (2564). การพยากรณ์ก๊าซที่เกิดจากการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 9(1), 31–46.
- ASTM D3174-12. (2018). *Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal*. West Conshohocken, PA: ASTM International. Retrieved October 26, 2022, from www.astm.org.
- Garcia-Maraver, A., Perez-Jimenez, J. A., Serrano-Bernardo, F., & Zamorano, M. (2015). Determination and comparison of combustion kinetics parameters of agricultural biomass from olive trees. *Renewable Energy*, 83, 897–904.
- Jugjai, S., & Polmart, N. (2003). Enhancement of evaporation and combustion of liquid fuels through porous media. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 27(8), 901–909.
- Kamal, M. (2008). Parametric study of combined premixed and non-premixed flame coal burner. *Fuel*, 87(8–9), 1515–1528.
- Koppejan, J., & Van Loo, S. (2012). *The handbook of biomass combustion and co-firing*. Routledge.
- Laphirattanakul, P., Charoensuk, J., Turakarn, C., Kaewchompoo, C., & Suksam, N. (2020). Development of pulverized biomass combustor with a pre-combustion chamber. *Energy*, 208, 118333.
- Nishiyama, A., Shimojima, H., Ishikawa, A., Itaya, Y., Kambara, S., Moritomi, H., & Mori, S. (2007). Fuel and emissions properties of Stirling engine operated with wood powder. *Fuel*, 86(15), 2333–2342.

- Rasoulkhani, M., Ebrahimi-Nik, M., Abbaspour-Fard, M. H., & Rohani, A. (2018). Comparative evaluation of the performance of an improved biomass cook stove and the traditional stoves of Iran. *Sustainable Environment Research*, 28(6), 438–443.
- Riaza, J., Gibbins, J., & Chalmers, H. (2017). Ignition and combustion of single particles of coal and biomass. *Fuel*, 202, 650–655.
- Saeed, M. A., Andrews, G. E., Phylaktou, H. N., & Gibbs, B. M. (2017). Flame speed and Kst reactivity data for pulverised corn cobs and peanut shells. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 49, 880–887.
- Sousa, N., & Azevedo, J. L. (2016). Model simplifications on biomass particle combustion. *Fuel*, 184, 948–956.
- Stephen, R. T. (2000). *An introduction to combustion: concepts and applications*. McGraw-Hill Companies, Inc.

สภาวะที่เหมาะสมของเพคตินที่สกัดจากใบอ้อย
OPTIMIZATION CONDITIONS OF PECTIN EXTRACTED FROM
SUGARCANE LEAVES

เอราวัณ เบ้าทอง^{1,*}, วินัย มีแสง¹, วณิชยา จรุงพงษ์¹, พลอยระดา ภูมี² และ อัจฉรวาดี เครือภักดี³
Erawan Baothong^{1,*}, Winai Meesang¹, Wanichaya Charoonphong¹, Ployrada Phumee²
and Ajcharawadee Kruapukdee³

¹ สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

² สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

³ สาขาพืชศาสตร์ สิ่งทอ และการออกแบบ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

¹ Department of Environment, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University

² General Education Udon Thani Rajabhat University

³ Department of Plant Science Textile and design, Faculty of Agriculture and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus

Received: 19 December 2022

Revised: 22 February 2023

Accepted: 20 March 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินที่สกัดจากใบอ้อย โดยใช้โปรแกรม minitab ออกแบบสภาวะสกัดตามปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยด้าน pH เวลาในการสกัดและอุณหภูมิ ได้ 15 สภาวะ คือ pH อยู่ในช่วง 2-3 เวลาที่ใช้ในการสกัด คือ 30-240 นาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 60-90 °C พบว่าร้อยละผลผลิตที่ดีที่สุด คือ ในสภาวะ 10 มีสภาวะในการสกัด คือ pH เท่ากับ 3.0 เวลาเท่ากับ 30 นาที และอุณหภูมิ 75 °C มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 22.65 และในสภาวะ ที่ 1 มีค่าร้อยละผลผลิตน้อยที่สุด สภาวะในการสกัด คือ pH เท่ากับ 2.5 เวลาเท่ากับ 135 นาที และอุณหภูมิ 75 °C มีร้อยละ

* Corresponding author: เอราวัณ เบ้าทอง

E-mail: zempujin@gmail.com

ผลผลิตเท่ากับ 8.65 และพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากใบอ้อย คือ ปัจจัยด้าน pH และอุณหภูมิ

คำสำคัญ: เพคติน, ใบอ้อย, สภาวะที่เหมาะสม

Abstract

The objective of this research was to find the optimization condition in pectin extracting procession from sugarcane leaves by hydrochloric acid solution. Designed treatment from the Minitab program and following main factor was pH, extraction time, and temperature. There were 15 treatments followed by 2-3 pH, extraction time was 30-240 min and the temperature was 60-90 °C. It was found that the best condition for yield was treatment 10; pH 3.0, extraction time 30 min, temperature 75 °C, and the yield was 22.65 percent. The lowest yield was treatment 1; pH 2.5, extraction time 135 min, 75 °C, and the yield was 8.65 percent. It was found that the main factor for extracting pectin from sugarcane leaves were pH and temperature.

Keywords: Pectin, Sugarcane leaves, Optimization conditions

บทนำ

ปัญหาการเผาใบอ้อยเป็นปัญหาหลักที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านมลพิษอากาศ ก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ฟุ้งกระจายไปตามพื้นที่ชุมชนต่างๆ ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของคนในชุมชนใกล้เคียง สำหรับปัญหาดังกล่าวทั้งภาครัฐและโรงงานน้ำตาลต่างๆ พยายามหาแนวทางในการลดการเผาใบอ้อยลง เช่น การรับซื้ออ้อยที่ไม่มีการเผาในราคาที่สูงกว่าแบบเผา หรือการรับซื้อใบอ้อยจากเกษตรกรเพื่อจูงใจให้เกษตรกรลดการเผาใบอ้อยลง เป็นต้น อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวก็ยังคงเกิดขึ้นอยู่ทุกปีในทุกพื้นที่ที่มีการเผาปลูกอ้อย เนื่องจากมูลค่าของใบอ้อยยังไม่มีแรงจูงใจมากเพียงพอที่ทำให้เกษตรกรเลิกการเผา

(จุฑามาศ เลิศอยู่สุข และคณะ, 2561) ดังนั้นการหาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของใบอ้อยจึงมีความจำเป็นเร่งด่วนเพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าวลง

เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบที่มีอยู่ในใบอ้อยแล้ว พบว่ามีสารไบโอพอลิเมอร์หลายชนิด เช่น เซลลูโลส และเพคติน เป็นต้น (López-Velázquez et al., 2021) โดยเฉพาะสารเพคตินเป็นสารที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมได้หลากหลายในปัจจุบัน เช่น อุตสาหกรรมอาหาร การผลิตแยม เครื่องดื่ม ยา ไหมละลาย และรวมถึงด้านสิ่งแวดล้อม โดยสามารถนำมาเคลือบเมล็ดปุย เพื่อให้กลายเป็นปุ๋ยละลายช้าซึ่งช่วยลดการสูญเสียในการใช้ปุ๋ยได้ดี (Blanco-Pérez et al., 2021) ซึ่งราคาเพคตินอยู่ในช่วงกิโลกรัมละ 1,500 – 8,000 บาท ขึ้นอยู่กับร้อยละหมู่เอสเทอร์ในสายโซ่พอลิเมอร์ของเพคติน และมีแตกต่างกันไปในแต่ละวัตถุดิบ

ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงมุ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากใบอ้อยให้มีร้อยละผลผลิตที่สูงที่สุด โดยอาศัยวิธีแบบ Box-Behnken design เพื่อใช้สำหรับการออกแบบการทดลองที่มีตัวแปรมากกว่า 3 ตัวแปรขึ้นไป (Demirel et al., 2022) และให้ผลการวิจัยนี้เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านมลพิษทางอากาศ และฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอนอันเกิดจากการเผาใบอ้อยได้ดียิ่งขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการเตรียมใบอ้อย

เก็บใบอ้อยสดจากไร่อ้อยในเขตอำเภอโนนสะอาด จังหวัดอุดรธานี ช่วงเดือน ตุลาคม พ.ศ.2565 นำมาล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำใบอ้อยมาสับหยาบให้มีขนาดความยาว 5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นละเอียดยี่ห้อ Nanotech รุ่น NT-010 กำลังไฟ 1500 วัตต์ และเก็บรักษาเนื้อใบอ้อยที่ปั่นได้ที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อใช้สำหรับขั้นตอนการสกัดต่อไป

ขั้นตอนวิธีการสกัดเพคติน

ชั่งใบอ้อยปั่นที่เตรียมไว้มา 100 กรัม เติมน้ำกลั่น 2,500 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ของน้ำยาสกัดด้วยการเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12 โมลาร์ ให้ได้ค่า pH ตามสภาวะในตารางที่ 1 ตั้งเวลาในการสกัดและอุณหภูมิที่ใช้จากการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab[®] เวอร์ชัน 16 (Minitab Inc., State college, PA, USA) จากนั้นดำเนินการสกัดตามสภาวะ

ในตารางที่ 1 เมื่อครบตามกำหนดในแต่ละสภาวะ กรองและคั้นเนื้อใบอ้อยที่ได้ผ่านผ้าขาวบางในขณะที่ยังร้อน เติม 95% เอทิลแอลกอฮอล์เย็น ยี่ห้อ QReC เพื่อใช้ในการตกตะกอนเพคติน ในอัตราส่วนปริมาตร 1:1 จากนั้นนำตะกอนเพคตินไปแช่เย็นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 1 คืน นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนเพคตินความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที ล้างตะกอนเพคตินด้วย 70% เอทิลแอลกอฮอล์ จากนั้นนำเพคตินไปอบที่ 65 °C ด้วยเตาอบลมร้อนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่อง 0.25 มิลลิเมตร นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละผลผลิต ดังสมการที่ 1 ดังนี้ (Wai et al., 2010):

$$\text{ร้อยละผลผลิต (\%yield)} = \frac{\text{น้ำหนักเพคตินที่สกัดได้} \times 100}{\text{น้ำหนักของใบอ้อยที่ใช้สกัด}} \quad (1)$$

คุณลักษณะเบื้องต้นของเพคตินที่สกัดได้จากใบอ้อย

นำเพคตินที่สกัดได้จากใบอ้อยมาตรวจสอบคุณลักษณะหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญเพื่อเป็นการตรวจยืนยันเอกลักษณ์ของสารที่สกัดได้ว่าเป็นสารเพคตินโดยเทียบกับสารมาตรฐานเพคติน ยี่ห้อ LOBA Chemie (Mumbai, India) เลขการผลิต S59001303 ซึ่งมีค่าร้อยละหมู่เอสเทอร์ (Degree of esterification) (%DE) อยู่ในช่วง 63.0 – 66.0% ด้วยเครื่อง Fourier transform-infrared (FTIR) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum Two ประเทศสหรัฐอเมริกา

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลการวิจัยร้อยละผลผลิตที่ได้แต่ละสภาวะเข้าสู่โปรแกรม Minitab® เวอร์ชัน 16 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบเส้นตรงและเงื่อนไขการปฏิสัมพันธ์วิเคราะห์ด้วยวิธี multiple linear regression (MLR)

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละเพคตินที่สกัดได้จากใบอ้อย

สภาวะ	pH	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)	ร้อยละผลผลิต
1	2	90	135	8.65
2	2.5	75	135	11.20
3	2.5	75	135	11.26
4	2.5	60	240	13.15
5	2.5	90	240	13.52
6	2	75	30	16.98
7	2.5	60	30	15.01
8	3	75	30	12.18
9	2.5	75	135	11.30
10	2.5	90	30	22.65
11	2	75	240	12.24
12	3	75	240	11.61
13	2	60	135	14.21
14	3	90	135	9.20
15	3	60	135	13.33

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ร้อยละผลผลิตของเพคตินที่สกัดได้จากใบอ้อย

ผลการวิจัยเมื่อทำการสกัดเพคตินจากใบอ้อยจำนวน 15 สภาวะ พบค่าร้อยละผลผลิตดังตารางที่ 1 โดยร้อยละผลผลิตที่มีค่าสูงที่สุดคือสภาวะที่ 10 มีค่าร้อยละผลผลิตเท่ากับ 22.65 ซึ่งมีสภาวะในการสกัดคือ ค่า pH เท่ากับ 2.5 เวลาในการสกัดเท่ากับ 30 นาทีและใช้อุณหภูมิเท่ากับ 90 °C และสภาวะที่ 1 มีร้อยละผลผลิตต่ำที่สุดเท่ากับ 8.65 ซึ่งมีสภาวะในการสกัดคือ ค่า pH เท่ากับ 2.0 เวลาในการสกัดเท่ากับ 135 นาทีและใช้อุณหภูมิเท่ากับ 90 °C ซึ่งจัดว่าเพคตินที่สกัดได้จากใบอ้อยมีร้อยละผลผลิตอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าร้อยละผลผลิตของเพคตินที่สกัดได้จากวัตถุดิบต่างๆ

ลำดับที่	วัตถุดิบ	%Yield	แหล่งอ้างอิง
1	แก้วมังกร	24.96	Thirugnanasambandham et al. (2014)
2	เปลือกขนุน	14.47	Sundarraj et al. (2017)
3	เปลือกมะนาว	10.34	Kurita et al. (2008)
4	เปลือกปีทูลสีแดง	9.90	Fissore et al. (2012)
5	เปลือกเลมอน	6.60	Masmoudi et al. (2008)

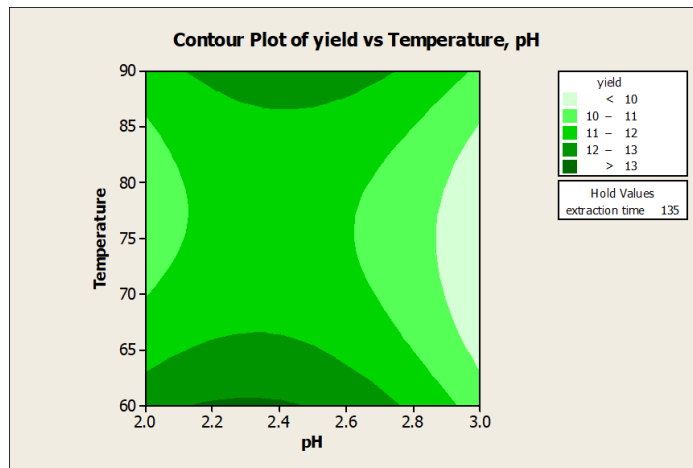
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการวิจัยนี้เมื่อนำผลของร้อยละผลผลิตจากตารางที่ 1 ลงในโปรแกรม Minitab[®] โดยเลือกสมการ second order polynomial ซึ่งสามารถแสดงผลเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการสกัดเพคตินจากใบอ้อย ซึ่งสมการสำหรับร้อยละผลผลิตแสดงดังสมการที่ 2 ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y = & 30.3985 + 19.6626X_1 - 0.952103X_2 - 0.0649592X_3 - 5.47167X_1^2 \\
 & + 0.00649815X_2^2 + 0.000305404X_3^2 + 0.0476667X_1X_2 \\
 & + 0.0198571X_1X_3 - 0.00115397X_2X_3
 \end{aligned} \quad (2)$$

เมื่อแทนค่า X_1 , X_2 และ X_3 แทนค่า pH, อุณหภูมิและเวลาในการสกัดเพคตินตามลำดับ

จากผลการศึกษา พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละผลผลิตของการสกัดเพคตินจากใบอ้อยคือปัจจัยด้าน pH (X_1) มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 19.6626 และมีปัจจัยเสริมคือปัจจัยด้านอุณหภูมิในการสกัด (X_1X_2) มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.0476667 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการสกัดเพคตินในเปลือกกล้วย (Oliveira et al., 2016) พบว่าปัจจัยด้าน pH มีผลมากที่สุดต่อร้อยละผลผลิตของเพคตินในเปลือกกล้วย มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 2.68 โดยการอภิปรายผลพบว่าถ้าค่า pH ในน้ำยาสกัดมีความเข้มข้นมากขึ้น จะสามารถสกัดเพคตินออกมาจากวัสดุที่มีปริมาณเส้นใยสูงและมีโปรตีนต่ำได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามค่า pH ไม่ควรต่ำเกินไป เพราะจะทำให้สายโซ่ของเพคตินขาดจากกันได้



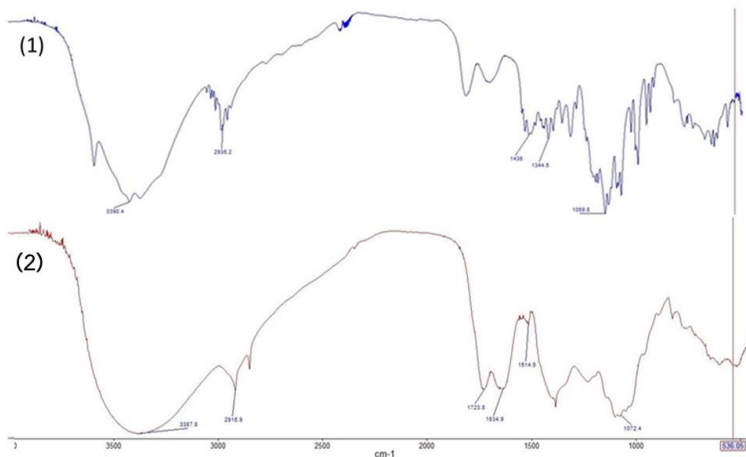
รูปที่ 1 Contour plot ค่าร้อยละผลผลิตของเพคตินที่สกัดจากใบอ้อย ระหว่างปัจจัยด้าน pH กับปัจจัยด้านอุณหภูมิ

จากรูปที่ 1 พบว่าเมื่อใช้ Surface contour line mode จากโปรแกรม MiniTab จะได้ผลการทำนายร้อยละผลผลิตของเพคตินที่สกัดจากใบอ้อย คือ ที่ระยะเวลาในการสกัด 135 นาที ค่า pH ของน้ำยาสกัดอยู่ในช่วง 2.0-3.0 และใช้อุณหภูมิในกระบวนการสกัดสารเพคตินมากกว่า 90 °C เพคตินจากใบอ้อยมีแนวโน้มจะได้ร้อยละการสกัดเพคตินที่สูงที่สุดคือ ประมาณมากกว่าร้อยละ 13.0 ขึ้นไป แต่ในการวิจัยครั้งนี้ใช้สภาวะที่ยังไม่ครอบคลุมถึงสภาวะที่เหมาะสม ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งหน้าควรเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดให้ครอบคลุมยิ่งขึ้น

สเปกตรัม FTIR ของเพคตินที่สกัดได้

สเปกตรัมของเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) เป็นเทคนิคที่สามารถใช้วิเคราะห์และตรวจยืนยันสารเพคตินที่สกัดได้จากใบอ้อย โดยอาศัยการปรากฏสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในโครงสร้างทางเคมีของเพคตินที่สกัดได้เทียบกับสารมาตรฐานเพคติน รวมถึงยังใช้ตรวจสอบเบื้องต้นถึงคุณลักษณะของร้อยละหมู่เอสเทอร์ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่บ่งบอกถึงระดับคุณภาพของเพคตินได้อีกทางหนึ่งด้วย (Yang et al., 2018; Dranca & Oroian., 2018; เอรารวิน เบ้าทอง, 2561) เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสเปกตรัมของเพคตินที่สกัดจากใบอ้อยกับรูปแบบของสเปกตรัมสารมาตรฐานเพคติน (Begum et al.,

2014) ซึ่งศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกขนุนพบว่ามีความคล้ายคลึงกัน ดังรูปที่ 2 โดยสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญประกอบไปด้วย สเปกตรัมที่ 950 และ $1,200\text{ cm}^{-1}$ เป็นช่วงคลื่นของหมู่เอเทอร์และวงพันธะ C-C (Santos et al., 2013; Oliveira et al., 2016) สเปกตรัมในช่วงคลื่น $1,530 - 1,510\text{ cm}^{-1}$ และ $1,640 - 1,660\text{ cm}^{-1}$ เป็นสเปกตรัมของหมู่เอสเทอร์และหมู่คาร์บอกซิลที่เกาะอยู่กับหมู่เอสเทอร์ตามลำดับ (Oliveira et al., 2016) ซึ่งในช่วงคลื่นสเปกตรัมนี้ ถ้าสเปกตรัมมีความกว้างและเด่นมากสามารถเป็นการบอถึงการเพิ่มขึ้นของร้อยละหมู่เอสเทอร์ในเพคตินนั้นด้วย (Kyomugasho et al., 2015) ในบางกรณีสเปกตรัมที่เกิดขึ้นอาจมีการขยับไปจากเดิมได้ในกรณีที่มีหมู่โพลีแซคคาไลด์ในโมเลกุลสูง ดังนั้นโดยส่วนใหญ่จะใช้สเปกตรัมที่ปรากฏ $1,650$ และ $1,750\text{ cm}^{-1}$ หรือบริเวณใกล้เคียงเพื่อวิเคราะห์ถึงร้อยละหมู่เอสเทอร์ (Bichara et al., 2016) สำหรับสเปกตรัมในช่วงคลื่น $2,900\text{ cm}^{-1}$ เป็นการแสดงถึงหมู่เมทอกซี ($-\text{OCH}_3$) ที่สามารถบอถึงความสามารถในการเกิดเป็นเจลของสารเพคตินได้มากขึ้นเมื่อสเปกตรัมมีความคมชัดสูง



รูปที่ 2 สเปกตรัม FTIR ของสารมาตรฐานเพคติน (1)

และของเพคตินที่สกัดจากใบอ้อยสภาวะที่ 10 (2)

เมื่อพิจารณาถึงหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในโครงสร้างของเพคตินเมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน เพคตินพบว่า สเปกตรัมที่บ่งบอกถึงคุณภาพเพคตินคือหมู่เอสเทอร์ในช่วงคลื่น $1530 - 1510$

cm^{-1} และ $1640 - 1660 \text{ cm}^{-1}$ ในเพคตินที่สกัดจากใบอ้อยมีพื้นที่ใต้กราฟสูงกว่าสารมาตรฐาน เพคติน ดังนั้นเพคตินที่ได้จากใบอ้อยจะมีคุณภาพสูงกว่าสารมาตรฐานเพคติน ดังในงานวิจัย ที่สกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอ (Roy et al., 2017) ที่พบค่าร้อยละหมู่เอสเทอร์ในเพคติน เท่ากับ 70.79 ซึ่งสูงกว่าในสารมาตรฐาน (61.00-66.00) ดังนั้นในอนาคตจึงควรมีการศึกษา ถึงสภาวะที่สามารถสกัดเพคตินจากใบอ้อยให้ได้ร้อยละผลผลิตมากยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยครั้งนี้ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากใบอ้อย พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินได้ค่าร้อยละผลผลิตสูงสุดคือสภาวะที่ 10 ซึ่งมีสภาวะค่า pH เท่ากับ 3.0 เวลาในการสกัด 30 นาที และมีอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 75°C มีค่า สูงที่สุดคือเท่ากับร้อยละ 22.65 และในสภาวะที่ 1 ซึ่งมีสภาวะค่า pH เท่ากับ 2.5 เวลาใน การสกัด 135 นาที และมีอุณหภูมิเท่ากับ 75°C มีค่าน้อยที่สุดคือเท่ากับ ร้อยละ 8.65 เมื่อนำผลวิจัยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab[®] โหมด Box-Behnken design พบว่าปัจจัยที่มี ผลต่อการสกัดเพคตินจากใบอ้อยให้มีร้อยละผลผลิตสูงที่สุด คือ ปัจจัยด้าน pH ค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 19.6626

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีที่ให้ความอนุเคราะห์ อุปกรณ์และสถานที่ในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

จุฑามาศ เลิศอยู่สุข, สุวรรณา ประณีตวตกุล และ ประเสริฐ ฉัตรวชิระวงษ์. (2561). การรับรู้ และความพึงพอใจของเกษตรกรต่อคุณลักษณะวิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในจังหวัดเพชรบูรณ์. *แก่นเกษตร*, 46(2), 237-246.

เอราวัณ เบ้าทอง. (2561). แนวทางการใช้ประโยชน์เปลือกทุเรียนผสมเปลือกมะพร้าวในการ สกัดเพคติน. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการ เรียนรู้*, 9(2), 200-210.

Begum, R., Aziz, M. G., Uddin, M. B., & Yusof, Y. A. (2014). Characterization of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) waste pectin as influenced by various

- extraction conditions. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 244-251.
- Bichara, L. C., Alvarez, P. E., Bimb, M. V. F., Vaca, H., Gervasi, C., & Brandan, S. A. (2016). Structural and spectroscopic study of a pectin isolated from citrus peel by using FTIR and FT-Raman spectra and DFT calculations. *Infrared Physics & Technology*, 76, 315-327.
- Blanco-Pérez, F., Steigerwald, H., Schülke, S., Vieths, S., Toda, M., & Scheurer, S. (2021). The dietary fiber pectin: health benefits and potential for the treatment of allergies by modulation of gut microbiota. *Current Allergy and Asthma Reports*, 21(43), DOI: 10.1007/s11882-021-01020-z.
- Dranca, F., & Oroian, M. (2018). Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. *Food Research International*, 113, 327-350.
- Demirel, C., Kabutey, A., Herák, D., Sedlacek, A., Mizera, C., & Dajbych, O. (2022). Using box-behnken design coupled with response surface methodology for optimizing rapeseed oil expression parameters under heating and freezing conditions. *Processes*, 10, 490. <https://doi.org/10.3390/pr10030490>.
- Fissore, A., Rojas, M., & Gerschenson, L. N. (2012). Rheological performance of pectin-enriched products isolated from red beet (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) through alkaline and enzymatic treatments. *Food Hydrocolloids*, 26, 249 – 260.
- Kurita, T., Fujiwara, E., & Yamazaki, E. (2008). Characterization of the Pectin Extracted from Citrus Peel in the Presence of Citric Acid. *Carbohydrate Polymers*, 74, 725-730.
- Kyomugasho, C., Christiaens, S., Shpigelman, A., Loey, A. M. V., & Hendrickx, M. E. (2015). FT-IR spectroscopy, a reliable method for routine analysis of the

- degree of methylesterification of pectin in different fruit-and vegetable-based matrices. *Food Chemistry*, 176, 82-90.
- López-Velázquez, L. Y., Salgado-García, S., Córdova-Sánchez, S., Valerio-Cárdena, C., Bolio-López, G. I., Castañeda-Ceja, R., LagunésEspinoza, L. del C., & Falconi Calderón, R. (2021). Characterization of cellulose and sugarcane (*Saccharum* spp.) straw from five cultivars grown in the humid tropic of Mexico. *Agro Productividad*, <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i9.2034>.
- Masmoudi, S., Besbes, M., Chaabouni, C., Robert, M., Paquot, C., Blecker, C., & Attia, H. (2008). Optimization of pectin extraction from lemon by-product with acidified date juice using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 74, 185–192.
- Oliveira, T. I. S., Rosa, M. F., Canalcante, F. L., Pereira, P. H. F., Moates, G. K., Wellner, N., Mazzetto, S. E., Waldron, K. W., & Azerefo, H. M. C. (2016). Optimization of pectin extraction from banana peels with citric acid by using response surface methodology. *Food Chemistry*, 198, 113-118.
- Roy, M. C., Alam, M., Saeid, A. Das, B. C., Mia, M. B., Rahman, M. A., Eun, J. B., & Ahmed, M. (2017). Extraction and characterization of pectin from pomelo peel and its impact on nutritional properties of carrot jam during storage. *Journal of Food processing and Preservation*., 42, 1-9.
- Santos, J. D. G., Espeleta, A. F., Branco, A., & Assis, S. A. (2013). Aqueous Extraction of Pectin from Sisal Waste. *Carbohydrate Polymer*, 92, 1997-2001.
- Sundarraj, A. A., Vasudevan, R. T., & Sriramulu, G. (2017). Optimized extraction and characterization of pectin from jackfruit (*Artocarpus integer*) wastes using response surface methodology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 106(3), DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.08.065.
- Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., & Maran, J. P. (2014). Process optimization and analysis of microwave assisted extraction of pectin from dragon fruit peel. *Carbohydrate. Polymer*, 112, 622-626.

- Wai, W. W., Alkarkhi, A. F. M., & Easa, A. M. (2010). Effect of extraction conditions on yield and degree of esterification of durian rind Pectin: An experimental design. *Food and Bioproduct Process*, 88, 209-214.
- Yang, J. S., Mu, T. H., & Ma. M. M. (2018). Extraction, structure, and emulsifying properties of pectin from potato pulp. *Food Chemistry*, 244, 197-205.

การทดสอบเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ของหอมแดงที่สกัดด้วยเทคนิควิธีการที่แตกต่างกัน

COMPARISON OF THE PHENOLIC COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY IN DIFFERENT EXTRACTION TECHNIQUES OF *Allium ascalonicum* L.

ปภาภัสสร ธีระพัฒน์วงศ์^{1,*} และ กฤษณา พันธุ์เดช²

Paphaphat Thiraphatthanavong^{1,*} and Krissada Phandeche²

¹ สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

² หน่วยงานกายภาพบำบัด ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹ Department of Thai Traditional medicine, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University

² Physical therapy unit, Department of Rehabilitation, Faculty of medicine, Khon Kaen University

Received: 19 December 2022

Revised: 17 February 2023

Accepted: 20 March 2023

บทคัดย่อ

กลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) เป็นปัญหาด้านสุขภาพที่สำคัญในปัจจุบัน สาเหตุหลักเกิดจากพฤติกรรมเสี่ยงในการดำเนินชีวิต เช่น การรับประทานอาหารที่ไม่ถูกสุขลักษณะ ขาดการออกกำลังกาย มีความเครียดสูงจากสภาพสังคมและสิ่งแวดล้อม ปัจจัยเหล่านี้ทำให้เซลล์ในร่างกายมีการสร้างสารอนุมูลอิสระมากขึ้น ซึ่งสารเหล่านี้จะไปกระตุ้นกระบวนการออกซิเดชันส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์ในร่างกายและนำไปสู่การเกิดโรคต่างๆ ได้ งานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่า สารสกัดจากผักและผลไม้มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้ หอมแดง (*Allium ascalonicum* L.) เป็นพืชที่ปลูกมากในเขตภาคอีสาน และเป็นหนึ่งในพืชที่มีการรายงานถึงคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังดังกล่าว โดยมีวิธีการในการสกัดสารสำคัญที่หลากหลายและแตกต่างกันออกไป ดังนั้น งานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของหอมแดงที่สกัดด้วยเทคนิควิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธี ได้แก่ 1) สกัดด้วยน้ำกลั่น (DW) 2) สกัดด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10

* Corresponding author: ปภาภัสสร ธีระพัฒน์วงศ์

E-mail: paphaphat.th@udru.ac.th

นาที่ (DW+B60°C) และ 3) สกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ (A50) จากนั้นนำไปทดสอบหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-Ciocalteu และปริมาณฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี Flavonoid Assay ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH, FRAP และ Nitric oxide (NO) radical scavenging assay ผลการวิจัยพบว่า หอมแดงที่สกัดด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที (DW+B60°C) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงกว่าหอมแดงที่สกัดด้วยน้ำกลั่น (DW) และสกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ (A50) มีค่าเท่ากับ 9.07 ± 0.32 mg/L GAE/mg extract และ 1.226 ± 0.017 mg/L quercetin/mg extract และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบด้วยวิธี DPPH และ FRAP ที่ดีที่สุด โดยมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC₅₀) มีค่าเท่ากับ 8.65 ± 0.01 และ 20.86 ± 0.43 mg/mL ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่ามีความสามารถในการยับยั้ง NO สูงที่สุด มีค่าเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 27.22 ± 0.30 การวิจัยในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าหอมแดงที่สกัดด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที (DW+B60°C) เป็นวิธีการสกัดสารที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการสกัดด้วยน้ำกลั่น (DW) และสกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ (A50) ที่อุณหภูมิห้อง โดยผลของความร้อนที่เหมาะสมอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่สามารถช่วยให้การสกัดสารสำคัญในหอมแดงมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

คำสำคัญ: หอมแดง, สารประกอบฟีนอลิก, สารต้านอนุมูลอิสระ, วิธีการสกัดสาร

Abstract

Nowadays, chronic non-communicable diseases (NCDs) are a major health problem. The main cause is due to behaviors in daily life such as unhealthy food eating, lack of exercise and high stress due to social and environmental conditions. These factors can stimulate cells in the body to produce more free radicals. These substances will provoke the oxidative stress process that affect the function of cells in the body and lead to various diseases. Previous study found that the fruits and vegetables including shallot (*Allium ascalonicum* L.) have the ability to be antioxidants with various extraction methods. Therefore, this study aims to compare the phenolic

compound contents and the antioxidant activity of *Allium ascalonicum* L. extracted by 3 different techniques including 1) aqueous extract (DW) 2) boiling at 60 °C for 10 minutes extract (DW+B60°C) and 3) 50 percent of ethanol extract (A50). The phenolic compound contents and the antioxidant activity were investigated by using Folin-Ciocalteu, Flavonoid Assay, DPPH, FRAP and Nitric oxide (NO) radical scavenging assay. The results shown that the shallot (*Allium ascalonicum* L.) with boiling at 60 °C for 10 minutes extract have the most total phenolic compound and flavanoid at 9.07 ± 0.32 mg/L GAE/mg extract and 1.226 ± 0.017 mg/L quercetin/mg extract. Moreover, the antioxidant activity by DPPH and FRAP assay show the best of the half maximal inhibitory concentration (IC_{50}) at 8.65 ± 0.01 and 20.86 ± 0.43 mg/ml, respectively. In addition, The highest percentage of NO inhibition is at 27.22 ± 0.30 . This research showed that, Shallots (*Allium ascalonicum* L.) extracted by boiling at 60 °C for 10 minutes (DW+B60°C extraction) is a more efficient method than aqueous and 50 percent of ethanol extraction. The effect of optimum heat may be one of the factors that can enhance the efficient extraction of essential substances in shallot.

Keywords: Shallot, Phenolic compounds, Antioxidant, Extraction techniques

บทนำ

หอมแดง (Shallot) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Allium ascalonicum* L. อยู่ในตระกูล *Amaryllidaceae* เป็นพืชสมุนไพรที่คนไทยนิยมนำส่วนหัวมาใช้ในการประกอบอาหาร จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ นิยมปลูกในเขตภาคอีสานของประเทศไทย งานวิจัยก่อนหน้านี้ มีการรายงานถึงคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของหอมแดง โดยพบว่า มีสารในกลุ่มเคออสทิน (Quercetin) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) แคมพ์เฟอร์อล (Kaempferol) และอัลลิซิน (Allicin) และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของพืชตระกูลหอม (Onion) พบว่า หอมแดงมีฤทธิ์สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับหอมอีก 10 ชนิด (Jun et al., 2004) นอกจากนี้ ยังมีรายงานถึงคุณสมบัติในการต้านอาการแพ้และระคายเคือง

(Alexander Victor et al., 2016; Jiri et al., 2016; Warangkana et al., 2019) ลดระดับน้ำตาลในเลือด (Razieh et al., 2007) ลดเปอร์เซ็นต์ของระดับไขมันในร่างกาย (Total fat percentage) (Ji-Sook et al., 2016; Mariangela et al., 2019) ช่วยลดระดับ Cholesterol และ Triglyceride ที่เป็นปัจจัยในการกระตุ้นให้เกิดภาวะหลอดเลือดแข็ง (Atherosclerosis) ช่วยเพิ่มการไหลเวียนเลือดและลดระดับความดันเลือด (Yin et al., 2012; Ehécatl et al., 2016; Sanaz et al., 2017)

ในปัจจุบัน การสกัดสารสำคัญจากพืชทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของสารสกัด คุณสมบัติของสารในการทนต่อความร้อน ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ เช่น คุณสมบัติของการมีขี้ผึ้ง กังมีขี้ผึ้ง หรือไม่มีขี้ผึ้ง ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน การหมัก (Maceration) เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชที่มีขั้นตอนวิธีการโดยนำตัวอย่างพืชที่บดละเอียดมาเติมน้ำหรือตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพดีในการสกัดพืชตามอัตราส่วนที่ต้องการ ในภาชนะปิดทิ้งไว้ 12-24 ชั่วโมง หรือมากกว่านั้น โดยประมาณ 2-7 วัน เมื่อครบกำหนดเวลาจึงนำไปกรอง วิธีนี้มีข้อดี คือ สารไม่ถูกความร้อนแต่เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองตัวทำละลายและใช้เวลาค่อนข้างนาน จึงมีการคิดค้นวิธีการเพื่อประหยัดเวลาในการสกัดสารสำคัญ โดยการเพิ่มความเร็วในการสกัดจากการเพิ่มอุณหภูมิในขั้นตอนของการสกัด แต่วิธีการนี้ต้องพึงระวังในเรื่องของการสลายตัวของสารสำคัญจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น ผลของการวิจัยก่อนหน้านั้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดพืชมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญที่ได้ โดยพบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพสูงสุดในการสกัดสารสำคัญในพืชและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเกินกว่า 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สารสำคัญลดลง (Maja et al., 2013; Intan Soraya et al., 2017) นอกจากนั้น ยังนิยมนำตัวทำละลายแอลกอฮอล์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารละลายกึ่งมีขี้ผึ้ง เช่น เอทานอลและเมทานอลมาใช้สกัดสารสำคัญในพืชสมุนไพรซึ่งให้ปริมาณสารสำคัญที่มากขึ้นในการสกัดพืชบางชนิด ดังนั้น งานวิจัยในครั้งนี้นี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของหอมแดงที่สกัดด้วยเทคนิควิธีการที่แตกต่างกันเพื่อนำข้อมูลการวิจัยที่ได้ไปใช้ในการต่อยอดพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทางสุขภาพที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างพืช (Plant material preparation)

นำหัวหอมแดงสด (*Allium ascalonicum* L.) ที่เก็บเกี่ยวจากพื้นที่จังหวัดศรีสะเกษ ประเทศไทย ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 มาปอกเปลือกล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ หลังจากนั้นนำไปอบแห้งในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำหัวหอมแดงแห้งที่ได้ไปปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่น ลักษณะของหอมแดงก่อนปอกเปลือก หลังปอกเปลือกและแห้งปั่นละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 1 จากนั้นนำไปสกัดด้วย 3 วิธี ได้แก่ 1) สกัดด้วยน้ำกลั่น (DW) ที่อุณหภูมิห้อง หมักนาน 24 ชั่วโมง 2) สกัดด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที (DW+B60°C) และ 3) สกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ (A50) ที่อุณหภูมิห้อง หมักนาน 24 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วน 1:5 (weight: volume) เมื่อครบเวลากรองแยกส่วนของของเหลวโดยใช้ผ้าขาวบางและกระดาษกรองเบอร์ 4 นำเฉพาะส่วนของเหลวไปทำให้แห้งด้วยความร้อน (Hot air drying) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สารสกัดที่ได้จะเก็บใส่ภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิดและป้องกันไม่ให้โดนแสง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาใช้งาน

การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก (Total phenolic content)

ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu method โดยใช้กรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน (Quettier-Deleu et al., 2000) เริ่มจากหยอดสารสกัดปริมาณ 20 μ L ตามด้วย Folin-Ciocalteu reagent ปริมาณ 0.2 mL และ น้ำกลั่น ปริมาณ 2 mL บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 5 นาที หลังจากนั้น เติม 20% sodium carbonate ปริมาณ 1 mL และบ่มต่ออีก 2 ชั่วโมง โดยแต่ละตัวอย่างสารสกัดจะทำแบบซ้ำ 3 ครั้ง (triplicate) หลังจากบ่มครบเวลาจะนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง spectrophotometer นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโดยรายงานผลเป็นหน่วย mg/L GAE/mg extract

การคำนวณสารประกอบฟีนอลิก (Total phenolic compounds)

สร้างกราฟมาตรฐาน ของ Gallic acid และคำนวณปริมาณ total phenolic ในสารละลายตัวอย่างด้วยการแทนค่าในสมการของกราฟมาตรฐาน

$$(y = ax + b)$$

โดยที่ x = ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดตัวอย่าง

y = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารสกัดตัวอย่าง

การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์ (Total flavonoid content)

ด้วยวิธี Aluminum chloride method โดยใช้เคอควิซิทิน (Quercetin) เป็นสารมาตรฐาน เริ่มจากหยอดสารสกัดปริมาณ 100 μL ผสมกับ 2% AlCl_3 ปริมาณ 100 μL บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที โดยแต่ละตัวอย่างสารสกัดจะทำแบบซ้ำ 3 ครั้ง (triplicate) หลังจากบ่มครบเวลาจะนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรโดยใช้เครื่อง spectrophotometer นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโดยรายงานผลเป็นหน่วย mg/L quercetin/ mg extract

การคำนวณปริมาณฟลาโวนอยด์ (Flavonoids content)

สร้างกราฟมาตรฐาน ของ Quercetin และคำนวณปริมาณ flavonoids content ในสารละลายตัวอย่างด้วยการแทนค่าในสมการของกราฟมาตรฐาน

$$(y = ax + b)$$

โดยที่ x = ปริมาณฟลาโวนอยด์ของสารสกัดตัวอย่าง

y = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารสกัดตัวอย่าง

การทดสอบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ 3 วิธีคือ

วิธีที่ 1 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) โดยใช้กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เป็นสารมาตรฐาน (Tai et al., 2011) เตรียมสารมาตรฐานและสารสกัดในตัวทำละลายเมทานอลที่ความเข้มข้น 0.5, 1, 2, 5, 10, 20 และ 50 mg/mL จากนั้นหยอดสาร 1 mM DPPH บ่มในที่มืดและที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที โดยแต่ละตัวอย่างสารสกัดจะทำแบบซ้ำ 3 ครั้ง (triplicate) หลังจากบ่มครบเวลาจะนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรโดยใช้เครื่อง spectrophotometer นำค่าที่ได้แต่ละความเข้มข้นของสารสกัดไปสร้างกราฟเปรียบเทียบกับกราฟของสารมาตรฐานโดยรายงานผลเป็นค่า IC_{50} หน่วย mg/mL

การคำนวณ % DPPH scavenging นำค่าที่ได้มาคำนวณ ตามสูตร ดังต่อไปนี้

$$\% \text{ DPPH scavenging} = [(A_c - A_t)/A_c] \times 100$$

เมื่อ A_c = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของ DPPH ในตัวทำละลายเมทานอล

A_t = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารสกัดตัวอย่าง

นำค่าที่ได้มา Plot graph เพื่อหาสมการเส้นตรง $y = ax + b$

คำนวณหาค่า IC_{50} โดยแทนค่า 50 ที่ y ในสมการเส้นตรง จะได้ค่า IC_{50} ของสารตัวอย่าง

วิธีที่ 2 Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) โดยใช้กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เป็นสารมาตรฐาน (Benzie & Strain, 1996) เริ่มจากการเตรียมสาร FRAP reagent โดยผสม acetate buffer ปริมาณ 25 mL และ TPTZ ปริมาณ 2.5 mL ลงใน $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ปริมาณ 2.5 mL หลังจากนั้น นำ FRAP reagent ที่ผสมแล้ว มาหยอดสารสกัดปริมาณ 50 μ L ผสมลงไปและใช้เครื่องปั่นผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตรที่นาที่ที่ 0 และนำไปบ่มในอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงอีกครั้งโดยใช้เครื่อง spectrophotometer โดยแต่ละตัวอย่างสารสกัดจะทำแบบซ้ำ 3 ครั้ง (triplicate) นำค่าที่ได้แต่ละความเข้มข้นของสารสกัดไปสร้างกราฟเปรียบเทียบกับกราฟของสารมาตรฐานโดยรายงานผลเป็นค่า IC_{50} หน่วย mg/mL

การคำนวณ FRAP activity นำค่าที่ได้มาคำนวณ ตามสูตร ดังต่อไปนี้

$$FRAP \text{ activity} = [(A_c - A_t)/A_c] \times 100$$

เมื่อ A_c = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของตัวทำละลายเอทานอล

A_t = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารสกัดตัวอย่าง

นำค่าที่ได้มา Plot graph เพื่อหาสมการเส้นตรง $y = ax + b$

คำนวณหาค่า IC_{50} โดยแทนค่า 50 ที่ y ในสมการเส้นตรง จะได้ค่า IC_{50} ของสาร

วิธีที่ 3 Nitric oxide (NO) radical scavenging assay ดัดแปลงตามวิธีของ (Aktas et al., 2013) โดยใช้เคอควิทิน (Quercetin) เป็นสารมาตรฐาน เริ่มจากนำสารละลาย Sodium nitroprusside (SNP) 10 mM ที่ละลายใน Phosphate buffer saline (pH 7.4) ปริมาณ 40 μ L มาหยอดสารสกัดปริมาณ 20 μ L ผสมลงไป วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 150 นาที จากนั้นเติมสารละลาย Griess (1% Sulfanilamide: 0.1% N-(1-Naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride (NED) ในอัตราส่วน 1:1) ปริมาณ 100 μ L ผสมสารให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ 10 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดย

ใช้เครื่อง spectrophotometer โดยแต่ละตัวอย่างสารสกัดจะทำแบบซ้ำ 3 ครั้ง (triplicate) รายงานผลเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (% Inhibition)

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง Nitric oxide (% Inhibition of NO) นำค่าที่ได้มาคำนวณ ตามสูตร ดังต่อไปนี้

$$\% \text{ NO inhibition} = [(A_c - A_t) / A_c] \times 100$$

เมื่อ A_c = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลาย SNP

A_t = ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารสกัดตัวอย่าง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการนำหอมแดงสดมาทำให้แห้ง พบว่ามีค่า %Yield (Dried sample) เท่ากับ 14.55 จากนั้นนำมาสกัดสารสำคัญด้วย 3 วิธี ได้แก่ 1) สกัดด้วยน้ำกลั่น (DW) 2) สกัดด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที (DW+B60°C) และ 3) สกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ (A50) โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้หลังจากการทำแห้ง (%Yield) ของวิธีการสกัดแบบ DW+B60°C มีค่า %Yield crude extract เท่ากับ 5.00 รองลงมาคือ การสกัดแบบ DW และการสกัดแบบ A50 มีค่าเท่ากับ 4.25 และ 4.00 ตามลำดับ ซึ่งสารสกัดที่ได้จากทั้ง 3 วิธี มีลักษณะของสารสกัดหยาบที่ได้แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงค่า %Yield สารสกัดหยาบ (Crude extract)

วิธีการสกัดสารสำคัญ	ค่า %Yield สารสกัดหยาบ (Crude extract)
DW	4.25
DW+B60°C	5.00
A50	4.00



รูปที่ 1 แสดงลักษณะภายนอกของหอมแดง (A) แบบสดปอกเปลือก (B) และแบบแห้งป่นละเอียด (C) ที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างพืช



รูปที่ 2 แสดงลักษณะสารสกัดหยาบ (Crude extract) ที่ได้รับการสกัดทั้ง 3 วิธี

นอกจากนั้น ผลการวิจัยยังพบว่าหอมแดงที่สกัดด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที (DW+B60°C) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 9.07 ± 0.32 mg/L GAE/mg extract และ 1.226 ± 0.017 mg/L quercetin/mg extract ตามลำดับ วิธีการสกัดที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดรองลงมา คือหอมแดงที่สกัดด้วยน้ำกลั่น (DW) และสกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 50 เปอร์เซ็นต์ (A50) โดยมีค่าเท่ากับ 5.03 ± 0.05 และ 3.79 ± 0.01 mg/L GAE/mg extract ตามลำดับ แต่พบว่าปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในการหมักแบบ A50 มีค่าสูงกว่าการหมักแบบ DW เล็กน้อยโดยมีค่าเท่ากับ 0.492 ± 0.007 และ 0.433 ± 0.007 mg/L quercetin/mg extract ตามลำดับ นอกจากนี้ การทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH และ FRAP พบว่าหอมแดงที่สกัดด้วยวิธี DW+B60°C มีฤทธิ์ดีที่สุด โดยมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC₅₀) มีค่าเท่ากับ 8.65 ± 0.01 และ 20.86 ± 0.43 mg/mL ส่วนหอมแดงที่สกัดด้วยวิธี DW มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 12.89 ± 0.14 และ 29.75 ± 0.03 mg/mL ส่วนวิธีการสกัด

A50 มีค่า IC_{50} เท่ากับ 8.97 ± 0.36 และ 38.63 ± 0.07 mg/mL โดยฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของกรดแอสคอร์บิกซึ่งเป็นสารมาตรฐาน (STD) ของการทดสอบ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.014 ± 0.37 และ 2.007 ± 0.11 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 และแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant activity) ด้วยวิธี DPPH และ FRAP และสมการเส้นตรง (Linear equation) เปรียบเทียบกับค่าสารมาตรฐาน (STD) ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้น หอมแดงที่สกัดด้วยวิธี DW+B60°C มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ NO โดยแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 27.22 ± 0.30 รองลงมาคือ หอมแดงที่สกัด A50 และ DW มีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 26.52 ± 0.15 และ 18.26 ± 0.30 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงค่าสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของหอมแดงที่สกัดด้วยเทคนิควิธีการที่แตกต่างกัน ค่าที่ได้แสดงในรูปแบบ Mean \pm SEM

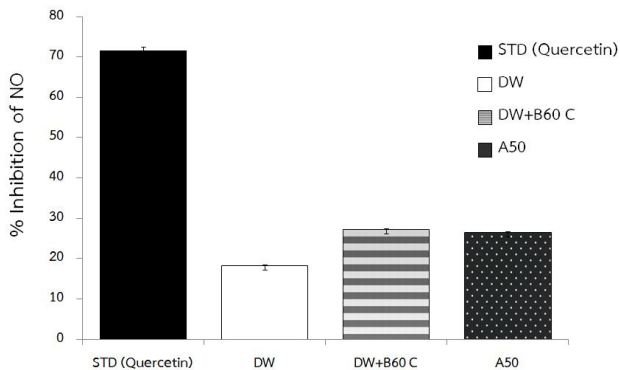
การทดสอบ	STD	วิธีการสกัดสารสำคัญ		
		DW	DW+B60°C	A50
TPC (mg/L GAE/mg extract)	-	5.03 ± 0.05	9.07 ± 0.32	3.79 ± 0.01
Flavonoid (mg/L quercetin/mg extract)	-	0.433 ± 0.007	1.226 ± 0.017	0.492 ± 0.007
DPPH (IC_{50} : mg/mL)	0.014 ± 0.37	12.89 ± 0.14	8.65 ± 0.01	8.97 ± 0.36
FRAP (IC_{50} : mg/mL)	2.007 ± 0.11	29.75 ± 0.03	20.86 ± 0.43	38.63 ± 0.07

ตารางที่ 3 แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ตรวจด้วยวิธี DPPH ของหอมแดงที่สกัดด้วยวิธีที่ต่างกันเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (STD) ค่าที่ได้แสดงในรูปแบบ Mean±SEM

วิธีการสกัด ตัวอย่าง (n=3)	ความเข้มข้น (mg/mL)	% DPPH Scavenging	Linear equation
STD (Ascorbic acid)	0.001	17.30±0.48	$y = 3.0818x + 6.2893$ $R^2 = 0.9895$
	0.005	24.21±3.21	
	0.010	34.59±0.65	
	0.020	65.41±2.36	
	0.025	85.85±0.83	
	0.050	105.97±0.18	
DW	0.5	1.49±0.89	$y = 2.965x + 11.792$ $R^2 = 0.9781$
	1	6.47±1.11	
	2	9.43±1.33	
	5	24.06±0.67	
	10	45.28±0.44	
	20	69.81±1.33	
	50	80.66±1.11	
DW+B60°C	0.5	3.76±1.27	$y = 5.8445x - 0.5695$ $R^2 = 0.9776$
	1	12.90±0.01	
	2	23.12±2.28	
	5	60.22±1.01	
	10	72.17±0.86	
	20	91.94±0.76	
	50	93.55±3.04	
A50	0.5	23.11±1.00	$y = 2.1024x + 31.132$ $R^2 = 0.9922$
	1	31.13±0.67	
	2	40.57±1.33	
	5	53.77±2.00	
	10	72.64±1.33	
	20	82.08±0.67	
	50	91.98±0.33	

ตารางที่ 4 แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ที่ตรวจด้วยวิธี FRAP ของหอมแดงที่สกัดด้วยวิธีที่ต่างกันเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (STD) ค่าที่ได้แสดงในรูปแบบ Mean±SEM

วิธีการสกัด ตัวอย่าง (n=3)	ความเข้มข้น (mg/mL)	FRAP activity	Linear equation
STD (Ascorbic acid)	0.010	0.48±0.10	$y = 0.0106x + 0.5912$ $R^2 = 0.9961$
	0.020	0.71±0.33	
	0.025	0.90±0.05	
	0.050	1.19±0.62	
	0.100	1.62±1.43	
	0.250	3.24±2.29	
DW	0.5	2.43±0.33	$y = 1.5939x + 2.5742$ $R^2 = 0.9919$
	1	4.33±0.62	
	2	5.67±0.14	
	5	10.33±0.05	
	10	20.52±0.33	
	20	33.52±0.19	
DW+B60°C	0.5	2.33±0.33	$y = 2.2877x + 2.277$ $R^2 = 0.9977$
	1	4.57±0.19	
	2	7.05±0.01	
	5	12.81±0.24	
	10	24.14±1.29	
	20	33.90±2.48	
A50	0.5	1.33±0.48	$y = 1.2702x + 0.9289$ $R^2 = 0.9831$
	1	1.62±0.19	
	2	2.90±0.62	
	5	7.38±0.52	
	10	16.05±0.43	
	20	25.19±0.05	



รูปที่ 3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง Nitric oxide (% Inhibition of NO) ของการสกัดสารทั้ง 3 วิธีที่ความเข้มข้น 10 mg/mL เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน (STD) ที่ความเข้มข้น 0.1 mg/mL

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า หอมแดง (Shallot) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Allium ascalonicum* L. เป็นพืชที่มีสารที่มีคุณสมบัติเป็นฟลาโวนอยด์ (Phytochemical) ในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ทั้งในส่วนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Total phenolic content) ปริมาณฟลาโวนอยด์ (Total flavonoid content) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC_{50}) ด้วยวิธี DPPH และ FRAP และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ NO วิธีการสกัดที่ดีที่สุดในการทดลองครั้งนี้ คือ การสกัดด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ($DW+B60^{\circ}C$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สารสำคัญในหอมแดงกลุ่มหลักน่าจะเป็นสารกลุ่มที่ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้งและละลายได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องปกติแต่ไม่ถึงจุดเดือด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Maja Dent และคณะ (Maja, D et al., 2013) นอกจากนี้ วิธีการสกัดที่แตกต่างกันมีผลต่อปริมาณสารสำคัญในการออกฤทธิ์ของหอมแดงที่ต่างกัน โดยผลของความร้อนอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถช่วยให้การสกัดสารสำคัญในหอมแดงมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการเปรียบเทียบวิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 วิธี โดยมีความแตกต่างกันของคุณสมบัติการมีขี้ผึ้งและอุณหภูมิ ซึ่งวิธีของการสกัดสารเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการได้มาซึ่งสารสำคัญ ดังนั้น ควรเพิ่มเติมตัวทำละลายที่

แตกต่างกันในด้านคุณสมบัติการละลายทั้งมีขี้ผึ้ง กึ่งมีขี้ผึ้ง และไม่มีขี้ผึ้ง เช่น เฮกเซน (Hexan) อีเทอร์ (Ether) และ อะซิโตน (Acetone) เป็นต้น อีกทั้ง ควรศึกษาเพิ่มเติมผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการสกัด รวมทั้งอุณหภูมิในการระเหยตัวทำละลาย โดยการวิจัยครั้งนี้ใช้ความร้อนในการระเหยตัวทำละลายที่มีส่วนประกอบของน้ำทั้ง 3 วิธี ซึ่งการใช้ความร้อนที่มากเกินไปสารจะสลายตัว หรือ ถ้าความร้อนต่ำเกินไปน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายจะระเหยออกไม่หมด ดังนั้น ควรเพิ่มเติมเทคนิควิธีการอื่น เช่น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dry) เพื่อคงปัจจัยเรื่องอุณหภูมิซึ่งมีผลต่อสารสำคัญที่สกัดได้โดยคำนึงถึงความคุ้มค่าเป็นพื้นฐาน อีกทั้งควรมีการทดสอบหาปริมาณสารสำคัญในกลุ่มเคอควิทิน (Quercetin) และแคมป์เฟอร์อล (Kaempferol) ที่พบได้มากในหอมแดงร่วมด้วย เพื่อนำข้อมูลไปต่อยอดสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์สุขภาพและการวิจัยที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในสัตว์ทดลองและทางคลินิกต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่เอื้ออำนวยความสะดวกงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Aktas, N., Genc, Y., Gozcelioglu, B., Konuklugil, B., & Harput, U. S. (2013). Radical scavenging effect of different marine sponges from Mediterranean coasts. *Records of Natural Product*, 7(2), 96-104.
- Alexander Victor, A. D., Radhakrishnan, A., & Subramani, P. (2016). Overviews of Biological Importance of Quercetin: A Bioactive Flavonoid. *Pharmacognosy Reviews*, 10(20), 84-89.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70-76.

- García-Trejo, E. M., Arellano-Buendía, A. S., Argüello-García, R., Loredó-Mendoza, M. L., García-Arroyo, F. E., Arellano-Mendoza, M. G., Castillo-Hernández, M. C., Guevara-Balcázar, G., Tapia, E., Sánchez-Lozada, L. G., & Osorio-Alonso, H. (2016). Effects of Allicin on Hypertension and Cardiac Function in Chronic Kidney Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 1-13. doi: 10.1155/2016/3850402.
- Che Sulaiman, I. S., Basri, M., Fard Masoumi, H. R., Jian Chee, W., Efliza Ashari S., & Ismail, M. (2017). Effects of temperature, time, and solvent ratio on the extraction of phenolic compounds and the anti-radical activity of *Clinacanthus nutans* Lindau leaves by response surface methodology. *Chemistry Central Journal*, 11, 1-11. doi: 10.1186/s13065-017-0285-1.
- Jiri, M., Tunde, J., Sona, S., & Jiri, S. (2016). Quercetin and Its Anti-Allergic Immune Response. *Molecules*, 21(5), 623-637.
- Ji-Sook, L., Yong-Jun, C., Kyung-Hea, L., & Jung-Eun, Y. (2016). Onion peel extract reduces the percentage of body fat in overweight and obese subjects: a 12-week, randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Nutrition Research and Practice*, 10(2), 175-181.
- Jun, Y., Katherine, J. M., Jan van, D. H., & Rui, H. L. (2004). Varietal differences in phenolic content and antioxidant and antiproliferative activities of onions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(22), 6787-6793.
- Maja, D., Verica, D. U., Marija, P., Mladen, B., Tomislav, B., & Branka, L. (2013). The effect of extraction solvents, temperature and time on the composition and mass fraction of polyphenols in dalmatian wild sage (*Salvia officinalis* L.) extracts. *Food Technology and Biotechnology*, 51(1), 84-91.
- Mariangela, M., Valentina, A., Giancarlo, S., & Filomena, C. (2019). Biological Properties and Bioactive Components of *Allium cepa* L.: Focus on Potential Benefits in the Treatment of Obesity and Related Comorbidities. *Molecules*, 19-36.

- Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., Luyckx, M., Cazin, M., Cazin, J. C., Bailleul, F., Trotin, F. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*, 72, 35-42.
- Razieh, J., Sayyed, M. B., Ali, M., & Morteza, B. R. (2007). Hypoglycemic Effect of Aqueous Shallot and Garlic Extracts in Rats with Fructose-Induced Insulin Resistance. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 41(3), 218-223.
- Sanaz, M., Behnod, A., Leila, D., Mehdi, A., Esfahani, Zahra, M., Hossein, K. B., & Reza, G. (2017). Effects of yogurt and yogurt plus shallot consumption on lipid profiles in type 2 diabetic women. *International Journal of Preventive Medicine*, 8(54), 1-4.
- Tai, A., Sawano, T., Yazama, F., & Ito, H. (2011). Evaluation of antioxidant activity of vanillin by using multiple antioxidant assays. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1810, 170-177.
- Warangkana, A., Soraya, K., Sunee, C., Nutthiya, H., Saisawat, C., Masaaki, T., & Hirotooshi, T. (2019) Antiallergic activities of shallot (*Allium ascalonicum* L.) and its therapeutic effects in allergic rhinitis. *Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology*, 40(4), 393-400.
- Yin, L., Zhuojin, H., Xiuying, S., Xiaolu, X., Jie, F., Shaohua, W., & Deyong, Z. (2012). Cholesterol-Lowering Effect of Allicin on Hypercholesterolemic ICR Mice. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 1-6.

ผลของสารเคลือบผิวจากไคโตซานต่อคุณภาพของผลมะเดื่อฝรั่งพันธุ์มาซูย ดอร์ฟิน

EFFECT OF CHITOSAN COATING ON FRUIT QUALITY OF

'MASUI DAUPHINE' FIG

ยศวรธรณ์ จันทนา¹, สมคิด ฤทธิเนติกุล¹, จุฑาทิพย์ น่ำชม², กัลยา ตะกรุดเพชร²,
โสภิดา ทองโคตร² และ ศิวดล แจ่มจำรัส^{2,*}

Yotsawat Jantana¹, Somkid Ritnathikul¹, Juthatip Nachom², Kallaya Takrudphet²,
Sophida Thongkhot² and Siwadon Chaemchamrat^{2,*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

² สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

¹ Division of Computer Engineering, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University

² Division of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial
Technology, Phetchabun Rajabhat University

Received: 6 February 2023

Revised: 14 March 2023

Accepted: 20 March 2023

บทคัดย่อ

การศึกษาสารเคลือบผิวจากไคโตซานต่อคุณภาพผลผลิตมะเดื่อฝรั่งพันธุ์มาซูย ดอร์ฟิน โดยใช้สารไคโตซานความเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 เปรียบเทียบกับการไม่เคลือบผิว พบว่าหลังการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ การไม่เคลือบผิวและการเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.3 สูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าการเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในสัปดาห์ที่ 4 หลังการเก็บรักษา การเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.3 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่าการไม่เคลือบผิวและการเคลือบผิวด้วย

* Corresponding author: ศิวดล แจ่มจำรัส

E-mail: siwadon.cha@pcru.ac.th

ไคโตซานร้อยละ 0.2 การเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.3 มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้น้อยที่สุดสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) สูงที่สุด การเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.3 มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าการเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.1 และ 0.2 สีผิวของผลในทุกระดับของการเคลือบผิวไม่มีความแตกต่างกัน

คำสำคัญ: มะเดื่อฝรั่ง, สารเคลือบผิว, ไคโตซาน

Abstract

The study of Chitosan coating on yield quality of ‘Masui Dauphine’ fig was conducted using 3 levels of Chitosan coating, 0.1, 0.2 and 0.3 percent compared with uncoated. It was found that after 4 weeks of storage, untreated and coated with 0.3 percent Chitosan had less weight loss than coated with 0.1% Chitosan. The soluble solids content at the 4 week after storage, 0.3 percent Chitosan coating had more soluble solids than the uncoated and 0.2 percent Chitosan coating. The 0.3 percent Chitosan coating had the lowest titratable acid content, ratio of soluble solids and titratable acid content (TSS/TA) was the highest. The anthocyanin content of 0.3 percent Chitosan was higher than that of 0.1 and 0.2 percent Chitosan coating. There was no difference in the skin color of the fruit at all levels of coating.

Keywords: Fig, Coating, Chitosan

บทนำ

มะเดื่อฝรั่ง (Fig: *Ficus carica* Linn.) วงศ์ Moraceae เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดกลาง เป็นพืชเขตร้อน ปลูกมากในแถบตะวันตกของเอเชีย โดยจัดเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง เช่น แคลเซียม โยอาหาร ธาตุเหล็ก และวิตามินต่างๆ เป็นต้น (สุพัชฌณิกจ โพธิ์สว่าง, 2563) มะเดื่อฝรั่งเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคเป็นผลสด ราคาขายปลีกกิโลกรัมละประมาณ 500 บาท แต่เนื่องจากเป็นผลไม้ที่ผิวของผลค่อนข้างบอบบาง ง่ายต่อการบอบช้ำ ซึ่งองค์ความรู้ในด้านการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลมะเดื่อฝรั่งยังมีไม่มากเท่าที่ควร (ทวิศักดิ์ ชัยเรืองยศ, 2557)

การยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรโดยการใช้สารเคลือบผิวที่รับประทานได้เพื่อชะลอการคายน้ำหรือยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตหลังเก็บเกี่ยวได้ ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้สารเคลือบผิวอย่างแพร่หลายมากขึ้น (โสธรญา รอดประเสริฐ, 2557) ซึ่งสารเคลือบผิวที่รับประทานได้เป็นสารที่ผลิตจากธรรมชาติมีทั้งสารประกอบโพลีแซคคาไรด์โปรตีนและไขมันสารกลุ่มนี้ให้ความเงายืดอายุคุณภาพผลไม้ได้ยาวนานนิยมใช้กับผลไม้ประเภทแอปเปิ้ล แพร์ พลัม มะเขือเทศ ผู้บริโภคสามารถรับประทานได้ทั้งเปลือกโดยไม่เป็นอันตรายต่อร่างกายโดยการยืดอายุผลผลิตได้จากการที่สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ลดอัตราการหายใจ ป้องกันความเสียหายของเซลล์จากการแช่เย็น ช่วยปกป้องไม่ให้เกิดบาดแผล ลดการเกิดโรคได้ (จุฑามาศ กลิ่นโชดา, 2559) โดยได้มีการศึกษาสารเคลือบผิวผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิด เช่น การใช้ไคโตซานและไซโตนิมโบคาร์บอนในการเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ที่สามารถลดการเน่าเสียได้ร้อยละ 85 หลังการเก็บรักษา 9 วัน (วารินทร์ พิมพา และภาสุรี ฤทธิเลิศ, 2549) Nongtaodum & Jangchud (2009) รายงานว่าการใช้สารเคลือบผิวจากไคโตซานสามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักและการเกิดโรคของมะม่วงตัดแต่งพร้อมรับประทานได้ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของไคโตซานต่อการใช้เป็นสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรคือการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อสาเหตุของการเกิดโรคทำให้ผลผลิตมีการสูญเสียน้อยลงสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น (Xing et al., 2016) การทดลองนี้จึงมุ่งเน้นที่ศึกษาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของไคโตซานที่ใช้ในการเคลือบผิวผลมะเดื่อฝรั่งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นโดยการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านต่างๆ เช่น การสูญเสียน้ำหนัก การเปลี่ยนแปลงสีผิว เป็นต้น

วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการคัดเลือกผลมะเดื่อฝรั่ง 48 ผล ที่มีขนาดใกล้เคียงกันซึ่งอยู่ในระยะความแก่ที่ร้อยละ 80-90 และทำการสุ่มผลมะเดื่อฝรั่งตามแผนการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) มีทั้งหมด 4 สิ่งทดลองนี้ 1. ไม่จุ่มสารเคลือบผิว (ชุดควบคุม) 2. สารละลายไคโตซานร้อยละ 0.1 3. สารละลายไคโตซานร้อยละ 0.2 และ 4. สารละลายไคโตซานร้อยละ 0.3

การเตรียมสารเคลือบผิว

เตรียมสารละลายไคโตซานร้อยละ 0.1-0.3 โดยการทำให้ละลายในสารละลาย acetic acid ร้อยละ 0.5 โดยสารตั้งต้นต่อสารละลาย 0.1:100, 0.2:100, 0.3:100 (w/v)

การดำเนินการทดลอง

โดยทำการทดลองสิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ผล โดยทำการจุ่มสารเคลือบผิวตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้ จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักผลมะเดื่อฝรั่งสำหรับการคำนวณการสูญเสียน้ำหนัก นำผลมะเดื่อฝรั่งบรรจุใส่ถุงพลาสติกใสชนิด Environmentally Degradable Plastic ถุงละ 1 ผล ตามจำนวนซ้ำที่กำหนดโดยแบ่งมะเดื่อฝรั่งออกเป็น 4 กลุ่ม เพื่อใช้ในการสุ่มสำหรับบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 สัปดาห์ จากนั้นนำมะเดื่อฝรั่งทั้งหมดแช่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

การบันทึกข้อมูล

ทำการบันทึกข้อมูลทุก 1 สัปดาห์ และนำข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สถิติโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

การสูญเสียน้ำหนัก (กมลวรรณ ชูชีพ, 2543)

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักวันเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักวันที่เก็บข้อมูล}}{\text{น้ำหนักวันเริ่มต้น}} \times 100$$

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Totalsoluble solid: TSS) นำน้ำคั้นจากผลมะเดื่อฝรั่งมาวัดด้วยเครื่อง Hand Refractometer (ATAGO N1, Japan)

ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity: TA) (กมลวรรณ ชูชีพ, 2543) โดยนำน้ำคั้นจากผลมะเดื่อฝรั่งปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วนำมาเติมสารละลาย phenolphthalein ความเข้มข้นร้อยละ 1 จำนวน 2-3 หยด เพื่อใช้เป็น indicator จากนั้นนำไปไทเทรตด้วยสารละลายต่างมาตรฐาน (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งถึงจุดยุติ (end point) น้ำคั้นจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนอย่างถาวร บันทึกปริมาณต่างที่ใช้ในการคำนวณหาร้อยละของกรดแอสคอบิก

$$\text{ร้อยละของกรดแอสคอบิก} = \frac{\text{N base} \times \text{มิลลิลิตร base} \times \text{meq.wt. กรดซิตริก}}{\text{น้ำคั้นที่ใช้มิลลิลิตร}} \times 100$$

ความเข้มของเฉดสีผิวผล (Chroma; c^*) โดยใช้เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunterlab รุ่น MiniScan EZ (LAV)

ปริมาณแอนโทไซยานินการหาปริมาณแอนโทไซยานินตามวิธีของอัญชูลี ยินดี (2539) มีขั้นตอนดังนี้ หั่นผิวผลมะเดื่อฝรั่งเป็นชิ้นหนัก 1 กรัมเติม ethanolic HCl ปริมาตร 25 มิลลิลิตรแช่สารละลาย 48 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ความยาวคลื่น 535 นาโนเมตร นำค่า OD ที่ได้ไปแทนค่าในสูตรหาปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด

$$\text{Total absorbance} = \frac{\text{Absorbance at 535 nm} \times \text{final volume}}{\text{Weight of sample}} \times 100$$

$$\text{Total anthocyanin content} = \frac{\text{Total absorbance}}{98.2}$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การสูญเสียน้ำหนัก

ผลการวิจัยพบว่าในสัปดาห์แรกหลังการเก็บรักษาผลมะเดื่อฝรั่งที่ไม่ได้เคลือบผิว และการเคลือบผิวด้วยโคโตซานร้อยละ 0.2 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าการเคลือบผิวด้วยโคโตซานร้อยละ 0.1 และ 0.3 โดยมีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.66-0.95 และ 2.01-2.30 ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 4 การไม่เคลือบผิวและการเคลือบผิวด้วยโคโตซานร้อยละ 0.3 มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าการเคลือบผิวด้วยโคโตซานร้อยละ

0.1 โดยมีการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 4.02-4.31 และ 5.93 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ซึ่งต่างจากการทดลองของ ดวงใจ ทองคำ และคณะ (2562) ที่ศึกษาการใช้สารเคลือบผิวจาก ไคโตซานร่วมกับกรดซิตริกต่ออายุการเก็บรักษามะนาวพันธุ์แป้น พบว่าการใช้สารเคลือบผิว ในทุกระดับความเข้มข้นมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกัน แต่สอดคล้องกันในด้าน การเพิ่มขึ้นของร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักเมื่อมีการเก็บรักษาที่นานขึ้นในแต่ละสัปดาห์ รวมทั้งการศึกษาของ วารินทร์ พิมพา และภาสุรี ฤทธิเลิศ (2549) ใช้ไคโตซานความเข้มข้น ร้อยละ 2.5 ร่วมกับโซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 2 สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผลมะมุด ที่เก็บรักษานาน 9 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่เคลือบผิวโดยดั้นย บุญเกียรติ และพิมพ์ใจ สีหะนาม, (2546) รายงานว่าสารไคโตซานที่ใช้ในการเคลือบผิวสตรอเบอรี่สามารถยับยั้งการ เกิดเชื้อราโดยการสร้างสารบางชนิดในการยับยั้งการงอกและการเจริญของสปอร์ของเชื้อรา และจากรายงานของ Sikder et al. (2019) ที่ระบุว่า การเคลือบผิวผลไม้ด้วยไคโตซานช่วยลด การหายใจและการสูญเสียน้ำของผลผลิต จึงช่วยรักษาความสดของผลผลิตได้

ตารางที่ 1 ผลของสารเคลือบผิวต่อร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักของผลมะเดื่อฝรั่งที่เก็บ รักษา 1-4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	การสูญเสียน้ำหนัก(ร้อยละ)			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
ไม่เคลือบผิว	0.66 ^b	2.00 ^c	2.80	4.02 ^b
ไคโตซานร้อยละ 0.1	2.01 ^a	3.67 ^{ab}	3.12	5.93 ^a
ไคโตซานร้อยละ 0.2	0.95 ^b	4.72 ^a	3.38	5.42 ^{ab}
ไคโตซานร้อยละ 0.3	2.30 ^a	3.05 ^{bc}	3.04	4.31 ^b
C.V.%	29.86	12.08	22.59	13.92
F-test	*	**	ns	*

หมายเหตุ: ns ไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ
 * แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05)
 ** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.01)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลมะเดื่อฝรั่งในช่วง 1-3 สัปดาห์ แรกหลังการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในสัปดาห์ที่ 4 หลังการเก็บรักษา การเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.3 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากกว่าการไม่เคลือบผิวและการเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.2 โดยมีค่าเท่ากับ 16.67 Brix (ตารางที่ 2) ในส่วนของปริมาณกรดที่ไทเทรตได้รับการเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.2 มากกว่าการไม่เคลือบผิวและการเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.1 หลังการเก็บรักษาหนึ่งสัปดาห์ โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.45 และ 0.32-0.34 ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 4 การเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.3 มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้น้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.38 (ตารางที่ 3) ซึ่งส่งผลให้การเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.3 มีสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) สูงที่สุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองโดยมีค่าเท่ากับ 43.44 (ตารางที่ 4) สอดคล้องกับการทดลองของ Sikder et al. (2019) ใช้สารเคลือบผิวไคโตซานที่สกัดได้จากกุ้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษากล้วยและพบว่าการใช้สารไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.5-1 มีผลทำให้ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ลดลงเมื่อเทียบกับการไม่เคลือบผิวหลังการเก็บรักษา 4-12 วัน ซึ่งจากรายงานของ กมลวรรณ ชูชีพ (2543) ที่กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้สามารถบ่งชี้ถึงระยะการสุกของผลโดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่เพิ่มขึ้นและปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ที่ลดลงผลไม้จะมีความสุขเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 2 ผลของสารเคลือบผิวต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลมะเดื่อฝรั่งที่เก็บรักษา 1-4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Brix)			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
ไม่เคลือบผิว	13.67	14.67	14.67	14.67 ^{bc}
ไคโตซานร้อยละ 0.1	13.33	13.33	13.67	15.33 ^{ab}
ไคโตซานร้อยละ 0.2	15.00	14.17	14.33	13.67 ^c
ไคโตซานร้อยละ 0.3	14.00	15.33	13.67	16.67 ^a
C.V.%	6.41	6.53	7.10	3.31
F-test	ns	ns	ns	**

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 3 ผลของสารเคลือบผิวต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ของผลมะเดื่อฝรั่งที่เก็บรักษา 1-4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA%)			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
ไม่เคลือบผิว	0.34 ^b	0.41 ^a	0.32	0.49 ^a
ไคโตซานร้อยละ 0.1	0.32 ^b	0.41 ^a	0.32	0.43 ^{ab}
ไคโตซานร้อยละ 0.2	0.45 ^a	0.30 ^b	0.26	0.47 ^a
ไคโตซานร้อยละ 0.3	0.40 ^{ab}	0.24 ^b	0.28	0.38 ^b
C.V.%	7.76	6.34	14.91	4.78
F-test	**	**	ns	**

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 4 ผลของสารเคลือบผิวต่อสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) ของผลมะเดื่อฝรั่งที่เก็บรักษา 1-4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	TSS/TA			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
ไม่เคลือบผิว	40.13 ^{ab}	36.15 ^{bc}	46.02	29.99 ^b
ไคโตซานร้อยละ 0.1	42.16 ^a	32.95 ^c	43.84	36.08 ^{ab}
ไคโตซานร้อยละ 0.2	33.48 ^c	47.38 ^b	56.49	29.32 ^b
ไคโตซานร้อยละ 0.3	34.88 ^{bc}	65.16 ^a	49.48	43.44 ^a
C.V.%	8.13	8.66	13.66	7.40
F-test	*	**	ns	**

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.01$)

ปริมาณแอนโทไซยานิน

ในสัปดาห์แรกหลังการเก็บรักษาการเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.1 และ 0.2 มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่า การไม่เคลือบผิวและการเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.3 โดยมีค่าเท่ากับ 7.86, 7.58 และ 6.33, 6.43 มิลลิกรัม/100 กรัมตามลำดับ แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 4 การเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.3 มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าการเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.1 และ 0.2 โดยมีค่าเท่ากับ 11.91 และ 6.97, 6.89 มิลลิกรัม/100 กรัม (ตารางที่ 5) ตามลำดับซึ่งต่างจากการศึกษาของ Dhital et al. (2018) ที่พบว่าการใช้สาร Limonene Liposome เคลือบผิวสตรอเบอร์รี่มีผลทำให้มีปริมาณสารแอนโทไซยานินมากกว่าการไม่เคลือบผิว

ความเข้มของเฉดสีผิวผล (Chroma; c^*)

สีผิวของผลในทุกระดับของการเคลือบผิวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกสัปดาห์ของการเก็บรักษา โดยเมื่อหลังเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ค่าความเข้มของเฉดสีลดลงซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้สีผิวมีความหม่นมากขึ้นโดยมีค่าความเข้มของเฉดสีอยู่

ในช่วง 28.69-31.15 (ตารางที่ 6) เช่นเดียวกับรายงานของดนัย บุญยเกียรติ และพิมพ์ใจ สีหะนาม (2546) ที่พบว่า การเคลือบผลสตรอเบอร์รี่ด้วยไคโตซานไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง สีผิว

ตารางที่ 5 ผลของสารเคลือบผิวต่อปริมาณแอนโทไซยานินของผลมะเดื่อฝรั่งที่เก็บรักษา 1-4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	ปริมาณแอนโทไซยานิน (มิลลิกรัม/100 กรัม)			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
ไม่เคลือบผิว	6.33 ^b	8.23 ^b	7.70	9.92 ^{ab}
ไคโตซานร้อยละ 0.1	7.86 ^a	6.82 ^b	6.21	6.97 ^b
ไคโตซานร้อยละ 0.2	7.58 ^a	8.93 ^b	6.98	6.89 ^b
ไคโตซานร้อยละ 0.3	6.43 ^b	13.49 ^a	6.94	11.91 ^a
C.V.%	5.35	12.02	20.27	13.55
F-test	**	**	ns	**

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
 ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ตัวอักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P<0.01)

ตารางที่ 6 ผลของสารเคลือบผิวต่อสีผิวของผลมะเดื่อฝรั่งที่เก็บรักษา 1-4 สัปดาห์

สิ่งทดลอง	Chroma (c*)			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
ไม่เคลือบผิว	41.59	44.05	29.44	30.79
ไคโตซานร้อยละ 0.1	41.97	48.93	33.63	28.69
ไคโตซานร้อยละ 0.2	42.83	46.96	30.11	30.00
ไคโตซานร้อยละ 0.3	42.88	43.58	28.67	31.15
C.V.%	6.30	6.31	10.32	6.05
F-test	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

สรุปผลการวิจัย

การเคลือบผิวแต่ละกรรมวิธี มีการสูญเสียน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ การเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.3 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูง มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้น้อยที่สุด ทำให้มีสัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS/TA) สูงที่สุด การเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.3 มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าการเคลือบผิวด้วยไคโตซานร้อยละ 0.1 และ 0.2 สีผิวของผลในทุกระดับของการเคลือบผิวไม่มีความแตกต่างกัน การเคลือบผิวมีแนวโน้มด้านการชะลอเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลซึ่งหากมีการศึกษาเพิ่มเติมจะเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นเนื่องจากเป็นสารเคลือบผิวที่ทำได้ง่าย ราคาไม่สูง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย มา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- กมลวรรณ ชูชีพ. (2543). ผลของสารเคลือบผิวไคโตแซนต่อคุณภาพของสตรอเบอร์รี่หลังการเก็บเกี่ยว. (วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี).
- จุฑามาศ กลิ่นโชดา. (2559). สารเคลือบผิวอาหารกับการประยุกต์ใช้ในผักและผลไม้. *วารสารอาหาร*, 46(1), 33-37.
- ดวงใจ ทองคำ, ปรีดียาทร แก้วมณี, ธวิช อินทรพันธุ์ และ มยุรี กระจายกลาง. (2562). ผลของสารเคลือบผิวด้วยไคโตซานร่วมกับกรดซิตริกต่ออายุการเก็บรักษาผลมะนาวพันธุ์แป้น. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 50(พิเศษ1), 38-44.
- दनัย บุญยเกียรติ และ พิมพิใจ สีหะนาม. (2546). ผลของการเคลือบผิวด้วยไคโตซานต่อคุณภาพของผลสตรอเบอร์รี่. *วารสารเกษตร*, 19(2), 100-106.
- ทวีศักดิ์ ชัยเรืองยศ. (2557). สวนคุณลี ปลุกมะเดื่อฝรั่งเชิงพาณิชย์. *วารสารเส้นทางกิจกรรม*, 19(228), 11-13.

- วารินทร์ พิมพา และ ภาสุรี ฤทธิเลิศ. (2549). การยืดอายุผลละมุดโดยการเคลือบด้วยไคโตซานและโซเดียมไบคาร์บอเนต. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 2, 138-141.
- สุพัฒนกิจ โพธิ์สว่าง. (2563). การทดสอบพันธุ์มะเดื่อฝรั่งบนที่สูง. *วารสารผลิตภัณฑ์การเกษตร*, 2(2), 31-38.
- โสธรรญา รอดประเสริฐ. (2557). สรรสาระ สารเคลือบผิวผลไม้มีประโยชน์อย่างไร. *กรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 62(196), 41-43.
- อัญชุลี ยินดี. (2539). การเปลี่ยนแปลงรงควัตถุในมะม่วงและลิ้นจี่ในช่วงก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว. (วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- Dhital, R., Becerra, N., Watson, D. G., Kohli, P., & Choudhary, R. (2018). Efficacy of limonene nano coating on post-harvest shelf life of strawberries. *LWT-Food Science and Technology*, 97, 124-134.
- Nongtaodum, S., & Jangchud, A. (2009). Effects of edible chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (Fa-lun) during storage. *Kasetsartjournal*, 43, 282-289.
- Sikder, B. H., Islam, M., Rashid, S. S., & Moazzem, S. (2019). Effect of shrimp chitosan coating on physicochemical properties and shelf life extension of banana. *International journal of engineering technology and sciences*, 6(1), 41-54.
- Xing, Y., Xu, Q., Li, X., Chen, C., Ma, L., Li, S., Che, Z., & Lin, H. (2016). Chitosan-based coating with antimicrobial agents: preparation, property, mechanism, and application effectiveness on fruits and vegetables (review). *International Journal of Polymer Science*, <https://doi.org/10.1155/2016/4851730>.

THERMAL AND CATALYTIC PYROLYSIS OF MUNICIPAL PLASTICS WASTE FROM SAMUI ISLAND LANDFILL

Jiraphan Chotiratanasak^{1,2}, Tharapong Vitidsant³ and Maneerat Khemkhao^{1,*}

¹ Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

² E-Square Green Innovation Co., Ltd.

³ Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

Received: 6 February 2023

Revised: 9 March 2023

Accepted: 20 March 2023

Abstract

Plastic waste is the largest component of municipal solid waste (MSW) on Samui Island, which still has many management problems. Pyrolysis is an interesting technology that could help reduce plastic waste by converting it into more valuable fuels. Therefore, the focus of this research was to convert plastic waste from Samui Island into fuel via the thermal pyrolysis and catalytic pyrolysis processes. The pyrolysis reaction was carried out at various temperatures (390, 425, 450, and 475 °C) with and without a catalyst in a 3-L bench-scale reactor to determine the optimal condition that produced the highest yield of pyrolysis oil. The raw material was a 1:1 weight ratio of high-density polyethylene (HDPE) and polypropylene (PP) plastic wastes, and the catalyst was 3 wt.% spent fluid catalytic cracking (FCC). The reaction time was determined until there was no liquid product left. The results revealed that 450 °C was the optimal temperature for both the thermal pyrolysis and catalytic pyrolysis, with the highest pyrolysis oil yields of 84.21% and 70.12%, respectively.

* Corresponding Author: Maneerat Khemkhao

Email: maneerat.khe@rmutr.ac.th

The pyrolysis oil components for the thermal pyrolysis were 37.00% naphtha, 18.60% kerosene, 37.40% diesel, and 7.00% long residue, while the catalytic pyrolysis were 39.90% naphtha, 17.10% kerosene, 35.40% diesel, and 7.60% long residue. Furthermore, thermal pyrolysis took longer than catalytic pyrolysis to complete.

Keywords: Thermal Pyrolysis and Catalytic Pyrolysis, Plastic Waste, Spent FCC Catalyst, Samui Island

Introduction

Samui Island has been recognized as one of Thailand's most popular tourist destinations. Many visitors have come and stayed, contributing to an increase in the volume of MSW. According to the feasibility study of the model and approach for municipal solid waste disposal in Samui Island City Municipality, MSW produced on the island is approximately 150 tons per day, and MSW dumped in landfills is approximately 300,000 tons, with plastic waste accounting for 40.4% and 64.4% of the daily and dumped MSW, respectively (TISTR, 2020). Nowadays, MSW has been compressed and wrapped with low-density polyethylene (LDPE) plastic before being shipped via ferries to a landfill in Surat Thani province. However, due to a limited area, leachate contamination of the environment, and being relatively expensive, Furthermore, there are risks of accidents during transportation. For example, in August 2020, a ferry capsized, causing 60 tons of Samui Island MSW to sink into the sea during transportation from Samui Island to Surat Thani province (Thai PBS, 2020). As a result, an appropriate MSW management strategy, particularly for plastic waste, is required.

Pyrolysis is a potential alternative technology for disposing of plastic waste by thermally degrading long-chain hydrocarbons into shorter-chain

hydrocarbons in the absence of oxygen at temperatures ranging from 300 to 600 °C (Lee et al., 2021; Singh et al., 2019; Zhang et al., 2020). This method converts plastic waste into more valuable fuels such as pyrolysis oil, pyrolysis gas, and residue carbon (Hakeem et al., 2018; Maafa, 2021).

Several factors influence plastic pyrolysis yield and selectivity, such as temperature, retention time, type of raw materials, catalyst-to-feed ratio, and type of catalysts. Various studies have been done on thermal pyrolysis and catalytic pyrolysis using different raw materials and catalysts to look at the yield and selectivity of products. Zn, ZnO, and ZnCl₂ were used as catalysts in the catalytic pyrolysis of expanded polystyrene waste (EPSW); Zn produced more pyrolysis oil yield and product selectivity, such as toluene, ethylbenzene, and styrene, than any other catalyst and more than thermal pyrolysis (Adnan et al., 2014). Furthermore, using catalysts reduced the reaction temperature and time compared to thermal pyrolysis. In a while, Hakeem et al. (2018) used Ahoko kaolin as a catalyst in the thermal pyrolysis and catalytic pyrolysis of PP plastic waste. They found out that the Ahoko kaolin catalyst worked well to convert PP plastic waste into pyrolysis oil, which provided a higher pyrolysis oil yield than the thermal pyrolysis. In the work of Panda (2018), he used calcium bentonite as a catalyst in the thermal pyrolysis and catalyst pyrolysis of PP, LDPE, HDPE, and mixed PP, LDPE, and HDPE in a 1:1:1 ratio to investigate the effect of temperature and catalyst concentration on product yield. He discovered that the highest yield of pyrolysis oil from all plastics was obtained at 500 °C for both thermal and catalytic pyrolysis. In addition, increasing the catalyst concentration resulted in a shorter reaction time. However, overuse of catalysts resulted in a lower pyrolysis oil yield and a higher gas yield. Miandad et al. (2017a) conducted the thermal pyrolysis of PE, PP, PS, and polyethylene terephthalate (PET) plastic wastes to study the effect of different plastic waste types on the yield of pyrolysis oil. At 450 °C and 75 minutes of retention time,

all types of plastic waste were converted into liquid oil, except for PE, which was converted into wax because it has long carbon chains. However, the pyrolysis of mixed plastic PS, PP, PE in a ratio of 50/25/25% provided a lower wax content due to free radicals produced from PS degradation that promoted cracking in PE plastic. In addition, using a catalyst helps reduce wax formation in the pyrolysis oil of PE (Miandad et al., 2017b).

In petroleum refineries, FCC catalyst, which is Y-zeolite, converts heavy petroleum fractions into lighter products such as gasoline, diesel, and other products. Approximately 150,000–170,000 tons of spent FCC catalyst are generated annually as waste and are typically disposed of in landfills (Chiranjeevi et al., 2016). Some researchers have employed a fresh FCC catalyst in catalytic pyrolysis, such as Kassargy et al. (2018), who used USY zeolite in the catalytic pyrolysis of PE, PP, and mixed PE and PP plastic waste, which increased the gas product. Meanwhile, Singh et al. (2020) used a zeolite catalyst in the catalytic pyrolysis of LDPE plastic waste, which produced superior quality pyrolysis oil compared to oil obtained from thermal pyrolysis.

According to the large amount of spent FCC discarded as previously mentioned, the reuse of spent FCC catalyst is still expected to lower the costs of procuring new catalysts, reduce efforts in developing proprietary or new catalysts, and improve the overall process economy. A spent FCC catalyst has been used in some research on thermal and catalytic pyrolysis. Aisien et al. (2021) employed a spent FCC catalyst in the catalytic pyrolysis of PP plastic waste and compared it to thermal pyrolysis. They found that thermal pyrolysis provided the highest yield of pyrolysis oil. While in the catalytic process, the pyrolysis oil yield decreased and the gas yield increased with the increasing amount of catalyst, which was contributed by the highly acidic behavior that led to further cracking of liquid hydrocarbons. Saeaug et al. (2021) used spent FCC in the thermal and catalytic pyrolysis of petroleum-based plastics (HDPE,

LDPE, PP) and biodegradable polymers, polylactide (PLA). They found that the pyrolysis oil from the thermal pyrolysis of HDPE and LDPE provided a high yield of waxes, whereas the pyrolysis oil from PP and PLA provided both waxes and liquid oil. The results also exhibited that spent FCC catalyst reduced the production of waxes and increased the production of gasoline-range hydrocarbons and aromatics.

Regarding the related literature mentioned above, the yield and selectivity of plastic pyrolysis products from thermal pyrolysis and catalytic pyrolysis still varied depending on process factors. However, plastic waste from landfills is complex, and there are differences in composition from any landfill that might affect the pyrolysis reaction and product selectivity. Therefore, this research aimed to study the effects of reaction temperature on yield and components of pyrolysis products from thermal and catalytic pyrolysis of mixed plastic wastes, HDPE and PP, by using spent FCC catalyst in the catalytic process.

Materials and Methods

The raw material was a 1:1 weight ratio of HDPE and PP plastic waste from Samui Island collected from the sorting machine. The plastic waste was crushed into smaller pieces (around 3 cm) and dried with hot air to reduce moisture and bulk volume. In the catalytic process, the spent FCC was used as a catalyst. The pyrolysis reaction was carried out in a 3-L bench-scale reactor at temperatures of 390, 425, 450, and 475 °C, as shown in Fig. 1. Fig. 2 shows the pyrolysis process flow diagram, which includes the feeding entrance, reactor, and condenser. 250 g of the raw material was fed into the reactor. In the catalytic process, 3 wt.% of spent FCC catalyst was fed into the reactor along with the raw materials. After feeding, the plastic waste was heated and degraded into a vapor product. The vapor flowed through the condenser and condensed into a liquid oil product, which was collected in the storage container.

Non-condensable vapor flowed into the flare. Finally, carbon residues that were left in the reactor were collected and weighted after cooling down the reactor. The reaction time was determined when there was no product output. The pyrolysis oil and residue carbon were collected and weighed, while the pyrolysis gas was calculated from the mass balance.

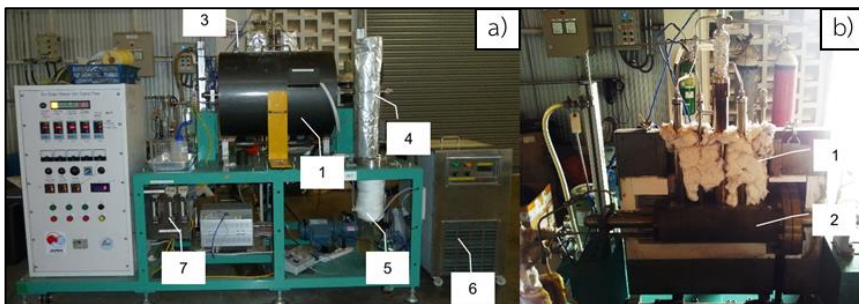


Fig. 1 The bench-scale reactor, a) overall equipment, and b) focusing on the reactor and heater, including: 1. Electric heater with a controller, 2. Horizontal reactor with agitator, 3. K-type thermocouple, 4. Condenser, 5. Liquid product storage, 6. Chiller, and 7. N₂ flow controller.

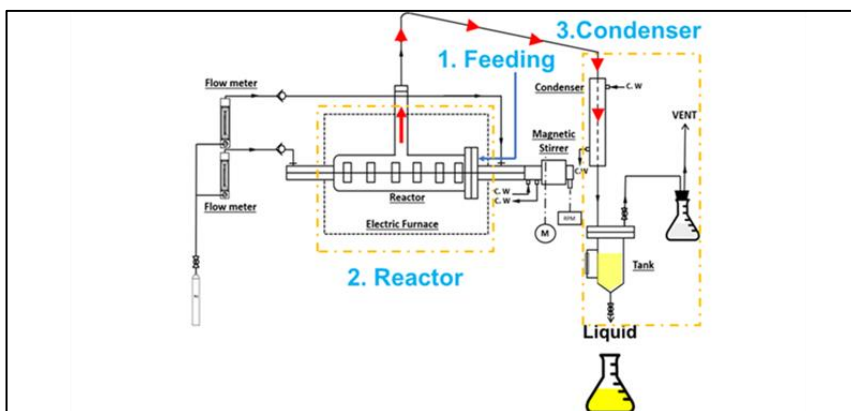


Fig. 2 The pyrolysis process flow diagram.

After that, pyrolysis oil was analyzed by Distillation Gas Chromatography (DGC) to determine the fractions of naphtha, kerosene, diesel, and long residue. Furthermore, the HDPE and PP plastic wastes were analyzed for the thermal degradation temperature of individual plastics by thermogravimetric analysis (TGA). The BET surface area, pore volume, and pore size of the spent FCC were analyzed by the surface area and porosity analyzer. The catalyst type and composition of spent FCC catalyst were also analyzed by X-ray Diffraction (XRD) and X-ray Fluorescence (XRF) methods, respectively.

Results and Discussion

The TGA results for HDPE and PP plastic wastes are shown in Fig. 3. Their degradation temperatures ranged between 400 and 500 °C. The peak degradation temperatures of HDPE and PP plastic waste were 480.2 °C and 467.7 °C, respectively. Focusing on the peak degradation temperatures, it was observed that the temperature of PP was lower than HDPE. Because the polymer structure of PP contained more pendant methyl groups than the structure of HDPE. It is the reason why the PP structure is more easily degraded than the HDPE structure, which has a linear chain structure and a dense structure (Lee et al., 2021; Maafa, 2021).

The BET surface area, the pore volume, and the pore size of the spent FCC catalyst were 101.03 m²/g, 0.09 cm³/g, and 37.13 Å, respectively. In the X-ray Diffraction (XRD) analysis depicted in Fig. 4, it was demonstrated that the diffraction peak of the spent FCC catalyst (the solid line in Fig. 4) was similar to the diffraction peak of the Ultra Stable Y Zeolite (USY) pattern, which is a standard y-type zeolite from the database (Baerlocher & McCusker, 2016). Therefore, it was assumed that the spent FCC catalyst is a y-type zeolite that is used in petroleum refineries to convert heavy petroleum fractions into lighter products. In addition, X-ray fluorescence (XRF) revealed that the molar ratio

of SiO_2 to Al_2O_3 was 1, and there were some other metals such as La (3.19%) and Mg (1.44%), which likely were components in heavy oil.

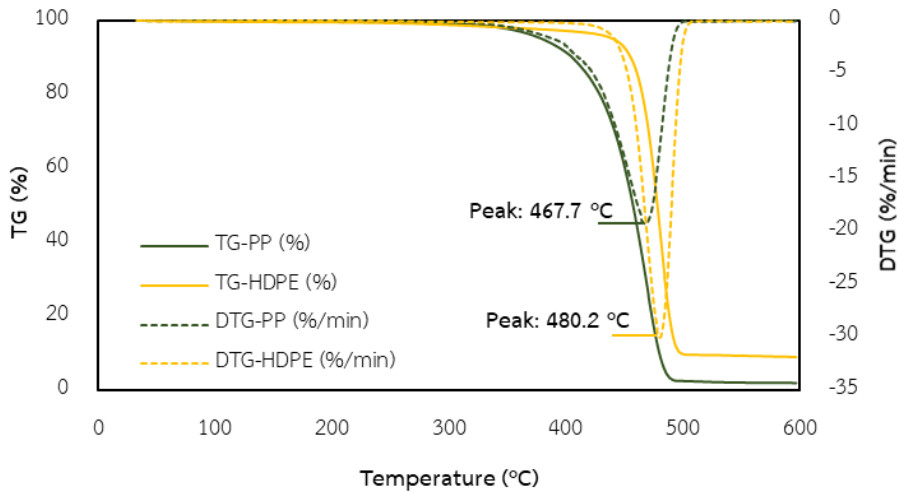


Fig. 3 The TGA results of HDPE and PP plastic wastes.

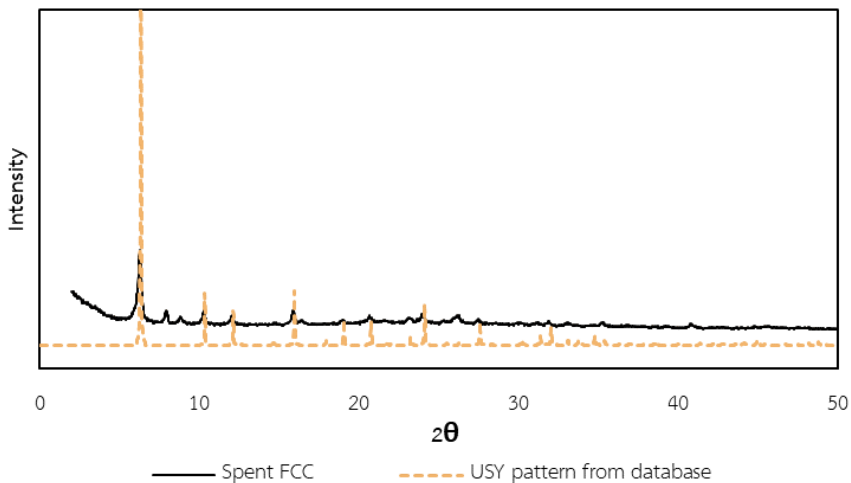


Fig. 4 The XRD results of the spent FCC catalyst and USY pattern form data base (Baerlocher & McCusker, 2016).

The liquid product profiles of thermal pyrolysis and catalytic pyrolysis are shown in Figs. 5 and 6, respectively. Both figures showed the weight of the collected product every 15 minutes in the dashed line and the accumulated weight of the liquid product in the solid line. In the case of the dashed line, the tall and thin peak showed that the pyrolysis occurred in a short time. On the other hand, the peak that appeared in the small and wide base could indicate slow pyrolysis due to low supply energy. In addition, the accumulation line (solid line), especially the end of that line, referred to the time at the finish of the pyrolysis process. Moreover, the profiles of both figures demonstrated that increases in reaction temperature affected creaking behavior in the pyrolysis process.

The amount of pyrolysis oil produced by thermal pyrolysis increased as the reaction temperature rose (Fig. 5). However, at 390 °C of reaction temperature, both the thermal and catalytic pyrolysis did not seem to show any liquid product, as shown in Figs. 5 and 6, due to the lower reaction temperature than the degradation temperature analyzed by TGA in Fig. 3.

Fig. 6 shows the results of the liquid product of catalytic pyrolysis. The liquid product profiles were revealed with the same trend of thermal pyrolysis as in Fig. 5. Moreover, it might be evident that the plastic sample cracked rapidly when the temperature increased in both processes due to the endothermic reaction of the pyrolysis process.

However, as shown in Fig. 7, the catalytic process had a shorter reaction time than the thermal process. The time required to terminate the reaction in the thermal process was more than the catalytic process, which principally accelerates the reaction of the catalyst.

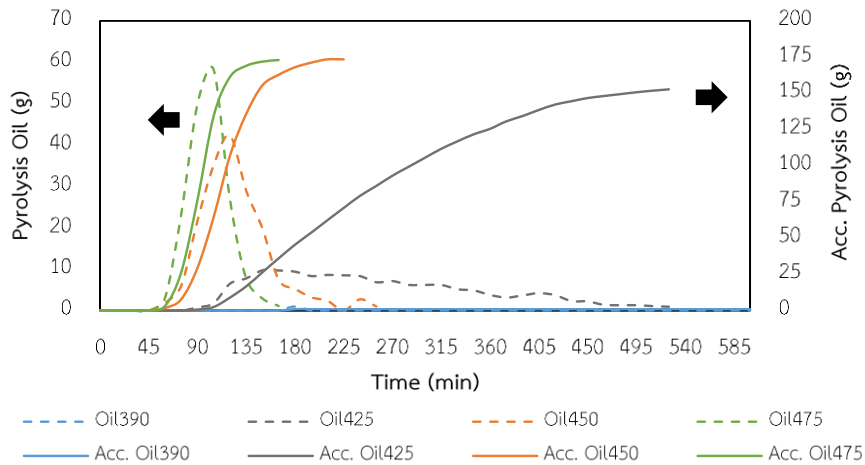


Fig. 5 The liquid product profile and reaction time of thermal pyrolysis.

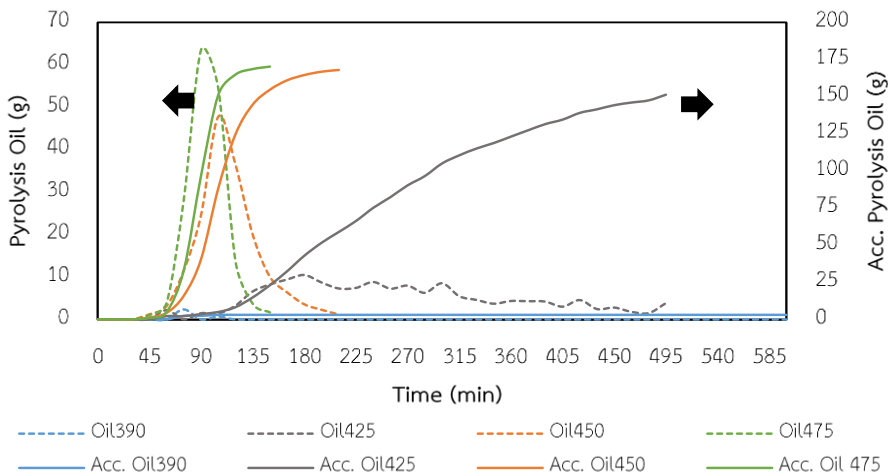


Fig. 6 The liquid product profile and reaction time of catalytic pyrolysis.

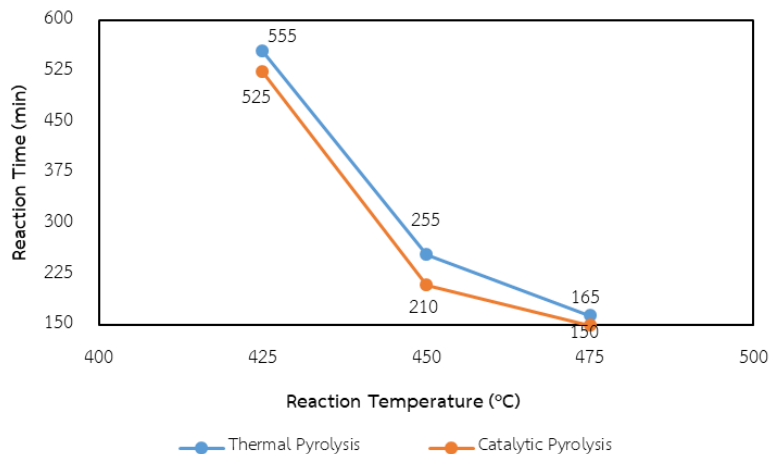


Fig. 7 The reaction time and reaction temperature in the thermal pyrolysis and catalytic pyrolysis.

Table 1 summarizes the pyrolysis experiment results. In the case of pyrolysis oil yield, the result showed that the increase in reaction temperature in the catalytic process resulted in an increase in liquid yield from 63.63 to 70.12 wt.% and a likely constant value of 475 °C. In contrast, the product of the thermal process had a maximum liquid yield (84.21 wt.%) at 450 °C. The higher liquid yield from thermal pyrolysis than catalytic pyrolysis is probably due to the high activities of the spent FCC catalyst, which promoted the pyrolysis reaction; thus, the liquid product could be cracked into more gas, which increased from 3.98 to 21.56 wt.% in thermal pyrolysis and catalytic pyrolysis at 450 °C, respectively. The liquid product of all experiments was analyzed by the composition of DGC, and their results are also shown in Table 1. The composition of liquid products can be separated by the range of their boiling points, which were defined as naphtha (25–200 °C), kerosene (200–250 °C), diesel (250–370 °C), and long residue (>370 °C).

Therefore, the optimum condition for the catalytic process was at 450 °C which provided 70.12 wt.% of liquid yield, 39.90% of naphtha, 17.10% of

kerosene, 35.40% of diesel, and 7.60% of long residue. In comparison, the optimum temperature for the thermal process was 450 °C, which contributed 84.21% of the yield, 37.00% of the naphtha, 18.60% of the kerosene, 37.40% of the diesel, and 7.00% of the long residue. However, due to the low decomposition temperature of the plastic, the liquid product was not found at 390 °C in either process. Furthermore, the time required to terminate the reaction in the thermal process was longer than in the catalytic- process because the catalyst can accelerate the reaction.

Table 1 Product yields, pyrolysis oil compositions, and reaction time.

Reaction Conditions	Thermal Pyrolysis				Catalytic Pyrolysis			
	390	425	450	475	390	425	450	475
Reaction temperature (°C)								
Product yields (wt.%)								
Pyrolysis oil	0	42.35	84.21	73.38	0	63.63	70.12	70.05
Residue carbon	0	17.25	11.81	8.90	0	14.81	12.04	9.63
Pyrolysis gas*	0	40.40	3.98	17.72	0	21.56	17.84	20.32
Total	-	100	100	100	-	100	100	100
Pyrolysis oil compositions (vol.%)								
Naphtha	0	37.80	37.00	33.40	0	47.00	39.90	34.80
Kerosene	0	22.40	18.60	15.50	0	23.30	17.10	14.90
Diesel	0	38.70	37.40	35.30	0	28.80	35.40	34.00
Long residue	0	1.10	7.00	15.80	0	0.90	7.60	16.30
Total	-	100	100	100	-	100	100	100
Reaction time (min)	0	525	255	165	0	495	210	150

* from mass balance

Conclusion

The thermal pyrolysis and catalytic pyrolysis using spent FCC catalyst were investigated at various reaction temperatures. The results revealed that the thermal pyrolysis process at 450 °C provided the maximum pyrolysis oil yield of 84.21 wt.%, which was accompanied by 37.00% naphtha, 18.60%

kerosene, 37.40% diesel, and 7.00% long residue. In a while, the catalytic pyrolysis process at 450 °C provided the maximum pyrolysis oil yield of 70.12 wt.%, which consisted of 39.90% naphtha, 17.10% kerosene, 35.40% diesel, and 7.60% long residue. Pyrolysis is an alternative method for disposing of plastic waste on Samui Island by converting it into more valuable fuels.

Acknowledgment

The authors would like to express their sincere thanks to the Center of Fuels and Energy from Biomass at Chulalongkorn University for kindly supporting this research. The authors also gratefully acknowledge the Samui municipality for examples of plastic waste.

References

- Adnan, Shah, J., & Jan, M. R. (2014). Thermo-catalytic pyrolysis of polystyrene in the presence of zinc bulk catalysts. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45(5), 2494–2500.
- Aisien, E. T., Otuya, I. C., & Aisien, F. A. (2021). Thermal and catalytic pyrolysis of waste polypropylene plastic using spent FCC catalyst. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101455.
- Baerlocher, Ch., & McCusker, L. B. (2016). *Database of Zeolite Structures*. Retrieved February 21, 2022 from <http://www.iza-structure.org/databases/>.
- Chiranjeevi, T., Pragya, R., Gupta, S., Gokak, D. T., & Bhargava, S. (2016). Minimization of Waste Spent Catalyst in Refineries. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 610–617.
- Hakeem, I. G., Aberuagba, F., & Musa, U. (2018). Catalytic pyrolysis of waste polypropylene using Ahoko kaolin from Nigeria. *Applied Petrochemical Research*, 8(4), 203–210.

- Kassargy, C., Awad, S., Burnens, G., Kahine, K., & Tazerout, M. (2018). Gasoline and diesel-like fuel production by continuous catalytic pyrolysis of waste polyethylene and polypropylene mixtures over USY zeolite. *Fuel*, 224, 764–773.
- Lee, D., Nam, H., Wang, S., Kim, H., Kim, J. H., Won, Y., Hwang, B. W., Kim, Y. D., Nam, H., Lee, K. H., & Ryu, H. J. (2021). Characteristics of fractionated drop-in liquid fuel of plastic wastes from a commercial pyrolysis plant. *Waste Management*, 126, 411–422.
- Maafa, I. (2021). Pyrolysis of Polystyrene Waste: A Review. *Polymers*, 13(2), 225.
- Miandad, R., Barakat, M. A., Aburiazaiza, A. S., Rehan, M., Ismail, I. M. I., & Nizami, A. S. (2017a). Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 119, 239–252.
- Miandad, R., Barakat, M. A., Rehan, M., Aburiazaiza, A. S., Ismail, I. M. I., & Nizami, A. S. (2017b). Plastic waste to liquid oil through catalytic pyrolysis using natural and synthetic zeolite catalysts. *Waste Management*, 69, 66–78.
- Panda, A. K. (2018). Thermo-catalytic degradation of different plastics to drop in liquid fuel using calcium bentonite catalyst. *International Journal of Industrial Chemistry*, 9(2), 167–176.
- Saeung, K., Phusunti, N., Phetwarotai, W., Assabumrungrat, S., & Cheirsilp, B. (2021). Catalytic pyrolysis of petroleum-based and biodegradable plastic waste to obtain high-value chemicals. *Waste Management*, 127, 101–111.
- Singh, R. K., Ruj, B., Sadhukhan, A. K., & Gupta, P. (2019). Thermal degradation of waste plastics under non-sweeping atmosphere: Part 1: Effect of temperature, product optimization, and degradation mechanism. *Journal of Environmental Management*, 239, 395–406.
- Singh, T. S., Verma, T. N., & Singh, H. N. (2020). A lab scale waste to energy conversion study for pyrolysis of plastic with and without catalyst: Engine emissions testing study. *Fuel*, 277, 118176.

- Thai PBS. (2020). *Recovering the municipal solid waste (MSW) of Samui Island from a capsized ferry accident during transportation*. Retrieved February 20, 2022 from <https://www.thaipbs.or.th/news/content/296474> (in Thai).
- TISTR. (2020). *The suitability study of the model and the approach for municipal solid waste disposal in Koh Samui Municipality* [report]. (in Thai).
- Zhang, Y., Ji, G., Chen, C., Wang, Y., Wang, W., & Li, A. (2020). Liquid oils produced from pyrolysis of plastic wastes with heat carrier in rotary kiln. *Fuel Processing Technology*, 206, 106455.

เครื่องช่วยเดินด้วยวิธีการตรวจจับใบหน้าและระบบแจ้งเตือนการล้ม ผ่านแอปพลิเคชันไลน์สำหรับผู้สูงอายุ

WALKING AIDED MACHINE BASED ON FACE-DETECTION AND FALL NOTIFICATION SYSTEM VIA LINE APPLICATION FOR THE ELDERLY

วรินทร์ นวลทิม^{1,*}, ธาราดล ผิวละออง¹, นัทธพงษ์ วงศรี¹ และ อมรรัตน์ คำบุญ²
Warinthorn Nualtim^{1,*}, Taradol pewlaoong¹, Nuttapon wongsri¹
and Amonrat Khambun²

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

² สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

¹ Technology Computer Electronic Program, Faculty of Science and Technology,

Bansomdejchaopraya Rajabhat University

² Physical Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

Received: 6 February 2023

Revised: 14 March 2023

Accepted: 20 March 2023

บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้สูงอายุมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และขาดการออกกำลังกาย ทำให้เกิดปัญหาสุขภาพมากขึ้น เครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุ มีความจำเป็นที่มีประโยชน์สำหรับผู้สูงอายุที่ใช้ในการออกกำลังกาย และมีการแจ้งเตือนการล้มที่เกิดขึ้น เนื่องจากเครื่องช่วยเดินส่วนใหญ่จะถูกควบคุมด้วยปุ่มควบคุมและไม่มีการแจ้งเตือน ในงานวิจัยนี้ทางผู้จัดทำได้ปรับปรุงเครื่องช่วยเดินด้วยระบบการตรวจจับใบหน้าและการแจ้งเตือนการล้มผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ระบบการควบคุมให้เครื่องช่วยเดิน เคลื่อนที่ไปตามหน้า จะใช้ระบบตรวจจับใบหน้าของผู้ใช้งานด้วยกล้องเว็บแคม และประมวลผลภาพด้วยบอร์ตราสเบอร์รี่พาย ส่งตัวแปรไปที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ดุยโน ยูโน ทำการควบคุมเคลื่อนที่ไปตามหน้าแทนการกดปุ่มควบคุม ส่วนระบบการแจ้งเตือนแจ้งผ่านแอปพลิเคชันไลน์ จะทำการส่งไปยังผู้ดูแลเมื่อผู้สูงอายุเกิด

* Corresponding Author: วรินทร์ นวลทิม

E-mail: warinthorn.nu@bsru.ac.th

ประสบอุบัติเหตุ จะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ โหนดเอ็มซียู รับค่าจากเซนเซอร์ อัลตราโซนิกวัดระยะทาง รุ่น HC-RS04 เครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุจะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ประมาณ 0.17 - 0.37 เมตรต่อวินาที สามารถปรับระดับความเร็วเพื่อให้ผู้สูงอายุก้าวเดินตามได้เหมาะสม เนื่องด้วยเครื่องช่วยเดินมีการเชื่อมต่อไวไฟ สำหรับการแจ้งเตือนจึงเหมาะสมกับการใช้งานในที่ที่มีสัญญาณไวไฟ

ผลลัพธ์การทดสอบของเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุ ด้วยวิธีทดสอบการเลียขของเครื่องช่วยเดินสามารถทำงานได้ 100% และทดสอบระบบตรวจจับใบหน้ามีความแม่นยำสูง การทดสอบสุดท้ายของระบบการแจ้งเตือนการล้มมีความเร็วเฉลี่ย 3.3 วินาที และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.19 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบตรวจจับใบหน้า, การแจ้งเตือนการล้ม, เครื่องช่วยเดิน

Abstract

At present, the number of elderly is increasing day by day which makes health problems without exercise. A walking-aided machine for the elderly is a useful necessity for the elderly in using exercise with fall notification. Because most walking-aided machines are controlled with pressed buttons as well as without notification. In this research, we improved a walking-aided machine with a face detection system and fall notification through a line application. The control system for a walking-aided machine was moved forward by using face detection system of the user with a web camera and image processing with raspberry pi. It sent parameters to the microcontroller Arduino Uno which controls to move forward instead of pressing the button. The notification system through line application will send to the caretaker when the elderly was an accident. The notification system was used to microcontroller NodeMCU which receives data from distant ultrasonic sensor model HC-RS04. A walking-aided machine for the elderly was speeded in movement of around 0.17 m/s to 0.37 m/s that can adjust to speed for the elderly to step properly. Since the

walker has a Wi-Fi connection for notifications which were suitable for use in the presence of a Wi-Fi signal.

The result of the experiment of a walking-aided machine for the elderly with turning test of the walking-aided machine can be made 100%, testing face detection system has high accuracy. The final test of the fall notification system has a speeding average of 3.3 seconds, and a standard deviation of 0.19 can be utilized effectively.

Keywords: Face detection, Fall notification, Walking aided machine

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังจะก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงวัยระดับสูงสุด โดยในปี พ.ศ. 2565 ซึ่งเรียกว่า สังคมผู้สูงอายุอย่างสมบูรณ์ และคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2576 จะเข้าสู่การเป็นสังคมสูงอายุระดับสุดยอด คือมีสัดส่วนประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปในอัตราร้อยละ 28 ของประชากรทั้งหมด และในผู้สูงอายุที่มีอายุ 65 ปีขึ้นไปเสี่ยงต่อการหกล้ม 28-35% ส่วนในผู้ที่มีอายุ 70 ปีขึ้นไปเสี่ยงต่อการหกล้มเพิ่มขึ้นเป็น 32-42% และยังพบว่า มีอัตราการเสียชีวิตจากการหกล้มสูงเป็นอันดับ 2 รองจากการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนท้องถนน (RAMA CHANEL, 2561) และยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นเกิดจากการเสื่อมสภาพของร่างกายจากการที่มีอายุมากขึ้น ทำให้เกิดอุบัติเหตุที่มาจาก การสูญเสียความสามารถในการเคลื่อนไหว รวมถึงผลที่ตามมาจากโรคภัยต่าง ๆ ส่วนหนึ่ง คือ การขาดการออกกำลังกายของผู้สูงอายุ (YUUSOOK, 2562) โดยที่การออกกำลังกายทำให้ลดโรคจากที่เกิดจากความชรา ทำให้ลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ และหลอดเลือดซึ่งผู้สูงอายุควรออกกำลังกายต่อเนื่องเป็นเวลานาน 30 – 40 นาที

เครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้ผู้สูงอายุได้ออกกำลังกาย และมีการช่วยเหลือผู้สูงอายุเมื่อมีการหกล้มได้ทันเวลา ซึ่งงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องช่วยเดินแบบอัตโนมัติสำหรับผู้ป่วย (จรัญ คนแรง และ อัญชณา อุประกุล, 2556) ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จากการศึกษาพบว่า ความเร็วที่ใช้กับเครื่องช่วยเดินร่วมกับผู้ป่วยกล้ามเนื้ออ่อนแรงและผู้สูงอายุ โดยใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ นั้นเมื่อ

ปรับระดับความเร็วของเครื่องเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการเดินสั้นลงและความเร็วที่ใช้ในการเดินเร็วเพิ่มขึ้น แต่เนื่องด้วยความเร็วในการเดิน และรวมถึงการเคลื่อนไหวของร่างกายผู้สูงอายุ นั้นมีส่วนสำคัญ โดยได้ศึกษางานวิจัยของ Miyawaki et al. (2018) ได้นำเสนอการศึกษา การพัฒนาและประเมินผลเครื่องช่วยเดินไฟฟ้า ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับท่าทางการเดินใน การเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุที่จะใช้เครื่องช่วยเดินในการออกกำลังกาย โดยใช้อุปกรณ์เครื่อง ช่วยเดินไฟฟ้า ที่ออกแบบขึ้นมาร่วมกับกล้องที่มีการวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนไหว สำหรับการเก็บข้อมูลของข้อต่อท่อนขาส่วนล่างลดลงอย่างละเท่าไรเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ อุปกรณ์ และการเดินปกติโดยตัวเครื่องมีความสูง 88 เซนติเมตร ประมาณระดับเอวของผู้ใช้ งานมีความเร็วของเครื่องช่วยเดิน 0.3 เมตรต่อวินาที โดยผู้ทดลองนั้นจะสวมชุดสะท้อนแสง เพื่อจับโครงร่างและท่าทางของผู้ทำการทดลอง ซึ่งผลการวิจัยพบว่าเครื่องช่วยเดินนั้นช่วยลด ภาระของข้อต่อและข้อเท้าที่มีส่วนสัมพันธ์กัน ส่วนในการแจ้งเตือนการล้มของผู้สูงอายุจาก (ชัยวุฒิ วุทธิสิทธิ์, 2563) ได้นำเสนออุปกรณ์ตรวจจับการล้มโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต ของทุกสรรพสิ่ง ที่ติดกับสายรัดเอวของผู้สูงอายุที่มีการแจ้งเตือนการล้ม โดยให้มีการรายงาน ผ่านเว็บและแจ้งเตือนการล้มผ่านไลน์ แต่เนื่องจากเครื่องช่วยเดินส่วนใหญ่จะถูกควบคุมด้วย ปุ่มควบคุม งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าการควบคุมด้วยการตรวจจับใบหน้าที่จะนำมาใช้แทน การควบคุมด้วยปุ่มกด Kumar et al. (2020) ได้นำเสนอการตรวจจับใบหน้า โดยใช้ภาพสี ภาพสีเทา และภาพขาวดำ ที่มีการทำเทรซโฮลด์ ทำให้พบว่าการใช้ภาพขาวดำเมื่อนำมาช่วย ในการตรวจจับใบหน้าจะจำแนกหรือวิเคราะห์ข้อมูลได้ดีกว่าการใช้ภาพสีหรือภาพต้นฉบับ

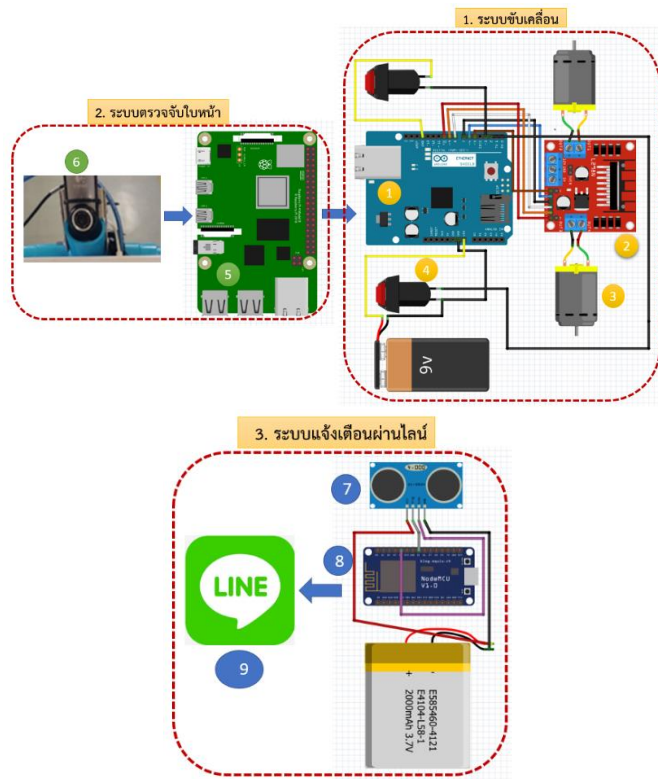
จากการศึกษาวิจัยของเครื่องช่วยเดินให้แก่ผู้สูงอายุ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการ ออกแบบให้ได้ตามวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุที่จะ ช่วยเหลือในเรื่องการเดินสำหรับผู้สูงอายุ และช่วยให้ผู้สูงอายุมีการมีความปลอดภัยในการ ดำเนินชีวิตประจำวัน โดยส่วนทั้งหมดของงานวิจัยได้ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีแนวคิดการดำเนินงานวิจัยของเครื่องช่วยเดินด้วยวิธีการตรวจจับ ใบหน้าและระบบแจ้งเตือนการล้มผ่านแอปพลิเคชันไลน์สำหรับผู้สูงอายุ โดยมีการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ของระบบทั้งหมดที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

การออกแบบการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ (รูปที่ 1) คือการเขียนวงจรไฟฟ้า ซึ่งเป็นการออกแบบโดยใช้อุปกรณ์จำลองอาจจะไม่เหมือนอุปกรณ์จริง เช่นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (หมายเลข 3) เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบวงจรไฟฟ้า โดยวงจรไฟฟ้าที่ออกแบบของเครื่องมือและอุปกรณ์จะประกอบด้วย 1) ระบบขับเคลื่อน 2) ระบบตรวจจับใบหน้า และ 3) ระบบแจ้งเตือนผ่านไลน์ โดยจะมีเครื่องมือและอุปกรณ์ดังนี้



รูปที่ 1 ภาพรวมการออกแบบระบบงานวิจัยของเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุ

หมายเลข 1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ดูโน้ ยูโน (Arduino UNO) ใช้สำหรับการประมวลผลควบคุมการทำงานของระบบเครื่องช่วยเดิน

หมายเลข 2 บอร์ดไดรฟ์ รุ่น L298N ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์โดยจะใช้ขั้วมอเตอร์ได้ 2 ตัว และสามารถจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงได้ 2 แอมป์

หมายเลข 3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ มีความเร็วรอบ 100 รอบ ต่อนาที

หมายเลข 4 สวิตช์กดติดปล่อยดับ ทำหน้าที่ในการควบคุมการเลี้ยงซ้ายและขวา

หมายเลข 5 บอร์ดราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) รุ่น 4B ทำหน้าที่ประมวลผลภาพ ใช้สำหรับตรวจจับใบหน้า

หมายเลข 6 กล้องเว็บแคม รุ่น C905 Logitech

หมายเลข 7 เซนเซอร์ อัลตราโซนิก รุ่น HC-RS04 สำหรับการตรวจวัดระยะทาง

หมายเลข 8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โหนดเอ็มซียู (NodeMCU)

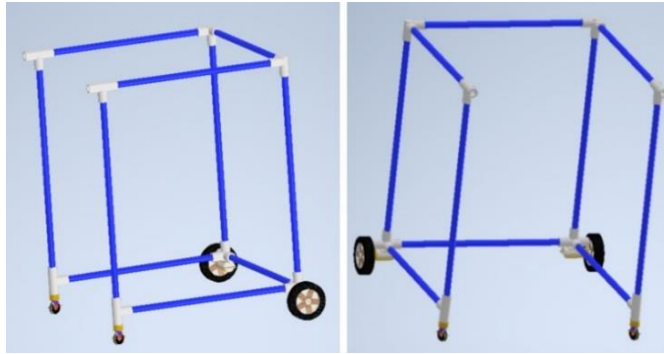
หมายเลข 9 ระบบแจ้งเตือนผ่านไลน์

วิธีการวิจัย

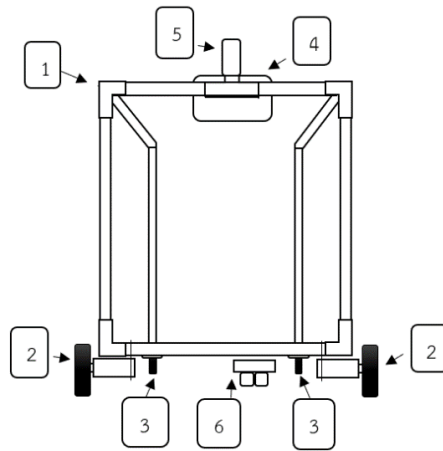
การออกแบบการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ จากการเขียนวงจรไฟฟ้า (รูปที่ 1) การออกแบบโครงสร้างของเครื่องช่วยเดินด้วยวิธีการตรวจจับใบหน้าและระบบแจ้งเตือน การล้มผ่านแอปพลิเคชันไลน์สำหรับผู้สูงอายุ เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ในงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วย 1) การออกแบบโครงสร้างเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุ 2) การประกอบ เครื่องมือ 3) อุปกรณ์เครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุ 4) การออกแบบโปรแกรมการเดินด้วย วิธีการตรวจจับใบหน้าของเครื่องช่วยเดิน 5) การออกแบบโปรแกรมควบคุมการเลี้ยงของ เครื่องช่วยเดิน และ 6) การออกแบบระบบแจ้งเตือนการล้มผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดย สามารถอธิบายตามลำดับได้ดังนี้

การออกแบบโครงสร้างเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุ

แนวคิดการออกแบบของงานวิจัยนี้ โดยมุ่งเน้นที่ เครื่องมือ อุปกรณ์สามารถหาได้ ราคาไม่สูง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ ซึ่งขอบเขต ของงานวิจัยนี้ใช้สำหรับผู้สูงอายุที่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ และอาจจะไม่ต้องใช้แรง กระทำต่อเครื่องมาก โดยเป็นการจับตัวเครื่องช่วยเดินเพื่อออกกำลังกายก้าวเดินตาม โดยได้ มีการศึกษา จากงานวิจัยของ (Miyawaki et al., 2018) ได้ทำการออกแบบภาพ 3 มิติ และ แสดงอุปกรณ์ด้วยแบบภาพ 2 มิติ (รูปที่ 2 และ 3) มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2 โครงสร้างเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุที่ออกแบบด้วยโปรแกรม 3 มิติ



รูปที่ 3 โครงสร้างเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุพร้อมแสดงอุปกรณ์ด้วยโปรแกรม 2 มิติ

หมายเลข 1 โครงของเครื่องช่วยเดินที่ประกอบมาจากท่อพีวีซีขนาด 1 นิ้ว ตัวโครงสูง 1 เมตร และจากพื้นสูง 0.93 เมตร (ไม่รวมล้อ) กว้าง 0.74 เมตร ยาว 0.80 เมตร

หมายเลข 2 ล้อขนาด 6 นิ้ว สำหรับการขับเคลื่อน ที่ประกอบเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลท์

หมายเลข 3 ล้อหลังหมุนอิสระ 360 องศา

หมายเลข 4 กล่องรวมวงจร กว้าง 8 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว และสูง 5.5 นิ้ว

หมายเลข 5 กล้องเว็บแคม รุ่น C905 Logitech

หมายเลข 6 เซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น HC-RS04

การประกอบเครื่องมือและอุปกรณ์เครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการออกแบบเครื่องช่วยเดิน (รูปที่ 2 และ 3) โดยได้ทำการประกอบเครื่องช่วยเดินของผู้สูงอายุด้วยการใช้อุปกรณ์จริงที่จะนำไปใช้ในงานวิจัยให้เกิดประโยชน์ในการใช้งานของเครื่องช่วยเดินด้วยวิธีการตรวจจับใบหน้าและระบบแจ้งเตือนการล้มผ่านแอปพลิเคชันสำหรับผู้สูงอายุ (รูปที่ 4) มีรายละเอียดดังนี้

หมายเลข 1 คือการประกอบกล่องวงจรรวมที่มีอุปกรณ์ได้แก่ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ดุยโน่ ยูเอ็นโอ (Arduino UNO) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โหนดเอ็มซียู (NodeMCU) และแบตเตอรี่ 12 โวลท์

หมายเลข 2 คือการติดตั้งกล้องเว็บแคม รุ่น C905 Logitech และจอทัสกรีน ขนาด 3.5 นิ้ว ใช้งานสำหรับการแสดงภาพจากการประมวลผลภาพของบอร์ดราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) รุ่น 4B

หมายเลข 3 คือการติดตั้งสวิตช์กดติดปล่อยดับสำหรับเลี้ยวซ้ายและลดความเร็ว

หมายเลข 4 คือการติดตั้งสวิตช์กดติดปล่อยดับสำหรับเลี้ยวขวาและเพิ่มความเร็ว

หมายเลข 5 โครงสร้างของเครื่องช่วยเดินที่ประกอบเสร็จซึ่งยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์

หมายเลข 6 การติดตั้งเซนเซอร์อัลตราโซนิก และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

หมายเลข 7 โครงสร้างของเครื่องช่วยเดินที่ประกอบเสร็จพร้อมอุปกรณ์

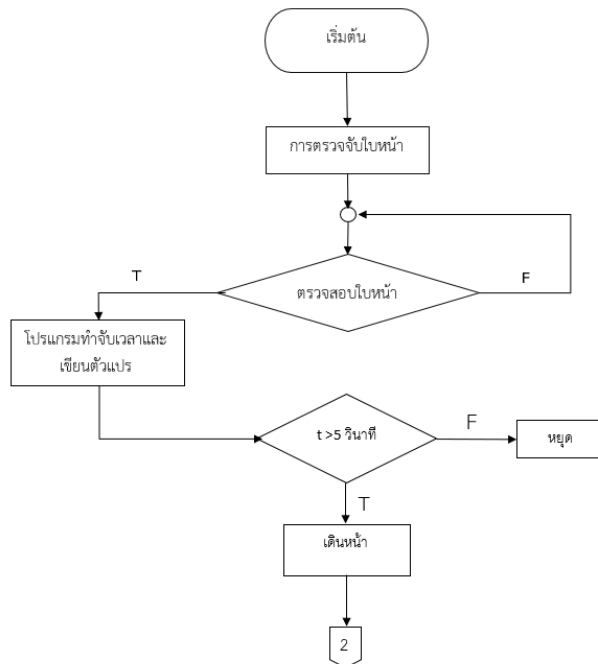


รูปที่ 4 การประกอบเครื่องมือและอุปกรณ์ของเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุ

การออกแบบโปรแกรมการเดินด้วยวิธีการตรวจจับใบหน้าของเครื่องช่วยเดิน

การออกแบบโปรแกรมควบคุมการเดินด้วยวิธีการตรวจจับใบหน้าของเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุ ได้ทำการออกแบบโดยแสดงเป็นแผนภาพ (รูปที่ 5) ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อมีการตรวจจับใบหน้า ด้วยกล้องเว็บแคมแล้วส่งให้บอร์ดราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) รุ่น 4B (Raspberry Pi, 2018) ทำการประมวลผลภาพในการตรวจจับใบหน้า ที่เรียกว่า Viola Jones Face Detyection Algorithm คือเทคนิคการตรวจจับขอบเขตลักษณะเด่นใบหน้าพื้นฐาน เช่น ตา จมูก และปาก สามารถตรวจหาใบหน้าคนทั่วไปและสามารถใช้งานลักษณะแบบเวลาจริง (Real Time) (Dang & Sharma, 2017) ถ้าการใช้งานตรวจเจอใบหน้า โปรแกรมก็จะทำการจับเวลา ถ้าเวลามากกว่า 5 วินาที บอร์ดราสเบอร์รี่พายก็จะทำการส่งข้อมูลระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno ตัวเครื่องช่วยเดินก็จะทำการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า และเมื่อยังไม่ถึง 5 วินาที ตัวเครื่องช่วยเดินก็จะไม่ทำการเคลื่อนที่ ในทำนองเดียวกันถ้าใบหน้าของผู้ใช้งานได้ออกจากโปรแกรม ในกรณีก้มหน้า หรือหันใบหน้าไปทางซ้ายหรือขวา ใบหน้าจะไม่ได้มองกล้อง หรือผู้ใช้งานไม่ได้อยู่ที่เครื่องช่วยเดิน โดยสามารถดูที่จอแสดงผล บอร์ดราสเบอร์รี่พายจะไม่แสดงกรอบสี่เหลี่ยมที่ใบหน้า ตัวเครื่องช่วยเดินก็จะหยุดทำงาน เช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถป้องกันการล้มแก่ผู้ใช้งานซึ่งเครื่องทั่วไป (Miyawaki et al., 2018) ทำการกดสวิทช์ให้ตัวเครื่องช่วยเดินทำการเคลื่อนที่ตลอดเวลาอาจทำให้ผู้สูงอายุเกิดการหกล้มได้ โดยที่เครื่องช่วยเดินจะเคลื่อนที่ไปด้านหน้าด้วยวิธีการตรวจจับใบหน้า ซึ่งการตรวจจับใบหน้าจะใช้บอร์ดราสเบอร์รี่พายที่เป็นเหมือนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กโดยจะทำการติดตั้งไลบรารี OpenCV จะทำหน้าที่ตรวจหาใบหน้าที่รับภาพมาจากกล้องเว็บแคม และทำการสร้างกรอบสี่เหลี่ยมจากการโปรแกรมภาพที่เป็นเฟรมในรูปแบบวิดีโอ (Wazwaz et al., 2018) จะมีการประมวลผลและในกรณีที่ผู้ใช้งานต้องการเลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวาจะมีปุ่มบังคับเลี้ยวโดยการกดปุ่มสี่เหลี่ยมด้านซ้ายมือก็จะทำการเลี้ยวทางด้านซ้าย และเมื่อต้องการเลี้ยวด้านขวาก็ทำการกดสวิทช์สีดำ โดยตัวเครื่องจะมีปุ่มสีแดงสามารถกดให้ตัวโครงรถหยุด และสามารถเพิ่มและลดความเร็วได้ตามต้องการโดยการกดปุ่มลดและเพิ่มด้านซ้ายมือและขวามือ (รูปที่ 6) การทำงานดังกล่าวนี้จะถูกควบคุมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO ซึ่งทำการควบคุมมอเตอร์ที่ติดล้อด้านล่างทั้ง 2 ตัว (รูปที่ 7 (1)) การทำงานนั้นจะมีบอร์ดไดร์ L298N (TAWUN ALL ELECTRONIC, 2560) คือวงจร H-Bridge ใช้ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ามอเตอร์ตามขั้วที่กำหนดด้วยลอจิกเพื่อควบคุมทิศทาง ส่วนความเร็วของมอเตอร์นั้นจะถูก

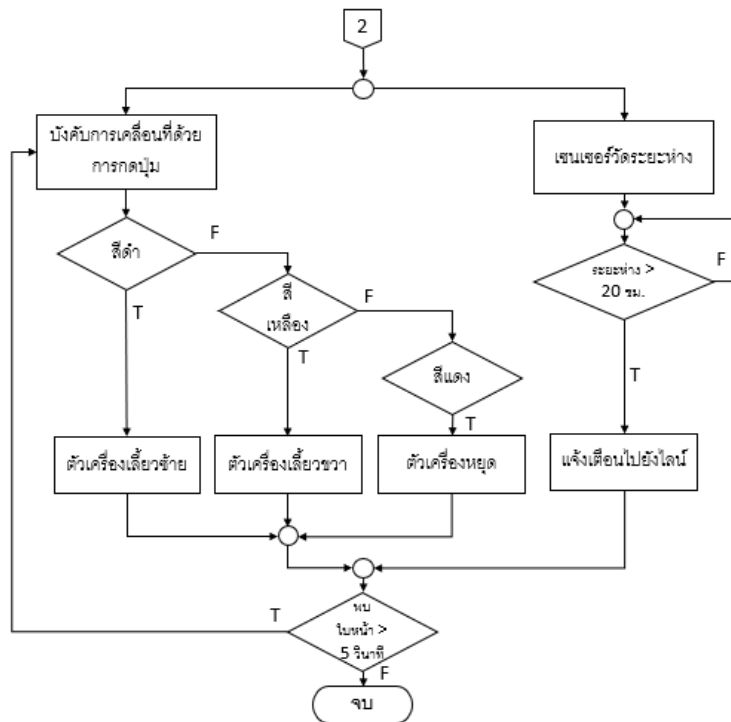
ควบคุมด้วยสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) (ElectronicsTutorials, 2564) เพราะฉะนั้นกระแสไฟฟ้าจากวงจร H-Bridge จะทำการจ่ายไปยังมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้ขับเคลื่อนที่ช่วยควบคุมการเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และเดินหน้า โดยการทำงานทั้งหมดจะต้องอยู่ในโหมดตรวจพบใบหน้าของผู้ใช้งาน



รูปที่ 5 แผนภาพการทำงานของเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุด้วยวิธีการตรวจจับใบหน้า

การออกแบบระบบแจ้งเตือนการล้มผ่านแอปพลิเคชันไลน์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบแจ้งเตือนการล้มผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยแสดงแผนภาพการทำงาน (รูปที่ 6) ที่จะอธิบายได้ดังนี้ เมื่ออุปกรณ์อัลตราโซนิก เซนเซอร์ รุ่น HC-RS04 (Apkan et al., 2019) จะทำหน้าที่ตรวจวัดระยะห่างระหว่างพื้นกับฐานโครงเครื่องช่วยเดิน โดยเซนเซอร์รุ่นนี้ใช้วิธีในการติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โหนดเอ็มชียู (Node MCU) ซึ่งจะใช้สาย 2 เส้น คือ Trig สำหรับส่งสัญญาณ และ Echo สำหรับรับสัญญาณกลับมา เมื่อสัญญาณการตรวจวัดระยะห่างของเซนเซอร์อยู่ในเกณฑ์การแจ้งเตือนก็จะส่งเข้าไลน์ผู้ดูแล โดยมีข้อความตัวอย่าง (รูปที่ 8)

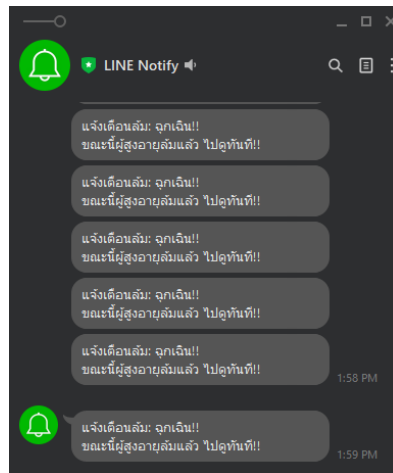


รูปที่ 6 แผนภาพการทำงานของเครื่องช่วยเดินด้วยระบบควบคุมการเลี้ยวและการแจ้งเตือน



รูปที่ 7 การติดตั้งอุปกรณ์ของเครื่องช่วยเดิน (1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

(2) เซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น HC-RS04



รูปที่ 8 การแจ้งเตือนผ่านไลน์ของเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุ

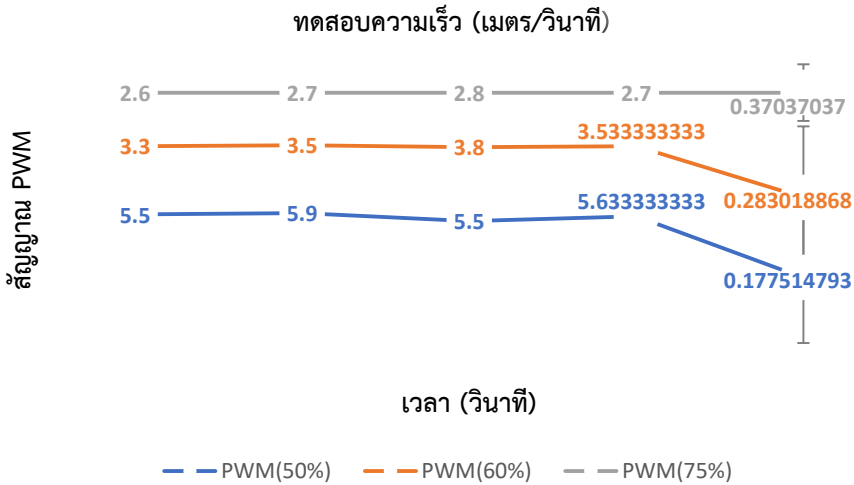
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการทดลองเครื่องช่วยเดินด้วยวิธีการตรวจจับใบหน้าและระบบแจ้งเตือนการล้มผ่านแอปพลิเคชันไลน์สำหรับผู้สูงอายุ ผลการทดลองงานวิจัยโดยเป็นการทำทดสอบประสิทธิภาพเพื่อตรวจสอบว่างานวิจัยนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของงานวิจัยโดยมีผลการทดสอบ ได้แก่ การทดสอบการความเร็วการเคลื่อนที่ของเครื่องช่วยเดิน ทดสอบระบบเครื่องช่วยเดินของผู้สูงอายุ ตามขั้นตอนดังนี้

การทดสอบความเร็วการเคลื่อนที่ของตัวเครื่องช่วยเดิน

การทดสอบหาความเร็วของตัวเครื่องช่วยเดินโดยการปรับสัญญาณ PWM ซึ่งเป็นการกำหนดความเร็วมอเตอร์เป็น 3 ระดับได้แก่ 50% 65% และ 75% จากระยะทาง 1 เมตร ซึ่งการทดลองดังกล่าว ผู้ใช้งานจะทำการจับที่ตัวจับเครื่องช่วยเดิน จะไม่มีการรับน้ำหนักผู้ใช้ส่งมาที่ตัวเครื่องช่วยเดิน โดยจะใช้ความเร็วพื้นฐานให้ได้ 0.3 เมตรต่อวินาที (Miyawaki et al., 2018) และได้มีการทดลองการจับเวลาเพื่อตรวจสอบความเร็วของแต่ละลำดับเพื่อนำมาคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องช่วยเดินให้เหมาะสม โดยสามารถคำนวณได้จาก $v = s/t$ เพื่อหาค่าความเร็วของตัวเครื่องช่วยเดิน (รูปที่ 9) โดยทำการทดสอบการเคลื่อนที่ความเร็วของทั้ง 3 ลำดับมีผลการทดลองต่างกันอย่างไร เนื่องจากใช้ความเร็วของสัญญาณ PWM ต่างกัน และในการทดลองค่า PWM (75%) จะได้ความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.37 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงที่ใช้ในการทดสอบเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุ

ด้วยความเร็วพื้นฐาน 0.3 เมตรต่อวินาที และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.1 ทำให้ได้ค่าที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากค่าที่ได้มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่า PWM (50%) และ PWM (60%)



รูปที่ 9 กราฟแสดงการทดสอบการแจ้งเตือนการล้มส่งไปที่ไลน์แอปพลิเคชัน

การทดสอบระบบเครื่องช่วยเดินผู้สูงอายุ

การทดสอบระบบเครื่องช่วยเดิน จะมีการทดสอบ 3 วิธี คือทดสอบการเลี้ยวของเครื่องช่วยเดิน ทดสอบระบบตรวจจับใบหน้า และทดสอบระบบการแจ้งเตือน ซึ่งผลทดสอบการเลี้ยวของเครื่องช่วยเดินเป็นการทดสอบหาความเสถียรของเครื่องช่วยเดินในการเปลี่ยนทิศทางหรือไปยังเส้นทางใหม่โดยทำการทดสอบการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาเป็นจำนวน 10 ครั้ง ด้วยการกดปุ่ม สีเหลือง และสีดำ

การทดสอบระบบตรวจจับใบหน้า ในการทดสอบการตรวจจับใบหน้าด้วยกล้องเว็บแคม ถ้าหากตรวจจับใบหน้าของผู้ทดสอบพบแล้วเครื่องช่วยเดินจะเกิดการเคลื่อนที่ไปด้านหน้าตามวัตถุประสงค์หรือไม่ ผลการทดสอบการตรวจสอบใบหน้าของผู้ทดสอบทั้งหมด 5 คน โดยมีการทดสอบแต่ละคนจำนวนคนละ 4 ครั้ง (ตารางที่ 1) และผลทดสอบการเลี้ยวของเครื่องช่วยเดินเป็นการทดสอบหาความเสถียรของเครื่องช่วยเดินในการเปลี่ยนทิศทางหรือไปยังเส้นทางใหม่โดยทำการทดสอบการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาเป็นจำนวน 10 ครั้งด้วยการกดปุ่ม สีเหลือง และสีดำ (ตารางที่ 2) ส่วนสุดท้ายทำการทดสอบระบบการแจ้งเตือนว่าผล

การทดสอบส่งการแจ้งเตือนการล้มไปยังแอปพลิเคชันไลน์ โดยระบบจะทำงานเมื่อเครื่องช่วยเดินเกิดการล้มแล้วเซนเซอร์ตรวจจับระยะทางได้มากกว่า 20 เซนติเมตรจากพื้นดินถึงอัลตราโซนิก เซนเซอร์ รุ่น HC-RS04 ติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โหนดเอ็มซียู (Node MCU) จึงจะทำการส่งการแจ้งเตือนไปยังไลน์โทรศัพท์ของผู้ดูแล ซึ่งจะมีการทดสอบการแจ้งเตือนทั้งหมด 10 ครั้ง โดยแต่ละครั้งใช้เวลาเท่าไรที่จะแจ้งเตือนผ่านไลน์ (รูปที่ 10)

ตารางที่ 1 ทดสอบระบบตรวจจับใบหน้าของเครื่องช่วยเดิน

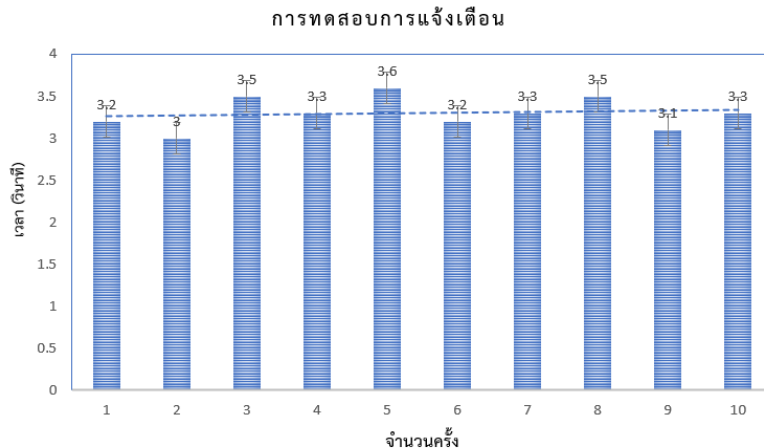
ผู้ทดสอบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
1	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ: ✓ หมายถึงการตรวจพบใบหน้า ✗ หมายถึงการตรวจไม่พบใบหน้า

ตารางที่ 2 ทดสอบการเลี้ยวของเครื่องช่วยเดิน

จำนวนครั้งที่ทดสอบ	ปุ่มเลี้ยวซ้าย	ปุ่มเลี้ยวขวา
1	✓	✓
2	✓	✓
3	✓	✓
4	✓	✓
5	✓	✓
6	✓	✓
7	✓	✓
8	✓	✓
9	✓	✓
10	✓	✓

หมายเหตุ: ✓ หมายถึงตัวเครื่องสามารถเลี้ยวได้ ✗ หมายถึงตัวเครื่องไม่สามารถเลี้ยวได้



รูปที่ 10 กราฟแสดงการทดสอบการแจ้งเตือนการล้มส่งไปที่ไลน์แอปพลิเคชัน

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยของเครื่องช่วยเดินและระบบตรวจจับใบหน้าพร้อมการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชัน เพื่อการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานได้มีการอภิปรายดังนี้

จากการทดสอบความเร็วเคลื่อนที่ของตัวเครื่องช่วยเดิน โดยการปรับสัญญาณ PWM ซึ่งเป็นการกำหนดความเร็วมอเตอร์เป็น 3 ระดับได้แก่ 50% 65% และ 75% จากระยะทาง 1 เมตร (รูปที่ 9) ที่ความเร็ว PWM (75%) มีความเร็วที่ใกล้เคียง 0.3 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นพื้นฐานในการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการเคลื่อนที่สำหรับผู้สูงอายุ (Miyawaki et al., 2018) และสามารถลดและเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.17 - 0.37 เมตรต่อวินาที สำหรับผู้สูงอายุของแต่ละวัยอย่างเหมาะสม (สุกัลยา อมตฉายาสุคนธ์ และคณะ, 2554)

จากการทดสอบระบบเครื่องช่วยเดินของผู้สูงอายุ โดยทำการทดสอบควบคุมให้เครื่องช่วยเดินเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยการตรวจจับใบหน้า (ตารางที่ 1) จากผลการทดสอบการตรวจหาใบหน้าของผู้ทดสอบทั้งหมด 5 คน โดยมีการทดสอบแต่ละคนจำนวนคนละ 4 ครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้ไม่เกิดการผิดพลาด เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องช่วยเดินเมื่อตรวจพบใบหน้า และการทดสอบควบคุมการเลี้ยวโดยการกดปุ่มเลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวาอย่างละ 10 ครั้ง (ตารางที่ 2) ผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์โดยไม่มีการผิดพลาดเกิดขึ้นจากการควบคุมทั้งการเลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา ทำให้เกิดประโยชน์ที่จะนำไปใช้ในการเคลื่อนที่เปลี่ยนเส้นทาง ส่วนการทดสอบการแจ้งเตือนการล้ม ซึ่งจะมีการ

ทดสอบการแจ้งเตือนทั้งหมด 10 ครั้ง (รูปที่ 10) ผลลัพธ์กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.3 วินาที และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.19 ซึ่งค่าที่ได้จะอยู่เกาะกลุ่มไม่กระจายตัวมากไปที่มีการแสดงความสัมพันธ์แบบเส้นตรงโดยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีประสบความสำเร็จในการออกแบบและสร้างเครื่องช่วยเดินสำหรับผู้สูงอายุด้วยการตรวจจับใบหน้าและระบบแจ้งเตือนการล้มส่งผ่านไลน์แอปพลิเคชันไลน์ โดยได้มีการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องช่วยเดินที่ให้สัมพันธ์กับความเร็วพื้นฐาน 0.3 เมตรต่อวินาทีสำหรับผู้สูงอายุใช้ในการก้าวเดิน และทดสอบระบบเครื่องช่วยเดินที่ประกอบด้วย การทดสอบการตรวจจับใบหน้า การบังคับเคลื่อนที่ด้วยปุ่ม และการแจ้งเตือนการล้ม โดยผลการทดสอบเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่เกิดประโยชน์ และสามารถป้องกันการเกิดอุบัติเหตุได้ทั้งการตรวจจับใบหน้าที่ไม่ต้องกดปุ่มให้เครื่องช่วยเดินทำงานตลอด และในงานวิจัยนี้มีการแจ้งเตือนการล้มไปยังไลน์ผู้ดูแลที่มีค่าเฉลี่ย 3.3 วินาที และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.19

เอกสารอ้างอิง

- จรรย์ คนแรง และ อัญชณา อู่ประกุล. (2556). *เครื่องช่วยเดินอัตโนมัติของผู้ป่วยควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์*. สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2564, จาก <https://readgur.com/download/2082431>.
- ชัยวุฒิ วุทธิสิทธิ์. (2563). การตรวจจับการล้มสำหรับผู้สูงอายุและจำแนกข้อมูลกิจกรรมการเคลื่อนไหว. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชวมงคลธัญบุรี*, 18(1), 45-56.
- สุกัลยา อมตฉายา, ลักขณา มาทอ, มะลิวัลย์ หมวกแก้ว, อชิระ หิรัญตระกูล และ สุภาภรณ์ ผดุงกิจ. (2554). ความเป็นไปได้ของความแตกต่างระหว่างความเร็วปกติและความเร็วสูงสุดในการบ่งชี้การเสื่อมถอยความสามารถ: การศึกษาเบื้องต้น. *วารสารเทคนิคการแพทย์และกายภาพบำบัด*. 23(1), 88-94.
- Apkan, V., Agbogun J., Omotehinwa, O., & Omotehinwa, O. T. (2019). *Development of an Automatic Body Mass Index Machines*. P. 42-51. In: Proceedings of the 1st Ibadan Conference on Biomedical Engineering ICBME 1, 5-8 February, Ibadan, Nigeria.

- Dang, K., & Sharma, S. (2017). *Review and Comparison of Face Detection Algorithms*. P. 629-633. In: Proceedings of 7th IEEE International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering, 12-13 January, Noida, Uttar Pradesh, India.
- Electronics Tutorials. (2564). *Pulse Width Modulation*. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2564, จาก <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/pulse-width-modulation.html>.
- Kumar, U. N., Ushasree, A., Tirumala, R., & Kumar, S. (2020). Skin tone recognition and face detection using local binary pattern and sparse coding. *Test Engineering and Management*, 83, 14249–14255.
- Miyawaki, K., Saito, R., Saito, A., Kobayashi, Y., Kizawa, S., & Obinata. G. (2018). *Development and evaluation of an electric walking machine*. P. 1-7 In: Proceedings of the International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS), 9-12 December, Nagoya, Japan.
- RAMA CHANNEL ขับเคลื่อนสังคมไทยให้สุขภาพดี. (2561). *หกล้มในผู้สูงอายุอันตรายกว่าวัยอื่นหลายเท่าตัวปัญหาที่ต้องระวัง*. สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2564, จาก <https://www.rama.mahidol.ac.th/ramachannel/article/หกล้มในผู้สูงอายุ-อันตราย/>.
- Raspberry, Pi. (2018). *Raspberry Pi 4*. Retrieved May 10, 2022 from <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>.
- TAWUN ALL ELECTRONIC. (2560). *การใช้งาน L298N motor drive*. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564, จาก <https://gamerbloggerport.blogspot.com/2017/09/l298n-motor-drive.html>.
- Wazwaz, A. A., Herbawi, O. H., Teeti, J. M., & Hmeed. Y. S. (2018). *Raspberry pi and computers-based face detection and recognition system*. P. 171-174. In: Proceedings of 4th International Conference on Computer and Technology Applications (ICCTA), 3-5 May, Istanbul, Turkey.
- YUUSOOK. (2562). *การกำลังในผู้สูงอายุ*. สืบค้นเมื่อ 12 ตุลาคม 2564, จาก <https://www.yuusook.com/content /5328/การออกกำลังในผู้สูงอายุ>.

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์

CARBON FOOTPRINT EVALUATION FOR PAD THAI

VALAYA ALONGKORN

ณัฐสิมา โทชน์^{1,*}, ณหทัย โชติกลาง¹, กนกวรรณ ปุณณะตระกูล¹ และ อัจฉราพร สมภาร²Natsima Tokhun^{1,*}, Nahathai Chotklang¹, Kanokwan Punaaterkoon¹and Atcharaporn Somparn²¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์² สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี¹ Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University

under the Royal Patronage

² Office of General Education, Udon Thani Rajabhat University

Received: 6 February 2023

Revised: 30 February 2023

Accepted: 20 March 2023

บทคัดย่อ

“ผัดไทยวไลยอลงกรณ์” จัดเมนูอาหารจานเดียวยอดนิยมทุกช่วงวัยและมีเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น แต่การได้มาซึ่งผัดไทยแต่ละจานต้องใช้ทรัพยากรที่หลากหลาย และผู้บริโภคควรได้รับรู้ถึงเมนูที่ตนเองเลือกรับประทานที่ช่วยลดภาวะโลกร้อนได้ ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์น้ำหนัก 500 กรัม สำหรับอาหาร 1 มื้อในรูปแบบนั่งรับประทานและการจัดส่งหรือซื้อกลับบ้าน โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (B2C) และจัดทำบัญชีรายการตลอดช่วงวัฏจักรชีวิต และวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกถูกคิดคำนวณในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂e) ซึ่งผลการศึกษาพบว่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตเรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การกำจัดซาก การปรุงอาหารและการขนส่งวัตถุดิบมีค่าเท่ากับ 1.2962, 0.3213 0.0411 และ 0.0053 kgCO₂e ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ผู้ประกอบการควรส่งเสริมให้ผู้บริโภค

* Corresponding author: ณัฐสิมา โทชน์

E-mail: natsima@vru.ac.th

เลือกนั่งรับประทานในห้องอาหารเพราะให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (1.4650 kgCO₂e) น้อยกว่าการใช้บริการจัดส่ง (1.7342 kgCO₂e) ซึ่งการใช้บริการจัดส่งพบบัญชีที่เพิ่มปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 0.2691 kgCO₂e จากการใช้เชื้อเพลิงและขยะพลาสติก คิดเป็นร้อยละ 8.41 ของสัดส่วนทั้งหมด (3.1992 kgCO₂e)

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก, คาร์บอนฟุตพริ้นท์, อาหารไทย, ผัดไทย

Abstract

“Pad Thai Valaya Alongkorn” is a popular one-dish menu for all ages and is locally unique in this region. However, Pad Thai requires a variety of production resources. Consumers should be aware of the menu they choose to eat which can help reduce global warming. Therefore, the objective of this research was to evaluate the carbon footprint of Pad Thai Valaya Alongkorn menu weighing 500 grams per meal which both in the form of dine in and delivery or takeaway. So, defining the scope of the product lifecycle assessment of greenhouse gas emission (B2C) study, creating a life cycle inventory, and analyzing the number of greenhouse gases emitted are calculated in terms of carbon dioxide equivalents (CO₂e). The study found that the carbon footprint in each phase of the life cycle, in descending order; are obtaining material, carcass disposal, cooking, and material transportation were 1.2962, 0.3213, 0.0411, and 0.0053 kgCO₂e, respectively. However, the entrepreneurs should promote consumers to dine in the restaurant as it has a lower carbon footprint (1.4650 kgCO₂e) than delivery or take-out services (1.7342 kgCO₂e). The delivery found an increase in the carbon footprint of 0.2691 kgCO₂e from the use of gasoline and plastic waste representing 8.41 percent of the total proportion (3.1992 kgCO₂e).

Keywords: Greenhouse Gas, Carbon Footprint, Thai Food, Pad Thai

บทนำ

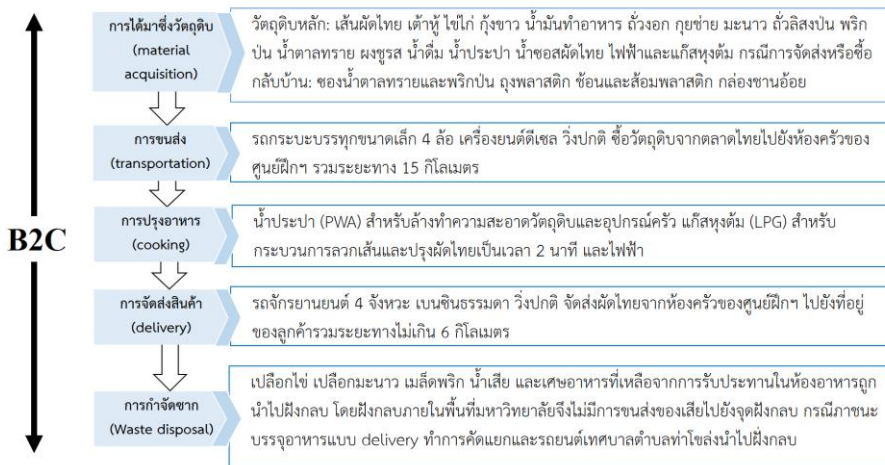
“ผัดไทย (Pad Thai)” เป็นอาหารประเภท Street Food ที่นักท่องเที่ยวทั่วโลกรู้จักมานาน และเป็นหนึ่งในเมนูอาหารไทยจานเดี๋ยวยอดนิยม โดยปี พ.ศ.2554 ผัดไทยได้รับการขึ้นทะเบียนมรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมของชาติ และเป็นหนึ่งในสามของอาหารไทยที่เป็นตัวแทนทางวัฒนธรรมประเทศไทย (ศรีสมร คงพันธุ์, 2561) ยิ่งไปกว่านั้น Oxford Learner’s Dictionaries ได้บรรจุชื่อ “pad thai” ให้คำสากลที่ทั่วโลกรู้จักอยู่ในหมวด C2 ซึ่งเป็นหมวดศัพท์ทั่วไปที่ถูกบัญญัติใช้เพื่อแสดงให้รู้ถึงแหล่งที่มาต้นกำเนิด หรือพื้นถิ่นของสิ่งนั้นๆ และใช้ชื่อเป็นสากลแบบเดียวกับคำว่า pizza จากอิตาลี โดยมีความหมายว่า “a dish from Thailand made with a type of noodles made from rice, spices, egg, vegetables and sometimes meat or seafood” (ไทยพีบีเอส, 2565; Oxford University Press, 2022) ซึ่งเห็นได้ว่าเมนูผัดไทยมีการใช้วัตถุดิบที่หลากหลายขึ้นอยู่กับสูตรของผู้ประกอบการ (Spring Green Evolution, 2021) เช่นเดียวกับ “ผัดไทยวไลยอลงกรณ์” เป็นหนึ่งในเมนูอาหารจานเดียวสำหรับห้องอาหารบัวขาว ศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ อาคารสมเด็จพระเจ้าฟ้าวไลยอลงกรณ์ และรีสอร์ทแอนด์คาเฟ่ ศูนย์การศึกษาและพัฒนาความหลากหลายทางชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ซึ่งเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์ได้รับความนิยมทุกช่วงวัยเพราะมีรสชาติเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น โดยเฉพาะเมนูผัดไทยกุ้งสดและผัดไทยไร้เส้นที่มีปริมาณการจำหน่ายอยู่ระหว่าง 200 – 300 ก๋ลอง (จาน)/เดือน ทั้งในรูปแบบนั่งรับประทานในห้องอาหารและการจัดส่งหรือซื้อกลับบ้าน รวมทั้งเป็นเมนูหนึ่งในงานประชุมสัมมนา ทั้งนี้ การผลิตเมนูผัดไทยสำหรับอาหาร 1 มื้อ มีการใช้พลังงานและวัตถุดิบที่หลากหลายอย่างน้อย 14 ชนิด ซึ่งการใช้พลังงานและทรัพยากรในการผลิตผัดไทยพร้อมรับประทานเป็นสิ่งในห้องอาหารและรีสอร์ทแอนด์คาเฟ่ภายในมหาวิทยาลัยฯ ควรพิจารณาในการคำนวณคาร์บอนที่ปลดปล่อยของแต่ละจานเพื่อให้ผู้บริโภคเลือกรับประทานอาหารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Eco-friendly) อาทิ เมนูอาหารบนเครื่องบินที่ส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ จำนวน 5 เมนูพบว่า ข้าวกะเพราไก่กับไข่ดาวเป็นเมนูจานเดียวที่ส่งผลต่อภาวะโลกร้อนและปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดเท่ากับ 1,320 gCO₂e รองลงมาคือเมนูข้าวแกงเขียวหวานไก่กับกุนเชียงหมู ข้าวพะเนียงไก่กับคะน้าผัดกระเทียม ข้าวแกงเผ็ดไก่ใส่ผักกับคะน้าผัดกระเทียม และข้าวมันไก่กับถั่วลันเตาผัดกระเทียมที่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1,180 1,040 964 และ 957 gCO₂e ตามลำดับ ซึ่งเมนู

ข้าวกะเพราไก่กับไข่ดาวถูกนำมาพิจารณาเพื่อหาวิธีลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้เหลือน้อยที่สุด (สวทช., 2558) ส่วนปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในเมนูข้าวผัดหน่อไม้ฝรั่งใส่เนื้อไก่สำหรับ 1 มื้อเท่ากับ 0.3399 kgCO₂e และพบสูงสุดในช่วงของการได้มาซึ่งวัตถุดิบเท่ากับ 0.2929 kgCO₂e (พรพิมล บุญคุ้ม, 2553) ในต่างประเทศอย่าง University of Massachusetts Amherst ได้ติดตามลดคาร์บอนไว้บนเมนูอาหารทุกรายการภายในโรงอาหาร โดยลดคาร์บอนนอกจากจะช่วยให้นักศึกษาพิจารณารายการอาหารที่ตนเองซื้อแล้วยังเป็นอีกหนึ่งวิธีลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (ศูนย์วิจัยและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน, 2564)

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint: CF) เป็นการวัดผลกระทบของผลิตภัณฑ์และบริการจากกิจกรรมมนุษย์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมเชิงปริมาณโดยใช้เป็นตัวบ่งชี้โอกาสในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ซึ่งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ได้กำหนดค่า GWP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบ 100 ปี (GWP 100a) (ยีนิตรา คำนิ้งผล และคณะ, 2562) สำหรับประเทศไทยได้พิจารณาก๊าซเรือนกระจก 6 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีเทน (CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) (พรพิมล บุญคุ้ม, 2553) โดยทำการแปลงค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดให้อยู่ในรูปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ของประเทศไทย ซึ่งมีขอบเขตการคำนวณและขอใช้ลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ใน 2 รูปแบบคือ Business to Customer (B2C) และ Business to Business (B2B) (พรพิมล บุญคุ้ม, 2553) ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ผัดไทยไลยอลงกรณ์ทั้งในรูปแบบนั่งรับประทานในห้องอาหารและการจัดส่งหรือซื้อกลับบ้าน โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การปรุงอาหาร และการกำจัดซาก ซึ่งการคำนวณจะเกิดขึ้นภายหลังจากการทำบัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิต และพิจารณาเลือกค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบัญชีสารครบถ้วนโดยปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาถูกคิดคำนวณในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂ Equivalent: CO₂e)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การกำหนดขอบเขตการศึกษา โดยการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์ ทั้งในรูปแบบนั่งรับประทานภายในห้องอาหารบัวขาว (Bua-Khaw Restaurant Prince Valaya) ของอาคารศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ (H.R.H. Princess Valaya Building) มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี และการจัดส่งผัดไทยตามที่อยู่ลูกค้าระยะทางไป-กลับไม่เกิน 6 กิโลเมตร สำหรับบริการลูกค้าผู้อยู่อาศัยภายในอาณาเขตมหาวิทยาลัยวไลยอลงกรณ์ หรือซื้อกลับบ้านพักข้าราชการ โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาตามการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Business to Customer: B2C) ซึ่งครอบคลุม 5 หน่วยผลิต ได้แก่ การได้มาซึ่งวัตถุดิบ (Material acquisition) การขนส่ง (Transportation) การปรุงอาหาร (Cooking) การจัดส่งสินค้า (Delivery) หรือซื้อกลับบ้าน (Take home) และการกำจัดซาก (Waste disposal) ซึ่งการกำหนดขอบเขตศึกษามีจัดเก็บข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิของแต่ละหน่วยผลิตตามผังการไหลของวัตถุดิบในการผลิตเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์ (รูปที่ 1) ส่วนการกำหนดหน่วยผลิตภัณฑ์ในการศึกษา (Functional unit) คือ เมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์น้ำหนัก 500 กรัม สำหรับอาหาร 1 มื้อ (รูปที่ 2)



รูปที่ 1 ขอบเขตการศึกษา Business to Customer (B2C) และผังการไหลของวัตถุดิบในการผลิตเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์ของแต่ละหน่วยผลิต



รูปที่ 2 เมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์สำหรับอาหาร 1 มื้อ

2. การเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม ข้อมูลปฐมภูมิได้จากการสำรวจภาคสนามและการตอบแบบสอบถามของบุคลากรจำนวน 10 คน ที่ปฏิบัติงานในหน่วยงานศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพวไลยอลงกรณ์ อาคารสมเด็จพระเจ้าฟ้าวไลยอลงกรณ์ และหน่วยงานศูนย์การศึกษาและพัฒนาความหลากหลายทางชีวภาพ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี สำหรับข้อมูลทุติยภูมิได้จากข้อมูลใบเสร็จชำระค่าบริการต่างๆ ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซหุงต้ม บัญชีรายการซื้อวัตถุดิบประกอบอาหาร และรายการสั่งเมนูอาหารของผู้บริโภค เป็นต้น ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกรวบรวมและจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

3. การประเมินผลกระทบ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์ โดยการคำนวณข้อมูลจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น และการเลือกค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG emission factor : EF) ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (TGO, 2021) คือ $GHG\ emissions = \sum (activity\ data \times EF)$ โดยที่ GHG emissions ($kgCO_2e$) เป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาจากกิจกรรมใดๆ (activity data, unit) และค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG emission factor: EF, $kgCO_2e/unit$) สำหรับการศึกษานี้ คณะผู้วิจัยได้จัดทำบัญชีรายการ (Inventories) และเลือกค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (EF) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 บัญชีรายการและการเลือกค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

บัญชีรายการ	ค่า EF (kgCO ₂ e)	แหล่งข้อมูล
1. การได้มาซึ่งวัตถุดิบ		
เส้นผัดไทยสด	0.7090	สุชาดา อยู่แก้ว และ เมธินี บุญสูง (2561)
เต้าหู้แข็ง	0.515	Putri & Waluyo (2022)
กุ้งขาวสด	6.9389	Chang et al. (2017)
ถั่วงอกสด	1.0400	CONCITO, Denmark's green think tank (2021)
กุยช่ายเขียว	0.6560	Bae et al. (2014)
มะนาวสด	0.2023	TGO (2022)
ถั่วลิสงป่น	0.7686	TGO (2022)
พริกป่น	0.3959	TGO (2022)
ไข่ไก่สด	8.4761	TGO (2022)
หอมแดง	0.4207	TGO (2022)
น้ำประปาส่วนภูมิภาค	0.2843	TGO (2022)
พริกชี้ฟ้าแห้ง	0.4610	TGO (2022)
น้ำตาลทรายขาว	0.3460	TGO (2022)
น้ำมันทำอาหาร	9.4200	TGO (2022)
น้ำตาลอ้อยธรรมชาติ	0.4160	TGO (2022)
น้ำมะขามเปียก	0.1765	TGO (2022)
น้ำปลา	3.2500	TGO (2022)
น้ำดื่มปรุงอาหาร	0.1410	TGO (2022)
ผงชูรส	0.8690	TGO (2022)
กรณีจัดส่ง/ซื้อกลับบ้าน		
น้ำตาลทรายซอง	0.3460	TGO (2022)
พริกป่นซอง	0.3959	TGO (2022)
ถุงพลาสติก (PP)	1.8814	TGO (2022)
ถุงพลาสติก (LDPE)	2.6258	TGO (2022)
ช้อนพลาสติก (HIPS)	3.6843	TGO (2022)

ตารางที่ 1 บัญชีรายการและการเลือกค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ต่อ)

บัญชีรายการ	ค่า EF (kgCO ₂ e)	แหล่งข้อมูล
ส้อมพลาสติก (HIPS)	3.6843	TGO (2022)
กล่องชานอ้อยสีขาว	0.0109	IPCC (2007)
2. การขนส่ง รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ วิ่งแบบปกติ		
0% Loading	0.3131	TGO (2022)
50% Loading	0.2698	TGO (2022)
3. การปรุงอาหาร		
แก๊สหุงต้ม (LPG)	1.1839	TGO (2022)
หลอดไฟฟ้า (LED)	0.5986	TGO (2022)
น้ำประปาส่วนภูมิภาค	0.2843	TGO (2022)
น้ำยาล้างจาน	2.3372	TGO (2022)
4. การจัดส่งสินค้า รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ (Motor Gasoline – uncontrolled)		
น้ำมันเบนซิน	2.2376	TGO (2022)
5. การกำจัดซาก		
เศษอาหาร	2.5300	IPCC (2006)
พลาสติก	2.3990	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2557)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

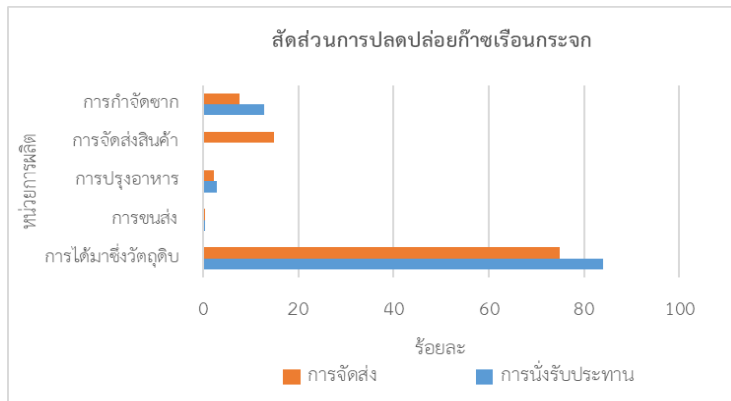
การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมต่อเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์ น้ำหนัก 500 กรัม สำหรับอาหาร 1 มื้อ ของห้องอาหารบัวขาว อาคารศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ วไลยอลงกรณ์ ทั้งในรูปแบบนั่งรับประทานและการจัดส่งสินค้าหรือซื้อกลับบ้าน โดยจัดเก็บบัญชีรายการตลอดวัฏจักรชีวิตตามผังการไหลของวัตถุดิบและหน่วยผลิตเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์น้ำหนัก 500 กรัม สำหรับอาหาร 1 มื้อ (รูปที่ 1) ในการศึกษาเพื่อใช้คำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในขอบเขต B2C ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบและทรัพยากรที่ใช้ในกิจกรรม และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกจากช่วงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์ ผลดังตารางที่ 2 และรูปที่ 3

ตารางที่ 2 ผลการจัดเก็บข้อมูลรายการวัตถุดิบและปริมาณการเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออก
ต่อเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์

บัญชีรายการ	หน่วย	การใช้	ค่า EF (kgCO ₂ e)	การปลดปล่อย GHG (kgCO ₂ e/หน่วย)	สัดส่วน GHG (%) ของ	
					การนึ่ง รับประทาน	การจัดส่ง
1. การได้มาซึ่งวัตถุดิบ					84.05	74.79
เส้นผัดไทยสด	kg	0.1000	0.7090	0.0709	4.8396	4.0883
เต้าหู้แข็ง	kg	0.0230	0.5150	0.0118	0.8085	0.6830
ไข่ไก่สด	kg	0.0560	8.4761	0.4747	32.4001	27.3706
กุ้งขาวสด	kg	0.0322	6.9389	0.2234	15.2514	12.8839
น้ำมันทำอาหาร	kg	0.0150	9.4200	0.1413	9.6451	8.1478
ถั่วงอกสด	kg	0.0900	1.0400	0.0936	6.3891	5.3973
กุยช่ายเขียว	kg	0.0100	0.6560	0.0066	0.4478	0.3783
ลูกมะนาวสด	kg	0.0100	0.2023	0.0020	0.1381	0.1167
ถั้วลิสงปาน	kg	0.0150	0.7686	0.0115	0.7870	0.6648
พริกป่น	kg	0.0020	0.3959	0.0008	0.0540	0.0457
น้ำตาลทรายขาว	kg	0.0068	0.3460	0.0024	0.1606	0.1357
ผงชูรส	kg	0.0010	0.8690	0.0009	0.0593	0.0501
หอมแดง	kg	0.0335	0.4207	0.0141	0.9620	0.8127
น้ำตาลอ้อยธรรมชาติ	kg	0.1509	0.4160	0.0628	4.2849	3.6198
น้ำมะขามเปียก	kg	0.0805	0.1765	0.0142	0.9698	0.8193
น้ำปลา	kg	0.0268	3.2500	0.0871	5.9454	5.0225
พริกชี้ฟ้าแห้ง	kg	0.0040	0.4610	0.0018	0.1259	0.1063
น้ำดื่ม	L	0.0805	0.1410	0.0114	0.7748	0.6545
น้ำประปาส่วนภูมิภาค	m ³	0.0004	0.2843	0.0001	0.0078	0.0066
น้ำตาลทรายขาวซอง	kg	0.0045	0.3460	0.0016	-	0.0898
พริกป่นซอง	kg	0.0012	0.3959	0.0005	-	0.0274
ถุงพลาสติก (PP)	kg	0.0019	1.8814	0.0036	-	0.2061
ถุงพลาสติก (LDPE)	kg	0.0140	2.6258	0.0368	-	2.1198
ช้อนพลาสติก (HIPS)	kg	0.0033	3.6843	0.0122	-	0.7011
ส้อมพลาสติก (HIPS)	kg	0.0027	3.6843	0.0099	-	0.5736
กล่องใส่อาหารขานอ้อย	kg	0.0330	0.0109	0.0004	-	0.0207

ตารางที่ 2 ผลการจัดเก็บข้อมูลรายการวัตถุดิบและปริมาณการเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกต่อเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์ (ต่อ)

บัญชีรายการ	หน่วย	การใช้	ค่า EF (kgCO ₂ e)	การปลดปล่อย GHG (kgCO ₂ e/หน่วย)	สัดส่วน GHG (%) ของ	
					การนั่งรับประทาน	การจัดส่ง
2. การขนส่ง รถบรรทุก 4 ล้อ วิ่งปกติ					0.36	0.31
0% loading	km	7.5000	0.3131	0.0023	0.1603	0.1354
50% loading	tkm	11.0687	0.2698	0.0030	0.2038	0.1722
3. การปรุงอาหาร					2.81	2.31
แก๊สหุงต้ม (LPG)	kg	0.0093	1.1893	0.0110	0.7516	0.6349
หลอดไฟส่องสว่าง(LED)	kWh	0.0497	0.5986	0.0298	2.0307	1.7155
น้ำประปาส่วนภูมิภาค	m ³	0.0004	0.2843	0.0001	0.0078	-
น้ำยาล้างจาน	L	0.0001	2.3372	0.0002	0.0160	-
4. การจัดส่งสินค้า รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ (Motor Gasoline – uncontrolled)						14.86
น้ำมันเบนซิน	L	0.1152	2.2376	0.2578	-	14.8644
5. การกำจัดซาก					12.78	7.73
เศษอาหาร	kg	0.0740	2.5300	0.1872	12.7795	-
พลาสติก	kg	0.0559	2.399	0.1341	-	7.7329
ผลรวม				3.1992	100	100
นั่งรับประทาน				1.4650		
การจัดส่งสินค้าหรือซื้อกลับบ้าน				1.7342		



รูปที่ 3 สัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหน่วยผลิตผัดไทยวไลยอลงกรณ์ในรูปแบบการจัดส่งหรือการนั่งรับประทาน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกจากช่วงวัฏจักรชีวิตของเมนูผัดไทยโลยอลงกรณ์น้ำหนัก 500 กรัม สำหรับอาหาร 1 มื้อ (ตารางที่ 2) พบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมทุกช่วงกิจกรรมเท่ากับ 3.1992 kgCO₂e โดยแบ่งเป็นปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในรูปแบบการนั่งรับประทานที่ห้องอาหารบัวขาวเท่ากับ 1.4650 kgCO₂e ซึ่งเกิดจากการใช้วัตถุดิบและทรัพยากรรวม 25 รายการ และรูปแบบการจัดส่งผัดไทยตามที่อยู่ลูกค้าภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยระยะทางไม่เกิน 6 กิโลเมตรหรือการซื้อกลับบ้านเท่ากับ 1.7342 kgCO₂e ซึ่งเกิดจากการใช้วัตถุดิบและทรัพยากรรวมทั้งหมดจำนวน 31 รายการ โดยการนั่งรับประทานมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกน้อยกว่าการจัดส่งผัดไทยหรือซื้อกลับบ้าน แต่ยังคงพบว่าเมนูผัดไทยโลยอลงกรณ์มีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากกว่าเมนูอาหารจานเดียวที่ได้รับความนิยมคือ ข้าวกะเพราไก่กับไข่ดาว เมนูข้าวแกงเขียวหวานไก่กับกุนเชียงหมู 1.320 kgCO₂e ข้าวพะแนงไก่กับคะน้าผัดกระเทียม 1.180 kgCO₂e ข้าวแกงเผ็ดไก่ใส่ผักกับคะน้าผัดกระเทียม 1.040 kgCO₂e ข้าวมันสำปะหลังไก่กับถั่วงอกผัดกระเทียม 0.957 kgCO₂e และข้าวผัดหน่อไม้ฝรั่งใส่เนื้อไก่ 0.3399 kgCO₂e (สวทช., 2558; พรพิมล บุญคุ้ม, 2553) เมื่อพิจารณาช่วงวัฏจักรชีวิตของเมนูผัดไทยโลยอลงกรณ์ พบว่า ช่วงของการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดทั้งในรูปแบบการนั่งรับประทาน 1.2313 kgCO₂e คิดเป็นร้อยละ 74.79 และการจัดส่งฯ 1.2962 kgCO₂e คิดเป็นร้อยละ 84.05 (ดังรูปที่ 3) โดยกลุ่มบัญชีรายการที่พบการใช้วัตถุดิบสูงสุด 5 อันดับแรก คือ ไข่ไก่สด กุ้งขาวสด น้ำมันทำอาหาร ถั่วงอกสดและน้ำปลา ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.4747 0.2234 0.1413 0.0936 และ 0.0871 kgCO₂e ตามลำดับ ทั้งนี้ ชนิดของวัตถุดิบดังกล่าวถูกกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG EF) ไว้ปริมาณมากเมื่อเทียบกับบัญชีรายการอื่นๆ (ตารางที่ 1) ได้แก่ ค่า GHG EF ของไข่ไก่สดเท่ากับ 8.4767 kgCO₂e (TGO, 2022) กุ้งขาวสด 6.9389 kgCO₂e (Chang et al., 2017) น้ำมันทำอาหาร 9.4200 kgCO₂e (TGO, 2022) ถั่วงอกสด (CONCITO, Denmark's green think tank, 2021) และน้ำปลา 3.2500 kgCO₂e (TGO, 2022) เป็นต้น สำหรับอีก 4 ช่วงวัฏจักรชีวิตของเมนูผัดไทยโลยอลงกรณ์ ได้แก่ ช่วงการขนส่งวัตถุดิบด้วยรถกระบะบรรทุก 4 ล้อ จากตลาดไทยมายังห้องครัวระยะทางรวมไม่เกิน 16 กิโลเมตร ช่วงการปรุงอาหาร ช่วงการจัดส่งผัดไทยตามที่อยู่ลูกค้าภายในมหาวิทยาลัยระยะทางรวมไม่เกิน 6 กิโลเมตร และช่วงการกำจัดเศษอาหารจากการประกอบอาหารและที่เหลือจากการรับประทานในห้องอาหาร

ถูกนำไปฝังกลบ ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยจึงไม่มีการขนส่งของเสียไปยังจุดฝังกลบ กรณีบรรจุภัณฑ์พลาสติกบรรจุภัณฑ์แบบจัดส่งทำการตัดแยกและรถยนต์เทศบาลตำบลท่าโขลงนำไปฝังกลบ ในรูปแบบนี้รับประทานและการจัดส่งมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 0.2337 (ร้อยละ 15.95) และ 0.4380 kgCO₂e (ร้อยละ 25.26) ตามลำดับ ดังนั้นผู้ประกอบการควรมีการส่งเสริมให้ผู้บริโภคที่ชื่นชอบเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์เลือกรับประทานที่ห้องอาหารบัวขามมากกว่าการใช้บริการจัดส่งสินค้าหรือซื้อกลับบ้าน โดยในเบื้องต้นเป็นการให้ข้อมูลคาร์บอนฟุตพริ้นท์แก่ผู้บริโภคผ่านพนักงานบริการที่รับเมนูอาหาร และการเป็นส่วนหนึ่งในการช่วยลดขยะพลาสติกที่มีค่าศักยภาพทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) แล้วเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์ยังเป็นหนึ่งในเมนูอาหารส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับแนวทางการบริโภคอย่างยั่งยืน โดยผู้บริโภคมีข้อมูลและเป็นแนวทางเลือกใหม่ในการตัดสินใจซื้อสินค้า ในขณะที่ผู้ผลิตได้มีวิวัฒนาการกระบวนการผลิตอาหารที่ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้น้อยลง รวมทั้งผลการศึกษาในครั้งนี้จะนำไปใช้ขออนุญาตใช้เครื่องหมายรับรองฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ในอนาคตเพื่อนำไปสู่การรับรู้ในวงกว้างเกี่ยวกับเมนูอาหารที่ได้รับการรับรองและมีฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์

สรุปผลการวิจัย

ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์น้ำหนัก 500 กรัม สำหรับการที่ผู้บริโภคนั่งรับประทานที่ห้องอาหารเท่ากับ 1.4650 kgCO₂e ซึ่งมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกน้อยกว่าการจัดส่งผัดไทยหรือซื้อกลับบ้านเท่ากับ 0.2691 kgCO₂e (1.7342 kgCO₂e) โดยมากกว่าร้อยละ 74.79 ของสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดเกิดจากช่วงกิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบ ในขณะที่กิจกรรมอื่นๆ ได้แก่ การกำจัดซาก การปรุงอาหาร และการขนส่งวัตถุดิบ มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมเท่ากับ 0.3213 0.0411 และ 0.0053 kgCO₂e ตามลำดับ กรณีจัดส่งผัดไทยตามที่อยู่ลูกค้าหรือซื้อกลับบ้านในระยะทางไม่เกิน 6 กิโลเมตร ให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มอีก 0.2578 kgCO₂e และเกิดจากขยะพลาสติก 0.1341 kgCO₂e ดังนั้น แนวทางการส่งเสริมเมนูอาหารผัดไทยวไลยอลงกรณ์โดยการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ ควรประชาสัมพันธ์ให้ผู้บริโภคทราบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกตลอดช่วงวัฏจักรชีวิตสำหรับเป็น

ทางเลือกให้หนึ่งรับประทานที่ห้องอาหารเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและลดพลาสติกชนิดใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง (single-use plastic) จากเมนูผัดไทยโลยอลงกรณ์ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ขออนุญาตใช้เครื่องหมายรับรองฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ในอนาคต และควรขยายผลสู่การเพิ่มเมนูอาหารเพื่อทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่จำขอฉลากคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมทั้งสามารถนำไปใช้ในการตอบตัวชี้วัดเพื่อจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียว

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ อาคารสมเด็จพระเจ้าฟ้าวไลยอลงกรณ์ (H.R.H. Princess Valaya Building) และแหล่งเงินทุนสนับสนุนการทำวิจัยและค่าตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2557). *คู่มือการดำเนินงานสำนักงานสีเขียว*. กรุงเทพฯ; กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ไทยพีบีเอส. (2565). *Oxford บรรจุ "pad thai-ผัดไทย" อาหารไทยสู่ช้อสากล*. สืบค้นเมื่อ 2 มกราคม 2566, จาก <https://www.thaipbs.or.th/news/content/312484>.
- พรพิมล บุญคุ้ม. (2553). คาร์บอนฟุตพริ้นท์ใครว่าไกลตัว. *สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)*, 37(213), 91-94.
- ยินนิตรา คำนิ้งผล, วรวรรณ เพชรอุไร, นิमित ชัยน และ ธเนศ ไชยชนะ. (2562). การประเมินปริมาณการใช้พลังงานและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตข้าวกล้องไรเบอร์รี่กรณีศึกษาบ้านวังป่อง อ.แม่อิม จ.เชียงใหม่. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*, 2(3), 48-55.
- ศรีสมร คงพันธุ์. (2561). *อาหารขึ้นทะเบียน มรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมของชาติ*. กรุงเทพฯ; บริษัท ส.ส.ส. จำกัด.

- ศูนย์วิจัยและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน. (2564). มหาวิทยาลัยแม่สลาซูเซตส์ ริเริ่ม 'ติดฉลากคาร์บอน' บนเมนูในร้านอาหาร อีกหนึ่งวิธีช่วยลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์. สืบค้นเมื่อ 3 มกราคม 2566, จาก <https://www.sdgmovement.com/2022/09/27/umass-carbon-labelling-footprint/>.
- สวทช. (2558). รายงานผลการดำเนินงานของ สวทช.ปีงบประมาณ 2558 (ตุลาคม 2557 – มีนาคม 2558). ปทุมธานี; สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- สุชาติดา อยู่แก้ว และ เมธิณี บุญสูง. (2561). การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวสด ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. *วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 13(2), 131–155.
- Bae, L. D., Chul, J. S., Ho, S. K., Yeob, K. G., Cheol, J. H., & Gyu S. Y. (2014). Carbon footprint and mitigation of vegetables produced at open fields and film house using life cycle assessment. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 47 (6), 457-463.
- Chang, C. C., Chang, K. C., Lin, W. C., & Wu, M. H. (2017). Carbon footprint analysis in the aquaculture industry: Assessment of an ecological shrimp farm. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1101-1107.
- CONCITO, Denmark's green think tank. (2021). *The big climate database version1, bean sprouts, average values, raw*. Retrieved January 5, 2023, from <https://denstoreklimadatabase.dk/en/food/bean-sprouts-average-values-raw/ra00178>.
- IPCC. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 5 waste*. Retrieved January 5, 2023, from <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>.
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: Direct global warming potentials*. Retrieved January 5, 2023, from http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html.

- Oxford University Press. (2022). *Oxford Learner's Dictionaries*. Retrieved January 1, 2023, from <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/pad-thai>.
- Putri, A. M. H., & Waluyo, J. (2022). Analysis of Potential GHG emissions from Tofu industry and its mitigation in Indonesia. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(1), 62-70.
- Spring Green Evolution. (2021). *Pad Thai*. Retrieved January 1, 2023, from <https://www.sgethai.com/article>.
- TGO. (2021). *Emission factor of carbon footprint product*. Retrieved January 3, 2023, from http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_b934985782.pdf.
- TGO. (2022). *Emission factor of carbon footprint product*. Retrieved January 1, 2023, http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_af09c20f4f.pdf.

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและคาร์บอนเครดิตจากป่าชุมชนห้วยหินขาว
ตำบลด่านศรีสุข อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย

CARBON SINK CAPACITY AND CARBON CREDIT OF HUAY HIN KHAO
COMMUNITY FORESTS AT DAN SRI SUK SUB-DISTRICT,
PHOTAK DISTRICT, NONGKHAI PROVINCE

ศศิธร เพชรแสน¹, สันติภาพ ศิริวัฒน์ไพบูลย์¹, ดารินทร์ ล้วนวิเศษ¹,
วนิชยา จรุงพงษ์¹ และ ศรียา อินทสิน^{2,*}

Sasithorn Pechrsan¹, Santiparp Siriwattanaphai boon¹, Darin Luanwiset¹,
Wanichaya Charoonphong¹ and Sariya Intasin^{2,*}

¹ สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

² สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

¹ Department of Environment, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University

² Department of General Education, Udon Thani Rajabhat University

Received: 19 December 2022

Revised: 7 January 2023

Accepted: 20 March 2023

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและคาร์บอนเครดิตจากป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลด่านศรีสุข อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและประเมินมูลค่าคาร์บอนกักเก็บตามราคาตลาดซื้อขายคาร์บอนเครดิตจากป่าชุมชนศึกษาในเขตพื้นที่ป่าเศรษฐกิจใช้สอยของป่าชุมชน ประมาณ 356 ไร่ (ร้อยละ 40 ของพื้นที่ป่าชุมชนทั้งหมด 891 ไร่) โดยวางแผนตัวอย่างขนาด 10x10 เมตร จำนวน 20 แปลง วัดเส้นรอบวงและความสูงของต้นไม้ทุกต้นในแปลงที่มีขนาดเส้นรอบวงตั้งแต่ 5 เซนติเมตรขึ้นไป นำมาคำนวณปริมาณมวลชีวภาพโดยสมการแอลโลเมตริก มวลชีวภาพใต้ดินโดยใช้สมการ IPCC และการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้สมการ IPCC, (2006) ผลการศึกษา พบว่าพื้นที่ศึกษาเป็นป่าเต็งรัง (Deciduous Dipterocarp Forest) มีพื้นที่ไม้ยืนต้นทั้งหมด 32

* Corresponding author: ศรียา อินทสิน

E-mail: sariya_i@udru.ac.th

ชนิด 20 วงศ์ เช่น ริง (*Shorea siamensis* Miq.) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) และมะกอกเกลื้อน (*Canarium sublatum* Guillaumin) เป็นต้น จำนวนต้นไม้ในแปลงตัวอย่างมีทั้งหมด 260 ต้น ส่วนปริมาณมวลชีวภาพของพื้นที่ป่าเศรษฐกิจใช้สอยในปัจจุบันและในอนาคตอีก 10 และ 20 ปีข้างหน้า พบว่า มีปริมาณมวลชีวภาพรวม เท่ากับ 10,947 15,898 และ 22,272 ตัน ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนกักเก็บในปัจจุบันและในอนาคตอีก 10 และ 20 ปีข้างหน้า เท่ากับ 5,145 7,472 และ 10,468 ตัน ตามลำดับ มูลค่าคาร์บอนกักเก็บจากราคาซื้อขายคาร์บอนเครดิตในปัจจุบัน ในอนาคตอีก 10 และ 20 ปีข้างหน้า เท่ากับ 4,815,807 6,993,987 และ 9,797,953 บาท ตามลำดับ

คำสำคัญ: คาร์บอนเครดิต, การกักเก็บคาร์บอน, ป่าชุมชนห้วยหินขาว

Abstract

The purposes of this study were to examine the carbon sink capacity and assess the market value of the carbon sink of community forests. Forty percent or 356 rai (142.56 acres) of community forests (891 rai) were studied. Twenty sample plots were 10x10 meters in size. Diameter at breast height (5 cm) (d), total height (h), and crown height (hc) were measured for each sample tree. Tree biomass was calculated using the allometric equations. Belowground biomass and carbon sink capacity were calculated according to IPCC. The results showed that this forest is a deciduous dipterocarp forest. There are 260 trees, 32 species and 20 tree families, such as *Shorea siamensis* Miq. *Pterocarpus macrocarpus* Kurz, and *Canarium sublatum* Guillaumin. The predicted biomass in the present is 10,947 tons and in 10 and 20 years will be 15,898 and 22,272 tons, respectively. The value of carbon sink by carbon credits in the present is 4,815,807 baht and in 10 and 20 years will be 6,993,987 and 9,797,953 baht, respectively.

Keywords: Carbon Credit, Carbon Sink Capacity, Huay Hin Khao Community Forest

บทนำ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการปัจจัยอันจำเป็นพื้นฐานในการดำรงชีวิตให้เพียงพอต่อความต้องการ จึงได้นำเอาทรัพยากรธรรมชาติมาใช้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการดังกล่าวในหลายๆ ด้าน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ป่าไม้ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรเกือบทั้งหมดที่มนุษย์ใช้ประโยชน์มีพื้นที่ลดลงมาก พันธุ์ไม้ป่า สัตว์ป่าและระบบนิเวศธรรมชาติสูญเสียไป ทำให้ความสมดุลทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมต้องเสียไป และมนุษย์ไม่สามารถสร้างหรือฟื้นฟูกลับคืนมาได้โดยง่าย (ดอกรัก มารอด, 2555)

นอกจากทรัพยากรป่าไม้จะเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์แล้ว ยังเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญอีกด้วย เนื่องจากปัจจุบันมีปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญได้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในชั้นบรรยากาศและส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ทั้งด้านอุตสาหกรรม การคมนาคม รวมถึงด้านเกษตรกรรม ระบบนิเวศป่าไม้มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เนื่องจากต้นไม้สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชั้นบรรยากาศโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) และนำมาสะสมไว้ในรูปของมวลชีวภาพ (Biomass) ทั้งใน ส่วนเหนือพื้นดิน (Above-ground Biomass) (วิวัฒนรงค์ มากพันธ์ และคณะ, 2561) ซึ่ง ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนใต้ดิน (Below-ground Biomass) ซึ่ง ได้แก่ ราก ทำให้คาร์บอน ถูกตรึงอยู่ในต้นไม้และไม่ถูกปลดปล่อยออกมาจนกว่าจะมีการเผาหรือตัดไม้ออกจากพื้นที่ ซึ่งจากการตัดไม้ทำลายป่าหรือการเผาป่าเพื่อทำการเกษตรไม่เพียงแต่ทำให้คาร์บอนถูกปลดปล่อยออกมาแล้วยังเป็นการทำลายแหล่งดูดซับ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สำคัญอีกด้วย (กานต์นภัส ดวงกลาง และคณะ, 2561) ปัจจุบันได้มีการนำคาร์บอนที่ถูกกักเก็บอยู่ในต้นไม้เหล่านี้มาเพิ่มมูลค่าโดยการซื้อขายในตลาดคาร์บอน (Carbon Market) ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นมาตรการช่วยลดก๊าซเรือนกระจกโดยใช้กลไกตลาด และเพื่อสร้างแรงจูงใจในการลดก๊าซเรือนกระจก ทำให้พื้นที่ที่มีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนสามารถมีรายได้จากการซื้อขายคาร์บอนเครดิตในตลาดคาร์บอน

ป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลด่านศรีสุข อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย อยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าพานพร้าว-ป่าแก้งไก่อ ส่วนใหญ่มีสภาพเป็นป่าเต็งรัง (Deciduous forest) มีพื้นที่ทั้งหมด 891 ไร่ (กรมป่าไม้, 2563) เป็นป่าที่ฟื้นตัวใหม่จากการบุกรุกทำลายจนกลายเป็น

เป็นไร่ร้าง ต่อมามีการอพยพผู้คนที่ย้ายมาทำไร่ และเผาถ่านอยู่ตามป่ามาอยู่รวมกันเป็นหมู่บ้าน เรียกว่าหมู่บ้านห้วยหินขาว และเริ่มมีการจัดตั้งอาสาสมัครพิทักษ์ป่า และดำเนินการรักษาป่า ร่วมกับเจ้าหน้าที่ป่าไม้ ป่าจึงเริ่มฟื้นตัวมาตั้งแต่ปี 2528 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีจิตสำนึกร่วมกัน (Awareness and Sharing Participation) ซึ่งพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 ใช้เป็นแนวทางหลักในการพระราชทานทฤษฎีปลูกป่าโดยไม่ต้องปลูก (Reforestation without Planting หรือ Natural Reforestation) เพราะเมื่อทุกคนเห็นคุณค่าของป่าร่วมกัน และเกิดการร่วมมือกันของภาครัฐ ประชาชนและชุมชนในการปกป้องรักษาป่า จึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ป่าฟื้นตัวตามธรรมชาติโดยไม่ต้องปลูกใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการฟื้นฟูป่าด้วยวิธี พันธุ์ไม้โครงสร้าง (Forest rehabilitation using the structural plant method) ซึ่งเป็น การฟื้นฟูพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมโดยเลือกปลูกต้นไม้ที่เป็นโครงสร้างหลักของระบบนิเวศ หรือเป็นการสร้างสภาพแวดล้อมให้ไม้พันธุ์ดั้งเดิมที่หลงเหลืออยู่ในพื้นที่ได้ฟื้นตัวตามธรรมชาติด้วยวิธีการเสริมต่างๆ เช่น การป้องกันไฟป่า การลดการรบกวนจากมนุษย์ในระยะเริ่มต้นของการ ฟื้นตัว หรือปลูกพันธุ์ไม้ท้องถิ่นที่มีอยู่ในพื้นที่เสริมลงไปให้มีสภาพความเป็นป่าเร็วขึ้น ทั้งชนิด พันธุ์ไม้เบิกนำ (pioneer plant) และไม้เสถียร (stable plant) เพื่อสร้างระบบนิเวศป่าขึ้นมา วิธีพันธุ์ไม้โครงสร้างถูกนำมาใช้กับการฟื้นฟูป่าที่ถูกทำลายในเขตทางภาคเหนือของประเทศไทย ดังนั้น ป่าห้วยหินขาว จึงกลายเป็นป่าที่ฟื้นตัวด้วยเหตุผลทั้ง 2 ทฤษฎี และต่อมา ชาวบ้านได้รวมกลุ่มกันจัดตั้งเป็นป่าชุมชนห้วยหินขาว จดทะเบียนเป็นป่าชุมชนกับสำนักงาน ป่าไม้จังหวัดหนองคาย ในปี 2550 จนถึงปัจจุบัน มีคณะกรรมการป่าชุมชนและระเบียบป่า ชุมชนจัดการดูแลร่วมกับรัฐ ทั้งในเขตพื้นที่ป่าชุมชน 891 ไร่ และพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาตินอก เขตป่าชุมชนกว่าสองหมื่นไร่ ซึ่งยังมีสภาพความอุดมสมบูรณ์ด้วยความสามารถในการดูแล ของคณะกรรมการป่าชุมชนและชุมชนรอบพื้นที่ การศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของ ป่าชุมชนนี้จะป็นองค์ความรู้และข้อมูลที่ตีที่ที่จะนำไปสู่การวางแผนและใช้ประโยชน์จากป่า ชุมชนอย่างยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลด่านศรีสุข อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย

2. เพื่อประเมินมูลค่าคาร์บอนกักเก็บตามราคาตลาดซื้อขายคาร์บอนเครดิตจากป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลบ้านศรีสุข อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและคาร์บอนเครดิตจากป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลบ้านศรีสุข อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย โดยมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย และวิธีดำเนินการวิจัย มีดังนี้

1. พื้นที่ทำการศึกษา

ป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลบ้านศรีสุข อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย มีพื้นที่รวม 891 ไร่ อยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าพานพร้าว-แก้งไก่ สภาพพื้นที่เป็นป่าผสมผลัดใบ บางส่วนเป็นป่าดิบแล้ง และป่าเต็งรัง เริ่มโครงการจัดตั้งป่าชุมชนเมื่อปี 2550 ลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ลาดเชิงเขา ลักษณะดินเป็นดินทรายมีลูกรังเล็กน้อยและบางส่วนเป็นดินดาน เนื่องจากพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ เป็นพื้นที่ซึ่งคณะกรรมการป่าชุมชนมีแนวทางที่จะกำหนดเป็นเขตพื้นที่ป่าเศรษฐกิจเพื่อการใช้สอย โดยจะกันพื้นที่เพื่อกิจกรรมนี้ไว้ร้อยละ 40 ของพื้นที่ป่าชุมชนทั้งหมด และที่เหลืออีกร้อยละ 60 จะเป็นป่าชุมชนประเภทป่าอนุรักษ์ ซึ่งผู้วิจัยไม่ได้ทำการสำรวจในพื้นที่เหล่านั้น เมื่อพื้นที่ป่าชุมชนห้วยหินขาวมีทั้งหมด 891 ไร่ ดังนั้นป่าเศรษฐกิจใช้สอยร้อยละ 40 จึงมีพื้นที่เท่ากับ 356.4 ไร่

2. วิธีการกำหนดแปลงตัวอย่าง

ศึกษาสำรวจข้อมูลเฉพาะพื้นที่ป่าชุมชนในเขตป่าเศรษฐกิจใช้สอย 356.4 ไร่ คิดเป็น 40% ของพื้นที่ป่าทั้งหมด 891 ไร่ โดยวางแปลงตัวอย่างขนาด 10x10 เมตร จำนวน 20 แปลง เพื่อวัดเส้นรอบวงและความสูงของต้นไม้ (ที่มีขนาดเส้นรอบวงตั้งแต่ 5 เซนติเมตร ขึ้นไป) เพื่อนำมาคำนวณปริมาณมวลชีวภาพ การคำนวณมวลชีวภาพใต้ดิน และคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าชุมชนในปัจจุบัน มูลค่าในอนาคตอีก 10 และ 20 ปีข้างหน้า

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การคำนวณความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกของต้นไม้หาได้ตั้งสมการที่ (1) - (2)

1) การหาความสูงของต้นไม้หน่วยเป็นเมตร

$$H = (s \times \theta) + \text{ความสูงของผู้ทำการวัด} \quad (1)$$

โดยที่ H = ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

s = ระยะห่างระหว่างต้นไม้กับผู้วัด (เมตร)

θ = มุม Tangent ($\sin \theta / \cos \theta$)

2) การหาเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกหน่วยเป็นเซนติเมตร

$$DBH = \frac{GBH}{\pi} \quad (2)$$

โดยที่ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (เซนติเมตร)

GBH = เส้นรอบระดับอก (เซนติเมตร)

3) คำนวณหาปริมาณมวลชีวภาพของไม้ยืนต้นโดยใช้สมการแอลโลเมตริกที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าเต็งรังของ Ogawa et al. (1965) หาได้ดังสมการที่ (3)-(6)

$$Ws = 0.0396 (D^2H)^{0.933} \quad (3)$$

$$Wb = 0.00349 (D^2H)^{1.033} \quad (4)$$

$$Wl = \left(\frac{28.0}{Ws + Wb + 0.025} \right)^{-1} \quad (5)$$

$$Wt = Ws + Wb + Wl \quad (6)$$

โดยที่ Ws = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

Wb = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

Wl = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

Wt = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กิโลกรัม)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (เมตร)

4) การคำนวณหามวลชีวภาพใต้พื้นดินสามารถหาได้จากปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินคูณสัดส่วนระหว่างมวลชีวภาพรากต่อมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ซึ่ง IPCC (2006) ได้กำหนดให้ค่าสัดส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้ดินต่อมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 0.27 หาได้ดังสมการที่ (7)

$$\text{มวลชีวภาพใต้ดิน (กก.)} = 0.27 \text{ Wt} \quad (7)$$

โดยที่ **Wt** = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กิโลกรัม)

3.2) การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนหาได้จากปริมาณมวลชีวภาพรวมของต้นไม้ที่ได้จาก ลำต้น กิ่ง ใบ และราก (สมการแอลโลเมตริก) และสัดส่วนคาร์บอนเฉลี่ยในเนื้อไม้ของพรรณไม้ทั่วไป เท่ากับร้อยละ 47 โดยน้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพ (IPCC, 2006) หาได้ดังสมการที่ (8)

$$\text{การกักเก็บคาร์บอน (กิโลกรัม)} = \text{ปริมาณมวลชีวภาพรวมของต้นไม้} \times 0.47 \quad (8)$$

3.3) การคำนวณหาปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ โดยค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 มวลโมเลกุล = 44 และคาร์บอน (C มวลโมเลกุล = 12) คือ 44/12 หรือ 3.66 (IPCC, 2006) ดังสมการที่ (9)

$$\text{การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์} = \text{ปริมาณคาร์บอนกักเก็บของป่า (กิโลกรัม)} \times 3.66 \quad (9)$$

3.4) การคำนวณความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกของต้นไม้ในอีก 10 และ 20 ปี ได้ดังนี้

1) ความโตโดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกของต้นไม้ในอีก 10ปีและ20 ปี

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกของต้นไม้ในอีก 10 ปี} = (1.29 \times 10) / 6 = 2.15 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกของต้นไม้ในอีก 20 ปี} = (1.29 \times 20) / 6 = 4.30 \text{ เซนติเมตร}$$

2) การคำนวณความสูงในอีก 10 ปี และ 20 ปี

$$\text{ความสูงในอีก 10 ปีข้างหน้า} = (1.98 \times 10) / 6 = 3.3 \text{ เมตร}$$

$$\text{ความสูงในอีก 20 ปีข้างหน้า} = (1.98 \times 20) / 6 = 6.6 \text{ เมตร}$$

3.5) การคำนวณมูลค่าจากการซื้อขายคาร์บอนเครดิต หาได้ดังนี้

1) มูลค่าคาร์บอนเครดิต ณ ปัจจุบัน เท่ากับราคาซื้อขายคาร์บอนเครดิตคูณด้วยปริมาณคาร์บอนเก็บกักในแต่ละแปลงตัวอย่าง นำมูลค่าคาร์บอนเครดิตแต่ละแปลงมารวมกันก็จะได้มูลค่าคาร์บอนเครดิตของแปลงตัวอย่างทั้งหมด และมูลค่าคาร์บอนเครดิตของทั้งป่าชุมชนจะเท่ากับมูลค่าคาร์บอนเครดิตของแปลงตัวอย่างทั้งหมด คุณด้วยพื้นที่ใช้สอยของป่าชุมชนห้วยหินขาวทั้งหมด

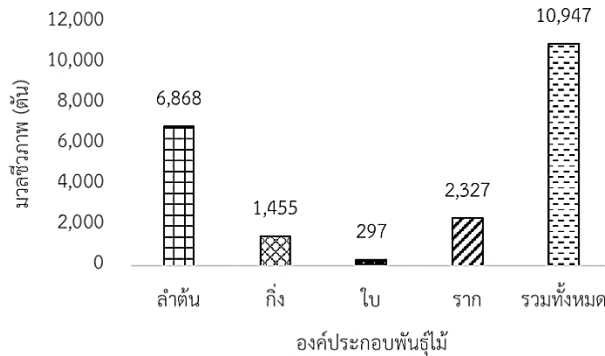
2) มูลค่าคาร์บอนเครดิตในอนาคตหาได้จาก การนำอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของต้นไม้ในแต่ละปีมาคำนวณการกักเก็บคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นตามขนาดความโตของลำต้นและความสูงของต้นไม้ คุณด้วยปีที่ต้องการทราบ และคำนวณมูลค่าตามข้อ 1) โดยใช้ราคาซื้อขายจากราคาอ้างอิงในตลาดคาร์บอนเครดิตโลก (อ้างอิงราคาจากตลาดซื้อขายคาร์บอนเครดิตโลก ณ วันที่ 7 พฤศจิกายน 2565 เท่ากับ 25 ดอลลาร์สหรัฐ/ตันคาร์บอน)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาพันธุ์ไม้ในพื้นที่แปลงตัวอย่างพบพันธุ์ไม้ทั้งหมด 32 ชนิด 20 วงศ์ พันธุ์ไม้เด่น เช่น รั้ง (*Shorea siamensis* Miq.), ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz), และมะกอกเกลี้อัน (*Canarium sublatum* Guillaumin) เป็นต้น พบต้นไม้ในแปลงศึกษาทั้งหมด 260 ต้น มีปริมาณมวลชีวภาพ ปริมาณคาร์บอนกักเก็บ และมูลค่าคาร์บอนเครดิตดังนี้

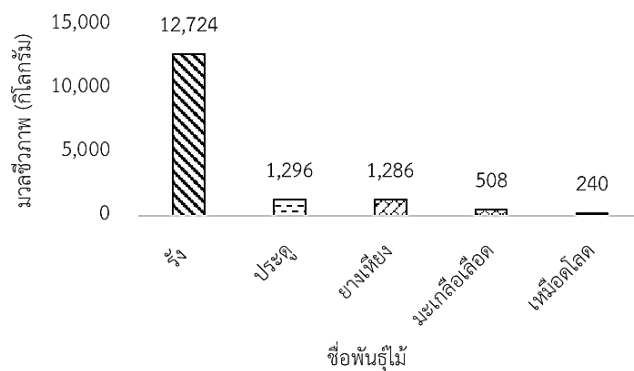
1. ปริมาณมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ในปัจจุบันและในอนาคตอีก 10 และ 20 ปีข้างหน้าของป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลบ้านด่านศรีสุข อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย

1.1) ปริมาณมวลชีวภาพในองค์ประกอบของพันธุ์ไม้ในปัจจุบัน พบว่า ปริมาณมวลชีวภาพรวม เท่ากับ 10,947,005.60 กิโลกรัม ซึ่งในส่วนของลำต้นมีปริมาณมวลชีวภาพมากที่สุด เท่ากับ 6,867,793.79 กิโลกรัม รองลงมาเป็นส่วนของราก เท่ากับ 2,327,314.81 กิโลกรัม ส่วนของกิ่ง เท่ากับ 1,454,593.85 กิโลกรัม และส่วนของใบ เท่ากับ 29,229.05 กิโลกรัม



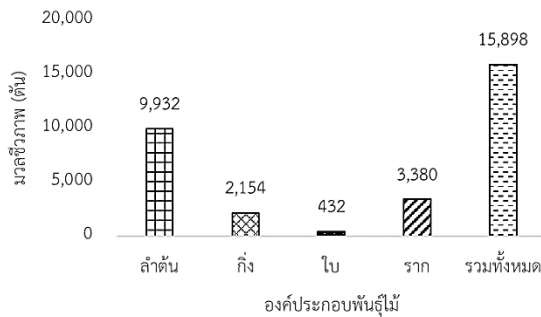
รูปที่ 1 ปริมาณมวลชีวภาพในองค์ประกอบของพันธุ์ไม้ในปัจจุบัน
ของพื้นที่ป่าชุมชนห้วยหินขาว

1.2) ปริมาณมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ในปัจจุบัน พบว่า ปริมาณมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ในพื้นที่ป่าชุมชนห้วยหินขาวมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ รัง (*Shorea siamensis* Miq.) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) ยางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq.) มะเกลือเลือด (*Terminalia corticosa* Pierre ex Lanessan.) และเหมือดโหลด (*Aporosa villosa* (Wall. ex Lindl.) Baill.) เท่ากับ 12,724.14, 1,295.86, 1,285.70, 507.50 และ 239.77 กิโลกรัม ตามลำดับ



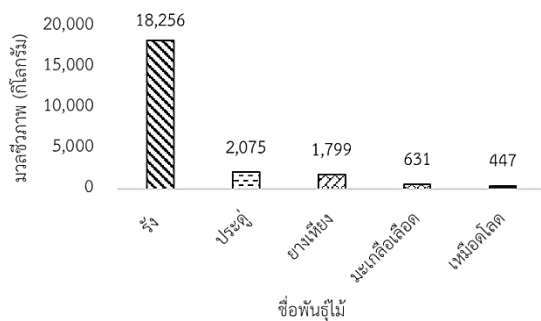
รูปที่ 2 ปริมาณมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ในพื้นที่ป่าชุมชนห้วยหินขาวในปัจจุบัน
มากที่สุด 5 อันดับ

1.3) ปริมาณมวลชีวภาพในองค์ประกอบของพันธุ์ไม้ในอนาคตอีก 10 ปีข้างหน้า พบว่า ปริมาณมวลชีวภาพรวม เท่ากับ 15,898,314.00 กิโลกรัม โดยในส่วนของลำต้นมี ปริมาณมวลชีวภาพมากที่สุด เท่ากับ 9,932,129.54 กิโลกรัม รองลงมาเป็นส่วนของราก กิ่ง และใบ เท่ากับ 3,379,94.64, 2,154,492.17 และ 431,694.49 กิโลกรัม ตามลำดับ



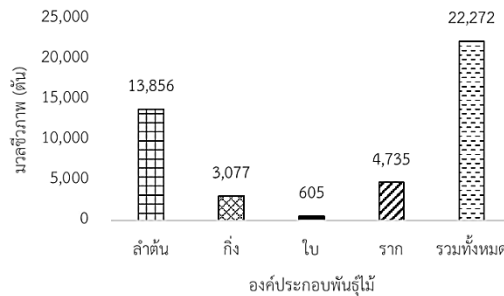
รูปที่ 3 ปริมาณมวลชีวภาพในองค์ประกอบของพันธุ์ไม้ในอนาคตอีก 10 ปีข้างหน้า

1.4) ปริมาณมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ในอนาคตอีก 10 ปีข้างหน้า พบว่า ปริมาณมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ในพื้นที่ป่าชุมชนห้วยหินขาวมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ รัง (*Shorea siamensis* Miq.) ยางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. ex Miq.) ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) มะเกลือเลือด (*Terminalia corticosa* Pierre ex Lanessan.) และเหมือดโสด (*Aporosa villosa* (Wall. ex Lindl.) Baill.) เท่ากับ 18,256, 2,075, 1,799, 631 และ 447 กิโลกรัม ตามลำดับ



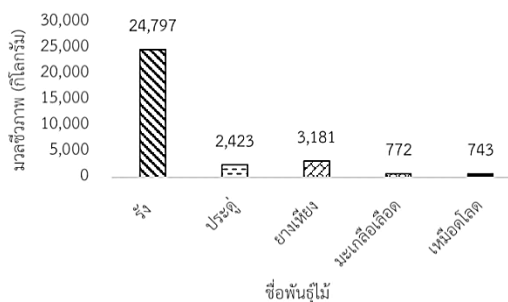
รูปที่ 4 ปริมาณมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ในพื้นที่ป่าชุมชนห้วยหินขาวในอนาคตอีก 10 ปีข้างหน้ามากที่สุด 5 อันดับ

1.5) ปริมาณมวลชีวภาพในองค์ประกอบของพันธุ์ไม้ในอนาคตอีก 20 ปีข้างหน้า พบว่า ปริมาณมวลชีวภาพรวม เท่ากับ 22,272 ตัน โดยในส่วนของลำต้นมีปริมาณมวลชีวภาพมากที่สุด เท่ากับ 13,856 ตัน รองลงมาเป็นส่วนของราก กิ่ง และใบ มีค่าเท่ากับ 4,735, 3,077, และ 605 ตัน ตามลำดับ



รูปที่ 5 ปริมาณมวลชีวภาพในองค์ประกอบของพันธุ์ไม้ในอนาคตอีก 20 ปีข้างหน้า ของพื้นที่ป่าชุมชนห้วยหินขาว

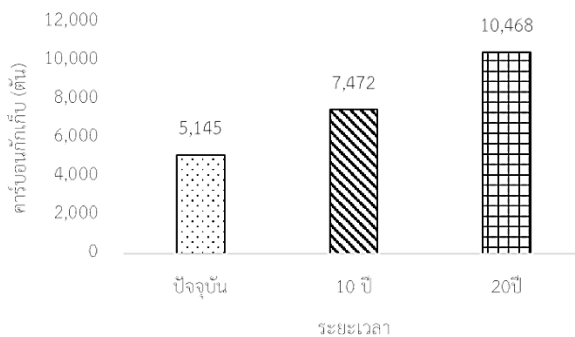
1.6) ปริมาณมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ในอนาคตอีก 20 ปีข้างหน้า พบว่า ปริมาณมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ในพื้นที่ป่าชุมชนห้วยหินขาวมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ รัง (*Shorea siamensis* Miq.), ยางเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm. Ex Miq.), ประดู่ (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz), มะเกลือเลือด (*Terminalia corticosa* Pierre ex Lanessan.) และเหมือดโสด (*Aporosa villosa* (Wall. Ex Lindl.) Baill.) มีค่าเท่ากับ 24,797.10, 3,180.94, 2,423.23, 772.20 และ 743.09 กิโลกรัม ตามลำดับ



รูปที่ 6 ปริมาณมวลชีวภาพของพันธุ์ไม้ในพื้นที่ป่าชุมชนห้วยหินขาวในอนาคตอีก 20 ปีข้างหน้า มากที่สุด 5 อันดับ

2. ปริมาณคาร์บอนกักเก็บในปัจจุบันและในอนาคตอีก 10 และ 20 ปีข้างหน้าของต้นไม้

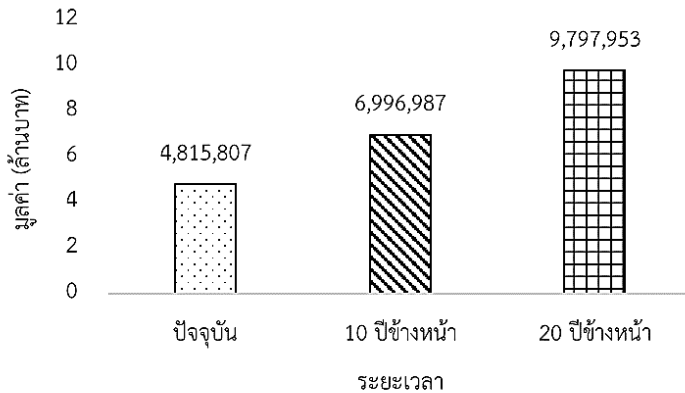
จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนกักเก็บในปัจจุบันและในอนาคตอีก 10 และ 20 ปีข้างหน้าของต้นไม้ในพื้นที่ป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลบ้านด่านศรีสุข อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย พบว่า ปริมาณคาร์บอนกักเก็บในปัจจุบัน เท่ากับ 5,145.09 ตัน ปริมาณคาร์บอนกักเก็บในอนาคตอีก 10 ปี และ 20 ปีข้างหน้า เท่ากับ 7,472.21 และ 10,467.90 ตัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ปริมาณคาร์บอนกักเก็บในปัจจุบันและในอนาคตอีก 10 และ 20 ปีข้างหน้า

3. ประเมินมูลค่าคาร์บอนกักเก็บจากราคาซื้อขายคาร์บอนเครดิตในปัจจุบันและมูลค่าคาร์บอนกักเก็บในอนาคต 10 และ 20 ปีข้างหน้า

จากการศึกษาการประเมินมูลค่าคาร์บอนกักเก็บจากราคาซื้อขายคาร์บอนเครดิตในปัจจุบัน พบว่า พื้นที่ป่าชุมชนห้วยหินขาวในเขตพื้นที่ป่าเศรษฐกิจใช้สอยทั้งหมด 356.4 ไร่ มีมูลค่าคาร์บอนกักเก็บจากราคาซื้อขายคาร์บอนเครดิตในปัจจุบัน มูลค่าในอนาคตอีก 10 และ 20 ปีข้างหน้า เท่ากับ 4,815,807, 6,993,987 และ 9,797,953 บาท ตามลำดับ อ้างอิงราคาตลาดซื้อขายคาร์บอนเครดิตโลก ณ วันที่ 7 พฤศจิกายน 2565 เท่ากับ 25 ดอลลาร์สหรัฐ/ตันคาร์บอน (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, 2559) ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ประเมินมูลค่าคาร์บอนกักเก็บจากราคาซื้อขายคาร์บอนเครดิตในปัจจุบัน และมูลค่าคาร์บอนกักเก็บในอนาคต 10 และ 20 ปีข้างหน้า

เมื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณมวลชีวภาพ และปริมาณคาร์บอนกักเก็บในพื้นที่ที่ทำการศึกษาเท่ากัน เท่ากับ 1,600 ตารางเมตร (1 ไร่) พบว่า การศึกษาของวสันต์ จันทร์แดง และคณะ (2553) มีปริมาณมวลชีวภาพรวม เท่ากับ 3.54 ตัน และมีปริมาณคาร์บอนกักเก็บทั้งหมด 9.34 ตันคาร์บอน และ ชัญญา กันฉิ่ง และคณะ (2559) มีปริมาณมวลชีวภาพรวม เท่ากับ 29.98 ตัน และมีปริมาณคาร์บอนกักเก็บทั้งหมด เท่ากับ 15.42 ตันคาร์บอน ซึ่งมีความใกล้เคียงกันกับงานวิจัยนี้ โดยมีปริมาณมวลชีวภาพรวม เท่ากับ 30.71 ตัน และปริมาณคาร์บอนกักเก็บทั้งหมด เท่ากับ 14.44 ตันคาร์บอน ซึ่งมีปริมาณคาร์บอนกักเก็บสูงกว่าพื้นที่ศึกษาของ จุฑาทพร ทองนุ่น และคณะ (2565) ซึ่งเป็นสิ่งบ่งชี้ได้ว่า ป่าชุมชนห้วยหินขาวมีสภาพค่อนข้างอุดมสมบูรณ์ แม้ว่าจะเป็นชนิดป่าเต็งรังเหมือนกัน มีชนิดพันธุ์ไม้ที่ขึ้นอยู่ใกล้เคียงกัน รวมไปถึงการวางแผนตัวอย่าง และขนาดแปลงตัวอย่างที่เท่ากัน แต่หากต้นไม้มีความโต ความสูงใหญ่ หรือมีความหนาแน่น (จำนวนต้นไม้ต่อพื้นที่) มากกว่ากัน ก็ย่อมมีปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนที่มากกว่า ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบปริมาณมวลชีวภาพ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนกับงานวิจัยอื่น

ผู้วิจัย	ประเภทป่า	พื้นที่ (ตารางเมตร)	ปริมาณ มวลชีวภาพ (ตัน)	ปริมาณการกัก เก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอน)
วสันต์, ลดาวัลย์ และสาพิส (2553)	ป่าเต็งรัง	1,600	3.54	9.34
ชัยษา และคณะ (2559)	ป่าเต็งรัง	1,600	29.98	15.42
จุฑาพร และคณะ (2565)	ป่าเต็งรัง	1,600	11.95	8.77
ผลการวิจัยครั้งนี้	ป่าเต็งรัง	1,600	30.71	14.44

ป่าชุมชนห้วยหินขาว จึงเป็นแหล่งทรัพยากรสำคัญของชาวบ้านห้วยหินขาวและหมู่บ้านใกล้เคียง เช่น บ้านภูผนังม่วงและบ้านด่านศรีสุข สิ่งที่ชาวบ้านหาได้จากป่าที่สำคัญที่เป็นทั้งแหล่งอาหาร และแหล่งรายได้ของชุมชน ได้แก่ หน่อไม้ ไม้ไผ่ เห็ด กระชายป่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งหน่อไม้ไผ่ไร่ และเห็ดป่า ซึ่งสร้างรายได้ให้กับชาวบ้านอย่างมากในฤดูฝน จึงเป็นรายได้เสริมที่สำคัญของชุมชน เพราะประชากรในบ้านห้วยหินขาวส่วนใหญ่มีอาชีพรับจ้างถึงร้อยละ 80 ไม่น่าจะมีที่ดินทำกินเป็นของตัวเอง สวนใหญ่รับจ้างกรีดยางและรับจ้างทั่วไป สมาชิกป่าชุมชน คณะกรรมการป่าชุมชนห้วยหินขาวและอาสาสมัครพิทักษ์ป่าส่วนใหญ่ก็จึงเป็นชาวบ้านที่ยากจน มีอาชีพรับจ้างและหารายได้จากทรัพยากรในป่าตามฤดูกาล จึงเห็นถึงคุณค่าความสำคัญของป่าและร่วมกันดูแลป่าจนมีสภาพที่ค่อนข้างอุดมสมบูรณ์ และถือเป็นป่าชุมชนต้นแบบของจังหวัดหนองคาย ดังนั้น การสร้างองค์ความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับป่าของชุมชนเองจึงเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ชุมชนเห็นคุณค่าและความสำคัญ รวมถึงมูลค่าจากป่าที่ให้ประโยชน์กับชุมชนทั้งประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม ทั้งในปัจจุบันและอนาคต และเนื่องจากพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ เป็นพื้นที่ซึ่งคณะกรรมการป่าชุมชนมีแนวทางที่จะกำหนดเป็นเขตพื้นที่ป่าเศรษฐกิจเพื่อการใช้สอย (ใช้ประโยชน์ได้โดยไม่มี การตัดไม้ทรงคุณค่าดั้งเดิม) โดยจะกันพื้นที่เพื่อกิจกรรมนี้ไว้ ร้อยละ 40 ของพื้นที่ป่าชุมชนทั้งหมด และที่เหลืออีก ร้อยละ 60 จะเป็นป่าชุมชนประเภทป่าอนุรักษ์ ซึ่งผู้วิจัยจึงไม่ได้ทำการสำรวจในพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้น ป่าเศรษฐกิจใช้สอยร้อยละ 40 จึงมีพื้นที่เท่ากับ 356.4 ไร่ คิดเป็นปริมาณคาร์บอนกักเก็บของพื้นที่ป่าเศรษฐกิจเพื่อการใช้ประโยชน์ของป่าชุมชนห้วยหินขาวทั้งหมด เท่ากับ 5,145 ตัน หรือ 14.44 ตัน/ไร่

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลบ้านศรีสุข อำเภอโพนทราย จังหวัดหนองคาย พบว่า พื้นที่ป่าชุมชนห้วยหินขาวมีพันธุ์ไม้ยืนต้นในแปลงตัวอย่างทั้งหมด 32 ชนิด 20 วงศ์ 260 ต้น สภาพพื้นที่ศึกษาเป็นป่าเต็งรัง (Deciduous Dipterocarp Forest) มีสภาพป่าค่อนข้างสมบูรณ์ มีปริมาณมวลชีวภาพรวมของต้นไม้ในปัจจุบัน เท่ากับ 10,947 ตัน โดยต้นรัง (*Shorea siamensis* Miq.) มีปริมาณมวลชีวภาพมากที่สุด เท่ากับ 12,724 กิโลกรัม ปริมาณมวลชีวภาพรวมของต้นไม้ในอนาคตอีก 10 ปี และ 20 ปีข้างหน้า มีค่าเท่ากับ 15,898 และ 22,272 ตัน ตามลำดับ มีปริมาณคาร์บอนกักเก็บในพื้นที่ป่าเศรษฐกิจใช้สอยของป่าชุมชนห้วยหินขาวในปัจจุบัน ในอนาคตอีก 10 ปี และอีก 20 ปีข้างหน้าของต้นไม้ เท่ากับ 5,145, 7,472 และ 10,468 ตัน ตามลำดับ

มูลค่าคาร์บอนกักเก็บจากราคาซื้อขายคาร์บอนเครดิตในปัจจุบัน ในอนาคตอีก 10 ปี และ 20 ปีข้างหน้า มีมูลค่าประมาณ 4,815,807, 6,993,987 และ 9,797,953 บาท ซึ่งคำนวณจากราคาการซื้อขายคาร์บอนเครดิตในปัจจุบัน โดยราคาคาร์บอนเครดิตโลกอยู่ที่ประมาณ 25 ดอลลาร์สหรัฐต่อตันคาร์บอน หรือประมาณ 936 บาทต่อตันคาร์บอน (ข้อมูล ณ วันที่ 7 พฤศจิกายน 2565)

จากข้อมูลดังกล่าว ทำให้ชุมชนทราบถึงคุณค่าของป่าชุมชนห้วยหินขาวในอีกด้านหนึ่ง นั่นคือมูลค่าจากคาร์บอนเครดิตหากมีการซื้อขายได้จริงในตลาดคาร์บอน จะทำให้ชุมชนมีรายได้เพื่อมาบริหารจัดการป่าชุมชน การพัฒนาคุณภาพชีวิตและการสร้างสวัสดิการชุมชนที่ดีสำหรับสมาชิกป่าชุมชนและอาสาสมัครพิทักษ์ป่าซึ่งไม่ได้มีสวัสดิการใดรองรับการสร้างมูลค่าจากป่าชุมชนด้วยการซื้อขายคาร์บอนเครดิตในตลาดคาร์บอนหากสามารถดำเนินการได้ จึงน่าจะเป็นสิ่งที่รัฐควรสนับสนุนในรูปแบบของกองทุนป่าชุมชน ที่สามารถสร้างรายได้จากป่าเพื่อนำมาพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนในชุมชนที่ดูแลป่าและมีรายได้มาดำเนินการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์จากป่าอย่างยั่งยืน ตามเจตนารมณ์ของพระราชบัญญัติป่าชุมชน พ.ศ. 2562

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี และชาวบ้าน คณะกรรมการป่าชุมชนห้วยหินขาว ที่อำนวยความสะดวกงานวิจัยนี้สำเร็จ

ลู่ด้วยดี ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีที่สนับสนุนงบประมาณตามแผนปฏิบัติการสาขาวิชาสิ่งแวดล้อม ปีงบประมาณ 2563 ภายใต้โครงการบูรณาการวิจัยและถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ท้องถิ่น และขอขอบคุณคณะนิติศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนงบประมาณภายใต้โครงการพัฒนาองค์ความรู้และศักยภาพการจัดการป่าต้นน้ำห้วยโงง ป่าสงวนแห่งชาติ ป่าพานพร้าว-แก้งไก่ กรณีป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลด่านศรีสุข อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย

เอกสารอ้างอิง

- กานต์นภัส ดวงกลาง, สดการ ที่จันทัก และ สมพร แม่ลิ้ม. (2561). *การเปลี่ยนแปลงและการกักเก็บคาร์บอนของสังคมพืชในแปลงตัวอย่างป่าฟื้นฟูระบบนิเวศ ป่าเขาภูหลวง จังหวัดนครราชสีมา*. น. 478-486. ใน: การประชุมวิชาการเสนอมผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 19. 9 มีนาคม 2561. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- กรมป่าไม้. (2563). *บ้านห้วยหินขาว*. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2563, จาก http://forestinfo.forest.go.th/fCom_detail.aspx?id=8457.
- จุฑาทพร ทองนุ่น, พิเชิด ลำไย, สันติ สุขสะอาด และ ศุภศิษย์ ศรีอักษรินทร์. (2565). พลวัตป่าไม้และการกักเก็บคาร์บอนในช่วงเวลา 10 ปี ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติลำน้ำน่าน จังหวัดอุดรธานีและจังหวัดแพร่. *วารสารวนศาสตร์ไทย*, 41(2), 48-62.
- ชญุษา กันฉิ่ง, ญัฐพงษ์ ฟองมณี, ปาริฉัตร ประพัฒน์, สิทธิศักดิ์ ปิ่นมงคลกุล, เกื้อกุล กุสสลา นุภาพ, และ บัณฑิตา ใจปิ่นตา. (2559). *การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชที่มีเนื้อไม้ ป่าชุมชนห้วยข้าวเก่า อำเภอจุน จังหวัดพะเยา*. น. 89-95. ใน: การประชุมวิชาการการบริหารจัดการความหลากหลายทางชีวภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 3. 15-17 มิถุนายน 2559. โรงแรม ดิ อิมเพรส น่าน, น่าน.
- ดอกกรั๊ก มารอด. (2555). *นิเวศวิทยาป่าไม้ประยุกต์*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธีรพงศ์ เหล่าสุวรรณ, พรชัย อุทรักษ์, อุษา กลิ่นหอม, ชาลี นาวานุเคราะห์, เชษฐพงษ์ บุตรเทพ, เจ เอช สามีก และ เดวิด แอล สโคล. (2556). ความสำเร็จของเครือข่ายชุมชนอินแปงจากการมีส่วนร่วมในการบรรเทา สภาวะโลกร้อนผ่านทางภาคป่าไม้. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 16(2), 44-54.

- วสันต์ จันทร์แดง, ลดาวัลย์ พวงจิตร และ สาพิส ดิลกสัมพันธ์. (2553). การกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังและสวนป่ายูคาลิปตัส ณ สวนป้ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น. *วารสารวนศาสตร์*, 29(3), 36-44.
- วัฒนณรงค์ มากพันธ์, จิตติมา รัปไพโรทอง และ สุภาวดี แซ่อาหลี. (2561). ปริมาณคาร์บอนสะสมในต้นไม้ บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 10(2), 119-128.
- องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2559). *การพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย*. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน 2565, จาก <http://www.tgo.or.th/2015/thai/content.php?s1=13>.
- IPCC. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Chapter 4 Forestland*. National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.
- Ogawa, H., Yoda, K., & Kira, T. (1965). A preliminary survey on the vegetation of Thailand. *Nature and life in SE Asia*, 1, 21-157.

การยับยั้งสารไนเตรท/ไนไตรท์และไนโตรซามีนในผลิตภัณฑ์ปลาร้า

จากสารต้านอนุมูลอิสระในพืชสมุนไพร

INHIBITION OF NITRATE/NITRITE AND NITROSAMINE IN FERMENTED FISH
BY THE ANTIOXIDANT EFFECT FROM HERBAL PLANT

เศรษฐา เรืองไชย¹, วิวรรธน์ แก่นสา^{2,*} และ สุขสันติ ประกอบวงษ์²
Sedtha Ruangchai¹, Wiwat Kaensa^{2,*} and Suksanti Prakobwong²

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

² สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

¹ Department of Science Education, Graduate School, Udon Thani Rajabhat University

² Department of Biology, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University

Received: 16 December 2022

Revised: 4 January 2023

Accepted: 20 March 2023

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบสารไนโตรซามีนในปลาร้าที่วางขายในตลาดจังหวัดอุดรธานี ทำการตรวจระดับสารฟิโนลิก และสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และฤทธิ์ยับยั้งสารไนเตรท/ไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์ปลาร้าด้วยสมุนไพร 5 ชนิด ได้แก่ ติ้ว (*Cratoxylum formosum*) กระโดน (*Careya sphaerica*) สะเดา (*Azadirachta indica*) ชะมวง (*Garcinia cowa*) และย่านาง (*Tiliacora triandra*) ผลการวิจัยไม่พบการปนเปื้อนของสารไนโตรซามีนในตัวอย่างปลาร้า (30 ตัวอย่าง) ใบย่านางมีสารฟิโนลิกและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดอย่างน้อย 1,900 mgGAE/100 กรัม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระร้อยละ 72.28 ตามลำดับ การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งสารไนเตรท/ไนไตรท์ในปลาร้า พบว่าใบย่านางมีระดับการยับยั้งการปนเปื้อนได้ดีกว่าสมุนไพรชนิดอื่น

คำสำคัญ: ไนเตรท/ไนไตรท์, ไนโตรซามีน, ปลาร้า, สารต้านอนุมูลอิสระ

* Corresponding author: วิวรรธน์ แก่นสา

E-mail: wiwat.ka@udru.ac.th

Abstract

This study aimed to determine the nitrosamine in fermented fish purchased from markets in Udon Thani Province. The total phenolic compound and the antioxidant effects were determined by DPPH assay. The inhibition of nitrate/nitrite formation in fermented fish using five herbal plants consisted of *Cratoxylum formosum*, *Careya sphaerica*, *Azadirachta indica*, *Garcinia cowa*, *Tiliacora triandra*. The nitrosocompound was not detected in 30 samples in markets in Udon Thani Province. The high level of total phenolic (at least 1900 mgGAE/100 g.), antioxidant effect (72.28%) and the reduction in fermented fish were found in *Tiliacora triandra*.

Keywords: nitrate/nitrite, nitrosamine, fermented fish, antioxidant

บทนำ

ปลาร้าเป็นอาหารและส่วนประกอบของอาหารที่คนในภาคอีสานนิยมบริโภคในชีวิตประจำวัน ในน้ำปลาร้ามักตรวจพบการปนเปื้อนของสารไนเตรท/ไนไตรท์และสารไนโตรซามีนจากกระบวนการหมักและเป็นปัจจัยเสี่ยงของโรคมะเร็งหลายชนิด (ศิริพร ต้นจ้อ, 2560) ซึ่งปัจจุบันนิยมบริโภคผลิตภัณฑ์ปลาร้าในทุกภาคของประเทศ และมีการผลิตเพื่อจำหน่ายอย่างแพร่หลาย ผลิตภัณฑ์ปลาร้าเป็นผลผลิตจากการหมักของจุลินทรีย์ทนเค็ม โดยมีการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนและรูปของสารอาหารที่ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้ง่ายขึ้น มีรสชาติสี และกลิ่นเป็นที่นิยมในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น (ดวงตะวัน ชนะเวช และหนึ่งฤทัย ใ้ญ่บุญ, 2561) การหมักปลาร้าในชุมชนมักพบการหมักเพื่อบริโภคเป็นเวลานาน ซึ่งจะทำให้เกิดการสะสมของสารไนเตรท/ไนไตรท์ นอกจากนี้สารไนเตรท/ไนไตรท์ยังเป็นวัตถุกันเสียจากการเติมของผู้ค้าเพื่อชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ โดยไม่คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภค (ชลธิดา ภูบาลี และคณะ, 2557)

สารไนไตรท์เมื่อทำปฏิกิริยากับสารกลุ่มเอมีนและเอไมด์จะเปลี่ยนเป็นสารประกอบไนโตรซามีน (Nitrosamine) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาในอาหารขณะที่ปรุงอุณหภูมิสูง ไนโตรซามีนเป็นสารก่อมะเร็งที่มักพบเป็นปัจจัยเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งท่อน้ำดี (Pinaor et al.,

2004) ซึ่งมีอุบัติการณ์สูงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย (Sripa & Pairojkul, 2008) สารไนเตรทในอาหารสามารถเปลี่ยนเป็นไนโตรที่ไ้ได้โดยแบคทีเรียหรือปฏิกิริยาเคมี จากการศึกษาในเบื้องต้นจากตัวอย่างปลาร้าในตลาดทั่วไปในจังหวัดอุดรธานี พบว่าปลาร้าที่วางจำหน่ายมีการปนเปื้อนของสารดังกล่าวเกินเกณฑ์มาตรฐานจำนวนมาก (ไม่เกิน 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งอาจเกิดจากการผสมสารไนเตรทลงไปในอาหารของผู้จำหน่ายหรืออาจเกิดจากการหมักของจุลินทรีย์บางชนิด ซึ่งหากร่างกายได้รับสารไนเตรท/ไนโตรที่มากเกินไป จะทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ สารไนเตรทจะถูกแบคทีเรียในกระเพาะอาหารและลำไส้เปลี่ยนให้เป็นไนโตรที่ ทำให้ระดับฮีโมโกลบินซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีนในเม็ดเลือดแดงผิดปกติ ไม่สามารถขนส่งออกซิเจนไปใช้ได้ ทำให้เซลล์ขาดออกซิเจน และเกิดความรุนแรงตามมา (ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2529) นอกจากนี้หากได้รับสารไนเตรท/ไนโตรที่ในปริมาณน้อยติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน จะเกิดพิษเรื้อรัง และมีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็ง (Thamavit et al., 1978)

สมุนไพรท้องถิ่นที่มีฤทธิ์ในการต่อต้านสารอนุมูลอิสระ เป็นที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง อาหาร ยารักษาโรค สารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่เป็นสารฟีนอลิก วิตามินซี และฟลาโวนอยด์ เป็นต้น รายงานการวิจัยของ วัชรภรณ์ ประภาสะโนบล (2553) พบว่า วิตามินซี สามารถลดปริมาณไนเตรท/ไนเตรทที่ความเข้มข้น 40-90 mg/100g นอกจากนี้การศึกษาของนันทวัน เอื้อวงศ์กุล และคณะ (2560) พบว่ามีปริมาณวิตามินซีในสมุนไพรพื้นบ้าน ได้แก่ ยอดสะเดา ใบย่านางและใบชะมวงในปริมาณ 20.81, 7.19, 29.0 mg/100g ตามลำดับ จากการศึกษาผลของสมุนไพรนี้ พบว่ามีฤทธิ์ในการลดปริมาณไนเตรท/ไนเตรท ในผลิตภัณฑ์ปลาร้า (กนกวรรณ เชิงหอม, 2560) งานวิจัยนี้จึงศึกษาปริมาณสารไนโตรซามีนในปลาร้าจากตลาด รวมทั้งตรวจปริมาณสารฟีนอลิกและการยับยั้งสารอนุมูลอิสระในสมุนไพร 5 ชนิด และประเมินฤทธิ์ยับยั้งสารไนเตรท/ไนโตรที่ในผลิตภัณฑ์ปลาร้า

วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจระดับสารไนโตรซามีนในผลิตภัณฑ์ปลาร้าที่จำหน่ายในตลาดเทศบาลนครอุดรธานี
2. เพื่อตรวจระดับสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และการต้านอนุมูลอิสระ จากสารสกัดใบพืชสมุนไพร 5 ชนิด

3. เพื่อตรวจระดับการยับยั้งสารไนเตรท/ไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์ ปลาจุกจากสารสกัด ใบพืชสมุนไพร 5 ชนิด

วิธีดำเนินงานวิจัย

ตรวจระดับสารไนโตรซามีนในผลิตภัณฑ์ปลาจุกที่จำหน่ายในตลาด

เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ปลาจุกที่จำหน่ายในตลาดในเทศบาลนคร และในเขตรอบเมืองอุดรธานี จำนวน 10 แหล่ง แหล่งละ 3 ตัวอย่าง นำน้ำปลาจุกมาปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 รอบ/นาที

เตรียมตัวอย่างใน cartridge เติม methylene chloride แซ่ตัวดูดซับประมาณ 1 นาที ในสภาพสุญญากาศเพื่อดูด methylene chloride ให้ไหลผ่าน cartridge จนหมด นำสารสกัดมากำจัดน้ำด้วยคอลัมน์ที่มี anhydrous sodium sulfate นำสารสกัดที่ผ่านการกำจัดน้ำออกมาทำการระเหย methylene chloride ออกด้วยแก๊สไนโตรเจน นำไปปรับปริมาตรให้เป็น 1 มิลลิลิตร ด้วย methylene chloride และนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Nitrogen Phosphorus Detector (GC-NPD) (Pereira et al., 2012)

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

นำใบของสมุนไพร 5 ชนิด (ตัว *Cratoxylum formosum*) กระโดน (*Careya sphaerica*) สะเดา (*Azadirachta indica*) ชะมวง (*Garcinia cowa*) และย่านาง (*Tiliacora triandra*) มาสกัดเพื่อตรวจหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างสมุนไพร โดยนำใบมาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง บดด้วยโกร่ง นำสมุนไพรแต่ละชนิดมาสกัดด้วยเมทานอลในสัดส่วน 1 กรัม/มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรอง ระเหยตัวทำละลาย ซึ่งน้ำหนักตะกอนและละลายด้วยเมทานอล การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid) ปิเปตสารสกัดสมุนไพร ชนิดละ 50 ไมโครลิตร เติมสารละลายโฟลีน (Folin - Ciocateu) ความเข้มข้น 1:10 และสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 10% (w/v) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน (กัลยา วัฒนธีรวงูร, 2551)

การทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างสมุนไพร

การทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างสมุนไพรด้วยวิธี DPPH assay โดยนำสารสกัดสมุนไพร 5 ชนิด ปิเปตสารสกัดสมุนไพรชนิดละ 50 ไมโครลิตร เติมสารละลาย 2, 2-Diphenyl-1, 2-picrylhydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานวิตามินซี คำนวณร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระและร้อยละการเหลืออยู่ของอนุมูลอิสระ (กัลยา วัฒนธีรวงูร, 2551)

ฤทธิ์ยับยั้งสารไนเตรท/ไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์ปลาร้าจากพืชสมุนไพร

นำใบสมุนไพร 5 ชนิด มาสกัดเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพในการลดปริมาณไนโตรซามีน โดยนำสมุนไพรมาล้างด้วยแอลกอฮอล์เข้มข้น 75 % v/v แล้วนำมาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง บดด้วยโกร่ง ผสมปลาร้ากับพืชสมุนไพร และนำมาคลุกเคล้าให้เข้ากันโดยความเข้มข้นของสมุนไพรที่ใช้ในการศึกษา คือ 200 mg/kg แล้วบรรจุในขวดพลาสติก หมักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3-5 วัน

ประเมินโดยการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท/ไนไตรท์ด้วย วิธี UV-VIS Spectroscopy โดยนำน้ำหมักและปลาที่หมักได้มาสีบและปั่นให้ละเอียดและกรองส่วนของเหลว ปิเปตของเหลวจากผลิตภัณฑ์ปลาร้าปริมาตร 250 ไมโครลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบ/นาที นาน 10 นาที ปิเปตส่วนใสลงใน 96 well plate เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ (Sulfanilamide) ตามด้วยสารละลาย (N-1-Naphthylethylene

diamine dihydrochloride, NED และ Vanadium (III) chloride, VCl_3 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (กัลยา วัฒนธีรวงูร, 2551)

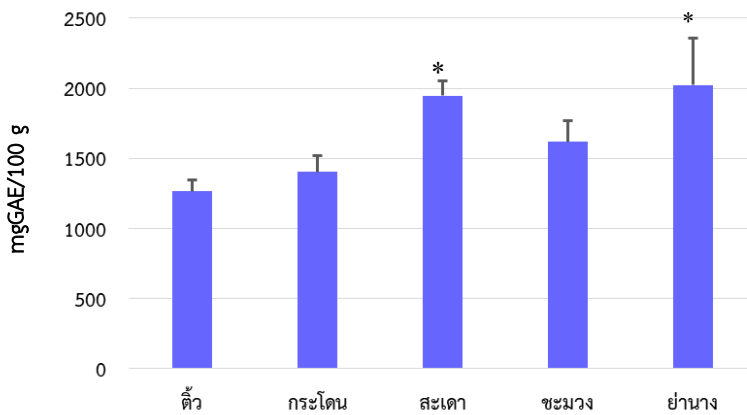
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ระดับสารไนโตรซามีนในผลิตภัณฑ์ปลาร้าที่จำหน่ายในตลาดวิเคราะห์ในเชิงปริมาณและคุณภาพโดยใช้สารละลายมาตรฐานไนโตรซามีนเปรียบเทียบในวิธีการดำเนินการวิจัย ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ยับยั้งสารไนเตรท/ไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์ปลาร้าจากสารต้านอนุมูลอิสระในพืชสมุนไพรรายงานข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์สมมุติฐานทางสถิติใช้โปรแกรมวิเคราะห์สำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 23.0

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ตรวจระดับสารไนโตรซามีนในผลิตภัณฑ์ปลาร้า

จากการเก็บตัวอย่างปลาร้าหมักและน้ำปลาร้าที่วางจำหน่ายในตลาดสดในเขตเทศบาลนครและเขตรอบเมืองจังหวัดอุดรธานี จำนวน 30 ตัวอย่าง ผลการตรวจหาปริมาณสารไนโตรซามีนไม่พบการปนเปื้อนในตัวอย่างปลาร้าหมักและน้ำปลาร้า ทั้งนี้อาจเกิดจากการจำหน่ายในเขตเมืองที่มีกำลังซื้อสูง ทำให้การหมวนเวียนผลิตภัณฑ์มาก ระยะเวลาในการหมักมักอยู่ระหว่าง 3-4 เดือน จึงทำให้ไม่สามารถตรวจพบการปนเปื้อนในพื้นที่ตามขอบเขตที่ศึกษา ทั้งนี้การตรวจวัดสารไนโตรซามีนที่เป็นสารมาตรฐานในวิธีขั้นตอนการศึกษา สามารถตรวจพบได้ด้วยเทคนิคและวิธีการตามระเบียบวิธีวิจัย



รูปที่ 1 ปริมาณสารพิษในผลิตภัณฑ์ปลาร้าหมัก 5 ชนิด

การหาปริมาณสารประกอบฟิโนลิกทั้งหมด

การตรวจปริมาณสารฟิโนลิกทั้งหมดในสมุนไพร 5 ชนิด โดยใช้วิตามินซี เป็นสารละลายมาตรฐาน พบว่าในใบย่านางและสะเดาเป็นสมุนไพรที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และไม่พบระดับที่แตกต่างกันระหว่างสมุนไพรทั้งสองชนิดนี้ ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีปริมาณสารฟิโนลิกมากกว่า 1,900 mgGAE/100 กรัม ซึ่งอยู่ในระดับใกล้เคียงกับรายงานการวิจัยของ Makinde et al. (2019) ซึ่งสกัดด้วยแอลกอฮอล์

และเฮกเซน ในขณะที่ตัวและกระโดนมีปริมาณน้อยที่สุด 1,264 และ 1,410 mgGAE/100 กรัม ตามลำดับ

การทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างสมุนไพร

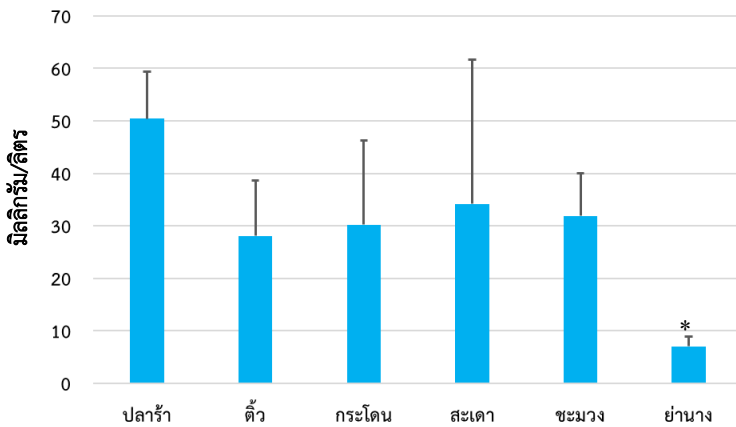
จากการตรวจระดับการต้านอนุมูลอิสระในสมุนไพร 5 ชนิด ด้วยวิธี DPPH assay และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร พบร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดในใบย่านาง ที่ร้อยละ 72.28 รองลงมาคือกระโดนที่มีค่าการยับยั้งที่ร้อยละ 62.73 ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งผลสัมพันธ์กับปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (รูปที่ 1) ในขณะที่ใบตัวมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดการต้านอนุมูลอิสระในสมุนไพร 5 ชนิด

สมุนไพร	ค่าดูดกลืนแสง		%Inhibition	%Remaining
	A _{control}	A _{sample}		
ตัว	0.178	0.088	50.56	46.67
กระโดน		0.066	62.73	36.11
สะเดา		0.076	56.93	40.56
ชะมวง	0.178	0.072	59.18	43.89
ย่านาง		0.049	72.28	25.56

ฤทธิ์ยับยั้งสารไนเตรท/ไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์ปลาร้าจากสารต้านอนุมูลอิสระในพืชสมุนไพร

การตรวจระดับสารไนเตรท/ไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์ปลาร้าจำนวน 3 ตัวอย่าง ที่มีอายุการหมักมากกว่า 6 เดือน ที่เก็บจากตลาดในเขตเทศบาลนครอุดรธานี พบว่ามีสารไนเตรท/ไนไตรท์เฉลี่ย 50.38 ± 9.06 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งระดับการปนเปื้อนในปลาร้าจากตลาดอยู่ในระดับที่ไม่เกินกว่ากฎหมายกำหนด หรือไม่เกิน 125 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553) การทดสอบฤทธิ์ยับยั้ง การปนเปื้อนสารไนเตรท/ไนไตรท์ในปลาร้าของพืชสมุนไพร 5 ชนิด พบว่าย่านางมีระดับการยับยั้งการปนเปื้อนได้ดีกว่าสมุนไพรชนิดอื่นๆ และสามารถยับยั้งได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การศึกษาฤทธิ์ยับยั้งการสะสมไนเตรท/ไนไตรท์ในปลาร้า ด้วยพืชสมุนไพร 5 ชนิด

สรุปผลการวิจัย

สารไนโตรซามีนเป็นสารก่อมะเร็งที่เกิดจากกระบวนการทางเคมีในสิ่งมีชีวิต การปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหารเป็นความเสี่ยงของผู้บริโภค การตรวจปริมาณสารไนโตรซามีนในปลาร้าที่วางจำหน่ายในเขตเทศบาลนครและเขตรอบเมืองจังหวัดอุดรธานี จำนวน 30 ตัวอย่าง ไม่พบการปนเปื้อนในตัวอย่างปลาร้าหมักและน้ำปลาร้า ทั้งนี้อาจเกิดจากระยะเวลาการหมักที่ยังไม่นานเพียงพอ การสะสมปริมาณสารอยู่ในระดับที่ตรวจไม่พบด้วยวิธีการที่ศึกษา (Pereira et al., 2012)

ปริมาณสารพิโนลิกทั้งหมดในสมุนไพร 5 ชนิด โดยใช้วิตามินซี เป็นสารละลายมาตรฐาน พบว่าในใบย่านางและสะเดาเป็นสมุนไพรที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ซึ่งพบร้อยละของการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดในใบย่านาง (ร้อยละ 72.28) การตรวจระดับสารไนเตรท/ไนไตรท์ในผลิตภัณฑ์ปลาร้า พบว่ามีสารไนเตรท/ไนไตรท์เฉลี่ย 50.38 ± 9.06 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอยู่ในระดับที่กฎหมายกำหนดการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการปนเปื้อนสารไนเตรท/ไนไตรท์ในปลาร้าของพืชสมุนไพร 5 ชนิด พบว่าย่านางมีระดับการยับยั้งการปนเปื้อนได้ดีกว่าสมุนไพรชนิดอื่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ภายใต้งบประมาณสนับสนุนกลุ่มวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ เจริญหอม. (2560). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมุนไพรในการลดปริมาณ
ไนเตรต/ไนไตรต์ในปลาต้ม. (โครงการวิจัยปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ชีววิทยา),
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี).
- กัลยา วัฒนธีรานุการ. (2551). ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูล
อิสระจากกากเมล็ดสบู่ดำ (*Jatropha curcas* Linn.). (การศึกษาอิสระปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น).
- กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2553). *อันตรายจากสาร
ไนโตรซามีน*. (โครงการประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี).
- ชัยณรงค์ คันธพนิต. (2529). *วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์*. กรุงเทพฯ: กรุงเทพมหานคร. 276น.
- ชลธิดา ภูบาลี, พรพิมล ประสานวงษ์ และ เสาวลักษณ์ โผดนอก. (2557). การวิเคราะห์
ปริมาณไนไตรท์ในแฮมและเบคอน โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมทรี.
(โครงการวิจัยปริญญาครุศาสตรบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา).
- ดวงตะวัน ธนะเวช และ หนึ่งฤทัย เข้าบุญ. (2561). การวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์และไนไตรต์
ในผลิตภัณฑ์แฮมหมู โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมทรี. (โครงการวิจัย
ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์), มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี).
- นันทวัน เอื้อวงศ์กุล, ชนาพร รัตนมาลี และ ศักดา ดาดวง. (2560). การวิเคราะห์หาปริมาณ
วิตามินซีในผักและผลไม้พื้นบ้าน จังหวัดนครพนม. *วารสารมหาวิทยาลัยสวนดุสิต*,
10(1), 153-169.
- วัชรภรณ์ ประภาสะโนบล. (2553). วิตามินต้านอนุมูลอิสระ. *วารสารวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี*, 7(1), 56-63.
- ศิริพร ต้นจ้อ. (2560). ไนโตรซามีน สารก่อมะเร็งในอาหาร. *อาหาร*, 47(1), 20-28.

- Makinde, E. A., Radenahmad, N., Adekoya, A. E., & Olatunji, O. J. (2020). *Tiliacora triandra* extract possesses antidiabetic effects in high fat diet/streptozotocin-induced diabetes in rats. *Journal of Food Biochemistry*, e13239.
- Pereira, E. A, Petrucci, J. F. S. & Cardoso, A. A. (2012). Determination of nitrite and nitrate in brazilian meats using high shear homogenization. *Food Anal Methods*, 5, 637 - 642.
- Pinlaor, S., Hiraku, Y., Ma, N., Yongvanit, P., Semba, R., Oikawa, S., Murata, M., Sriipa, B., Sithithaworn, P. & Kawanishi, S. (2004). Mechanism of NO-mediated oxidative and nitrative DNA damage in hamsters infected with *Opisthorchis viverrini*: a model of inflammation-mediated carcinogenesis. *Nitric Oxide*, 11(2), 175-183.
- Sriipa, B., & Pairojkul, C. (2008). Cholangiocarcinoma: lessons from Thailand. *Current Opinion in Gastroenterology*, 24(3), 349-356.
- Thamavit, W., Bhamarapravati, N., Sahaphong, S., Vajrasthira, S., & Angsubhakorn, S. (1978). Effects of dimethylnitrosamine on induction of cholangiocarcinoma in *Opisthorchis viverrini*-infected Syrian golden hamsters. *Cancer Research*, 38(12), 4634-4639.

บทความ

- การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับเมนูผัดไทยวไลยอลงกรณ์ 93
ณัฐสิมา โทชน์นธ์, ณัททัย โชติกลาง, กนกวรรณ ปุณณะตระกูล และอัจฉราพร สมภาร
- ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและคาร์บอนเครดิตจากป่าชุมชนห้วยหินขาว ตำบลด่านศรีสุข 109
อำเภอโพธิ์ตาก จังหวัดหนองคาย
*ศศิธร เพชรแสน, สันติภาพ ศิริวัฒนไพบุลย์, ดารินทร์ ล้วนวิเศษ, วณิชยา จรุงพงษ์
และ ศรียา อินทสินี*
- การยับยั้งสารไนเตรท/ไนไตรท์และไนโตรซามีนในผลิตภัณฑ์ปลาร้า จากสารต้านอนุมูลอิสระ 127
ในพืชสมุนไพร
เศรษฐา เรืองไชย, วิวรรณ แก่นสา และ สุขสันติ ประกอบวงษ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

64 ถ.ทหาร ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000
โทรศัพท์: 042-211040 ต่อ 1702 เว็บไซต์: <http://rdi.udru.ac.th>
เว็บไซต์: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/scudru>
อีเมล: scjournal@udru.ac.th

