



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 (2567)

UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY
JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
Vol.12 Issue.2 (2024)

ISSN 2287-0083

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 (2567)

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (UDON THANI RAJABHAT UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY; ISSN 2287-0083) มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการของคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการและนักศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวารสารรับการตีพิมพ์เผยแพร่บทความ ในกลุ่มวิทยาศาสตร์สาขาเคมี 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 เฟื่องชัย	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 12 ฉบับที่ 2 (2567)

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 12 ฉบับที่ 2 (2567)

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

รองศาสตราจารย์ ดร.คุณเดช สุริหาร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.พัชริน ส่งศรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดิน ประทุมวรรณ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกยูร ดวงอุปมา	มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ ธนะมูล	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ เมืองดุ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชญญ์รินทร์ สมพร	มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันทิวา แก้วมาตย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูเบศร์ พิพิธหิรัญการ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจธรรม สุขณีนวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ทุมมู	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.ยลดา ศรีเศรษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ดร.กุสวดี เปลกระโทก	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ดร.อาทิตย์ ใจช่วง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ดร.รุ่งฤดี ศรีสำออง	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

คณะกรรมการดำเนินงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยวดี ยาบุษดี	ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ณัฏฐนันท์ สุวรรณวงค์	รองประธานกรรมการ
นายกวิพงษ์ หงส์ทอง	กรรมการ
ดร.เบญจธรรม สุขณีนวัฒน์	กรรมการ
นางสาวศิวพร ภูกองทอง	กรรมการ
นายธราดล ปราบภัย	กรรมการ
นางพิมพ์พรพรรณ ศรีภูธร	กรรมการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 (2567)

คณะกรรมการดำเนินงาน

นายอภิเดช อภิพัฒน์ภาคกุล	กรรมการ
นางสาวนัชชา คำบุญมา	กรรมการ
นายธนวิชญ์ ปัจจามาตย์	กรรมการ
นางสาววณัฐพร แพงขวา	กรรมการ
นายรุ่งโรจน์ มีแก้ว	กรรมการและเลขานุการ
นางสาวศศิตา พงศาวลี	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะกรรมการตรวจสอบภาษาต่างประเทศ

รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพรพิทย์ เลิศปรีดากร

พิธีสุนักษร

นางสาวศิวพร ภูกองทอง

ออกแบบปก

นายสุริยา ชัยดำรงณ์
นางสาวศศิตา พงศาวลี

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 12 ฉบับที่ 2 ประจำปี พ.ศ. 2567 มีบทความวิจัยจำนวน 8 บทความ ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมทั้งด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เกษตรศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการ เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษาและผู้อ่านทุกท่าน สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ส่งบทความ และทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานของวารสาร

ปิยวดี ยาบุษดี

บรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
การพัฒนาระบบกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน <i>ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล, วยากร อุดมโกชนัน, กฤษณะ จันทสิทธิ์ และ ปัญญา วงศ์ต่าย</i>	1
วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับปัญหาการขนส่งพืชซีสหัสญาณสีเหลี่ยมคางหมู <i>ดรุณี หันวิสัย</i>	17
อิทธิพลของน้ำส้มควันไม้ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของเมล่อน <i>โฉมยง ไชยอุบล, ยาวพล ชุมพล, วชิราวุธ พิทยะไตร และ วีระชัย ทองดี</i>	37
ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ ไทโรซิเนสของสารสกัดส่วนใบและเหง้าว่านสาวหลง <i>อรณิชา ครองยุดิ และ สุภัทสร วันสุทธะ</i>	49
การศึกษาการคาร์บอนเขชันของเปลือกมะพร้าวอ่อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต โดยใช้เตาเผาถ่านไร่ควัน <i>จิรพันธ์ โชติรัตนศักดิ์, ธราพงษ์ วิทิตตานต์, ณิชฐนัทย์ ชื่นบาน, ชานน เข็ดชวงค์ธนากร, ภูริทัต อยู่สบาย และ จารุ นาถกรณกุล</i>	63
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพู <i>จิรพรรณ เทียนทอง, วิจัยรอง แสงอรุณเลิศ, สาวิตรี ชัคสิทธิ์, ดารณี นิลทอง และ สุภาวิณี แก้วบังเกิด</i>	81
OPTIMIZING GROWTH CONDITIONS FOR WOLFFIA (<i>Wolffia globosa</i>) USING AN AB HYDROPONIC FERTILIZER CULTURING SYSTEM <i>Wiwat Sangpakdee, Wiwat Kaensa, Panya Sasopa and Thaninatphasit Sangpakdee</i>	97

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การประยุกต์ใช้เทคนิค HYBRID AHP-TOPSIS สำหรับคัดเลือกการแปรรูป และพัฒนาผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่	111
<i>สมศักดิ์ ทองแก้ว, ปวีวรรณ นาสวาสดี และ กฤษณะ ช่อวงศ์</i>	

การพัฒนาระบบกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน

DEVELOPMENT OF WIND TURBINE SYSTEM COMBINED WITH SOLAR ENERGY TO GENERATE ELECTRICITY FOR RESIDENTIAL HOUSES AT THE HOUSEHOLD LEVEL

ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล^{1,*}, วายากร อุดมโภชน¹, กฤษณะ จันทสิทธิ์² และ ปัญญา วงศ์ต่าย²
Sarayut Chitphutthanakul^{1,*}, Wayakorn Udompoch¹, Kritsana Chantasit²
and Panya Wongtai²

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

² สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

¹ Energy Technology, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

² Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University

Received: 5 July 2024

Revised: 29 August 2024

Accepted: 29 August 2024

บทคัดย่อ

การทำวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาและพัฒนาระบบกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน และ 2) วิเคราะห์เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลม พลังงานแสงอาทิตย์ และกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ อุปกรณ์ประกอบด้วยกังหันลมขนาด 12 โวลต์ 100 วัตต์ ทำงานร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 120 วัตต์ ติดตั้งบนโครงสร้างขนาดความกว้าง 85 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร ด้านหน้าสูง 135 เซนติเมตร และด้านหลังสูง 145 เซนติเมตร ด้านหลังของโครงสร้างติดตั้งเสาสำหรับยึดกังหันลม สามารถปรับระดับความสูงรวม 320 เซนติเมตร ภายในกล่องควบคุมติดตั้งเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรง แบตเตอรี่ขนาด 65 แอมแปร์ ทดสอบผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมด้วยความเร็วลมคงที่ 5-7 เมตรต่อวินาที รับพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านแผงโซลาร์เซลล์ในช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 17.00 น. เฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง ผลการทดสอบ

* Corresponding author: ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล

E-mail: sarayut.c@rbru.ac.th

พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้นทั้ง 3 รูปแบบ วัดจากปริมาณแบตเตอรี่ภายในร้อยละ 40 มีค่าเท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 15 (ตามลำดับ) โดยระบบกังหันลมทำงานร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เร็วสุดภายในระยะเวลา 4 ชั่วโมง เหมาะสมต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าใน 1 วัน

คำสำคัญ: กังหันลม, พลังงานแสงอาทิตย์, กระแสไฟฟ้า, คริวเรือน

Abstract

The purpose of this research was 1) to study and develop a wind turbine system combined with solar energy for electricity production at household level and 2) to do comparative analysis of electricity production generated from wind turbine solar energy and wind turbine combined with solar energy. The instrument consisted of wind turbine size of 12 Volt with 100-Watt, working with 120-watt of solar panels and installed on 85 cm width, 120 cm length, 135 cm height of front and 145 cm height of back. The pole for wind turbine installation was built and it can be adjusted to 320 cm height. The internal control cabinet was equipped with a DC power converter, 65-amp battery. The experiment was carried out by testing the electricity production from wind turbine at speed of 5-7 m/sec, constantly and receiving solar energy through solar panels from 8:00 a.m. to 5:00 p.m. with average of 6 times/hr. The results showed that the average percentage increased in battery volume for all 3 types by measuring internal battery volume at 40% which equaled to 5, 10 and 15%, respectively. It can be concluded that wind turbine system combined with solar energy can produce electricity as quickly as possible within 4 hrs. which is suitable for electricity production in 1 day.

Keywords: Wind Turbine, Solar Energy, Electric Current, Household

บทนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น เรือใบ ขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ การหมุนของกังหันวิดน้ำ เครื่องโม่หินบดเมล็ดพืชให้เป็นแป้ง เป็นต้น มนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญ และนำพลังงานลมมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากพลังงานลมสามารถพบได้ทั่วไป “กังหันลม” จึงเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้สกัดพลังงานจลน์ของกระแสลม และเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล กล่าวคือเมื่อกระแสลมพัดผ่านใบกังหันจะเกิดการถ่ายทอดพลังงานจลน์ไปสู่ใบกังหันทำให้กังหันหมุนรอบแกน ผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Electric Generator) ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์แม่เหล็ก (ขั้วเหนือและขั้วใต้) และขดลวดระหว่างขั้วของแม่เหล็ก โดยเมื่อขดลวดหมุนระหว่างขั้วแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดนั่นเอง

ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงปัญหาในอนาคตจะมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจนอาจเกิดปัญหาการขาดแคลนพลังงานด้านไฟฟ้า และในบางพื้นที่อาจมีกระแสไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ เช่น ตามเกาะต่าง ๆ หมู่บ้านพักอาศัยที่อยู่ห่างไกล ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้าง และพัฒนาระบบกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดและบริสุทธิ์ สำหรับประเทศไทยมีความเร็วอยู่ที่ระหว่าง 3-5 เมตรต่อวินาที (จอมภพ แววศักดิ์, 2558) ส่วนพลังงานจากแสงอาทิตย์จะสร้างกระแสไฟฟ้าเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ เกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ และประจุบวก (อิเล็กตรอน และโฮล) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้น สำหรับประเทศไทยความเข้มของรังสีของดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศเท่ากับ 18.0 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวันหรือ 5.0 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) จึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างเป็นชุดสาธิตระบบกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์สอดคล้องกับศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล และ กฤษณะ จันทสิทธิ์ (2564) สร้างระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน ติดตั้งอุปกรณ์สาธิตการทำงาน ลงบนแผ่นไวท์บอร์ดขนาดความกว้าง 82 เซนติเมตร ยาว 110 เซนติเมตร และหนา 22 เซนติเมตร โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้ง 3 รูปแบบ (กังหันลม พลังงานแสงอาทิตย์ และกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์) ทั้งนี้สามารถนำผลงานวิจัยเป็นสื่อการเรียนรู้การทำเกษตรของชาวสวนผลไม้ และยังสอดคล้องกับนโยบายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ประกอบด้วยการลดการปล่อยก๊าซเรือน

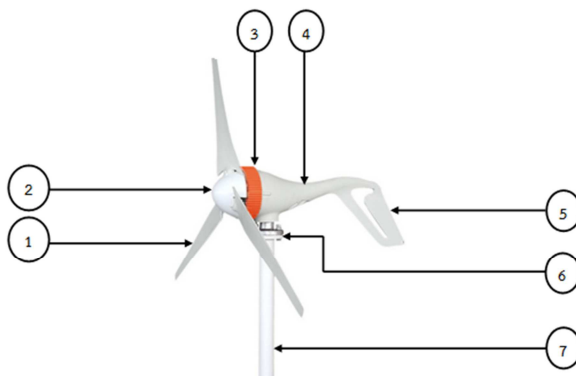
กระจก การดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากชั้นบรรยากาศ และการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการซื้อคาร์บอนเครดิต (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2564)

วิธีดำเนินการวิจัย

ส่วนที่ 1 ศึกษาข้อมูลอุปกรณ์ในการจัดสร้างระบบกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า

1. กังหันลมที่ใช้สำหรับโครงการวิจัย

กังหันลมที่นำมาใช้ในโครงการวิจัยเป็นกังหันลมกังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) ขนาด 3 ใบพัด ดังรูปที่ 1 รุ่น NE-100S3 ขนาดแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ 100 วัตต์ (1) กังหันลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 เซนติเมตร วัสดุทำจากเส้นใยจากไคนอลอน (2) เพลากลมหุ่น ซึ่งรับแรงจากแกนหมุนใบพัด และส่งผ่านระบบกำลัง (3) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า (4) ภายในห้องเครื่องติดตั้งระบบต่าง ๆ ของกังหันลม เช่น ระบบเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เบรก และระบบควบคุม (5) การควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า “หางเสือ” (6) แกนคอกหมุนรับทิศทางลม เป็นตัวควบคุมการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (7) เสากังหันลม เป็นตัวแบกรับส่วนที่เป็นตัวเครื่องที่อยู่ด้านบน ซึ่งเป็นกังหันลมแนวแกนนอนขนาดเล็กเหมาะสำหรับใช้ในครัวเรือน ปริมาณน้ำหนักรวมประมาณ 2 ถึง 10 เมตรต่อวินาที และที่ระดับความเร็วลมปลอดภัยที่ 55 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 1 กังหันลมขนาด 3 ใบพัด

2. แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cells)

แผงโซลาร์เซลล์รับพลังงานแสงและเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า ติดตั้งในลักษณะระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand Alone System) คือ ระบบที่ผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์โดยที่ไม่ต้องเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ซึ่งข้อดีของระบบ คือ เมื่อกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าดับ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ยังคงมีไฟฟ้าใช้งานได้ ข้อเสียของระบบดังกล่าวคือ ต้องใช้แบตเตอรี่เพื่อสำรองพลังงานในการใช้งานตอนกลางคืน (นครินทร์ รินผล, 2559)

3. อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุ (Solar Charge Controller)

อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุ ทำหน้าที่ควบคุมความถี่ของคลื่นไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ให้คงที่ก่อนเข้าสู่แบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่ไม่เสื่อมเร็ว สามารถแสดงสถานการณ์ทำงานระดับการเก็บประจุของแบตเตอรี่ ระบบการตัดไฟอัตโนมัติ ในกรณีไฟแบตเตอรี่ใกล้หมดเพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสียหาย เนื่องจากการใช้ไฟเกินกำลัง (Over Charge/Over Discharge Protection) นั้นเอง

4. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรง (DC) เป็นกระแสไฟฟ้าสลับ (AC) มีค่าแรงดันที่ระดับ 220 โวลต์ ตามกำลังวัตต์ที่ผลิตได้ ชนิดลูกคลื่นแบบ Pure Sine Wave หลักการทำงานคือ การรับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่เครื่องอินเวอร์เตอร์ที่มาจากแบตเตอรี่ แล้วส่งผ่านวงจรไฟฟ้าภายในซึ่งจะทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับตามจำนวนครั้งที่สลับไปมาเท่ากับ 50 ครั้งต่อวินาที

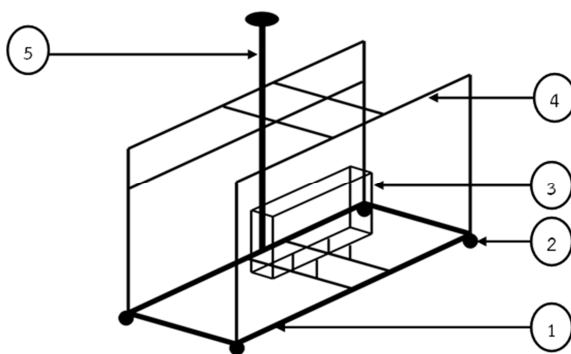
5. แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ชนิด Deep Cycle เป็นแบตเตอรี่ที่มีความสามารถในการปล่อยค่าประจุไฟฟ้าได้มากถึงร้อยละ 60-80 ของประจุไฟฟ้ารวมทั้งหมด และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าประมาณ 4-5 ปี ในขณะที่แบตเตอรี่รถยนต์ทั่วไปนั้นจะมีความสามารถในการปล่อยค่าประจุไฟฟ้าได้เพียงร้อยละ 10-20 ของประจุไฟฟ้ารวมทั้งหมดและมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าคือ 1-2 ปีเท่านั้น จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้แบตเตอรี่แบบ Deep Cycle มีความเหมาะสมและนิยมนำมาใช้งานร่วมกับชุดแผงโซลาร์เซลล์ และกังหันลม

ส่วนที่ 2 การออกแบบโครงสร้าง และระบบกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน

1. การออกแบบโครงสร้างสำหรับติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์

โครงสร้างระบบกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ประกอบด้วยโครงสร้างส่วนล่าง (1) สร้างด้วยโลหะกล่อง ชูซึ่งก็ป้องกันการกัดกร่อน มาทำเป็นฐานของโครงสร้าง และทำหน้าที่รองรับน้ำหนักดังรูปที่ 2 ความสูงจากพื้นอย่างน้อย 10 เซนติเมตร (2) ล้อสำหรับเลื่อนเคลื่อนที่ได้ติดตั้งบริเวณส่วนกลางของพื้นที่แผ่นแพลตฟอร์ม 4 มุม (3) โครงสร้างสำหรับติดตั้งกล่องควบคุมภายในติดตั้งเครื่องควบคุมการชาร์จประจุ เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสสลับ สำหรับตัดต่อวงจรไฟฟ้าระบบการทำงาน และอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้า (Surge Protector) เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (Inverter) และแบตเตอรี่ (4) พื้นสำหรับติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ โดยออกแบบให้มีความเอียงให้เหมาะสม สำหรับรับพลังงานแสงอาทิตย์ (5) เสาทรงกลมจำนวน 2 ท่อน สำหรับติดตั้งชุดกักเก็บลม ทำจากโลหะกลม สามารถปรับระดับความสูงได้ ด้านบนมีแผ่นเพลตสำหรับรองรับตัวกักเก็บลม



รูปที่ 2 โครงสร้างระบบกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์

2. การออกแบบชุดควบคุมกระแสไฟฟ้ากักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 การหาขนาดของแบตเตอรี่ ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ที่นำมาใช้สำหรับงานวิจัยมีขนาด 120 วัตต์ ซึ่งมีแรงดันขณะเปิดวงจร (Open-Circuit Voltage: Voc) เท่ากับ 22 โวลต์ เหมาะสำหรับการใช้กับระบบชาร์จแรงดันไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ที่ระดับ 12 โวลต์ จากสภาพพลังงาน

แสงอาทิตย์สำหรับเขตภูมิภาคของประเทศไทยโดยเฉลี่ยจะได้ค่าพลังงานตลอดทั้งวัน จากค่าระยะเวลาการมีแสงที่ $1 \text{ kW/m}^2/\text{day}$ โดยพื้นที่จังหวัดจันทบุรีมีค่า Peak Sun Hour (PSH) เฉลี่ยเท่ากับ 5 ชั่วโมงต่อวัน (Gaisma, 2565) ซึ่งจะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าที่พอดีชาร์จ ส่งผลทำให้แบตเตอรี่มีกระแสไฟฟ้าเข้ามาเก็บได้เต็มพอดี

$$\begin{aligned} \text{ขนาดของแบตเตอรี่} &= \text{ขนาดกำลังวัตต์สูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์} * 0.6 \\ &= 120 * 0.6 \\ &= 72 \text{ แอมแปร์} \end{aligned}$$

ขนาดของแบตเตอรี่ที่จัดจำหน่ายขนาด 72 แอมแปร์ ไม่พบขนาดที่ตรงตามที่ต้องการ จึงได้นำขนาดที่ใกล้เคียงมาทำการทดลองวิจัย คือ ขนาด 65 แอมแปร์

2.2. การหาขนาดเครื่องควบคุมการชาร์จประจุ (Control Change) สามารถกำหนดได้จากค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ โดยจะต้องเลือกค่าที่สูงกว่าเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบการชาร์จไฟลงแบตเตอรี่ ซึ่งในระบบที่มีขนาดเล็ก อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุจะมีขนาดแรงดัน 12/24 โวลต์ (สำหรับรองรับได้ทั้งระบบ 12 โวลต์ และ 24 โวลต์) สามารถคำนวณได้จาก

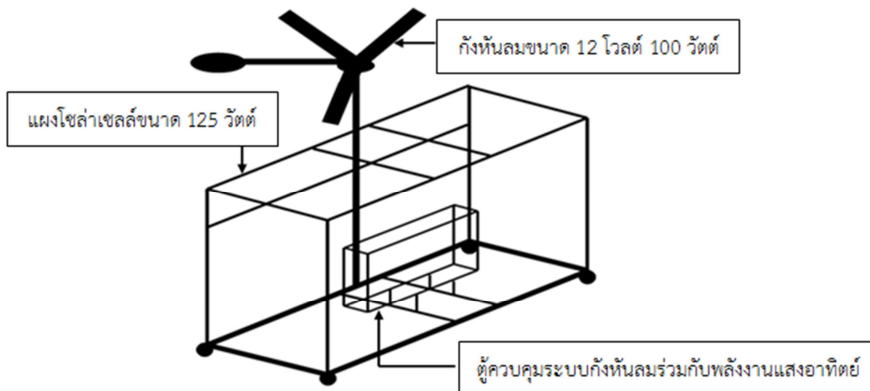
$$\begin{aligned} \text{กระแสไฟฟ้า} &= \text{กำลังวัตต์สูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์} / \text{แรงดันไฟฟ้า} \\ &= 120 \text{ วัตต์} / 12 \text{ โวลต์} \\ &= 10 \text{ แอมแปร์} \end{aligned}$$

ดังนั้น ขนาดของเครื่องควบคุมการชาร์จประจุ (Control Change) ที่ต้องใช้ คือ 10 แอมแปร์ หรือมากกว่าสำหรับอนาคตอาจมีการเพิ่มปริมาณแผงโซลาร์เซลล์ โดยในการวิจัยใช้เครื่องควบคุมการชาร์จประจุขนาด 20 แอมแปร์

ส่วนที่ 3 การจัดสร้างระบบกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน

ดำเนินการจัดสร้างระบบกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน ขนาดกักเก็บ 100 วัตต์ ให้อยู่บนโครงสร้างร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 120 วัตต์ จำนวน 1 แผง ตามมุมลาดเอียง 15-20 องศา (จากรูรรมพิพัฒน์พุทธพันธ์, 2557) ตามรูปแบบดังรูปที่ 2 และเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้ง วสท. 022013-22 เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย : ระบบการผลิตไฟฟ้า

จากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2565) โดยติดตั้งชุดอุปกรณ์ต่างๆ ให้ครบถ้วน โดยให้สามารถตรวจสอบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้



รูปที่ 2 แบบจำลองระบบกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า
สำหรับบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน

ส่วนที่ 4 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและประเมินผลประสิทธิภาพการใช้งาน

ทดสอบประสิทธิภาพ โดยการเก็บข้อมูลเดือนเมษายน 2567 กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองหมุนกังหันลมด้วยความเร็วลมเฉลี่ย 5-7 เมตรต่อวินาที พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 08.00 น.-17.00 น. เก็บข้อมูลเฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง วิเคราะห์ข้อมูลขนาดค่าความเข้มแสง ปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า และการทำงานของกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการเปรียบเทียบการผลิตกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 ลักษณะ โดยวัดจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เหลือในแบตเตอรี่ที่ร้อยละ 40 เก็บค่าปริมาณร้อยละที่เพิ่มขึ้นของแบตเตอรี่ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการจัดสร้างระบบกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน

โครงสร้างระบบกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน พบว่า โครงสร้างส่วนล่างทำด้วยโลหะกล่องขนาดความกว้าง x ยาว 1½ นิ้ว ขนาดความกว้าง 85 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร ด้านหน้าสูง 135 เซนติเมตร และด้านหลังสูง 145 เซนติเมตร สำหรับวางแผงโซลาร์เซลล์ด้วยมุมเอียง 15 องศา ดังรูปที่ 3 โครงสร้างเคลื่อนที่ได้ด้วยล้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว จำนวน 4 ล้อ เชื่อมติดกับมุมของโครงสร้างทั้ง 4 มุม ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของโครงสร้าง ติดตั้งกล่องควบคุมขนาดความกว้าง 57 เซนติเมตร ยาว 69 เซนติเมตร และลึก 25 เซนติเมตร เพื่อเก็บอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน ด้านหลังของโครงสร้าง ขัดตั้งเสาสำหรับยึดกังหันลมด้วยเหล็กกลมขนาด 2½ นิ้ว สำหรับด้านนอกสูง 180 เซนติเมตร และเสาด้านในสูง 200 เซนติเมตร สามารถยึดหัดได้ ความสูงรวม 320 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อน และเพิ่มความมั่นคงเวลากังหันลมทำงานด้วยเหล็กเชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างกับเสาตั้งกังหันลม ทาสีกันสนิม และปกปิดรอยเชื่อมด้วยสีฟ้าชนิดกันน้ำ



รูปที่ 3 โครงสร้างระบบกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า

โครงสร้างกึ่งหันลมขนาด 3 ใบพัด พบว่า เสากึ่งหันลมประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่รองรับกึ่งหันลม ทำจากเหล็กกลมขนาด 2 นิ้ว สูง 200 เซนติเมตร และส่วนชั้นนอก ทำจากเหล็กกลมขนาด 2½ นิ้ว ความสูง 180 เซนติเมตร ระยะความสูงรวมเมื่อต่อกัน 2 ระยะ รวม 320 เซนติเมตร เนื่องจากความสูงของกึ่งหันลมมีปริมาณความสูงเป็นจำนวนมาก จึงกำหนดให้ปรับระดับความสูงได้เป็น 4 ระยะ ๆ ละ 35 เซนติเมตร ซึ่งกึ่งหันลมจะมีสลักสำหรับยึดให้อยู่ในแต่ละระยะ

โครงสร้างแผงโซลาร์เซลล์เพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า โครงสร้างในส่วนของเสา ทั้ง 4 ต้น ทำจากเหล็กกล่องขนาด 1x1 นิ้ว สูงจากระยะโครงสร้างของฐานด้านหน้า 135 เซนติเมตร และด้านหลังสูง 145 เซนติเมตร สำหรับวางแผงโซลาร์เซลล์ด้วยมุมเอียง 15 องศา เพื่อรองรับแผงโซลาร์เซลล์ขนาดความกว้าง 76 เซนติเมตร ยาว 125 เซนติเมตร โดยยึดโครงสร้างเป็นชุดเดียวกันกับกึ่งหันลม

การติดตั้งกล่องควบคุมระบบกึ่งหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า กล่องควบคุมที่นำมาติดตั้งบนฐานวางมีขนาดความกว้าง 57 เซนติเมตร ยาว 69 เซนติเมตร และลึก 25 เซนติเมตร ภายในติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จกึ่งหันลมขนาด 12 โวลต์ 100 วัตต์ และอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 12/24 โวลต์ 20 แอมป์เปร์ ตัดต่อระบบการทำงานด้วยเบรกเกอร์สวิตซ์ทั้ง 2 ระบบด้วยเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 500 โวลต์ 20 แอมป์เปร์ พร้อมกับอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้า (Sure Protector) ขนาด 20 กิโลแอมป์เปร์ 1000 โวลต์ โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะบรรจุลงแบตเตอรี่ขนาด 65 แอมป์เปร์ ก่อนผ่านอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ขนาด 500 วัตต์ เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์

2. ผลการวิเคราะห์ระบบกึ่งหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน

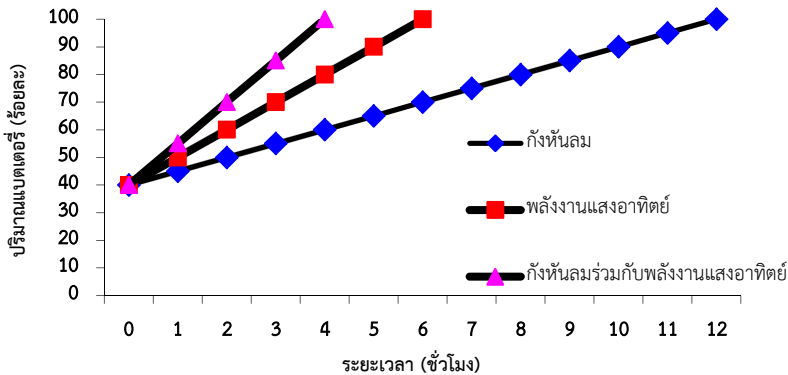
การทดสอบระบบกึ่งหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยทำการทดสอบผลิตกระแสไฟฟ้าชาร์จลงแบตเตอรี่ขนาด 65 แอมป์เปร์ ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระบบกักกันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า

ลักษณะการผลิตกระแสไฟฟ้า	เวลา (1 ชั่วโมง)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1. กักกันลม (ร้อยละ)	5	6	5
2. พลังงานจากแสงอาทิตย์ (ร้อยละ)	10	10	10
3. กักกันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ (ร้อยละ)	15	15	15

ผลการทดสอบกักกันลมผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่า กักกันลมหมุนด้วยความเร็วลมจากการวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วลมยี่ห้อ Peak Meter รุ่น PM6252B โดยเฉลี่ย 5-7 เมตรต่อวินาที จากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง รวมกำลังวัตต์สูงสุดเท่ากับ 100 วัตต์ หมุนด้วยความเร็วรอบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 566.68 รอบต่อนาที สามารถอ่านค่าโวลต์มิเตอร์ได้เท่ากับ 12.75 โวลต์ จำนวนกระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์เท่ากับ 1.72 แอมแปร์ และกำลังวัตต์ที่ได้จากวัตต์มิเตอร์มีค่าเท่ากับ 21.70 วัตต์ จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 5, 6 และ 5 ของปริมาณแบตเตอรี่ 65 แอมแปร์ ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 5 และเมื่อทดสอบการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อบรรจุลงในแบตเตอรี่ให้เต็มจำนวนร้อยละ 100 โดยวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เหลือในแบตเตอรี่ที่ร้อยละ 40 ดังรูปที่ 8 จะใช้เวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมง

ผลการทดสอบพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ พบว่า ช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 120 วัตต์ อยู่ในช่วงเวลา 08.00-17.00 น. ปริมาณความเข้มแสงอยู่ในช่วง 46,066 ถึง 56,079 ลักซ์ สามารถอ่านค่าโวลต์มิเตอร์ได้เท่ากับ 12.72 โวลต์ จำนวนกระแสไฟฟ้าที่อ่านจากแอมมิเตอร์ได้เท่ากับ 6.26 แอมแปร์ และกำลังวัตต์ที่ได้จากวัตต์มิเตอร์มีค่าเท่ากับ 79.63 วัตต์ จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับร้อยละ 10 ของปริมาณแบตเตอรี่ 65 แอมแปร์ ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง มีค่าเท่ากับร้อยละ 10 และเมื่อทดสอบการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อบรรจุลงในแบตเตอรี่ให้เต็มจำนวนร้อยละ 100 ดังรูปที่ 8 โดยวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เหลือในแบตเตอรี่ที่ร้อยละ 40 จะใช้เวลาทั้งหมด 6 ชั่วโมง



รูปที่ 8 ปริมาณระยะเวลาผลิตกระแสไฟฟ้าตามลักษณะที่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่า เมื่อทั้ง 2 ระบบทำงานร่วมกันสามารถอ่านค่าโวลต์มิเตอร์ได้เท่ากับ 12.76 โวลต์ จำนวนกระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์เท่ากับ 8.35 แอมแปร์ และกำลังวัตต์ที่ได้จากวัตต์มิเตอร์มีค่าเท่ากับ 103.95 วัตต์ จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับร้อยละ 15 ของปริมาณแบตเตอรี่ 65 แอมแปร์ ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง มีค่าเท่ากับร้อยละ 15 และเมื่อทดสอบการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อบรรจุลงในแบตเตอรี่ให้เต็มจำนวนร้อยละ 100 ดังรูปที่ 8 โดยวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เหลือในแบตเตอรี่ที่ร้อยละ 40 ของความจุแบตเตอรี่ที่เหลือจะใช้เวลาทั้งหมด 4 ชั่วโมง

สมรรถนะระบบกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่า ปริมาณกระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น โดยการหมุนกังหันลมที่ความเร็วลม 5-7 เมตรต่อวินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ของปริมาณกระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่ พลังงานแสงอาทิตย์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และปริมาณกระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่ของกังหันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 ซึ่งจะสามารถเพิ่มจำนวนกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ขนาด 65 แอมแปร์ ได้เร็วสุดภายใน 4 ชั่วโมง สอดคล้องกับงานวิจัยของทวีศักดิ์ ต้นธอรัม (2559) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมระหว่างกังหันลมความเร็วต่ำขนาด 12 โวลต์ 600 วัตต์ ที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที ติดตั้งที่ความสูง 20 เมตร และพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 600 วัตต์ ทำการเปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 200 วัตต์ เพื่อจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าโดยจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าขนาด 1000 วัตต์ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมความเร็วต่ำ

สามารถจ่ายพลังงานให้กับระบบร้อยละ 22 และประสิทธิภาพของพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานให้กับระบบร้อยละ 78

3. ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับบ้านพักอาศัยในระดับครัวเรือน

ทำการทดสอบสมรรถนะด้วยการใช้งาน เพื่อดูการเก็บกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแบตเตอรี่ขนาด 65 แอมแปร์ โดยการเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมขนาดกำลังการผลิตสูงสุด 100 วัตต์ กระแสไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 120 วัตต์ และกักเก็บร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงผลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า

ปัจจัยที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	กังหันลม	พลังงานแสงอาทิตย์	กักเก็บร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์
1. ด้านพลังงาน			
1.1 กำลังงานไฟฟ้ารวม (วัตต์)	100	120	220
1.2 ค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	12.75	12.72	12.76
1.3 ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	1.72	6.26	8.35
2. ด้านสมรรถนะของระบบ ฯ			
2.1 จำนวนร้อยละกระแสไฟฟ้าที่ได้ต่อชั่วโมง	5	10	15
2.2 เวลาในการเก็บกระแสไฟฟ้า (ชั่วโมง)	12	6	4
2.3 ช่วงเวลาผลิตกระแสไฟฟ้า	ทุกช่วงเวลา	08.00-17.00 น.	08.00-17.00 น.
3. ลักษณะการใช้งานชุดสาธิต ฯ			
3.1 แหล่งกำเนิดพลังงาน	มอเตอร์	แผงโซลาร์เซลล์	มอเตอร์และแผงโซลาร์เซลล์
3.2 ลักษณะการใช้งาน	ความเร็วลม	แสงแดด	ความเร็วลมและแสงแดด
3.3 การควบคุมกระแสไฟฟ้า	Control Chang		
3.4 มอนิเตอร์แสดงผล	โวลต์(V) แอมป์(A) วัตต์(W) มิเตอร์		
3.5 การแปลงแรงดันไฟฟ้า	Inverter		
4. ต้นทุนที่ใช้สร้าง (ส่วนกำเนิดกระแสไฟฟ้า)	3,790 บาท	2,500 บาท	6,290
5. สมรรถนะในภาพรวม	น้อย	ปานกลาง	ดีมาก

สรุปผลการวิจัย

1. ระบบกักกันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับบ้านพักอาศัย ในระดับครัวเรือน ประกอบด้วยกักกันลมขนาด 12 โวลต์ 100 วัตต์ ทำงานร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 120 วัตต์ ผ่านอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุ (Control Chang) ลงแบตเตอรี่ Deep Cycle ชนิด Hybrid Gel ขนาด 65 แอมแปร์ ติดตั้งบนโครงสร้างขนาดความกว้าง 85 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร ด้านหน้าสูง 135 เซนติเมตร และด้านหลังสูง 145 เซนติเมตร สำหรับวางแผงโซลาร์เซลล์ด้วยมุมเอียง 15 องศา ด้านหลังของโครงสร้าง ฯ ติดตั้งเสาสำหรับยึดกักกันลมด้วยเหล็กกลมขนาด 2½ นิ้ว สำหรับด้านนอกสูง 180 เซนติเมตร และเสาด้านในสูง 200 เซนติเมตร ความสูงรวม 320 เซนติเมตร สามารถปรับระยะความสูงได้เป็น 4 ระยะ ระยะละ 35 เซนติเมตร โครงสร้างติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาดความกว้าง 76 เซนติเมตร ยาว 125 เซนติเมตร โดยยึดโครงสร้างเป็นชุดเดียวกันกับกักกันลม

2. ทดสอบผลิตกระแสไฟฟ้าจากการจำลองหมุนกักกันลมด้วยความเร็วลมคงที่ 5-7 เมตรต่อวินาที จากแหล่งกำเนิดลม กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ในช่วงเวลาการทดสอบ 08.00 น. ถึง 17.00 น. เฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง และกระแสไฟฟ้าที่ได้จากกักกันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อทำการชาร์จกระแสไฟฟ้าเข้ากับแบตเตอรี่ขนาด 65 แอมแปร์ วัดปริมาณร้อยละของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้นแต่ละแบบจากปริมาณแบตเตอรี่ภายในร้อยละ 40 ค่าเฉลี่ยทั้ง 3 ครั้ง ของกักกันลมผลิตกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับร้อยละ 5 ใช้เวลา 12 ชั่วโมง พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์เท่ากับร้อยละ 10 ใช้เวลา 6 ชั่วโมง และกักกันลมร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าเท่ากับร้อยละ 15 ใช้เวลา 4 ชั่วโมง เมื่อทั้ง 2 ระบบทำงานร่วมกันจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น ดีกว่าการทำงานแยกระบบใดระบบหนึ่ง เนื่องจากความไม่แน่นอนของกระแสลมที่ไม่สม่ำเสมอ และปริมาณแสงแดดที่ไม่แน่นอนตลอดทั้งวัน ซึ่งในบางฤดูกาลเหมาะสมกับการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยการใช้กระแสลม และในบางฤดูกาลเหมาะสมกับการใช้แสงแดด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนายมณี ภาวะเปลื้อง ประธานวิสาหกิจชุมชนแปลงใหญ่ทุเรียน ตำบลวังโดนด อำเภอนายายอาม จังหวัดจันทบุรี ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการถ่ายทอดเทคโนโลยี และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำต่อการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). *คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2566, จาก http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/h_solar.pdf.
- จารุวรรณ พิพัฒน์พุทธพันธ์. (2557). *ตำแหน่งของทิศที่ควรติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 มกราคม 2567, จาก https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=55175.
- จอมภพ แวศักดิ์. (2558). *เทคโนโลยีพลังงานลม*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทวีศักดิ์ ต้นอร่าม. (2559). ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมระหว่างกังหันลม และ เซลล์แสงอาทิตย์บริเวณทุ่งทะเลแก้ว. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม*, 1(1), 1-10.
- นครินทร์ รินผล. (2559). *คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์เบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: จรัสสินทวงศ์ การพิมพ์.
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2565). *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย : ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล และ กฤษณะ จันทสิทธิ์. (2564). ระบบสาธิตผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากระดับครัวเรือน. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 16(1), 87-102.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2564). *แผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี พ.ศ. 2564-2573*. สืบค้นเมื่อวันที่ 4 สิงหาคม 2566, จาก <https://climate.onep.go.th/wp-content/uploads/2019/07/NDC-Roadmap-for-Printing.pdf>.
- Gaisma. (2565). *Solar Energy and Surface Meteorology*. Retrieved May 9, 2024, from <https://www.gaisma.com/en/location.chanthaburi.html>.

วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับปัญหาการขนส่งฟัซซี่สี่เหลี่ยมคางหมู

OPTIMIZATION METHOD FOR TRAPEZOIDAL INTUITIONISTIC

FUZZY TRANSPORTATION PROBLEMS

ดรุณี หันวิสัย*

Darunee Hunwisai

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

ในพระบรมราชูปถัมภ์

Department of Applied Mathematics, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn

Rajabhat University under the Royal Patronage

Received: 20 May 2024

Revised: 29 August 2024

Accepted: 29 August 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งฟัซซี่สี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal intuitionistic fuzzy transportation) เมื่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีความไม่แน่นอนหรือมีความคลุมเครือ ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหา โดยใช้วิธีมุมตะวันตกเฉียงเหนือ (North-west corner method) ในการหาผลลัพธ์เบื้องต้น และทำการตรวจสอบ ปรับปรุงค่าใช้จ่ายในการขนส่งด้วยวิธีการกระจายแบบดัดแปลง (Modified distribution method) เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ผลการศึกษาพบว่าวิธีที่นำเสนอภายใต้เงื่อนไขความไม่แน่นอน สามารถหาคำตอบที่ถูกต้องและเหมาะสมได้

คำสำคัญ: ปัญหาการขนส่ง, ปัญหาการขนส่งฟัซซี่, ตัวเลขฟัซซี่สี่เหลี่ยมคางหมู

* Corresponding author: ดรุณี หันวิสัย

E-mail: darunee.hun@vru.ac.th

Abstract

The objective of this research is to find a method for solving the trapezoidal intuitionistic fuzzy transportation problem, in which transportation costs are ambiguous or uncertain. The researcher has proposed a solution to the problem using the north-west corner method to find a basic feasible solution. Furthermore, the distribution method was used to check and improve transportation costs to a minimum. From the study results, it was found that the approach can produce appropriate and accurate solutions.

Keywords: Transportation problem, fuzzy transportation problem, Intuitionistic fuzzy number

บทนำ

ในปัจจุบันเราพบว่าระบบการขนส่งสินค้าและโลจิสติกส์มีบทบาทสำคัญต่อธุรกิจการค้ามากขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับบริษัทหรือหน่วยงานที่ทำธุรกิจการขนส่งสินค้ามุ่งเน้นที่จะขนส่งสินค้าให้มีปริมาณมากที่สุด เพื่อรับมือกับความต้องการของตลาด พร้อมทั้งหาแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการขนส่งให้น้อยที่สุดเช่นกัน ซึ่งจำเป็นต้องมีข้อมูลค่าใช้จ่ายที่ชัดเจนในการขนส่งสินค้าแต่ละครั้ง แต่ในปัจจุบันเราพบว่าต้นทุนในการขนส่งมีความไม่แน่นอนหรือมีความผันผวน ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อค่าขนส่งที่สูงขึ้นได้แก่ ระยะเวลาการขนส่ง ความผันผวนของราคาน้ำมันเชื้อเพลิง ฤดูกาลที่ส่งผลต่อการเดินทาง เป็นต้น ทำให้ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจต้องเผชิญกับความไม่แน่นอน ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่ง การแก้ไขปัญหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ผ่านมา จะต้องทราบต้นทุนในการขนส่ง ความสามารถในการผลิต และความต้องการสินค้าที่มีความชัดเจน ซึ่งตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \text{Subject to } \sum_{j=1}^n x_{ij} &\leq a_i, \quad i \in \{1, 2, 3, \dots, m\} \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &\geq b_j, \quad j \in \{1, 2, 3, \dots, n\} \\ x_{ij} &\geq 0, \quad \forall i, j \end{aligned} \quad (1)$$

กำหนดให้ c_{ij} แทนต้นทุนค่าขนส่งต่อหน่วยในการขนส่งทรัพยากรจากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j

x_{ij} แทนปริมาณของทรัพยากรที่ขนส่งจากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j

a_i แทนปริมาณของทรัพยากรของแหล่งต้นทางที่ i

b_j แทนปริมาณความต้องการทรัพยากรของจุดหมายปลายทางที่ j

การใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ (1) มีข้อจำกัดคือต้องทราบค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อหน่วยที่แน่นอน แต่เนื่องจากในสถานการณ์ปัจจุบันค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นมีความไม่แน่นอน ดังนั้นการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้กับสถานการณ์ที่มีค่าใช้จ่ายที่ไม่แน่นอนเป็นสิ่งจำเป็น ภายใต้สถานการณ์ที่ไม่แน่นอนและมีความคลุมเครือนี้สามารถแก้ปัญหาได้โดยนำแนวคิดของ Bellman and Zadeh (1970) ที่เรียกว่าฟัซซี่ เป็นการตัดสินใจในสภาพแวดล้อมที่คลุมเครือมาช่วยแก้ปัญหา ซึ่งต่อมาแนวคิดดังกล่าวได้ถูกนำมาขยายต่อโดย Atanassov (1986) ได้นำเสนอแนวคิดแบบเซตฟัซซี่สหัชญาณซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปหรือเป็นส่วนขยายของฟัซซี่เซต ซึ่งในเซตฟัซซี่สหัชญาณได้มีการกำหนดระดับของการเป็นสมาชิกและระดับของการไม่เป็นสมาชิกพร้อมกัน แนวคิดในการแก้ปัญหาการขนส่งโดยใช้การโปรแกรมเชิงเส้นถูกพัฒนาครั้งแรกโดย Hitchcock (1941) และหลักการดังกล่าวได้รับการพัฒนาและวิจัยอย่างต่อเนื่องในฐานะวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการขนส่ง จากหลักการดังกล่าวนี้ นักวิจัยหลายคนได้นำไปพัฒนาการแก้ปัญหาการขนส่งที่ข้อมูลเป็นแบบ ฟัซซี่ Hussain and Kumar (2012) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งที่มีข้อมูลอุปสงค์และอุปทานเป็นตัวเลขฟัซซี่สหัชญาณสามเหลี่ยม โดยใช้วิธีจุดศูนย์แบบฟัซซี่สหัชญาณในการหาวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสม

ที่สุด Pramila and Uthra (2014) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาการขนส่งแบบฟuzzyสี่เหลี่ยม ซึ่งค่าขนส่ง อุปสงค์ และอุปทานที่ศึกษาเป็นตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมสามเหลี่ยม ได้ทำการปรับตัวฟuzzyสี่เหลี่ยมสามเหลี่ยม ให้เป็นค่าที่เป็นตัวแทนของตัวเลขฟuzzy ก่อนใช้แบบจำลองในการแก้ปัญหา Antony et al. (2014) ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการขนส่ง เมื่อข้อมูลเป็นแบบฟuzzyสี่เหลี่ยมสามเหลี่ยม และใช้วิธีโดยประมาณของโวกเอลในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ Hunwisai and Kumam (2017) ได้ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟuzzy โดยข้อมูลค่าขนส่งแทนด้วยตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมคางหมู ใช้เทคนิคการจัดอันดับที่แข็งแกร่งและเทคนิค Allocation table method หรือ ATM เพื่อหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด และ Kaur and Kumar (2012) นำเสนอวิธีการใหม่ในการแก้ปัญหาการขนส่งฟuzzyโดยใช้ตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมคางหมูทั่วไปแทนข้อมูลต้นทุน อุปสงค์และอุปทาน และใช้อัลกอริทึมที่สร้างขึ้นในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเครื่องมือที่สร้างขึ้นสามารถหาค่าที่เหมาะสมได้

จากแนวคิดในการแก้ปัญหาการขนส่งที่กล่าวมาแล้วนี้ ในบทความนี้ผู้วิจัยขอเสนอวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งฟuzzyสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal intuitionistic fuzzy transportation) เมื่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีความไม่แน่นอน ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการหาผลลัพธ์เบื้องต้นโดยใช้วิธีมตะวันตกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ได้ใช้วิธีการกระจายแบบดัดแปลงสำหรับทำการตรวจสอบและปรับปรุงค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้น้อยที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งฟuzzyสี่เหลี่ยมคางหมู โดยใช้วิธีมตะวันตกเฉียงเหนือในการหาผลลัพธ์เบื้องต้นและปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้ด้วยวิธีการกระจายแบบดัดแปลง

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย มีขั้นตอนดังนี้ 1) ศึกษาทฤษฎีงานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการขนส่ง และการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟuzzy 2) ศึกษาวิธีการหาผลลัพธ์เบื้องต้นที่เหมาะสมกับตัวเลขฟuzzy และศึกษาวิธีการปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้ด้วยวิธีการกระจายแบบดัดแปลง 3) ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟuzzy 4) ทดสอบการหาค่าตอบด้วยวิธีมตะวันตกเฉียงเหนือ ตรวจสอบผลลัพธ์

และปรับปรุงต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 5) นำเสนอวิธีการหาผลลัพธ์และการปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้น 6) สรุปผลการดำเนินงาน

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Zadeh (1965) ได้คิดค้นและแนะนำแนวคิดของฟัซซีเซต ฟัซซีเซตเป็นเซตที่มีขอบเขตแบบคลุมเครือ มีความไม่แน่นอน ในฟัซซีเซตมีการกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกในเซต (Degree of membership) อยู่ระหว่าง 0 และ 1 การกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกจำเป็นต้องใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับฟัซซีเซต สำหรับฟัซซีเซต ฟังก์ชัน $\mu_{\tilde{A}}$ เรียกว่า ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) ของฟัซซีเซต \tilde{A} นิยามดังต่อไปนี้

บทนิยาม 1 กำหนดให้ X เป็นเซต และ $X \neq \phi$ ฟัซซีเซต \tilde{A} ใน X คือคู่อันดับ $(x, \mu_{\tilde{A}})$ และ $\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0,1]$ เรียก $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ว่าระดับความเป็นสมาชิกของ x ในฟัซซีเซต \tilde{A} ดังนั้นค่า $[0,1]$ คือ ระดับความเป็นสมาชิกของ x ในฟัซซีเซต \tilde{A} (Zadeh, 1965)

บทนิยาม 2 กำหนดให้ X เป็นเซต และ $X \neq \phi$ ที่ เซตฟัซซีสัทัญฐาน (Intuitionistic fuzzy set) A ในเซต X เขียนแทนด้วย $\tilde{A} = \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}}(x), \nu_{\tilde{A}}(x) \rangle \mid x \in X \}$ โดยที่ $\mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0,1]$ และ $\nu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0,1]$ เรียก $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ว่าระดับความเป็นสมาชิก (Membership degree) และเรียก $\nu_{\tilde{A}}(x)$ ระดับความไม่เป็นสมาชิก (Non-membership degree) ของ x ที่ $\tilde{A} \subseteq X$ และสำหรับทุกจำนวน $x \in X$ จะได้ว่า $\mu_{\tilde{A}}(x) + \nu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$ (Atanassov, 1986)

บทนิยาม 3 ฟัซซีเซต \tilde{A} จะเรียกว่าเป็นตัวเลขวฟัซซี ถ้ามีสมบัติสอดคล้องดังต่อไปนี้

- 1) เป็นเซตย่อยของจำนวนจริง
- 2) เป็นเซตนูน (Convex) นั่นคือ สำหรับทุกจำนวนจริง x_1 และ x_2 และ

$$\lambda \in [0,1] \quad \mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2))$$

- 3) เป็นเซตเว้า (Convex) นั่นคือ สำหรับทุกจำนวนจริง x_1 และ x_2 และ

$$\lambda \in [0,1] \quad \nu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \leq \max(\nu_{\tilde{A}}(x_1), \nu_{\tilde{A}}(x_2))$$

- 4) เป็นเซตปกติ (Normal) นั่นคือ มีจำนวนจริง x_0 ซึ่งทำให้ $\mu_{\tilde{A}}(x_0) = 1$

$$\text{และ } \nu_{\tilde{A}}(x_0) = 0 \text{ (Dubois \& Prade, 1978)}$$

บทนิยาม 4 ตัวเลขฟuzzy $\tilde{A} = ([l', c, d, r']; t_{\tilde{A}}, w_{\tilde{A}})$ จะเรียกว่าเป็นตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมที่เหลื่อมคางหมู ถ้ามีฟังก์ชันการเป็นสมาชิกและการไม่เป็นสมาชิกดังนี้

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} t_{\tilde{A}} \left(\frac{x-l'}{c-l'} \right) & ; l' \leq x < c \\ t_{\tilde{A}} & ; c \leq x \leq d \\ t_{\tilde{A}} \left(\frac{r'-x}{r'-d} \right) & ; d < x \leq r \\ 0 & ; x < l' \text{ และ } x > r' \end{cases} \quad (2)$$

และ

$$v_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{c-x+w_{\tilde{A}}(x-l')}{c-l'} & ; l' \leq x < c \\ w_{\tilde{A}} & ; c \leq x \leq d \\ \frac{x-d+w_{\tilde{A}}(r'-x)}{r'-d} & ; d < x \leq r \\ 1 & ; x < l' \text{ และ } x > r' \end{cases} \quad (3)$$

เมื่อ $l' \leq c \leq d \leq r'$ ตามลำดับ $t_{\tilde{A}}$ และ $w_{\tilde{A}}$ คือ ระดับความเป็นสมาชิกสูงสุด และระดับการไม่เป็นสมาชิกน้อยสุดของ \tilde{A} ตามลำดับ กำหนดให้

$$\pi_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) - v_{\tilde{A}}(x) \quad (4)$$

$\pi_{\tilde{A}}(x)$ เรียกว่า ระดับความไม่แน่นอนของการเป็นสมาชิกของ $x \in \tilde{A}$ (Wu & Cao, 2013)

จากนิยาม 4 จะเห็นได้ว่า $\mu_{\tilde{A}}(x) + v_{\tilde{A}}(x) = 1$ สำหรับทุกจำนวนจริง x ถ้า $t_{\tilde{A}} = 1$ และ $w_{\tilde{A}} = 0$ ดังนั้นตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมที่เหลื่อมคางหมูทั่วไป $\tilde{A} = ([l', c, d, r']; t_{\tilde{A}}, w_{\tilde{A}})$ เขียนได้เป็น $\tilde{A} = ([l', c, d, r']; 1, 0)$ ซึ่งก็คือตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมคางหมู (Dubois, 1980) ดังนั้นแนวคิดของตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมที่เหลื่อมคางหมู จึงเป็นลักษณะทั่วไปของตัวเลข ฟuzzyสี่เหลี่ยมคางหมู และจาก $\tilde{A} = ([l', c, d, r']; t_{\tilde{A}}, w_{\tilde{A}})$ ถ้า $c = d = p$ แล้ว จะได้ว่า $\tilde{A} = ([l', p, r']; t_{\tilde{A}}, w_{\tilde{A}})$ เป็นตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นกรณีเฉพาะของตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมที่เหลื่อมคางหมู

คางหมู ลำดับต่อไปจะกล่าวถึงการดำเนินการเกี่ยวกับพีชคณิตของตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมคางหมู

บทนิยาม 5 กำหนดให้ $\tilde{A} = ([l_1', c_1, d_1, r_1]; t_{\tilde{A}}, w_{\tilde{A}})$ และ $\tilde{B} = ([l_2', c_2, d_2, r_2]; t_{\tilde{B}}, w_{\tilde{B}})$ เป็นตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมคางหมู และ $\xi \neq 0$ เป็นจำนวนจริงใดๆ การดำเนินการระหว่างตัวเลขฟuzzyและการคูณเชิงสเกลาร์บนตัวเลขฟuzzy เป็นดังนี้

1. $\tilde{A} \oplus \tilde{B} = ([l_1' + l_2', c_1 + c_2, d_1 + d_2, r_1 + r_2]; t_{\tilde{A}} \wedge t_{\tilde{B}}, w_{\tilde{A}} \vee w_{\tilde{B}})$
2. $\tilde{A} \ominus \tilde{B} = ([l_1' - r_2', c_1 - d_2, d_1 - c_2, r_1 - l_2']; t_{\tilde{A}} \wedge t_{\tilde{B}}, w_{\tilde{A}} \vee w_{\tilde{B}})$
3. $\xi \tilde{A} = \begin{cases} ([\xi l_1', \xi c_1, \xi d_1, \xi r_1]; t_{\tilde{A}}, w_{\tilde{A}}); t_{\tilde{A}} \wedge t_{\tilde{B}}, w_{\tilde{A}} \vee w_{\tilde{B}}), & \xi > 0 \\ ([\xi r_1', \xi d_1, \xi c_1, \xi l_1']; t_{\tilde{A}}, w_{\tilde{A}}); t_{\tilde{A}} \wedge t_{\tilde{B}}, w_{\tilde{A}} \vee w_{\tilde{B}}), & \xi < 0 \end{cases}$

โดยที่สัญลักษณ์ “ \oplus ” คือตัวดำเนินการบวกของตัวเลขฟuzzy และ “ \ominus ” คือตัวดำเนินการลบของตัวเลขฟuzzy

“ \wedge ” คือตัวดำเนินการน้อยสุด และ “ \vee ” คือตัวดำเนินการสูงสุด (Li, 2014)

บทนิยาม 6 กำหนดให้ (α, λ) - เซตตัด (Cut set) ของตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมคางหมู $\tilde{A} = ([l', c, d, r]; t_{\tilde{A}}, w_{\tilde{A}})$ เป็นเซตย่อยชัดแจ้ง (Crisp subset) บนจำนวนจริงซึ่งนิยามโดย

$$\tilde{A}_{\alpha}^{\lambda} = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha, \nu_{\tilde{A}}(x) \leq \lambda, x \in R\}$$

โดยที่ $\alpha \in [0, t_{\tilde{A}}]$, $\lambda \in [w_{\tilde{A}}, 1]$ และ $\alpha + \lambda \in [0, 1]$ (Li, 2014)

บทนิยาม 7 กำหนดให้ α - เซตตัด (α - Cut set) และ λ - เซตตัด (λ - Cut set) ของ $\tilde{A} = ([l', c, d, r]; t_{\tilde{A}}, w_{\tilde{A}})$ เป็นเซตย่อยชัดแจ้ง (Crisp subset) บนจำนวนจริงซึ่งนิยามโดย

$\tilde{A}_{\alpha} = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha, x \in R\}$ และ $\tilde{A}^{\lambda} = \{x \in X \mid \nu_{\tilde{A}}(x) \leq \lambda, x \in R\}$ ตามลำดับ (Li, 2014)

จาก $\tilde{A} = ([l', c, d, r]; t_{\tilde{A}}, w_{\tilde{A}})$ และนิยาม 7 โดยที่ $\tilde{A}_{\alpha} = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha, x \in R\}$ และ $\tilde{A}^{\lambda} = \{x \in X \mid \nu_{\tilde{A}}(x) \leq \lambda, x \in R\}$ เป็นช่วงปิดและคำนวณได้ดังนี้:

$$\tilde{A}_\alpha = [L_{\tilde{A}}(\alpha), R_{\tilde{A}}(\alpha)] = \left[\frac{(t_{\tilde{A}} - \alpha)l' + \alpha c}{t_{\tilde{A}}}, \frac{(t_{\tilde{A}} - \alpha)r' + \alpha d}{t_{\tilde{A}}} \right] \quad (5)$$

และ

$$\tilde{A}^\lambda = [L'_{\tilde{A}}(\alpha), R'_{\tilde{A}}(\alpha)] = \left[\frac{(1-\lambda)c + (\lambda - w_{\tilde{A}})l'}{1 - w_{\tilde{A}}}, \frac{(1-\lambda)d + (\lambda - w_{\tilde{A}})r'}{1 - w_{\tilde{A}}} \right] \quad (6)$$

2. การจัดลำดับของฟuzzy set

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอ ฟังก์ชันคะแนน (Score function) ฟังก์ชันความแม่นยำ (Accuracy function) และฟังก์ชันความคลุมเครือ (Ambiguities function) ของตัวเลขฟuzzy set ที่สับสนซึ่งเทียบเคียงความ

บทนิยาม 8 กำหนดให้ \tilde{A} เป็นฟuzzy set ฟังก์ชันคะแนนของ \tilde{A} สำหรับฟังก์ชันการเป็นสมาชิกและการไม่เป็นสมาชิกแสดงเขียนแทนด้วย $M(\mu_{\tilde{A}})$ และ $M(v_{\tilde{A}})$ ตามลำดับ $M(\mu_{\tilde{A}})$ และ $M(v_{\tilde{A}})$ นิยามดังนี้

$$M(\mu_{\tilde{A}}) = \int_0^{t_{\tilde{A}}} [L_{\tilde{A}}(\alpha) + R_{\tilde{A}}(\alpha)]h(\alpha)d(\alpha) \quad (7)$$

และ

$$M(v_{\tilde{A}}) = \int_{w_{\tilde{A}}}^1 [L'_{\tilde{A}}(\lambda) + R'_{\tilde{A}}(\lambda)]g(\lambda)d(\lambda) \quad (8)$$

โดยที่ $h(\alpha)$ และ $g(\lambda)$ สอดคล้องกับเงื่อนไขต่อไปนี้

- 1) $h(\alpha)$ และ $g(\lambda)$ เป็นฟังก์ชันเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ สำหรับ $\alpha \in [0, t_{\tilde{A}}]$ และเป็นฟังก์ชันลดอย่างสม่ำเสมอสำหรับ $\lambda \in [w_{\tilde{A}}, 1]$
- 2) $h(\alpha) \in [0, 1]$ และ $g(\lambda) \in [0, 1]$
- 3) $h(0) = 0$ และ $g(1) = 0$ (De & Das, 2012)

บทนิยาม 9 กำหนดให้ \tilde{A} เป็นฟuzzy set ฟังก์ชันความคลุมเครือของ \tilde{A} สำหรับฟังก์ชันการเป็นสมาชิกและการไม่เป็นสมาชิกแสดงเขียนแทนด้วย $v(\mu_{\tilde{A}})$ และ $v(v_{\tilde{A}})$ ตามลำดับ $v(\mu_{\tilde{A}})$ และ $v(v_{\tilde{A}})$ นิยามดังนี้

$$V(\mu_{\tilde{A}}) = \int_0^{t_{\tilde{A}}} [L_{\tilde{A}}(\alpha) + R_{\tilde{A}}(\alpha)]h(\alpha)d(\alpha) \quad (9)$$

และ

$$V(v_{\tilde{A}}) = \int_{w_{\tilde{A}}}^1 [L'_{\tilde{A}}(\lambda) + R'_{\tilde{A}}(\lambda)]g(\lambda)d(\lambda) \quad (10)$$

(De & Das, 2012)

ต่อไปจะแสดงการหาฟังก์ชันคความแน่น ฟังก์ชันความคลุมเครือและฟังก์ชันความแม่นยำของตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมสี่เหลี่ยมคางหมู

จาก $\tilde{A} = ([l', c, d, r']; t_{\tilde{A}}, w_{\tilde{A}})$ สมการที่ (5), (7) และ $h(\alpha) = \alpha$ นำมาเขียนเป็นฟังก์ชันคความแน่นได้ดังนี้

$$M(\mu_{\tilde{A}}) = \left(\frac{l' + 2c + 2d + r'}{6}\right)t_{\tilde{A}}^2 \quad (11)$$

และในทำนองเดียวกัน จากสมการที่ (6), (8) และ $h(\lambda) = \lambda$ จะได้

$$M(v_{\tilde{A}}) = \left(\frac{l' + 2c + 2d + r'}{6}\right)(1 - w_{\tilde{A}})^2 \quad (12)$$

จากสมการที่ (11) และ (12) จะได้ฟังก์ชันความแม่นยำของตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมสี่เหลี่ยมคางหมู นิยามดังนี้

$$\begin{aligned} \Delta(\tilde{A}) &= \frac{M(\mu_{\tilde{A}}) + M(v_{\tilde{A}})}{2} \\ &= \frac{(l' + 2c + 2d + r')t_{\tilde{A}}^2 + (l' + 2c + 2d + r')(1 - w_{\tilde{A}})^2}{12} \end{aligned} \quad (13)$$

จากสมการที่ (5), (10) และ $h(\alpha) = \alpha$ จะได้ว่า

$$V(\mu_{\tilde{A}}) = \left(\frac{r' - l' + 2d - 2c}{6}\right)t_{\tilde{A}}^2 \quad (14)$$

ในทำนองเดียวกัน จากสมการที่ (6), (10) และ $h(\lambda) = \lambda$ จะได้

$$V(v_{\tilde{A}}) = \left(\frac{r' - l' + 2d - 2c}{6}\right)(1 - w_{\tilde{A}})^2 \quad (15)$$

จากสมการที่ (14) และ (15) จะได้ฟังก์ชันความคลุมเครือของตัวเลขฟuzzyสี่เหลี่ยมสี่เหลี่ยมคางหมู นิยามดังนี้

$$\begin{aligned} \nabla(\tilde{A}) &= \frac{V(\mu_{\tilde{A}}) + V(v_{\tilde{A}})}{2} \\ &= \frac{(r'-l'+2d-2c)t_{\tilde{A}}^2 + (r'-l'+2d-2c)(1-w_{\tilde{A}})^2}{12} \end{aligned} \quad (16)$$

บทนิยาม 10 กำหนดให้ $\tilde{A} = ([l_1', c_1, d_1, r_1']; t_{\tilde{A}}, w_{\tilde{A}})$ และ $\tilde{B} = ([l_2', c_2, d_2, r_2']; t_{\tilde{B}}, w_{\tilde{B}})$ เป็นตัวเลขฟัซซี่สหัชญาณสี่เหลี่ยมคางหมู การจัดลำดับของ \tilde{A} และ \tilde{B} เป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

1. ถ้า $\Delta\tilde{A} > \Delta\tilde{B}$ แล้ว $\tilde{A} > \tilde{B}$
 2. ถ้า $\Delta\tilde{A} < \Delta\tilde{B}$ แล้ว $\tilde{A} < \tilde{B}$
 3. ถ้า $\Delta\tilde{A} = \Delta\tilde{B}$ แล้ว
 - 3.1. ถ้า $\nabla\tilde{A} = \nabla\tilde{B}$ แล้ว $\tilde{A} = \tilde{B}$
 - 3.2. ถ้า $\nabla\tilde{A} > \nabla\tilde{B}$ แล้ว $\tilde{A} < \tilde{B}$
 - 3.3. ถ้า $\nabla\tilde{A} < \nabla\tilde{B}$ แล้ว $\tilde{A} > \tilde{B}$
- (De & Das, 2012)

3. การแก้ปัญหาเส้นทางขนส่ง

ปัญหาการขนส่ง เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรทรัพยากร สินค้าหรือวัตถุดิบจากแหล่งผลิตที่เป็นแหล่งต้นทาง (Sources) ไปยังจุดหมายปลายทาง (Destinations) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้มากที่สุด ภายใต้ความต้องการสินค้าและข้อจำกัดในการผลิตสินค้า การใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง จำเป็นที่จะต้องทราบต้นทุนในการขนส่ง ความสามารถในการผลิต และความต้องการสินค้าที่มีความชัดเจน ซึ่งสามารถคำนวณต้นทุนค่าขนส่งทั้งหมดได้จากสมการที่ (1) เนื่องจากสมการนี้มีข้อจำกัดที่ค่าขนส่งต่อหน่วยต้องเป็นตัวเลขที่แน่นอน แต่เนื่องจากสถานการณ์ในปัจจุบัน ค่าใช้จ่ายมีความไม่แน่นอนหรือเป็นแบบฟัซซี่ จึงต้องมีการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาเพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้น้อยที่สุด ดังนี้

$$\text{Minimize } \tilde{\Psi} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} x_{ij}$$

$$\text{Subject to } \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq \alpha_i, \quad i \in \{1, 2, 3, \dots, m\}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq \beta_j, \quad j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j$$

กำหนดให้ \tilde{c}_{ij} แทนต้นทุนค่าขนส่งต่อหน่วยในการขนส่งสินค้าจากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j

x_{ij} แทนปริมาณของสินค้าที่ขนส่งจากแหล่งต้นทางที่ i ไปยังจุดหมายปลายทางที่ j

α_i แทนปริมาณของสินค้าของแหล่งต้นทางที่ i

β_j แทนปริมาณความต้องการสินค้าของจุดหมายปลายทางที่ j

ถ้า $\sum_{i=1}^m \alpha_i = \sum_{j=1}^n \beta_j$ แล้วกล่าวได้ว่าเป็นปัญหาการขนส่งฟิชชีสมดุล และถ้า $\sum_{i=1}^m \alpha_i \neq \sum_{j=1}^n \beta_j$

แล้วกล่าวได้ว่าเป็นปัญหาการขนส่งฟิชชีไม่สมดุล

4. วิธีการแก้ปัญหาการขนส่ง

ลำดับถัดไปจะแสดงการหาผลลัพธ์เบื้องต้น จากนั้นทำการตรวจสอบและปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้น ดังนี้

4.1 การหาผลลัพธ์เบื้องต้น

เนื่องจากการในที่นี้ข้อมูลค่าขนส่งเป็นตัวเลขฟิชชีสหัญญาณสี่เหลี่ยมคางหมู จึงเลือกใช้วิธีมุมตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการหาผลลัพธ์เบื้องต้น ขั้นตอนการหาผลลัพธ์เบื้องต้นแสดงดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: สร้างตารางการขนส่งจากปัญหาการขนส่งฟิชชีที่กำหนด นำตัวเลขฟิชชีสหัญญาณสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้ใส่ลงในตารางให้ครบทุกช่อง

ขั้นตอนที่ 2: ตรวจสอบตารางในขั้นตอนที่ 1 ว่าเป็นปัญหาการขนส่งแบบสมดุลหรือไม่สมดุล หากพบว่าเป็นปัญหาการขนส่งแบบไม่สมดุล ต้องทำให้สมดุลก่อน จากนั้นไปต่อในขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3: เริ่มต้นพิจารณาจัดสรร (Allocate) ช่องมุมบนด้านซ้าย คือช่อง (cell) ที่ (1,1) (แถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 1) กำหนดค่า $x_{11} = \min(\alpha_i, \beta_j)$ เลือกค่าน้อยสุดลงในช่อง (1,1) ตัดค่า x_{11} ที่ถูกจัดสรรออกจาก α_i และ β_j

ขั้นตอนที่ 4: ลำดับถัดไป พิจารณา α_i และ β_j หลังจากถูกจัดสรรแล้ว

- ถ้าค่า α_i เหลือจากการจัดสรรให้เลื่อนไปจัดสรรช่องว่างด้านขวามือ
- ถ้าค่า β_j เหลือจากการจัดสรรให้เลื่อนไปจัดสรรช่องว่างแถวด้านล่าง

ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนจัดสรรครบทั้งทางด้านอุปสงค์และอุปทาน จะสังเกตได้ว่าช่องที่ถูกจัดสรรแล้วนั้นจะลดหลั่นเลื่อนต่อลงมาทางด้านขวาของตารางจนถึงตำแหน่งมุมล่างสุดของตารางทางด้านขวา

ขั้นตอนที่ 5: คำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งในทุกเส้นทาง หลังจากการจัดสรรตารางเสร็จเรียบร้อยแล้ว

4.2 การตรวจสอบผลลัพธ์เบื้องต้นและการปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้น

ทำการตรวจสอบผลลัพธ์เบื้องต้นที่คำนวณได้และทำการปรับปรุงผลลัพธ์ โดยใช้วิธีการกระจายแบบตัดแปลง มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: จากตารางแสดงผลลัพธ์เบื้องต้นด้วยวิธีมุมตะวันตกเฉียงเหนือ พิจารณาช่องที่ถูกจัดสรร (Basic cell) และไม่ถูกจัดสรร (Non basic cell) ทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2: คำนวณค่า $\tilde{c}_{ij} = u_i \oplus v_j$ เมื่อ \tilde{c}_{ij} คือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายของช่องที่ ij , u_i คือสัมประสิทธิ์ของแถวแนวนอนที่ i , v_j คือสัมประสิทธิ์ของแถวตั้งที่ j และ กำหนดให้ $v_1 = ([-1, 0, 0, 1]; 1, 0)$

ขั้นตอนที่ 3: กำหนดให้ e_{ij} คือช่องที่ไม่ถูกจัดสรร (Non basic cell) คำนวณค่า e_{ij} ทุกช่อง ได้จาก $e_{ij} = \tilde{c}_{ij} \ominus (u_i \oplus v_j)$

ขั้นตอนที่ 4: พิจารณา Δe_{ij} ถ้า $\Delta e_{ij} \geq 0$ ทุกค่า แสดงว่าผลลัพธ์ที่ได้เบื้องต้นเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด หากค่า Δe_{ij} ที่คำนวณได้มีค่า $\Delta e_{ij} < 0$ (บางช่องหรือทุกช่อง) แสดงว่ามีช่องที่สามารถจัดสรรและลดต้นทุนค่าขนส่งให้น้อยลงกว่าเดิมได้อีก

ขั้นตอนที่ 5: ในกรณีที่มีค่า $\Delta e_{ij} < 0$ จะทำการเลือกช่องที่ให้ ค่า Δe_{ij} เป็นลบมากที่สุด ในขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 6: สร้างวงปิด (Closed loop) เพื่อจัดสรรค่าในตารางใหม่ โดยในตอนแรกเริ่มต้นวงปิดด้วยการเลือกช่องว่างและเคลื่อนที่ในแนวตั้งและแนวนอนด้วยช่องมุมที่ถูกเลือกและกลับมาที่ช่องว่างในตอนเริ่มต้นเพื่อทำวงปิดให้สมบูรณ์ ใช้เครื่องหมาย “+” และ “-” ที่มุมของวงปิดในช่องว่างแรกที่เลือกไว้จะกำหนดให้ใช้เครื่องหมาย “+”

ขั้นตอนที่ 7: หาค่าการจัดสรรต่ำสุดจากช่องที่มีเครื่องหมาย “-” หลังจากนั้นนำค่าที่ถูกเลือกไปจัดสรรในช่องที่เลือกไว้ โดยนำค่านี้ไปบวกเข้ากับช่องที่มีเครื่องหมาย “+” และนำค่านี้ไปลบออก จากช่องที่มีเครื่องหมาย “-” จะส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ที่จะต้องทำการปรับปรุง

ขั้นตอนที่ 8: เมื่อทำการจัดสรรในขั้นตอนที่ 7 เรียบร้อยแล้ว ต้องทำการตรวจสอบค่าที่ได้จากตารางอีกครั้ง ตั้งแต่ขั้นตอนแรกถึงขั้นตอนสุดท้าย จนได้ค่า $\Delta e_{ij} \geq 0$ ทุกค่า หากพบว่ายังมีค่าลบเหลืออยู่จะต้องทำการปรับปรุงผลลัพธ์และตรวจสอบผลลัพธ์จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด นั่นคือต้องได้ $\Delta e_{ij} \geq 0$ ทุกค่า

ขั้นตอนที่ 9: คำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่งในทุกเส้นทาง หลังจากการปรับปรุงผลลัพธ์เรียบร้อยแล้ว

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ต่อไปนี้จะนำเสนอตัวอย่างเพื่อแสดงผลลัพธ์เมื่อข้อมูลต้นทุนค่าขนส่งที่มีความไม่แน่นอนเป็นตัวเลขฟัซซี่สหัญฐานสี่เหลี่ยมคางหมู

ตัวอย่างที่ 1 บริษัทผู้ผลิตสินค้ามีความต้องการขนส่งสินค้าที่ผลิตได้จากโรงงาน F1, F2 และ F3 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า Dc_1 , Dc_2 , และ Dc_3 เพื่อส่งต่อสินค้าให้กับตัวแทนจำหน่าย โดยให้มีต้นทุนค่าขนส่งในทุกเส้นทางรวมกันให้น้อยที่สุด ข้อมูลต้นทุนค่าขนส่งสินค้า และความต้องการสินค้า แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการขนส่งแบบฟัซซี่

	Dc_1	Dc_2	Dc_3	กำลังการผลิต (α_i)
F ₁	([3,5,7,1]; 0.6, 0.3)	([2,5,9,1]; 0.7,0.2)	([4,5,9,15]; 0.5,0.3)	40
F ₂	([2,6,8,10]; 0.7, 0.2)	([3,6,9,1]; 0.5,0.4)	([4,7,10,15]; 0.6,0.3)	45
F ₃	([3,5,8,13]; 0.8, 0.1)	([4,8,10,15]; 0.6,0.2)	([5,10,13,15]; 0.7,0.3)	55
ความต้องการ (β_j)	50	60	30	140

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าค่าขนส่งสินค้าแสดงเป็นตัวเลขแบบพีชชีสที่ฐานสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่ง $\sum_{i=1}^3 \alpha_i = 140 = \sum_{j=1}^3 \beta_j$ นั่นคือเป็นปัญหาการขนส่งพีชชีสแบบสมดุล ขั้นตอนต่อไปจะทำการคำนวณผลลัพธ์เบื้องต้นโดยใช้วิธีมุมตะวันตกเฉียงเหนือ ดังนี้

จากตารางที่ 1 เริ่มต้นจัดสรรในช่อง (1, 1) พบว่า $x_{11} = \min(40, 50) = 40$ ดังนั้นเลือกจัดสรรช่องนี้ 40 หน่วย นั่นคือจัดสรรให้ขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_1 ไปยัง D_{C1} จำนวน 40 หน่วย ซึ่งทำให้สินค้าจากโรงงาน F_1 ส่งสินค้าครบเต็มจำนวนแล้ว ไม่สามารถส่งให้กับศูนย์กระจายสินค้าอื่นได้อีก ในขณะที่ศูนย์กระจายสินค้า D_{C1} ยังรับสินค้าได้อีก 10 หน่วย ลำดับถัดไปจะจัดสรรสินค้าที่เหลือในแถวด้านล่าง เนื่องจากศูนย์กระจายสินค้า D_{C1} ยังรับสินค้าได้อีก 10 หน่วยเท่านั้น จึงต้องนำไปพิจารณาในช่อง (2, 1) ด้วย จะได้ว่า $x_{21} = \min(10, 45, 50) = 10$ จัดสรรให้ขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_2 ไปยัง ศูนย์กระจายสินค้า D_{C1} จำนวน 10 หน่วย ซึ่งทำให้ศูนย์กระจายสินค้า D_{C1} รับสินค้าได้เต็มจำนวนแล้ว ลำดับถัดไปจะเลื่อนไปจัดสรรสินค้าที่เหลือในช่องว่างด้านขวามือ เนื่องจากมีการขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_2 ไปแล้ว 10 หน่วย ดังนั้นโรงงาน F_2 จะสามารถส่งสินค้าได้อีกเพียง 35 หน่วยเท่านั้น ดังนั้นนำไปพิจารณาร่วมกับการจัดสรรสินค้าในช่อง x_{22} จะได้ว่า $x_{22} = \min(35, 55, 60) = 35$ ดังนั้นจัดสรรให้ขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_2 ไปยัง ศูนย์กระจายสินค้า D_{C2} จำนวน 35 หน่วย ลำดับถัดไปจะจัดสรรสินค้าที่เหลือในแถวด้านล่าง เนื่องจากศูนย์กระจายสินค้า D_{C2} ยังรับสินค้าได้อีก 25 หน่วยเท่านั้น นำไปพิจารณาร่วมกันในช่อง (3, 2) ด้วย จะได้ว่า $x_{32} = \min(25, 55, 60) = 25$ ดังนั้นจัดสรรให้ขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_3 ไปยัง ศูนย์กระจายสินค้า D_{C2} จำนวน 25 หน่วย ลำดับถัดไปจะเลื่อนไปจัดสรรสินค้าที่เหลือในช่องว่างด้านขวามือ เนื่องจากมีการขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_3 ไปแล้ว 25 หน่วย ซึ่งจะสามารถส่งสินค้าได้อีก 30 หน่วยเท่านั้น นำไปพิจารณาร่วมกันในช่อง (3, 3) ด้วย จะได้ว่า $x_{33} = \min(30, 55, 30) = 30$ ดังนั้นจัดสรรให้ขนส่งสินค้าจากโรงงาน F_3 ไปยังศูนย์กระจายสินค้า D_{C3} จำนวน 30 หน่วย ทำให้โรงงาน F_3 ส่งสินค้าได้ครบตามจำนวน และ D_{C3} ได้รับสินค้าเต็มจำนวน แสดงผลการจัดสรรการขนส่งสินค้าในแต่ละเส้นทาง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การหาผลลัพธ์เบื้องต้นด้วยวิธีมุมตะวันตกเฉียงเหนือ

	Dc ₁	Dc ₂	Dc ₃	กำลังการผลิต (α_i)
F ₁	[(3,5,7,11); 0.6, 0.3] 40	[(2,5,9,11); 0.7, 0.2]	[(4,5,9,15]; 0.5, 0.3)	40
F ₂	[(2,6,8,10]; 0.7, 0.2) 10	[(3,6,9, 11); 0.5, 0.4) 35	[(4,7,10,15]; 0.6, 0.3)	45
F ₃	[(3,5,8,13]; 0.8, 0.1)	[(4,8,10,15]; 0.6, 0.2) 25	[(5,10,13,15]; 0.7, 0.3) 30	55
ความต้องการ (β_j)	50	60	30	140

จากตารางที่ 2 จะได้ว่าผลลัพธ์เบื้องต้นที่เป็นไปได้ คือ $x_{11} = 40$, $x_{21} = 10$, $x_{22} = 35$, $x_{32} = 25$ และ $x_{33} = 30$ และค่าขนส่งทั้งหมด คำนวณค่าขนส่งรวมทั้งหมดที่ได้จากวิธีมุมตะวันตกเฉียงเหนือดังนี้

$$\begin{aligned} \tilde{\Psi} &= \tilde{c}_{11}x_{11} \oplus \tilde{c}_{21}x_{21} \oplus \tilde{c}_{22}x_{22} \oplus \tilde{c}_{32}x_{32} \oplus \tilde{c}_{33}^*x_{33} \\ &= [(3,5,7,13]; 0.6, 0.3)40 \oplus [(2,6,8,10]; 0.7, 0.2)10 \oplus [(3,6,9,12]; 0.5, 0.4)35 \\ &\quad \oplus [(4,8,10,15]; 0.6, 0.2)25 \oplus [(5,10,13,15]; 0.7, 0.3)30 \\ &= [(495,970; 1315, 1865]; 0.5, 0.4) \end{aligned}$$

ขั้นตอนต่อไปจะทำการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้ว่าเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดหรือไม่ และทำการปรับปรุงผลลัพธ์ดังกล่าวด้วยวิธีการกระจายแบบดัดแปลง ดังนี้

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่ามีช่องที่ถูกจัดสรร (Basic cell) เรียบร้อยแล้ว นำมาคำนวณหาค่า u_i และ v_j ซึ่งคำนวณได้จาก $\tilde{c}_{ij} = u_i \oplus v_j$ โดยที่ \tilde{c}_{ij} คือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายของช่องที่ ij , u_i คือสัมประสิทธิ์ของแถวแนวนอนที่ i , v_j คือสัมประสิทธิ์ของแถวตั้งที่ j และกำหนดให้ $v_1 = [-1, 0, 0, 1]; 1, 0)$

คำนวณ \tilde{c}_{11} ได้จากสูตร $\tilde{c}_{11} = u_1 \oplus v_1$ จะได้ว่า

$$u_1 = \tilde{c}_{11} \ominus v_1 = [(3,5,7,13]; 0.6, 0.3) \ominus [-1, 0, 0, 1]; 1, 0) = [(2,5,7,14]; 0.6, 0.3)$$

ในการทำงานเดียวกันในช่องที่ถูกจัดสรรอื่น ๆ หากค่า u_i และ v_j ได้ดังนี้ $u_2 = [1,6,8,11]; 0.7, 0.2)$, $v_2 = ([-8,-2,3,11]; 0.5, 0.4)$, $u_3 = ([-7,5,12,23]; 0.5, 0.4)$, $v_3 = ([-18,-2,8,22]; 0.5, 0.4)$

ลำดับถัดไปคำนวณค่า e_{ij} ทุกช่อง จากสูตร $e_{ij} = \tilde{c}_{ij} \ominus (u_i \oplus v_j)$ พิจารณา e_{12} จะได้ว่า

$$\begin{aligned} e_{12} &= \tilde{c}_{12} \ominus (u_1 \oplus v_2) = ([2, 5, 9, 13]; 0.7, 0.2) \ominus ([-6, 3, 10, 25]; 0.5, 0.4) \\ &= ([-23, -5, 6, 19]; 0.5, 0.4) \end{aligned}$$

ในการทำงานเดียวกันช่องที่ไม่ถูกจัดสรรอื่น ๆ จะสามารถหาค่า e_{ij} ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} e_{13} &= ([-32, -10, 6, 31]; 0.5, 0.4), \quad e_{23} = ([-29, -9, 6, 32]; 0.5, 0.4), \\ e_{31} &= ([-21, -7, 3, 21]; 0.5, 0.4) \end{aligned}$$

นำค่า e_{ij} ที่ได้ มาคำนวณค่า Δe_{ij} ซึ่งจะได้ว่า

$$\Delta e_{12} = -0.102, \quad \Delta e_{13} = -0.458, \quad \Delta e_{23} = -0.153 \quad \text{และ} \quad \Delta e_{31} = -0.407$$

จากการคำนวณค่า Δe_{ij} พบว่าค่า Δe_{ij} ติดลบทุกค่าและค่าที่ติดลบมากที่สุดคือ $\Delta e_{13} = -0.458$ ดังนั้นจะทำการปรับปรุงให้ได้ค่า $\Delta e_{ij} \geq 0$

ขั้นตอนต่อไปจะต้องจัดสรรค่าในตารางใหม่ โดยเริ่มต้นสร้างวงปิด ที่ช่อง (1, 3) ทำวงปิดที่ช่อง (1, 3) ไปยังช่อง (1, 1) ต่อไปยังช่อง (2, 1) ต่อไปยังช่อง (2, 2) ต่อไปยังช่อง (3, 2) ต่อไปยังช่อง (3, 3) และกลับมายังช่อง (1, 3) หลังจากนั้นใส่เครื่องหมาย “+” และ “-” สลับกันตามลำดับ ขั้นตอนต่อไปหาค่าตอบที่น้อยที่สุดในวงปิดที่มีเครื่องหมาย “-” ปรากฏอยู่ในที่นี้จะพบว่า ตัวเลข 30 เป็นตัวเลขที่น้อยที่สุดที่มีเครื่องหมาย “-” ลำดับต่อไปให้นำค่า 30 ไปบวกเข้ากับค่าในช่องที่มีเครื่องหมาย “+” และนำ 30 ไปลบออกจากช่องที่มีเครื่องหมาย “-” ทำเช่นนี้จนครบวงปิด แสดงดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 การสร้างวงปิด

	Dc ₁	Dc ₂	Dc ₃	กำลังการผลิต (α_i)
F ₁	[(3,5,7,13); 0.6, 0.3]	[(2,5,9,13); 0.7,0.2]	[(4,5,9,15); 0.5,0.3]	40
F ₂	[(2,6,8,10); 0.7, 0.2]	[(3,6,9,12); 0.5,0.4]	[(4,7,10,15); 0.6,0.3]	45
F ₃	[(3,5,8,13); 0.8, 0.1]	[(4,8,10,15); 0.6,0.2]	[(5,10,13,15); 0.7,0.3]	55
ความต้องการ (β_j)	50	60	30	140

ตารางที่ 4 การปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้น

	Dc ₁	Dc ₂	Dc ₃	กำลังการผลิต (α_i)
F ₁	[(3,5,7,1); 0.6, 0.3]	[(2,5,9,1); 0.7,0.2]	[(4,5,9,15); 0.5,0.3]	40
F ₂	[(2,6,8,10); 0.7, 0.2]	[(3,6,9, 1); 0.5,0.4]	[(4,7,10,15); 0.6,0.3]	45
F ₃	[(3,5,8,13); 0.8, 0.1]	[(4,8,10,15); 0.6,0.2]	[(5,10,13,15); 0.7,0.3]	55
ความต้องการ (β_j)	50	60	30	140

จากตารางที่ 4 ทำการตรวจสอบค่า Δe_{ij} อีกครั้ง ซึ่งจะได้ว่า

$\Delta e_{12} = -0.102$, $\Delta e_{23} = 0.37$, $\Delta e_{31} = -0.407$, $\Delta e_{32} = 0$ นั่นคือมีบางค่า $\Delta e_{ij} < 0$ ดังนั้นจะต้องปรับปรุงผลลัพธ์และตรวจสอบผลลัพธ์ใหม่อีกครั้งจนกว่าจะได้ค่า $\Delta e_{ij} \geq 0$ ทุกค่า ซึ่งหลังจากที่ได้ค่า $\Delta e_{ij} \geq 0$ ทุกค่า จะได้ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้นที่ให้ค่า $\Delta e_{ij} \geq 0$ ทุกค่า

	Dc_1	Dc_2	Dc_3	กำลังการผลิต (α_i)
F_1	[(3,5,7,1); 0.6, 0.3]	[(2,5,9,1); 0.7,0.2]	[(4,5,9,15); 0.5,0.3]	40
		10	30	
F_2	[(2,6,8,10); 0.7, 0.2]	[(3,6,9, 1); 0. 5,0.4]	[(4,7,10,15); 0.6,0.3]	45
		45		
F_3	[(3,5,8,13); 0.8, 0.1]	[(4,8,10,15); 0.6,0.2]	[(5,10,13,15); 0.7,0.3]	55
	50	5		
ความต้องการ (β_j)	50	60	30	140

จากตารางที่ 5 จะได้ว่าผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด คือ $x_{12} = 10$, $x_{13} = 30$, $x_{22} = 45$, $x_{31} = 50$ และ $x_{32} = 5$ ดังนั้นค่าขนส่งรวมที่ต่ำที่สุด คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \tilde{\Psi} &= [2,5,9,13];0.7,0.2]10 \oplus ([4,5,9,15];0.5,0.3)30 \oplus ([3,6,9,12];0.5,0.4)45 \\ &\oplus ([3,5,8,13];0.8,0.1)50 \oplus ([4,8,10,15];0.6,0.2)5 \\ &= ([445,760,1215,1845];0.5,0.4) \end{aligned}$$

ค่าขนส่งรวมต่ำที่สุดที่คำนวณได้ คือ $([445,760,1215,1845]; 0.5, 0.4)$ จะเห็นได้ว่าจากการปรับปรุงผลลัพธ์เบื้องต้นทำให้มีการปรับปริมาณสินค้า และเส้นทางในการขนส่งใหม่ในบางเส้นทาง ซึ่งส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในการขนส่งลดลงจากเดิม ซึ่งในการคำนวณผลลัพธ์เบื้องต้นได้คำตอบเป็น $([495,970;1315,1865];0.5,0.4)$

จากค่าขนส่งรวมที่ต่ำที่สุดที่คำนวณได้หลังจากมีการปรับปรุงผลลัพธ์ $([445, 760, 1215, 1845]; 0.5, 0.4)$ สามารถแปลความหมายได้ดังนี้ ต้นทุนค่าขนส่งที่ซึ่งสัญญาขาดทุนขั้นต่ำที่สุดจะอยู่ในช่วง $[445, 1845]$ เมื่อ $(\alpha, \lambda) = (0.5, 0.4)$ นั่นคือระดับการยอมรับต้นทุนการขนส่งสำหรับการตัดสินใจจะเพิ่มขึ้น หากต้นทุนเพิ่มขึ้นจาก 445 เป็น 760 ระดับการยอมรับต้นทุนการขนส่งสำหรับการตัดสินใจนั้นคงที่เมื่อต้นทุนอยู่ในช่วง 760–1215 ในขณะที่ระดับการยอมรับต้นทุนการขนส่งสำหรับการตัดสินใจจะลดลงหากต้นทุนเพิ่มขึ้นจาก 1,215 เป็น 1,845 ต้นทุนการขนส่งเป็นที่ยอมรับโดยสิ้นเชิงหากต้นทุนการขนส่งอยู่ในช่วง $[760, 1215]$ ระดับของการไม่ยอมรับค่าขนส่งเพื่อการตัดสินใจจะลดลงหากต้นทุนเพิ่มขึ้น

จาก 445 เป็น 760 ระดับของการไม่ยอมรับค่าขนส่งสำหรับการตัดสินใจจะคงที่เมื่อต้นทุนอยู่ในช่วง 760–1215 ในขณะที่ระดับของการไม่ยอมรับค่าขนส่งเพื่อการตัดสินใจจะเพิ่มขึ้นหากต้นทุนเพิ่มขึ้นจาก 1,215 เป็น 1,845

สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งฟuzzy ที่เหมาะสมที่สุด คางหมุ โดยใช้วิธีมุมตะวันตกเฉียงเหนือในการหาผลลัพธ์เบื้องต้นและปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้ด้วยวิธีการกระจายแบบตัดแปลง จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการขนส่งแบบฟuzzy ที่เหมาะสมที่สุดได้ วิธีการที่นำเสนอนี้จะทำให้ผู้ประกอบการทางธุรกิจการขนส่งสินค้า หรือเจ้าของกิจการที่ต้องการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีเครื่องมือที่ช่วยในคำนวณ เป็นประโยชน์สำหรับการคาดการณ์ต้นทุนการขนส่งภายใต้สถานการณ์ที่ข้อมูลมีความไม่แน่นอนหรือมีความคลุมเครือ ข้อดีของวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ปัญหาที่เป็นตัวเลขฟuzzy แบบอื่นได้ เช่น ตัวเลขฟuzzy สามเหลี่ยมหรือตัวเลขฟuzzy สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม ได้อีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้มีข้อจำกัดสำหรับปัญหาการขนส่งหลายวัตถุประสงค์เชิงเส้น และรวมถึงรูปร่างอื่นๆ (ไม่เชิงเส้น) สำหรับฟังก์ชันสมาชิก เช่น ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเอ็กซ์โปเนนเชียล ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกไฮเปอร์โบลิก เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- Antony, R. J. P., Savarimuthu, S. J., & Pathinathan, T. (2014). Method for solving the transportation problem using triangular intuitionistic fuzzy number. *International Journal of Computing Algorithm*, 3(1), 590-605.
- Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87-96.
- Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management science*, 17(4), 141-164.
- De, P. K., & Das, D. (2012). Ranking of trapezoidal intuitionistic fuzzy numbers. In *2012 12th international conference on intelligent systems design and applications (ISDA)* (pp. 184-188). IEEE.

- Dubois, D. J. (1980). *Fuzzy sets and systems: theory and applications* (Vol. 144). Academic press.
- Dubois, D., & Prade, H. (1978). Operations on fuzzy numbers. *International Journal of systems science*, 9(6), 613-626.
- Hitchcock, F. L. (1941). The distribution of a product from several sources to numerous localities. *Journal of mathematics and physics*, 20(1-4), 224-230.
- Hunwisai, D., & Kumam, P. (2017). A method for solving a fuzzy transportation problem via Robust ranking technique and ATM. *COGENT mathematics*, 4(1), 1283730.
- Hussain, R. J., & Kumar, P. S. (2012). Algorithmic approach for solving intuitionistic fuzzy transportation problem. *Applied mathematical sciences*, 6(80), 3981-3989.
- Kaur, A., & Kumar, A. (2012). A new approach for solving fuzzy transportation problems using generalized trapezoidal fuzzy numbers. *Applied soft computing*, 12(3), 1201-1213.
- Li, D. F. (2014). *Decision and game theory in management with intuitionistic fuzzy sets* (Vol. 308, pp. 1-441). Berlin: springer.
- Pramila, K., & Uthra, G. (2014). Optimal solution of an intuitionistic fuzzy transportation problem. *Annals of Pure and Applied Mathematics*, 8(2), 67-73.
- Wu, J., & Cao, Q. W. (2013). Same families of geometric aggregation operators with intuitionistic trapezoidal fuzzy numbers. *Applied Mathematical Modelling*, 37(1-2), 318-327.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.

อิทธิพลของน้ำส้มควันไม้ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของเมล่อน EFFECT OF WOOD VINEGAR ON GROWTH AND YIELD IN MELON

โฉมยง ไชยอุบล¹, เยาวพล ชูมพล^{1,*}, วชิราวุธ พิทยะไตร¹ และ วีระชัย ทองดี²
Chomyong Chaiubon¹, Yaovapol Choompol^{1,*}, Wachirawut Pisayatain¹
and Weerachai Thongdee²

¹ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

² สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

¹ Agriculture Program, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University

² Animal Science, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University

Received: 16 August 2024

Revised: 30 August 2024

Accepted: 30 August 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของน้ำส้มควันไม้ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของเมล่อนสายพันธุ์จินทร์ฉาย แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์(Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 6 ซ้ำ ปลูกเมล่อนสายพันธุ์จินทร์ฉายลงในถุงพลาสติกดำ ซึ่งกำหนดให้อัตราส่วนผสมของน้ำส้มควันไม้ต่อน้ำเป็นทริตเมนต์ ซึ่งมี 4 ทริตเมนต์ ได้แก่ ทริตเมนต์ที่ 1 รดต้นเมล่อนด้วยน้ำเปล่า (T1) คือ ชุดควบคุม ทริตเมนต์ที่ 2 รดด้วยน้ำส้มควันไม้ต่อน้ำในอัตราส่วน 1:100 (T2) ทริตเมนต์ที่ 3 รดด้วยน้ำส้มควันไม้ต่อน้ำในอัตราส่วน 1:200 (T3) และทริตเมนต์ที่ 4 รดด้วยน้ำส้มควันไม้ต่อน้ำในอัตราส่วน 1:300 (T4) ซึ่งทำการรดต้นเมล่อนด้วย 4 ทริตเมนต์นี้ ทุกสัปดาห์หลังย้ายปลูก จากนั้นวัดการเจริญเติบโตของต้นเมล่อนในด้านต่าง ๆ ทุกสัปดาห์ ได้แก่ ด้านความสูง จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ และความยาวก้านใบ สำหรับความกว้างผล ความยาวผล น้ำหนักผล และค่าความหวาน จะทำการตรวจวัดที่อายุเก็บเกี่ยวเมล่อนครบ 6 สัปดาห์ จากผลการทดลอง พบว่า การรดต้นเมล่อน

* Corresponding author: เยาวพล ชูมพล

E-mail: yaovapol.ch@udru.ac.th

ด้วยทรีตเมนต์ที่ 2 (1:100) และทรีตเมนต์ที่ 3 (1:200) เมื่อต้นเมล่อน มีอายุ 1, 2 และ 6 สัปดาห์หลังย้ายปลูก มีผลทำให้ความสูงของต้นเมล่อนมีค่าสูงที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตในด้านจำนวนใบ ความยาวก้านใบ ความยาวใบ และความกว้างของใบเมล่อน อีกทั้งยังไม่มีผลต่อความยาวผล ค่าความหวาน และน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ยของผลเมล่อน ในการวิจัยครั้งนี้อาจสรุปได้ว่าน้ำส้มควันไม้ในอัตราส่วนผสมต่อน้ำที่ 1:100 และ 1:200 มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของเมล่อนในด้านความสูงของลำต้นในช่วงอายุ 1-6 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก

คำสำคัญ: น้ำส้มควันไม้, การเจริญเติบโต, เมล่อน

Abstract

The objective of this research is to study the effect of wood vinegar on growth and yield in melon (*Cucumis melo* L.). The experiment were conducted under greenhouse conditions, by using black plastic grow bags to determine the growth and yield of melon in response to wood vinegar mixed as liquid fertilizer for watering the melon tree. The treatments were arranged in a Completely Randomized Design: CRD with 4 treatments, and 6 replications. The four different treatments which consisting of wood vinegar and water ratio such as; treatment 1 (T1) was determined as control with watering only, treatment 2 (T2) 1:100, treatment 3 (T3) 1:200, and treatment 4 (T4) 1:300. All of them will be watered in every week after transplanting. And then, investigated and recorded on growth parameter in every week; height of stem, number of leaves, width of leaves, length of leaves, and length of petioles whereas the width of fruit, length of fruit, weight of fruit and °brix will be measured at the age of harvesting melon 6 weeks. After that the obtained data by means and statistical differences by

using Least Significant Difference (LSD) will analyzed, to compare the results from each treatment. It was found that the melon tree which watered with treatment 2 (T2) 1:100 and treatment 3 (T3) 1:200 had the greatest influence on height melon stem at 1, 2 and 6 weeks after transplanting. On the other hand, wood vinegar had not significant effects on leaf number, leaf wide, leaf length, petioles leaf length, fruit length, fruit weight as melon yields, and °brix. In this research, it can be concluded that the ratio of water and wood vinegar 1:100 and 1:200 has an influence on the melon growth only in length of stem.

Keywords: wood vinegar, growth, melon

บทนำ

เมล่อน (*Cucumis melo* L.) เป็นพืชตระกูลเดียวกับแตง ซึ่งมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกาและเอเชีย มีการปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศแถบเอเชีย อาทิเช่น ญี่ปุ่น จีน เวียดนามรวมถึงประเทศไทย ปัจจุบันการปลูกเมล่อนเป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจากว่าเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี เนื้อนุ่ม หวานฉ่ำและมีกลิ่นหอม สีของเนื้อผลไม้มีความหลากหลาย ทั้งขาว ครีมหelio งเขียว แสด และส้ม อีกทั้งยังเป็นพืชที่ใช้ระยะเวลาในการปลูกและเก็บเกี่ยวสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลไม้ชนิดอื่น ๆ จึงทำให้เกษตรกรนิยมเพาะปลูกกันมากขึ้น อาจมีการเพาะปลูกในโรงเรือน หรือปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ (ไร้ดิน) อย่างไรก็ตามการปลูกเมล่อนเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการของตลาดและผู้บริโภคนั้น ต้องมีการวางแผน และจัดการที่ถูกต้องและเหมาะสมตั้งแต่การเลือกพันธุ์ การให้น้ำ ให้อุณหภูมิ การตัดแต่ง การผสมเกสร รวมถึงการป้องกัน และกำจัดศัตรูพืชที่เป็นปัญหาสำคัญ เพื่อให้ได้ผลผลิตดี มีต้นทุนต่ำ เกษตรกรผู้ปลูกเมล่อนจึงใช้วิธีการต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยการปลูกในสภาพโรงเรือน ที่ควบคุมสภาพแวดล้อมได้ รวมถึงการใช้ฮอร์โมนหรือสารเร่งการเจริญเติบโตที่ได้จากปุ๋ยโดยตรงหรือได้จากสารสกัดจากธรรมชาติ เช่น น้ำส้มควันไม้ เป็นต้น

น้ำส้มควันไม้ (Wood Vinegar) คือ ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการเผาถ่าน มีลักษณะเหลวสีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล ได้จากการควบแน่นของควันไฟที่เกิดจากการเผาถ่าน ในช่วงอุณหภูมิ 300-400 องศาเซลเซียส ทำให้สารประกอบต่าง ๆ ในไม้พินสลายตัวด้วยความร้อน เกิดเป็นสารประกอบขึ้นใหม่ซึ่งมีประโยชน์มากมาย น้ำส้มควันไม้มีสารประกอบสำคัญ ได้แก่ น้ำ 85% กรดอินทรีย์ 3% และสารอินทรีย์อื่น ๆ 12% มีค่า pH 1.5-3.7 ถ้าเก็บน้ำส้มควันไม้ช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส น้ำส้มควันไม้ที่ได้จะมีสารประกอบที่มีประโยชน์ แต่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างจำกัด น้ำส้มควันไม้มีการนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายด้าน โดยมีการนำไปใช้เป็นสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ชับไล่แมลง (Chalermnan & Peerapan, 2009) และใช้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช (Zhu et al., 2021) จากการศึกษาของ Chalermnan and Peerapan (2009) ซึ่งให้เห็นว่าน้ำส้มควันไม้สามารถกำจัดด้วงถั่วเขียวในแปลงปลูกพืชได้ นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำส้มควันไม้ มีคุณสมบัติใช้เป็นสารช่วยส่งเสริมการงอกของเมล็ด และยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชผักหลากหลายชนิด เช่น แตงกวา (Abdolahipour & Haghghi, 2019) แคนตาลูป (Zulkarami et al., 2011) มะเขือเทศ Mungkunkamchao et al. (2013) และ Rapeseed (Zhu et al., 2021) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ อิสมะแอ เจ๊ะหลง และ ลักขณา รักขพันธ์ (2558) พบว่า ต้นกล้วยพาราที่รดด้วยน้ำส้มควันไม้ ทำให้ต้นกล้วยมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ คริษฐ์สพล หนูพรหม และคณะ (2559) พบว่า การใช้ น้ำส้มควันไม้ทำให้บรอกโคลีมีการเจริญเติบโต และผลผลิตสูง เช่นเดียวกับการศึกษาของ สุจิตรา สีนุการณ์ (2560) พบว่า การแช่เมล็ดผักคะน้าในน้ำส้มควันไม้ มีผลทำให้เมล็ดมีเปอร์เซ็นต์ความงอก ดัชนีการงอก เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตสูงขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่า ชนิดไม้ที่ใช้ผลิตน้ำส้มควันไม้ยังมีผลต่อความงอกและการเจริญเติบโตของพืชด้วย (รัชณี พุทธา และ รัตติกาล เสนน้อย, 2562; Mu et al., 2003) โดยน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากไม้ยูคาลิปตัส สามารถเพิ่มค่าความหวานในหัวแก่่นตะวันได้ดีกว่าน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่และจากต้นลำไย (รัชณี พุทธา และ รัตติกาล เสนน้อย, 2562) จึงอาจกล่าวได้ว่า น้ำส้มควันไม้มีศักยภาพในการนำมาใช้เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของพืชได้ ซึ่งอาจจะนำมาประยุกต์ใช้กับการเพาะปลูกเมล็ดอื่นได้เช่นกัน ดังนั้นน้ำส้มควันไม้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรที่จะสามารถลดต้นทุนในการผลิต ลดปริมาณการใช้ฮอร์โมนและสารเคมี อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

วิธีการดำเนินการวิจัย

ทำการทดลองในสภาพโรงเรือน ศูนย์วิจัยและพัฒนาบ้านตาด มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2564 ถึงเดือนกรกฎาคม 2564 การวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Design (CRD) จำนวน 6 ซ้ำ กำหนดให้ทรีตเมนต์ คือ อัตราส่วนน้ำส้มควันไม้ที่แตกต่างกัน 4 ทรีตเมนต์ ได้แก่ ทรีตเมนต์ที่ 1 (T1) รดด้วยน้ำเปล่า (Control) ทรีตเมนต์ที่ 2 (T2) รดด้วยน้ำส้มควันไม้ ที่ได้จากกระบวนการเผาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร ใช้ไม้มะขามที่เหลือจากการการตัดแต่งกิ่งออก โดยเริ่มเก็บน้ำส้มควันไม้อุณหภูมิที่ปากปล่อง 80 – 125 °C ใช้เวลาเก็บ 7 ชั่วโมง ได้น้ำส้มควันไม้ประมาณ 5 ลิตร จากนั้นทำให้น้ำส้มควันไม้บริสุทธิ์โดยเก็บไว้ในภาชนะทึบแสงและไม่มีสิ่งรบกวนอย่างน้อย 3 เดือน จึงนำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ประโยชน์ จากนั้นนำไปใช้ในอัตราส่วน 1:100 ทรีตเมนต์ที่ 3 (T3) รดด้วยน้ำส้มควันไม้ต่อน้ำ อัตราส่วน 1:200 และทรีตเมนต์ที่ 4 (T4) รดด้วยน้ำส้มควันไม้ต่อน้ำ อัตราส่วน 1:300

การเตรียมต้นกล้าเมล่อน นำเมล็ดเมล่อนแช่น้ำอุ่น 2 ชั่วโมง แล้วห่อด้วยผ้าขาวทิ้งไว้นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดที่ได้ไปปลูกลงหลุม ๆ ละ 1 เมล็ด บนถาดเพาะเมล็ดโดยใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะ การเตรียมวัสดุปลูก โดยผสมวัสดุปลูกที่มีอัตราส่วนของดิน: แกลบดิบ: แกลบดำ เป็น 1:1:1 เมื่อต้นกล้าในถาดเพาะอายุได้ 14 วัน ทำการย้ายต้นกล้าลงในถุงพลาสติกดำขนาด 14x14 นิ้ว จากนั้นเริ่มให้น้ำเมล่อนตามทรีตเมนต์ที่กำหนด โดยมีการให้น้ำในช่วงเช้า ที่อายุ 2, 3, 4, 5 และ 6 สัปดาห์หลังย้ายปลูก พร้อมให้ปุ๋ยโดยการฝังลงดิน ดังนี้ สัปดาห์ที่ 1 หลังย้ายกล้า ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร (3.3 กรัม/ต้น) สัปดาห์ที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 25-5-5 (3.3 กรัม/ต้น) ผสมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (3.3 กรัม/ต้น) สัปดาห์ที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 25-5-5 (3.3 กรัม/ต้น) ผสมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (3.3 กรัม/ต้น) สัปดาห์ที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 25-5-5 (6.6 กรัม/ต้น) ผสมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (6.6 กรัม/ต้น) สัปดาห์ที่ 5 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 25-5-5 (6.6 กรัม/ต้น) ผสมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (6.6 กรัม/ต้น) สัปดาห์ที่ 6 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (9.9 กรัม/ต้น) สัปดาห์ที่ 7 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (9.9 กรัม/ต้น) สัปดาห์ที่ 8 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (9.9 กรัม/ต้น) สัปดาห์ที่ 9 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 0-0-60 (9.9 กรัม/ต้น) และสัปดาห์ที่ 10 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 0-0-60 (9.9 กรัม/ต้น) เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ในลักษณะความสูง ที่อายุ 1,2 และ 6 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ส่วนข้อมูล จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ ความยาวก้านใบ ความกว้างผล ความยาวผล น้ำหนักผลสด และค่าความหวาน

(°brix) ตรวจวัดที่อายุ 6 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละลักษณะตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least significant difference (LSD)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. อิทธิพลของน้ำส้มควันไม้ต่อการเจริญเติบโตของต้นเมล่อน

จากการศึกษาผลของน้ำส้มควันไม้ต่อลักษณะความสูงของต้นเมล่อน พบว่าการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อน้ำในอัตราส่วน 1:100 มีผลทำให้มีความสูงมีค่ามากกว่าพรีตเมนต์อื่นที่มีการรดด้วยน้ำส้มควันไม้ แต่ไม่แตกต่างจากการรดด้วยน้ำ ที่อายุ 1 และ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก โดยมีความสูง 14.4 และ 16.9 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนที่อายุ 6 สัปดาห์หลังย้ายปลูก พบว่าความสูงของต้นเมล่อนในพรีตเมนต์ชุดควบคุม มีความสูงมากที่สุด 184.7 เซนติเมตร รองลงมา คือ การรดด้วยน้ำส้มควันไม้ 1:200 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลของการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อความสูงของเมล่อน ที่อายุ 1, 2 และ 6 สัปดาห์หลังย้ายปลูก (weeks after transplanting; WAT)

พรีตเมนต์	ความสูงต้น (เซนติเมตร)		
	1 WEEKS	2 WEEKS	6 WEEKS
น้ำเปล่า (Control)	13.3 a	16.1 a	184.7 a
น้ำส้มควันไม้ 1:100	14.4 a	16.9 a	163.3 b
น้ำส้มควันไม้ 1:200	10.1 b	13.2 b	171.2 ab
น้ำส้มควันไม้ 1:300	12.6 ab	16.1 a	167.7 b
F-Test	*	**	**
C.V. (%)	15.18	14.29	4.98

ตัวเลขที่มีตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

*, ** คือแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ตามลำดับ

จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้น้ำส้มควันไม้มีแนวโน้มที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นเมล่อนในด้านความสูง ในระยะ 1 และ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pan et al., (2017) ที่รายงานว่าการใช้น้ำส้มควันไม้มีผลต่อการเพิ่มความสูงของแตงกวา

เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เนื่องจากน้ำส้มควันไม้จะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณสารอาหาร และกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้ สำหรับการนำไปใช้เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของพืชทั่วไปนั้น จะมีการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อน้ำในอัตราส่วน 1:200 ผสมน้ำรดโคนต้น ทุก 7-15 วัน สำหรับการปลูกพืชทั่วไป

ในส่วนลักษณะจำนวนใบและความยาวก้านใบ พบว่าการใช้น้ำส้มควันไม้ในการรดเมล็ดอ่อนที่อัตราส่วนต่างๆ ไม่มีผลทำให้จำนวนใบ และความยาวก้านใบของต้นเมล็ดอ่อน มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่อายุ 6 สัปดาห์หลังย้ายปลูก (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้น้ำส้มควันไม้ในการรดเมล็ดอ่อนที่อัตราส่วนต่าง ๆ ไม่มีผลทำให้ความกว้างใบและความยาวใบ มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการใช้น้ำส้มควันไม้ในการรดเมล็ดอ่อน ไม่มีผลการเจริญเติบโต ในลักษณะความกว้างและความยาวใบ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ คริษฐ์สพล หนูพรหม และคณะ (2559) ที่พบว่า การฉีดพ่นน้ำส้มควันไม้ที่อัตรา 1:500 ช่วยส่งเสริมให้ความกว้างของทรงพุ่มสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ต่างกัน อาจเกิดจากชนิดพืชและอัตราน้ำส้มควันไม้ที่ใช้ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 2 ผลของการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อจำนวนใบ และความยาวก้านใบต้นเมล็ดอ่อน ที่อายุ 6 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

ทริตเมนต์	จำนวนใบ	ความยาวก้านใบ (เซนติเมตร)		
		ใบที่ 1	ใบที่ 2	ใบที่ 3
น้ำเปล่า (Control)	41.6	14.8	12.6	6.9
น้ำส้มควันไม้ 1:100	45.2	14.3	10.5	6.2
น้ำส้มควันไม้ 1:200	44.0	14.3	11.4	5.8
น้ำส้มควันไม้ 1:300	44.6	14.6	12.4	6.3
F-Test	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	10.42	7.43	12.21	19.47

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

2. ผลของน้ำส้มควันไม้ต่อผลผลิตและค่าความหวานของเมล่อน

จากการทดลอง พบว่า การใช้ น้ำส้มควันไม้ ในการปลูกเมล่อนในอัตราส่วนต่าง ๆ ไม่มีผลทำให้ความยาวผล ค่าความหวาน และ น้ำหนักต่อผล มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้น ลักษณะความกว้างผล (ตารางที่ 3) โดยพบว่า การรดด้วยน้ำเปล่า มีผลทำให้มีความกว้างผลมากที่สุด (10.8 เซนติเมตร) แต่อย่างไรก็ตาม ทริตเมนต์ที่มีการใช้น้ำส้มควันไม้ อัตรา 1:200 มีแนวโน้มทำให้ค่าน้ำหนักต่อผลของเมล่อนและค่าความหวานเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้น้ำส้มควันไม้ต่อน้ำในอัตราส่วนอื่น ๆ (919 กรัมต่อผล และ 13.8 °brix) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลของการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อความกว้างผล ความยาวผล น้ำหนักผลเฉลี่ย และ ค่าความหวานของเมล่อนที่อายุเก็บเกี่ยว

ทริตเมนต์	ความกว้างผล (เซนติเมตร)	ความยาวผล (เซนติเมตร)	ค่าความหวาน (° brix)	น้ำหนักต่อผล (กรัม)
น้ำเปล่า	10.8 a	13.8	13.8	1010
น้ำส้มควันไม้ 1:100	10.3 b	13.8	12.3	908
น้ำส้มควันไม้ 1:200	10.3 b	13.8	13.8	919
น้ำส้มควันไม้ 1:300	10.2 b	14.1	13.3	918
F-Test	*	ns	ns	ns
C.V. (%)	3.36	5.32	8.27	14.70

ตัวเลขที่มีตัวอักษรเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี LSD

*, ** คือแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99% ตามลำดับ

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อน้ำในอัตราส่วน 1:200 มีแนวโน้มทำให้ค่าน้ำหนักต่อผลของเมล่อนและค่าความหวานเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับวิจัยของ Zulkarami et al., (2011) ที่ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของน้ำส้มควันไม้ต่อการเจริญเติบโต เพิ่มผลผลิต และปรับปรุงคุณภาพของแคนตาลูป โดยการนำเอาน้ำส้มควันไม้ผสมกับปุ๋ยสูตรต่าง ๆ พบว่าการใช้น้ำส้มควันไม้ถ้าใช้ในปริมาณที่ความเข้มข้น 20% มาผสมกับปุ๋ย มีผลให้ต้นเมล่อนมีการเจริญเติบโตและผลผลิตที่ดีขึ้น และระดับความเข้มข้นของการใช้น้ำส้มควันไม้เพียง 10% ผสมกับปุ๋ย จะส่งผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และค่าความหวานของเมล่อนได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้น้ำส้มควันไม้รดต้นมะเขือเทศ ทำให้ต้นมะเขือเทศมีจำนวนผล และ

น้ำหนักผลเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะใช้น้ำส้มควันไม้เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับปุ๋ยทั่วไปก็จะช่วยเพิ่มผลผลิตมะเขือเทศได้ดียิ่งขึ้น (Benzon & Lee, 2016)

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า น้ำส้มควันไม้ต่อน้ำในอัตราส่วน 1:100 จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นเมล่อนได้ สามารถชักนำและทำให้ต้นเมล่อนมีความสูงมากที่สุด ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโตที่อายุ 1 และ 2 สัปดาห์หลังย้ายปลูกเท่านั้น แต่หลังจากนั้นก็จะมีผลต่อความสูงของต้นเมล่อน สำหรับผลในด้านจำนวนใบ ความยาวก้านใบ ความยาวใบ และความกว้างใบของต้นเมล่อน พบว่า การใช้น้ำส้มควันไม้รดต้นเมล่อนไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตในด้านนี้เลย นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการรดต้นเมล่อนด้วยน้ำส้มควันไม้ในอัตราที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อความยาวผล ค่าความหวาน และน้ำหนักผลผลิตเฉลี่ย ในขณะที่การรดต้นเมล่อนด้วยน้ำเปล่าเพียงอย่างเดียว กลับทำให้ผลของเมล่อนมีความกว้างของผลมากกว่าการรดด้วยน้ำส้มควันไม้ในอัตราส่วนต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการใช้น้ำส้มควันไม้ต่อน้ำในอัตราส่วน 1:200 มีแนวโน้มทำให้เมล่อนมีค่าความหวาน และน้ำหนักผลเฉลี่ยสูงกว่าทรีตเมนต์อื่น ๆ โดยน้ำส้มควันไม้จะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพิ่มปริมาณสารอาหาร และกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ศรีขันธ์สพล หนูพรหม, ศรีราษฎร์ แก้วอาภรณ์, ศรีณยู เนียมรินทร์ และ อติศักดิ์ สิงสุต. (2559).

ผลของน้ำส้มควันไม้ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของบรอกโคลี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 24(3), 469-478.

รัชณี พุทธา และ รัตติกาล เสนน้อย. (2562). ผลของชนิดน้ำส้มควันไม้และขนาดหัวต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ของหัวแค้นตะวัน. *แก่นเกษตร*, 47(ฉบับพิเศษ 1), 611-616.

- สุจิตรา สีนุกการณ์. (2560). ผลของความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมของการแช่เมล็ดด้วยน้ำส้มควันไม้ต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของผักคะน้า. *การเกษตรราชภัฏ*, 16(2), 53-60.
- อิสมะแอ เจ๊ะหลง และ ลักขณา รักขพันธ์. (2558). ผลของความเข้มข้นน้ำส้มควันไม้ต่อการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพของกล้ายางพาราพันธุ์ RRIM 600 (*Hevea brasiliensis* Mull. Arg). *แก่นเกษตร*, 43(3), 585-590.
- Abdolahipour, B., & Haghighi, M. (2019). The effects of pine wood vinegar on the germination, growth and photosynthetic characteristics of cucumber. *Iran Agricultural Research*, 38(2), 83-90.
- Benzon, H. R. L., & Lee, S. C. (2016). Potential of wood vinegar in enhancing fruit yield and antioxidant capacity in tomato. *Korean Journal of Plant Resources*, 29(6), 704-711.
- Chalermisan, Y., & Peerapan, S. (2009). Wood vinegar: by-product from rural charcoal kiln and its role in plant protection. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 2(Special Issue), 189-195.
- Mu, J., Uehara, T., & Furuno, T. (2003). Effect of bamboo vinegar on regulation of germination and radicle growth of seed plants. *Journal of wood science*, 49, 262-270.
- Mungkunkamchao, T., Kesmala, T., Pimratch, S., Toomsan, B., & Jothityangkoon, D. (2013). Wood vinegar and fermented bioextracts: Natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia horticulturae*, 154, 66-72.
- Pan, X., Zhang, Y., Wang, X., & Liu, G. (2017). Effect of adding biochar with wood vinegar on the growth of cucumber. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 61, No. 1, p. 012149). IOP Publishing.
- Zulkarami, B., Ashrafuzzaman, M., Husni, M. O., & Ismail, M. R. (2011). Effect of pyroligneous acid on growth, yield and quality improvement of rockmelon in soilless culture. *Australian Journal of Crop Science*, 5(12), 1508-1514.

Zhu, K., Gu, S., Liu, J., Luo, T., Khan, Z., Zhang, K., & Hu, L. (2021). Wood vinegar as a complex growth regulator promotes the growth, yield, and quality of rapeseed. *Agronomy*, *11*(3), 510. doi: 10.3390/agronomy11030510.

ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์
ไทโรซิเนสของสารสกัดส่วนใบและเหง้าว่านสาวหลง
TOTAL PHENOLIC AND FLAVONOID CONTENT, ANTIOXIDANT, TYROSINASE
INHIBITION ACTIVITIES OF *AMOMUM BIFLORUM* JACK EXTRACT.

อรณิชา ครองยุติ* และ สุภัทสร วันสุทธะ

Ornicha Krongyut* and Supasson Wansutha

สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Thai Traditional Medicine Program, Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University

Received: 20 August 2024

Revised: 30 August 2024

Accepted: 30 August 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสรวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมและปริมาณฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดเอทานอลจากว่านสาวหลง โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนใบและส่วนรากหรือเหง้าของว่านสาวหลง การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทำโดยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH assay) การทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสด้วยวิธี Dopachrome method การวิเคราะห์ปริมาณ ฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu assay และการวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมทำโดยวิธี Aluminum chloride colorimetric assay จากการศึกษา พบว่าสารสกัดเอทานอลจากใบว่านสาวหลง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ($IC_{50} = 2,085.64 \pm 2.86$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) นอกจากนี้ยังพบว่า มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสมากที่สุด ($IC_{50} = 262.02 \pm 5.89$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ปริมาณสารฟีนอลิกรวม เท่ากับ 21.92 ± 0.79 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด และปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวม เท่ากับ 14.12 ± 0.12 มิลลิกรัมสมมูลของเคอควินินต่อกรัมสารสกัด การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสารสกัดใบว่านสาวหลงเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่น่าสนใจ ซึ่งอาจเป็นสมุนไพร

* Corresponding author: อรณิชา ครองยุติ

E-mail: Ornicha.k@udru.ac.th

ทางเลือกในการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านเวชสำอาง ผลิตภัณฑ์สมุนไพร และวิจัยต่อยอดด้านเภสัชวิทยาเพื่อการพัฒนาเป็นสารออกฤทธิ์ทางยาต่อไป

คำสำคัญ: ว่านสาวหลง, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส, ฟีนอลิก, ฟลาโวนอยด์

Abstract

This research aimed to determine the antioxidant activity, tyrosinase inhibition activity, total phenolic content and total flavonoid content of *Amomum biflorum* Jack. It is divided into 2 parts: the leaves and rhizomes of *Amomum biflorum* Jack. The extracts were prepared by using solvents 95% ethanol. The antioxidant activity was determined by 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH assay). The tyrosinase inhibition activity was determined by using the Dopachrome method. Total phenolic content was analyzed by the Folin-Ciocalteu assay and total flavonoid content was analyzed by the Aluminum chloride colorimetric assay. From the results, it was found that the crude 95% ethanol extract of *Amomum biflorum* Jack leaf exhibited the most potent antioxidant activity determined by DPPH assay ($IC_{50} = 2,085.64 \pm 2.86 \mu\text{g/mL}$). Moreover, it exhibited the strongest tyrosinase inhibition activity ($IC_{50} = 262.02 \pm 5.89 \mu\text{g/mL}$) and the highest total phenolic and flavonoid content (total phenolic = $21.92 \pm 0.79 \text{ mg GAE/g extract}$, total flavonoid = $14.12 \pm 0.12 \text{ mg QE/g extract}$) This research demonstrates that *Amomum biflorum* Jack leaf is considered to be an interesting source of bioactive compounds. It may be an alternative herb for cosmetic applications, Herbal products and further research in pharmacology for the development of active drug compounds.

Keywords: *Amomum biflorum* Jack, Antioxidant activity, Tyrosinase inhibition activity, Phenolics, Flavonoids

บทนำ

ในปัจจุบันมนุษย์ต้องเผชิญกับมลภาวะต่างๆ รวมทั้งรังสีและความร้อนจากแสงแดดมากขึ้น ซึ่งเป็นตัวเร่งให้เกิดสภาวะเครียดจากออกซิเดชัน (oxidative stress) เป็นการเสียสมดุลระหว่างการสร้างและการทำลายอนุมูลอิสระ (free radical) อนุมูลอิสระนี้มีบทบาทสำคัญในกระบวนการเกิดโรคต่างๆรวมทั้งกระบวนการแก่การเกิดริ้วรอยก่อนวัย (Halliwell & Gutteridge, 2007) ความร้อนจากแสงแดดและมลภาวะยังเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดริ้วรอย ผิวหมองคล้ำ ฝ้า และกระบนผิวหนัง บางคนอาจจะต้องพึ่งคลินิกเสริมความงาม ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง และอาจเจอกับสารเคมีจำพวกสารทำให้ผิวขาว (whitening agent) หรือสารปรอท เพื่อยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์เม็ดสีเมลานิน โดยทำการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ควบคุมกระบวนการสังเคราะห์เมลานิน (Kim & Uyama, 2005) โดยเอนไซม์ชนิดนี้จะเร่งปฏิกิริยาในขั้นเริ่มต้นของกระบวนการคือเร่งปฏิกิริยาของ L-Tyrosine และ 3, 4-Dihydroxy-L-phenylalanine (L-DOPA) ให้เป็น DOPAquinone (Ebanks et al., 2009) ทำให้มีแนวคิดในการใช้สารสกัดของสมุนไพรในธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเป็นสารทำให้ผิวขาว และมีสารต้านอนุมูลอิสระผสมอยู่ด้วยกัน เพื่อเป็นสารทำให้ผิวขาวและป้องกันริ้วรอยเหี่ยวย่น อันเนื่องมาจากอนุมูลอิสระ และจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัย

สมุนไพรว่านสาวหลงมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Amomum biflorum* Jack. เป็นพืชในวงศ์ Zingiberaceae อยู่ในตระกูล Amomum เป็นหัวที่อยู่ใต้ดิน มีลักษณะคล้ายหัวตะไคร้ มีอวบอ้วนเป็นพูปอน เมื่อต้นอายุมากจะแตกหัวหรือเหง้าแยกออกใหม่ โดยเปลือกหัวชั้นนอกมีสีน้ำตาล แก่นหัวมีสีขาวอมเหลือง มีกลิ่นหอม ส่วนรากมีระบบรากเป็นรากฝอยจำนวนมาก ทุกส่วนของว่านสาวหลงมีกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ ตามภูมิปัญญาพื้นบ้านนำส่วนเหง้าของว่านสาวหลงมาต้มน้ำสำหรับดื่มเพื่อขับลมในทางเดินอาหาร นำมาต้มน้ำสำหรับอาบเพื่อบำรุงผิวพรรณ รักษาโรคผิวหนัง และนำส่วนดอกสดมาสูดดมแก้อาการวิงเวียนศีรษะ (Polsena, 2007) สรรพคุณทางยาตามศาสตร์การแพทย์ช่วยขับปัสสาวะ ลดไข้ แก้อาการผื่นคัน รักษาโรคผิวหนัง แก้อาการท้องเสีย บรรเทาอาการ และแก้อาการวิงเวียนศีรษะ แต่ที่พบในปัจจุบันนั้นการนำว่านสาวหลงมาใช้ประโยชน์ในด้านสุขภาพและเวชสำอาง ได้แก่ สบู่ โลชั่น ผลิตภัณฑ์ในธุรกิจสปา เป็นต้น จากการศึกษาพบว่า สารสกัดส่วนเอทิลอะซิเตตจากเหง้ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารสกัดเฮกเซนจากเหง้า และสารสกัดเมทานอลจากใบมีฤทธิ์ต้านเอนไซม์ไทโร

ซิเนส และสารสกัดเมทานอลจากใบมีฤทธิ์ยับยั้ง nitric oxide ส่วนน้ำมันหอมระเหยมีรายงานฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Singtothong et al., 2013) อย่างไรก็ตามข้อมูลการศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของว่านสาวหลงยังมีค่อนข้างน้อย และยังขาดข้อมูลที่สนับสนุนทางเภสัชวิทยาของสมุนไพร เพื่อนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพร ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพและเภสัชวิทยาของสารสกัดเมทานอลจากว่านสาวหลง ได้แก่ ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) และฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (Tyrosinase inhibition activity) รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม (Total phenolic content) และปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (Total flavonoid content) ของสารสกัดว่านสาวหลง เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการใช้ว่านสาวหลงสำหรับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เวชสำอาง มีศักยภาพในการนำไปเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรทางเลือกให้กับผู้บริโภคและสร้างมูลค่าทางเชิงพาณิชย์ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาปริมาณฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ของสารสกัดส่วนใบและส่วนเหง้าว่านสาวหลง
2. เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดส่วนใบและส่วนเหง้าว่านสาวหลง
3. เพื่อศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดส่วนใบและส่วนเหง้าว่านสาวหลง

ขอบเขตการวิจัย

ตัวอย่างพืชสมุนไพรว่านสาวหลง (*Amomum biflorum* Jack.) จากบ้านน้ำโมง อำเภอบ้านดง จังหวัดหนองคาย นำมาศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพในหลอดทดลอง (*In vitro* model) ได้แก่ 1. วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม และปริมาณฟลาโวนอยด์รวม 2. ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 3. ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ในห้องปฏิบัติการ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เก็บตัวอย่างสมุนไพร

การเก็บตัวอย่างและคัดเลือกสมุนไพร ผู้วิจัยได้คัดเลือกสมุนไพรว่านสาวหลง จากพื้นที่ป่าชุมชนบ้านน้ำโมง อำเภอกำแพง จังหวัดหนองคาย โดยคัดเลือกเอาส่วนเหง้าและส่วนใบที่มีอายุ 6 – 12 เดือน ซึ่งมีรายงานผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังเป็นสมุนไพรที่นิยมปลูกและพบได้ง่ายในท้องถิ่น จากนั้นผู้วิจัยนำสมุนไพรล้างและผึ่งให้แห้งสนิท เก็บสมุนไพรในอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อให้สมุนไพรคงความสดใหม่ก่อนนำไปทำงานสกัดสมุนไพรต่อไป

2. การเตรียมสมุนไพรและการสกัดสมุนไพร

นำสมุนไพรว่านสาวหลงล้างทำความสะอาด จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 - 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำว่านสาวหลงไปหมัก (Maceration) ด้วยตัวทำละลาย เอทานอลร้อยละ 95 ในอัตราส่วน 1:2 ส่วน (สมุนไพร 1 กิโลกรัมต่อเอทานอล 2 ลิตร) บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 24 - 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง และกรองด้วยกระดาษกรอง แยกส่วนกากแล้วนำมาสกัดซ้ำอีก 2 รอบ จากนั้นนำส่วนสกัดที่กรองแล้วไประเหยแห้งด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator) นำไปทำให้เป็นผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer) คำนวณหาร้อยละผลผลิตของสารสกัด (%yield) แล้วเก็บสารสกัดที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และนำไปทำการศึกษาฤทธิ์ต่อไป

3. การทดสอบหาปริมาณฟีนอลิกรวมทั้งหมด (Total phenolic content)

วิธีหาปริมาณสารฟีนอลิกรวมทั้งหมดด้วยวิธี Folin-ciocalteu reagent ดัดแปลงจาก Singleton et al. (1965) โดยใช้กรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน เตรียมสารสกัดส่วนใบและเหง้าว่านสาวหลง ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสม 50% Folin reagent ปริมาตร 25 ไมโครลิตร เติมน้ำตาลละลาย 20% Na_2CO_3 ปริมาตร 125 ไมโครลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานกับความเข้มข้น แล้วจึงหาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น และค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น (R^2) เพื่อให้ได้กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก จึงนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดแทนค่าในสมการเส้นตรงและคำนวณหา

ปริมาณของฟีนอลิกรวมทั้งหมด โดยรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลกับกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด (mg GAE/g extract)

4. การทดสอบหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวมทั้งหมด (Total flavonoid content)

วิธีหาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี Aluminium trichloride colorimetric ดัดแปลงจาก Chang et al. (2002) โดยใช้เคอร์ซีติน (Quercetin) เป็นสารมาตรฐาน เตรียมสารสกัดส่วนใบและเหง้าว่านสาวหลง ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมกับ 5% $AlCl_3$ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากทำปฏิกิริยาแล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 437 นาโนเมตร นำข้อมูลที่ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานกับความเข้มข้น แล้วจึงหาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น และค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้น (R^2) เพื่อให้ได้กราฟมาตรฐานของเคอร์ซีติน จึงนำค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดแทนค่าในสมการเส้นตรงและคำนวณหาปริมาณของ ฟลาโวนอยด์รวมทั้งหมด โดยรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลกับเคอร์ซีตินต่อกรัมสารสกัด (mg QE/g extract)

5. การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ดัดแปลงจาก Chu et al. (2000) โดยใช้วิตามินซี เป็นสารมาตรฐาน จากนั้นเตรียมสารสกัดส่วนใบและเหง้าว่านสาวหลงละลายในเมทานอล โดยใช้ความเข้มข้นตั้งแต่ 500 - 5000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 150 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย DPPH ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากทำปฏิกิริยาแล้วจากนั้นจึงนำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร โดยมีสารละลายกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) เป็นสารมาตรฐาน จากนั้นคำนวณค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ (%inhibition) เทียบกับกลุ่มควบคุม แล้วพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและ %inhibition เพื่อให้ได้สมการเส้นตรงและสัมประสิทธิ์เชิงเส้น (r^2) และเทียบหาค่า IC_{50} ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ทำให้การยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นร้อยละ 50 ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ การคำนวณค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระได้จาก

$$\% \text{ Radical scavenging} = (A_{\text{ควบคุม}} - A_{\text{ทดสอบ}}) / A_{\text{ควบคุม}} \times 100$$

6. การศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ดัดแปลงจาก Chan et al. (2008) โดยวิธี Dopachrome method ใช้กรดโคจิก (Kojic acid) เป็นสารมาตรฐาน จากนั้นละลายสารสกัดส่วนใบและเหง้าว่านสาวหลงใน 30% DMSO (Dimethyl sulfoxide) ปริมาตร 40 ไมโครลิตรผสมกับสารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.1 โมล, pH 6.8) ปริมาตร 80 ไมโครลิตร เอนไซม์ไทโรซิเนส (ความเข้มข้น 1.84 ยูนิต) ผสมให้เข้ากันและบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที ก่อนเติมสารละลาย L-DOPA (2.5 มิลลิโมลาร์) ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันและบ่มที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไป วัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบไมโครเพลท ทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส จากสมการ

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

แทนค่า A = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ไม่เติมสารสกัด

B = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่มีสารสกัด

การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical analysis)

ผลการทดลองทำซ้ำในแต่ละตัวอย่าง จำนวน 3 ซ้ำ (n = 3) แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบกับความแตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มโดยใช้สถิติ One-Way ANOVA ด้วยโปรแกรม SPSS พิจารณานัยสำคัญทางสถิติ เมื่อ $p\text{-value} < 0.05$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ลักษณะทางกายภาพและผลผลิตของสารสกัดว่านสาวหลง

จากการสกัดว่านสาวหลง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนใบว่านสาวหลง และส่วนรากหรือเหง้าว่านสาวหลงด้วยวิธีการหมักในตัวทำละลายเอทานอลร้อยละ 95 พบว่า สารสกัดใบว่านสาวหลง มีลักษณะเหนียวหนืด มีสีเขียวเข้ม และมีกลิ่นหอม (ร้อยละผลผลิต 11.32 ± 0.12) และสารสกัดเหง้าว่านสาวหลง มีลักษณะเหนียวหนืด สีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นหอมฉุน มีกลิ่นเฉพาะตัว (ร้อยละผลผลิต 11.02 ± 0.16) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพ และร้อยละผลผลิตของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง

ตัวอย่างสมุนไพร	ร้อยละผลผลิตของสารสกัด	ลักษณะทางกายภาพของสารสกัด
ใบว่านสาวหลง	11.32 ± 0.12	เหนียวหนืด มีสีเขียวเข้ม และมีกลิ่นหอม
เหง้าว่านสาวหลง	11.02 ± 0.16	เหนียวหนืด สีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นหอมฉุน มีกลิ่นเฉพาะตัว

2. ปริมาณกลุ่มฟีนอลิกและกลุ่มฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดว่านสาวหลง

การหาปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ของสารสกัดเอทานอลจากใบและเหง้าว่านสาวหลง พบว่า สารสกัดใบว่านสาวหลง มีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวม เท่ากับ 21.92 ± 0.79 mg GAE/g extract และ 14.12 ± 0.12 mg QE/g extract ตามลำดับ และสารสกัดเหง้าว่านสาวหลง มีปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ เท่ากับ 10.89 ± 0.15 mg GAE/g extract และ 7.64 ± 0.07 mg QE/g extract ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า สารสกัดใบว่านสาวหลง มีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวมมากที่สุดเมื่อเทียบกับสารสกัดเหง้าว่านสาวหลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.05) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลการหาค่าประคอบทางเคมีกลุ่มสารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง

ลำดับที่	สารสกัด	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ IC ₅₀ (µg/mL)	องค์ประกอบทางเคมี	
			กลุ่มฟีนอลิก (mg GAE/g extract)	กลุ่มฟลาโวนอยด์ (mg QE/g extract)
1	ใบว่านสาวหลง	2,085.64 ± 2.86**	21.92 ± 0.79*	14.12 ± 0.12*
2	เหง้าว่านสาวหลง	3,846.31 ± 2.59**	10.89 ± 0.15	7.64 ± 0.07
3	วิตามินซี	6.00 ± 0.05**	-	-

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.05)

**แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.01)

GAE = Gallic acid, QE = Quercetin

3. ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง

จากผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลงโดยใช้วิตามินซี พบว่า สารสกัดใบว่านสาวหลง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด ($IC_{50} = 2,085.64 \pm 2.86$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) และสารสกัดเหง้าว่านสาวหลง ($IC_{50} = 3,846.31 \pm 2.59$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) แสดงให้เห็นว่า สารสกัดใบว่านสาวหลง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าสารสกัดเหง้าว่านสาวหลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.01) (ตารางที่ 2)

4. ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง

จากผลการศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง โดยใช้กรดโคจิก (Kojic acid) เป็นสารมาตรฐาน พบว่า สารสกัดใบว่านสาวหลง มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ดีที่สุด มีค่า $IC_{50} = 262.02 \pm 5.89$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และสารสกัดเหง้าว่านสาวหลง มีค่า $IC_{50} = 339.17 \pm 3.59$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สารสกัดใบว่านสาวหลง มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ดีกว่าสารสกัดเหง้าว่านสาวหลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.05) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง

ลำดับที่	สารสกัด	ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส
		IC_{50} (μ g/mL)
1	ใบว่านสาวหลง	$262.02 \pm 5.89^*$
2	เหง้าว่านสาวหลง	$339.17 \pm 3.59^*$
3	กรดโคจิก (Kojic acid)	$11.78 \pm 0.14^*$

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.05)

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง เพื่อพัฒนาต่อยอดเป็นสารสกัดที่สามารถนำไปผลิตภัณฑ์เวชสำอาง และผลิตภัณฑ์สมุนไพรทางเลือกให้กับผู้บริโภคและสร้างมูลค่าทางเชิงพาณิชย์

1. การสกัดสารจากใบและเหง้าว่านสาวหลง

จากการสกัดสารใบและเหง้าว่านสาวหลง โดยใช้วิธีการหมักด้วยตัวทำละลายเอทานอล ร้อยละ 95 สารสกัดทั้งสองส่วนมีลักษณะทางกายภาพและร้อยละผลผลิตที่ใกล้เคียงกัน โดยพบว่า สารสกัดใบว่านสาวหลงให้ร้อยละผลผลิตมากที่สุด ซึ่งการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล ซึ่งเอทานอลเป็น all-purpose solvent สามารถละลายสารที่มีขี้และกิ่งมีขี้ เป็นการแยกสารโดยอาศัยหลักการละลายระหว่างตัวทำละลายกับสารสำคัญในสมุนไพร โดยสารสำคัญจะสามารถละลายในตัวทำละลายได้ก็ต่อเมื่อความเป็นขี้ของตัวสารสำคัญกับตัวทำละลายมีค่าใกล้เคียงกัน (Like dissolves like) ซึ่งสารกลุ่มฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ มีคุณสมบัติในการละลายได้ดีในน้ำและแอลกอฮอล์ เป็นกลุ่มสารที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้านการอักเสบ ป้องกันความเสียหายที่เกิดจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต และป้องกันการสร้างสารก่อมะเร็ง (รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2547)

2. การหาปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง

จากการหาปริมาณสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu และสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี Aluminum chloride colorimetric method ของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง พบว่า สารสกัดใบว่านสาวหลง มีปริมาณสารฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์สูงกว่าสารสกัดเหง้าว่านสาวหลง เป็นผลจากปัจจัยของลักษณะของสมุนไพรที่แตกต่างกัน ซึ่งส่วนของใบจะเป็นส่วนที่อยู่เหนือดินมักจะมีสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สอดคล้องกับงานวิจัยของ Singtothong et al. (2013) พบว่า สาร Camphene เป็นสารประกอบกลุ่มฟีนอยด์และฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นส่วนเหนือดินของว่านสาวหลง และสอดคล้องงานวิจัย สนั่น ศุภธีรสกุล และ กชกร มุสิกพงษ์ (2557) พบว่า สารสกัดว่านสาวหลงที่สกัดด้วยเมทานอลมีองค์ประกอบทางเคมีกลุ่มสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์

3. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง

จากผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง พบว่า สารสกัดใบว่านสาวหลง มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสารสกัดเหง้าว่านสาวหลง คาดว่าเป็นผลจากการสกัดใบว่านสาวหลงที่มีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มากกว่าสารสกัดเหง้าว่านสาวหลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริพรรณ สุขขัง และคณะ (2560) ได้ศึกษาผักพื้นบ้านรสเปรี้ยวฝาดและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่า ผักพื้นบ้านที่มีรสเปรี้ยวและน้ำมันหอมระเหย มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งปริมาณสารมี

ความสัมพันธ์กับความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ และสอดคล้องกับการวิจัยของ Srisook et al. (2010) พบว่า ส่วนสกัดเอทิลอะซิเตทจากว่านสาวหลงมีฤทธิ์กำจัดอนุมูล DPPH และมีความสามารถในการรีดิวซ์ที่สูงที่สุด นอกจากนี้ยังพบงานวิจัยของ Hongsiri and Duanyai (2022) พบว่า น้ำมันหอมระเหยจากส่วนใบว่านสาวหลง มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ มีค่า $IC_{50} = 17.57 \pm 0.01$ มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แสดงให้เห็นว่า สารสกัดใบว่านสาวหลงที่มีองค์ประกอบทางเคมีในกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูง ส่งผลให้สารสกัดใบว่านสาวหลงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดี

4. ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง

จากผลการศึกษากฎฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดใบและเหง้าว่านสาวหลง พบว่า สารสกัดทั้งสองส่วนมีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ สารสกัดใบว่านสาวหลง และเหง้าว่านสาวหลง ตามลำดับ สารสกัดใบว่านสาวหลงมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ดี จากรายงานของ Chan et al. (2008) พบว่าส่วนสกัดจากพืชหลายชนิดในวงศ์ Zingiberaceae มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์เม็ดสีเมลานินของผิวหนัง พบว่า ส่วนสกัดของว่านสาวหลงที่มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสสูงที่สุด คือ ส่วนสกัดเฮกเซน รองลงมา คือ ส่วนสกัดย่อยเอทิลอะซิเตท และส่วนสกัดย่อยน้ำ ตามลำดับ และงานวิจัยของ Uthairung et al. (2020) น้ำมันหอมระเหยส่วนใต้ดินและส่วนทั้งต้นมีฤทธิ์ต้านเอนไซม์ไทโรซิเนส โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 117.94 ± 19.08 และ 147.03 ± 10.28 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการศึกษาที่ผ่านมาเป็นการวิจัยของส่วนน้ำมันหอมระเหยของว่านสาวหลง นอกจากนี้ยังมีสมุนไพรชนิด ๆ อื่น ๆ ที่สามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ได้แก่ กระถิน กะทกรก ย่านาง และ ผักโขม (ลัดดาวัลย์ พะวร และคณะ, 2022)

จากการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่า สารสกัดใบว่านสาวหลงน่าจะมีคุณสมบัติเป็นสารทำให้ผิวขาว และมีสารต้านอนุมูลอิสระ เพื่อเป็นสารทำให้ผิวขาว ป้องกันริ้วรอย และมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาเป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางได้ในอนาคต แต่อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้นจึงต้องมีการศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติมเรื่องการทดสอบฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา องค์ประกอบทางเคมีกลุ่มอื่นๆ และฤทธิ์ทางชีวภาพในด้านอื่น ๆ รวมถึงการศึกษาในสัตว์ทดลองและทางคลินิกก่อนนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เวชสำอาง

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ปริมาณฟีนอลิกรวม และปริมาณ ฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดว่านสาวหลงสารสกัดเอทานอลจากใบและเหง้าของ ว่านสาวหลง พบว่า สารสกัดใบว่านสาวหลงมีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูง มีฤทธิ์ต้าน อนุมูลอิสระและยังสามารถยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ งานวิจัยนี้จึงเป็นการรายงานการยืนยัน ผลของสารสกัดใบว่านสาวหลงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และมี คุณสมบัติที่สามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เวชสำอางบำรุงผิวและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ สมุนไพรในท้องถิ่นนำไปเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรทางเลือกให้กับผู้บริโภคและสร้างมูลค่าทาง เศรษฐกิจได้ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้นจึงต้องมีการศึกษา วิจัยเพิ่มเติมในเรื่องการทดสอบฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพร จากว่านสาวหลง และฤทธิ์ทางชีวภาพในด้านอื่น ๆ รวมถึงการศึกษาในสัตว์ทดลอง (*in vivo*) และทางคลินิกก่อนนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เวชสำอาง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากผู้วิจัยได้รับความร่วมมือและช่วยเหลือ ในการปฏิบัติงานจากผู้ร่วมโครงการวิจัย ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) ประจำปีงบประมาณ 2566 และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- รัตนา อินทรานุปกรณ์. (2547). *การตรวจสอบและการสกัดแยกสารสำคัญจากสมุนไพร*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ลัดดาวัลย์ พะวร, คงศักดิ์ บุญยะประณัย, อรุมา จันทร์เส, มินตรา อานนท์, สุพจน์ ทับทิมไผ และ อนุสรณ์ อ้นพิมพ์. (2022). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และอีลาสเตสของผัก 10 ชนิด ในจังหวัด นครราชสีมา. *Journal of Science & Technology MSU*, 41(6), 277-284.

- ศิริพรรณ สุขขัง, สมนึก พรหมแดง และ สายน้ำอ้อย สว่างเมฆ. (2560). ผักพื้นบ้านรสเปรี้ยวในการเบนแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ. ใน *เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 55 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์* (หน้า 288-295). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สนั่น ศุภธีรสุกุล และ กชกร มุสิกพงษ์. (2557). ผลต่อการผ่องคลายในอาสาสมัครของน้ำมันหอมระเหยจากว่านสาวหลง. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 7, 17-25.
- Chan, E. W. C., Lim, Y. Y., Wong, L. F., Lianto, F. S., Wong, S. K., Lim, K. K., & Lim, T. Y. (2008). Antioxidant and tyrosinase inhibition properties of leaves and rhizomes of ginger species. *Food chemistry*, 109(3), 477-483.
- Chang, Q., Zuo, Z., Harrison, F., & Chow, M. S. S. (2002). Hawthorn. *The Journal of Clinical Pharmacology*, 42(6), 605-612.
- Chu, Y. H., Chang, C. L., & Hsu, H. F. (2000). Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(5), 561-566.
- Ebanks, J. P., Wickett, R. R., & Boissy, R. E. (2009). Mechanisms regulating skin pigmentation: the rise and fall of complexion coloration. *International journal of molecular sciences*, 10(9), 4066-4087.
- Halliwel, B., & Gutteridge, J. (2007). *Free Radicals in Biology and Medicine*. 4th ed. New York: Oxford University Press.
- Hongsiri, A., & Duanyai, S. (2022). Antioxidant Activity, Total phenolic and Essential Oil from *Amomum biflorum* Jack: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสารประกอบฟีนอลิกและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยว่านสาวหลง. *Advanced Science Journal*, 22(2), R36-R47.
- Kim, Y. J., & Uyama, H. (2005). Tyrosinase inhibitors from natural and synthetic sources: structure, inhibition mechanism and perspective for the future. *Cellular and molecular life sciences*. 62, 1707-1723.
- Polsena, P. (2007). *Khoa Hin Son Botanic Gardens (Complete version)*. Bangkok, Thailand: Jetanaromphan Printing. (in Thai)

- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Singthong, C., Gagnon, M. J., & Legault, J. (2013). Chemical composition and biological activity of the essential oil of *Amomum biflorum*. *Natural Product Communications*, 8(2), 265-267.
- Srisook, K., Salee, P., Charoensuk, Y., & Srisook, E. (2010). In vitro anti-oxidant and anti-tyrosinase activities of the rhizomal extracts from *Amomum biflorum* Jack. *Thai Journal of Botany*, 2, 143–150.
- Uthairung, A., Rattarom, R., & Mekjaruskul, C. (2020). Cosmeceutical applications of essential oils of *Amomum biflorum* Jack from whole plant and rhizome. *Thai Journal of Science and Technology*, 9(5), 680-692.

การศึกษาการคาร์บอนเซชันของเปลือกมะพร้าวอ่อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต โดยใช้เตาเผาถ่านไร้ควัน

A STUDY ON THE CARBONIZATION OF YOUNG COCONUT HUSKS WASTE USING A SMOKELESS CHARCOAL KILN

จิรพันธ์ โชติรัตน์ศักดิ์^{1,*}, ธราพงษ์ วิทิตสานต์², ณัฐหทัย ชื่นบาน¹, ชานอน เชิดชูวงศ์ธนากร¹,
ภุริทัต อยู่สบาย³ และ จารุ นาทกรณกุล¹

Jiraphan Chotiratanasak^{1,*}, Tharapong Vitidsant², Nuthathai Chuenban¹,
Chanon Chertchuwongtanakorn¹, Phurithat Yoosabai³ and Jaru Natakaranakul¹

¹ บริษัท อี-สแควร์ กรีน อินโนเวชั่น จำกัด

² ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

³ กองกลาง สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ E-Square Green Innovation Co., Ltd.

² Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

³ General Affaira Division, Office of President, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Received: 18 July 2024

Revised: 30 August 2024

Accepted: 30 August 2024

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตและส่งออกมะพร้าวน้ำหอมที่ทำการตกแต่งผลแล้วจำนวนมากกว่า 600 ล้านผลต่อปี ซึ่งกระบวนการตัดแต่งผลมะพร้าวน้ำหอมส่งผลให้เกิดเปลือกมะพร้าวน้ำหอมเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก คิดเป็นเปลือกมะพร้าวเหลือทิ้ง 600,000 ตันต่อปี ส่งผลให้เกิดปัญหาในการจัดการของเสียที่เกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการคาร์บอนเซชันเปลือกมะพร้าวอ่อนโดยใช้เตาเผาถ่านไร้ควัน เพื่อผลิตเป็นถ่านชีวภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบการคาร์บอนเซชัน และคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ได้จากชีวมวลต่างชนิดกัน ได้แก่ เปลือกมะพร้าวน้ำหอม เหง้ามันสำปะหลัง ไม้ไผ่ และ ไม้กระถินยักษ์ โดยผลการทดลองพบว่า เปลือกมะพร้าวอ่อนได้ร้อยละผลได้ของการคาร์บอนเซชันเฉลี่ย

* Corresponding author: ดร.จิรพันธ์ โชติรัตน์ศักดิ์

E-mail: jiraphan.chotiratanasak@gmail.com

ร้อยละ 35.72 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับผลของการคาร์บอนเซชันชีวมวลชนิดอื่น รวมถึงคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ได้จากชีวมวลต่างชนิดกัน พบว่า เปลือกมะพร้าว น้ำหอม มีคุณสมบัติของถ่านชีวภาพใกล้เคียงกับถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่ซึ่งเป็นชีวมวลที่ได้รับความนิยมในการนำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงในการคาร์บอนเซชัน โดยใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ ชีวมวล และน้ำมันเครื่องใช้แล้ว พบว่า การใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดส่งผลต่อร้อยละผลได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตถ่านชีวภาพ โดย น้ำมันเครื่องใช้แล้วมีต้นทุนในการผลิตสูงกว่าการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ, เปลือกมะพร้าว น้ำหอม, คาร์บอนเซชัน, เตาเผาถ่านไร้ควัน

Abstract

Currently, Thailand produces and exports over 600 million young coconuts annually. The trimming process of these young coconuts generates a substantial amount of coconut husks as waste which amounts to 600,000 tons of coconut husks per year. In this research, the carbonization of young coconut husks using a smokeless charcoal kiln to produce biochar was investigated. The study aimed to compare the carbonization process and properties of biochar derived from different biomass types, including coconut husks, cassava rhizomes, bamboo, and Leucaena. The results indicated that the average yield of biochar from coconut husks was 35.72% by weight. The comparing results of carbonization from various biomass types and the properties of biochar qualities, it was found that biochar from young coconut husks exhibited similar characteristics to biochar produced from bamboo, a commonly used biomass for charcoal production. In addition, a comparative study was conducted on the use of fuels in carbonization using two different types of fuels: biomass and used engine oil. The findings indicate that while the choice of fuel did not significantly influence the yield percentage of biochar, it did have a notable impact on production costs.

Specifically, the use of used engine oil resulted in higher production costs compared to biomass.

Keywords: Biochar, coconut husks, carbonization, smokeless charcoal kiln

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยในปี พ.ศ. 2566 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นทำสถิติสูงสุดตามที่เคยมีการจดบันทึกและมีการคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2567 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกอาจเพิ่มขึ้น 1.5 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในช่วงก่อนยุคอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนไปใช้พลังงานสะอาด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานจากชีวมวล เป็นวิธีการสำคัญที่จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และช่วยรักษาเสถียรภาพของสภาพภูมิอากาศให้คงที่ (National Aeronautics and Space Administration, 2024; Morgan, 2024)

เนื่องจากประเทศไทยมีการทำการเกษตร และอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ปัจจุบันการจัดการของเหลือทิ้งทางการเกษตร มักจะใช้วิธีการเผาไหม้กลางแจ้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการนำของเหลือทิ้งทางการเกษตรกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น การแปรรูปเป็นถ่านชีวภาพ เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการลดการเผาไหม้ และยังเป็นวิธีการที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ โดยถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่ได้จากการสลายตัวทางเคมีของชีวมวลหรือของเหลือทิ้งทางการเกษตรผ่านกระบวนการ เช่น ไพโรไลซิส แก๊สซิฟิเคชัน หรือคาร์บอนเซชัน ถ่านชีวภาพมีประโยชน์หลากหลาย สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิง บำบัดน้ำและดินจากมลพิษต่าง ๆ รวมถึงกักเก็บคาร์บอนในดิน ซึ่งช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพยังช่วยปรับปรุงคุณภาพดิน โดยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารสำหรับพืช เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและรูพรุนสูง (Malyan et al., 2021; Kant Bhatia et al., 2021; ประภา ธารเนตร และคณะ, 2565; กรรณก โภทล และคณะ, 2566) จากการศึกษาการนำของเหลือทิ้งทางการเกษตรไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิง พบว่าการแปรรูปของเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงมีต้นทุนและ

กระบวนการผลิตที่ต่ำกว่าการแปรรูปเป็นถ่านชีวภาพ อย่างไรก็ตาม การแปรรูปของเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงโดยตรงนั้นให้ค่าความร้อนต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการแปรรูปเป็นถ่านชีวภาพ (กนกพงษ์ ศรีเที่ยง, 2566; ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์ และคณะ, 2563) มีหลายงานวิจัยมุ่งเน้นการศึกษาถ่านชีวภาพเพื่อนำไปเป็นวัสดุปรับปรุงดินและวัสดุกักเก็บคาร์บอนในดินเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก น้ำฝน ใจดี และคณะ (2566) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในการปรับปรุงดินกรด ผลการศึกษาพบว่า ถ่านชีวภาพจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีคุณสมบัติเป็นต่างจัด สามารถใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินกรดได้ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ อย่างไรก็ตาม การใช้ถ่านชีวภาพจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ต้องใช้อัตราส่วนที่สูงกว่าและมีประสิทธิภาพน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปูนขาว (น้ำฝน ใจดี และคณะ, 2566) ณิชภัทร สิทธิวรรณ (2562) ศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 6 ชนิด ได้แก่ เปลือกกาแฟ แกนข้าวโพด ไม้ไผ่ กิ่งลำไย ฟางข้าว และตอซังข้าวโพด โดยคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิ 300 – 600 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิการคาร์บอนในเซชันทำให้ผลผลิตถ่านชีวภาพลดลง แต่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณคาร์บอนทั้งหมดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อนำถ่านชีวภาพไปทดลองเติมลงในดินพบว่า ถ่านชีวภาพช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดิน เช่น ลดความหนาแน่นรวม เพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำ เพิ่มค่าความเป็นกรด - ด่าง และเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ รวมถึงช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน (ณิชภัทร สิทธิวรรณ, 2562) นอกจากนี้ ลลิตา เพชรใจหาญ (2565) ศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุเกษตร เช่น ซังข้าวโพด แกลบ เปลือกลำไย กะลากาแฟ และกิ่งลำไย โดยใช้เตาผลิตถ่านชีวภาพขนาด 50, 100 และ 200 ลิตร ควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการเผา 1 – 3 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าถ่านชีวภาพที่ได้จากวัสดุเกษตรเหล่านี้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยซังข้าวโพดมีค่าความร้อนสูงสุดที่ 29.18 MJ/kg ขณะที่แกลบมีค่าความร้อนต่ำสุดที่ 18.28 MJ/kg คุณสมบัติทั่วไปของถ่านชีวภาพจากวัสดุเหล่านี้ได้แก่ ค่าความร้อน 16.08 – 29.18 MJ/kg ความชื้นร้อยละ 1.88 – 6.47 โดยน้ำหนัก ปริมาณเถ้าร้อยละ 2.42 – 38.55 โดยน้ำหนัก ปริมาณสารระเหยง่ายร้อยละ 14.12 – 40.27 โดยน้ำหนัก ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 33.38 – 69.87 โดยน้ำหนัก ความเป็นกรดต่าง (pH) มีค่า 6.56 – 8.66 และการนำไฟฟ้ามีค่า 0.25 – 0.90 dS/m โดยคุณสมบัติเหล่านี้เหมาะสำหรับการปรับปรุงดิน และใช้

เป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียนได้ (ลลิตา เพชรใจหาญ, 2565) สมมาส แก้วล้วน และคณะ (2564) ทำการศึกษาการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่เลี้ยงด้วยเตาเผาถ่านชุมชนขนาด 200 ลิตร พบว่า การคาร์บอนไนซ์ไม้ไผ่ที่มีความชื้นร้อยละ 27.78 ใช้เวลาในการคาร์บอนไนซ์ 350 นาที ถ่านไม้ไผ่ร้อยละ 22.38 และน้ำส้มควันไม้ร้อยละ 59.25 นอกจากนี้ยังพบว่า ไม้ที่มีความชื้นสูงใช้เวลาในการคาร์บอนไนซ์นาน ให้ผลผลิตถ่านต่ำกว่า แต่ให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่มากกว่า (สมมาส แก้วล้วน และคณะ, 2564) รวมถึง จุฑาพล จำปาแถม และคณะ (2565) ได้ทำการศึกษาการนำถ่านไม้ไผ่ไปประยุกต์ใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่ง เนื่องจากเป็นที่นิยมในการใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นวัตถุดิบ และมีความต้องการในท้องตลาด จากการศึกษาพบว่า การแปรรูปถ่านไม้ไผ่เป็นถ่านอัดแท่งโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ ผงถ่าน:แป้งมัน:น้ำ ในอัตราส่วน 10.0:1.5:4.0 ตามลำดับ ส่งผลให้ได้ถ่านอัดแท่งที่มีคุณภาพ และผ่านมาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน เลขที่ มผช. 238/2547 (จุฑาพล จำปาแถม และคณะ, 2565)

จังหวัดราชบุรีเป็นแหล่งปลูกมะพร้าวน้ำหอมที่สำคัญของประเทศไทย การส่งออกมะพร้าวน้ำหอมที่ผ่านกระบวนการตกแต่งแล้วก่อให้เกิดเปลือกมะพร้าวเหลือทิ้งในปริมาณมาก ปัจจุบันผู้ประกอบการส่วนใหญ่ กำจัดเปลือกมะพร้าวที่ถูกตัดแต่งแล้ว โดยใช้วิธีการฝังกลบ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายต่อการจัดการ ส่งผลให้ปัจจุบันผู้ประกอบการต้องหาพื้นที่ฝังกลบเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น การกำจัดเปลือกมะพร้าวอ่อนด้วยวิธีดังกล่าว นอกจากจะต้องใช้พื้นที่เพิ่มมากขึ้นแล้ว ยังพบว่า การฝังกลบเปลือกมะพร้าวในหลุมฝังกลบมักจะเกิดการย่อยสลายแบบไม่มีออกซิเจนก่อให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้น ซึ่งก๊าซมีเทนเป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่มีค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 28 เท่า

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการนำเปลือกมะพร้าวน้ำหอมเหลือทิ้งจากกระบวนการตกแต่งมะพร้าวน้ำหอมสำหรับส่งออกกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการคาร์บอนไนซ์เปลือกมะพร้าวน้ำหอม ด้วยเตาเผาถ่านไร่คว้นเพื่อผลิตเป็นถ่านชีวภาพ พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบกระบวนการคาร์บอนไนซ์และคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ได้จากชีวมวลต่างชนิด ได้แก่ เปลือกมะพร้าวน้ำหอม เหง้ามันสำปะหลัง ไม้ไผ่ และไม้กระถินยักษ์ ด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการคาร์บอนในเซชันเปลือกมะพร้าวอ่อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ดำเนินการโดยใช้เตาเผาถ่านไร้ควันที่ซึ่งได้รับการพัฒนามาจากเตาเผาถ่านไร้ควันของคุณย์ เชื้อเพลิงและพลังงานจากชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.สระบุรี ออกแบบโดย ศ.ดร. ธารพงษ์ วิทิตศานต์ รวมถึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการคาร์บอนในเซชันชีวมวลเพิ่มอีก 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ไผ่ ไม้กระถินยักษ์ และ เหง้ามันสำปะหลัง

การเตรียมตัวอย่างชีวมวล

การเตรียมตัวอย่างชีวมวลแบ่งเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ การลดความชื้น และการลดขนาดของชีวมวล โดยชีวมวลแต่ละชนิดมีวิธีการ และขั้นตอนการเตรียมแตกต่างกัน

การเตรียมตัวอย่างเปลือกมะพร้าวน้ำหอม

ในงานวิจัยได้นำเปลือกมะพร้าวน้ำหอมจากโรงงานผู้ประกอบการส่งออกมะพร้าว น้ำหอม คือ บริษัท ทีเจ โคโค นัทส ฟู้ด จำกัด ตั้งอยู่ที่ ต.พิบูลทอง อ.เมืองราชบุรี จ.ราชบุรี โดยเปลือกมะพร้าวน้ำหอมที่นำมาจะมีลักษณะเป็นชิ้นบาง ขนาดความกว้าง 3 – 10 เซนติเมตร ความยาวตั้งแต่ 3 – 20 เซนติเมตร ซึ่งลักษณะดังกล่าวสามารถนำเข้าเตาเผาถ่านไร้ควันได้ จึงไม่มีความจำเป็นในการลดขนาดของชิ้นงานลง แต่เนื่องจากเปลือกมะพร้าวน้ำหอมมีความชื้นสูง (มากกว่าร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก) ทำให้ต้องลดความชื้นก่อนทำการศึกษาการคาร์บอนในเซชัน ซึ่งวิธีการลดความชื้นจะนำเปลือกมะพร้าวน้ำหอมไปอบในห้องอบพลังงานแสงอาทิตย์ (ดังรูปที่ 1) จนค่าความชื้นลดลงจนมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นค่าความชื้นที่เหมาะสมในการคาร์บอนในเซชัน (Seow et al., 2022)



รูปที่ 1 ห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การเตรียมตัวอย่างชีวมวลอื่นๆ

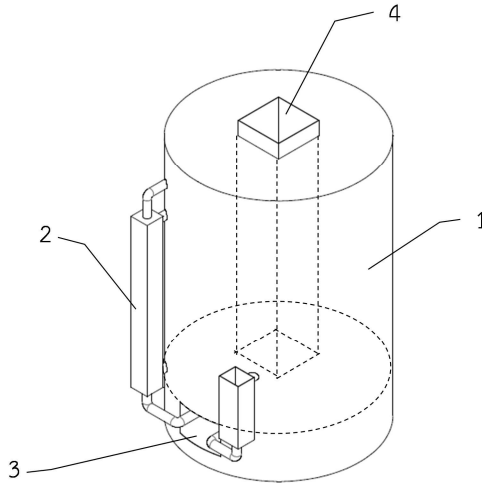
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการคาร์บอนเซชัน และคุณสมบัติของถ่านที่ได้จากการคาร์บอนเซชันชีวมวล จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ไม้ไผ่ ไม้กระถินยักษ์ และ เหง้ามันสำปะหลัง สำหรับไม้ไผ่ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกสายพันธุ์ของไม้ไผ่ คือ สายพันธุ์ไผ่กิมซุง ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Bambusa beecheyana* Munro (เกษตรดิจิทัล, 2564) เนื่องจากเป็นไม้ไผ่ที่มีเนื้อไม้มากกว่าไม้ไผ่พันธุ์อื่น ซึ่งส่งผลต่อผลผลิตต่อไร่ต่อปีมีสัดส่วนสูงกว่าไผ่ชนิดอื่นโดยชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ต้องทำการลดขนาดของชิ้นงานให้มีขนาดความยาวไม่เกิน 30 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถบรรจุลงในเตาเผาถ่านแบบไร้ควันได้ และชีวมวลทั้ง 3 ชนิด มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จึงไม่จำเป็นต้องลดความชื้นก่อนนำไปศึกษาการคาร์บอนเซชัน

การคาร์บอนเซชันโดยใช้เตาเผาถ่านไร้ควัน

เมื่อได้ทำการเตรียมตัวอย่างชีวมวลแล้วจะทำการศึกษาการคาร์บอนเซชันโดยใช้เตาเผาถ่านไร้ควัน ดังรูปที่ 2 ซึ่งแสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเตาเผาถ่านไร้ควัน ได้แก่ 1.) ห้องเผาถ่านสำหรับบรรจุชีวมวลที่ต้องการศึกษา 2.) ท่อก๊าซวนกลับ สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงซึ่งได้ติดตั้งเครื่องควบแน่นไว้สำหรับควบแน่นน้ำส้มควันไม้ด้วย โดยน้ำส้มควันไม้จะตกลงสู่ด้านล่างของท่อก๊าซวนกลับ 3.) ห้องเผาไหม้แบบสมบรูณ์ทำหน้าที่เผาไหม้เชื้อเพลิงเกิดเป็นแหล่งความร้อนก่อนความร้อนดังกล่าวจะถ่ายโอนเข้าไปยังห้องเผาถ่าน 4.) ท่อระบายก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยท่อดังกล่าวจะเชื่อมต่อที่ด้านบนของห้องเผาไหม้แบบสมบรูณ์และผ่านเข้าไปยังห้องเผาถ่าน ทำหน้าที่ระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้แบบสมบรูณ์ รวมถึงพาความร้อนให้สามารถถ่ายโอนเข้าไปยังห้องเผาถ่านได้อีกด้วย

เมื่อนำชีวมวลที่บันทึกน้ำหนักแล้วบรรจุลงในเตาเผาถ่านจนเต็มความจุในห้องเผาถ่านแล้วทำการปิดผนึกผาด้านล่างของเตาเผาถ่านไร้ควันให้แน่นหนา เพื่อป้องกันอากาศเข้าไปยังห้องเผาถ่าน จากนั้นเชื่อมต่อระบบน้ำหล่อเย็นกับเครื่องควบแน่นที่ท่อก๊าซวนกลับ แล้วจึงทำการจุดเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเป็นแหล่งความร้อนของการคาร์บอนเซชัน โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงสำหรับการคาร์บอนเซชัน จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวมวลและน้ำมันเครื่องใช้แล้ว เมื่อทำการจุดเชื้อเพลิงสำหรับการคาร์บอนเซชันแล้ว จะทำการบันทึกอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านไร้ควันพร้อมทั้งสังเกตและบันทึกความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อทำการคาร์บอนเซชันเสร็จสิ้นและรอจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านไร้ความต่ำกว่า

50 องศาเซลเซียสแล้ว ทำการเปิดฝาด้านบนของเตาเผาถ่านไร้ควัน ทำการชั่งและบันทึกน้ำหนักถ่านที่ได้ พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านต่อไป



รูปที่ 2 ส่วนประกอบเตาเผาถ่านไร้ควัน (1. ห้องเผาถ่าน 2. ท่อก๊าซวนกลับ 3. ห้องเผาไหม้แบบสมบูรณ์ และ 4. ท่อระบายก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้แบบสมบูรณ์)

การวิเคราะห์คุณสมบัติของชีวมวลและถ่าน

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติของชีวมวลและถ่าน โดยทำการศึกษาค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D 5865 ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter ยี่ห้อ Laco รุ่น AC500 และทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณ (Proximate analysis) ซึ่งได้แก่ ปริมาณความชื้น (Moisture content, MC) ปริมาณสารระเหยง่าย (Volatile matter, VM) ปริมาณเถ้า (Ash) และ ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, FC) ตามมาตรฐาน ASTM D 3172 – 3175 ตามลำดับ

การคำนวณร้อยละผลได้

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาชีวมวลที่ต่างชนิดกัน โดยมีความแตกต่างของแหล่งที่มา การเตรียมชีวมวลเบื้องต้น และค่าความชื้นของชีวมวลที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้น การศึกษาเปรียบเทียบร้อยละผลได้ของการคาร์บอนในเขชันจึงคำนวณร้อยละผลได้โดยน้ำหนักซึ่งอ้างอิงปริมาณชีวมวลและถ่านที่ได้แบบปราศจากความชื้น (Dry basis) ดังสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละผลได้โดยน้ำหนัก} = (\text{Biochar/Biomass}) \times 100 \quad (1)$$

โดย Biomass คือ น้ำหนักชีวมวลแบบแห้งก่อนการคาร์บอนเซชัน และ Biochar คือ น้ำหนักถ่านแบบแห้งที่ได้จากการคาร์บอนเซชันชีวมวลนั้น

วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการคาร์บอนเซชันของเปลือกมะพร้าว น้ำหอมซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต โดยได้ทำการศึกษาลักษณะการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาถ่านแบบไร้ควัน โดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะทำการบันทึกอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านไร้ควัน พร้อมทั้งบันทึกความเปลี่ยนแปลงที่สามารถสังเกตเห็นได้ ตั้งแต่เริ่มจุดเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนแก่เปลือกมะพร้าว น้ำหอมจนกระทั่งการคาร์บอนเซชันเสร็จสมบูรณ์ โดยสามารถสังเกตได้จากก๊าซที่ได้จากการคาร์บอนเซชันที่ถูกลบกลับมาเผาไหม้ยังห้องเผาไหม้แบบสมบูรณ์ของเตาเผาถ่านไร้ควันไม่สามารถติดไฟได้ นอกจากนี้ ในงานวิจัยนี้ยังทำการศึกษาการคาร์บอนเซชันชีวมวลต่างชนิดกันเพื่อทำการเปรียบเทียบร้อยละผลได้โดยน้ำหนักของการคาร์บอนเซชัน และเปรียบเทียบคุณสมบัติของถ่านที่ได้จากกระบวนการคาร์บอนเซชันด้วย

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณของชีวมวล

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลก่อนทำการคาร์บอนเซชันมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ชีวมวลที่ศักยภาพในการนำมาคาร์บอนเซชันผลิตเป็นถ่านเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพ และได้ร้อยละผลได้ที่ดี โดยชีวมวลที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นถ่านเชื้อเพลิงควรมีปริมาณคาร์บอนคงตัวในปริมาณมาก และมีปริมาณถ่านน้อย เนื่องจากการคาร์บอนเซชัน เป็นกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ที่อุณหภูมิ 300 – 400 องศาเซลเซียส ซึ่งระหว่างกระบวนการคาร์บอนเซชัน ความชื้นจะระเหยออกจากชีวมวลที่อุณหภูมิ มากกว่า 100 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิมากกว่า 250 องศาเซลเซียส (ปริญญา นวบุตร และคณะ, 2559) สารระเหยง่ายที่อยู่ในชีวมวลจะเกิดการสลายตัวออกจากชีวมวล คงเหลือคาร์บอนคงตัว เถ้า และสารระเหยง่ายบางส่วน ในถ่านเชื้อเพลิง โดยตารางที่ 1 ซึ่งแสดงค่าความชื้นของชีวมวลแบบสด

(as received) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณ และค่าความร้อนของชีวมวล 4 ชนิด ได้แก่ ไม้ไผ่ ไม้กระถินยักษ์ เหง้ามันสำปะหลัง และเปลือกมะพร้าว น้ำหอม

จากผลการศึกษาตามตารางที่ 1 พบว่า เปลือกมะพร้าว น้ำหอมมีค่าความชื้นค่อนข้างสูง และสูงกว่าชีวมวลอีก 3 ชนิด โดยชีวมวลประเภทต้นไม้ยืนต้น ได้แก่ ไม้ไผ่ และ ไม้กระถินยักษ์ จะมีความชื้นใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ จากตารางที่ 1 ยังพบว่า เหง้ามันสำปะหลังมีความชื้นน้อยที่สุด เนื่องจากในกระบวนการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง เกษตรกรนิยมทิ้งเหง้ามันสำปะหลัง ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งไว้ในพื้นที่เพาะปลูกทำให้ระหว่างการรวบรวมเหง้ามันสำปะหลังจึงมีความชื้นลดลง เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณของชีวมวลที่ 4 ชนิดตามตารางที่ 1 พบว่า เปลือกมะพร้าว น้ำหอมมีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการคาร์บอนเซชันได้ เนื่องจากมีค่าคาร์บอนคงตัวสูง (Seow et al., 2022)

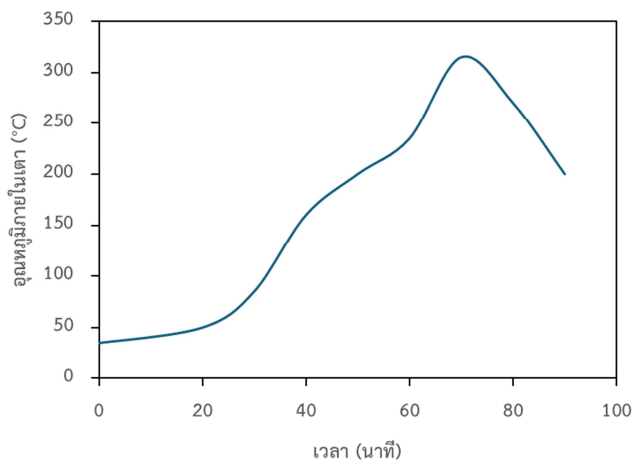
ตารางที่ 1 การศึกษาค่าความร้อนและองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณของชีวมวลต่างชนิดกัน

คุณสมบัติชีวมวล	ไม้ไผ่	ไม้กระถินยักษ์	เหง้ามันสำปะหลัง	เปลือกมะพร้าว น้ำหอม
ความชื้นชีวมวล (แบบสด, ร้อยละโดยน้ำหนัก)	35.22	30.75	8.80	75.89
ค่าความร้อน (กรอส, แบบแห้ง, แคลอรีต่อกรัม)	3,967.25	4,584.86	3,994.40	4,077.06
องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณ (แบบแห้ง, ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
- สารระเหยง่าย	77.26	77.12	62.36	66.83
- คาร์บอนคงตัว	15.26	21.55	16.23	22.48
- เถ้า	7.48	1.33	21.41	10.69

การศึกษาลักษณะการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาถ่านแบบไร้ควัน

การศึกษาลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านไร้ควันของการคาร์บอนไนเซชันเปลือกมะพร้าว น้ำหอม และใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ได้แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปภายในเตาเผาถ่านไร้ควันขณะทำการคาร์บอนไนเซชันเปลือกมะพร้าว น้ำหอม พบว่า อุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่พบว่าความเร็วในการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแตกต่างกัน กล่าวคือ ในช่วงเริ่มต้นของการคาร์บอนไนเซชันตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้นจนถึง 100 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่เปลือกมะพร้าว น้ำหอมเริ่มได้รับความร้อนและมีการสะสมความ

ร้อนไว้ภายใน รวมถึงความชื้นในเปลือกมะพร้าว น้ำหอมมีความสามารถในการดูดความร้อนสูงและต้องการพลังงานในการระเหยกลายเป็นไอ โดยสามารถสังเกตได้จากจะมีหยดน้ำออกมาจากบริเวณที่เก็บน้ำส้มควันไม้ ทำให้ในช่วงเริ่มต้นอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านจึงเพิ่มขึ้นช้ากว่าช่วงอื่น จากนั้น เมื่อเปลือกมะพร้าว น้ำหอมได้รับความร้อนจนอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มระเหยจนหมดแล้ว อุณหภูมิภายในเตาจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และพบว่า ที่อุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านมากกว่า 200 องศาเซลเซียส จะเริ่มเกิดควันสีขาวขุ่น วนกลับมายังห้องเผาไหม้ แต่ควันเหล่านั้นยังไม่สามารถติดไฟได้ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านมากกว่า 250 องศาเซลเซียส ควันที่วนกลับมายังห้องเผาไหม้จะเริ่มสามารถติดไฟได้และเพิ่มปริมาณมากขึ้น โดยควันดังกล่าวเกิดจากการสลายตัวของสารระเหยง่ายที่มีอยู่ในเปลือกมะพร้าว น้ำหอม ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 315 องศาเซลเซียส จากนั้นอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณก๊าซที่วนกลับมายังห้องเผาไหม้เริ่มลดลงตามลำดับจนไม่มีก๊าซวนกลับมายังห้องเผาไหม้ ซึ่งแสดงถึงปริมาณสารระเหยง่ายที่มีอยู่ในเปลือกมะพร้าว น้ำหอมมีปริมาณน้อย และแสดงถึงจุดสิ้นสุดการคาร์บอนเซชัน



รูปที่ 3 ลักษณะการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาถ่านแบบไร้ควัน สำหรับการคาร์บอนเซชันเปลือกมะพร้าว น้ำหอมโดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

การศึกษาการคาร์บอนในเซชันของเปลือกมะพร้าว น้ำหอมโดยใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน

เมื่อทำการศึกษาลักษณะการกระจายอุณหภูมิของการคาร์บอนในเซชันในเตาเผาถ่าน ไร่คว้นแล้ว ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของเชื้อเพลิงที่ต่างชนิดกันต่อการคาร์บอนในเซชันของเปลือกมะพร้าว น้ำหอม โดยทำการเปรียบเทียบเชื้อเพลิง 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวมวล และน้ำมันเครื่องใช้แล้ว นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการคาร์บอนในเซชัน ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงข้อมูลการคาร์บอนในเซชันเปลือกมะพร้าว น้ำหอมโดยใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน พบว่า การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลมีแนวโน้มต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่าการใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้ว เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าความร้อน ประมาณ 3,000 – 4,500 แคลอรีต่อกรัม (Sher et al., 2020) น้อยกว่าน้ำมันเครื่องใช้แล้วที่มีค่าความร้อนประมาณ 9,000 แคลอรีต่อกรัม (Dindoruk et al., 2020) นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงในการคาร์บอนในเซชันนั้น มีความสะดวกมากกว่าเนื่องจากน้ำมันเครื่องใช้แล้วสามารถจุดติดไฟ และควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงได้ง่ายกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาต้นทุนของเชื้อเพลิงแล้วพบว่า การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลมีต้นทุนที่ต่ำกว่า คิดเป็นร้อยละ 60 ดังที่แสดงในตารางที่ 2 โดยเชื้อเพลิงชีวมวลมีต้นทุนเฉลี่ย 0.72 บาทต่อถ่านที่ผลิตได้ 1 กิโลกรัม ในขณะที่ต้นทุนน้ำมันเครื่องใช้แล้วมีต้นทุนเฉลี่ย 1.96 บาทต่อถ่านที่ผลิตได้ 1 กิโลกรัม อีกทั้ง ตามข้อกำหนดของ European Bio char Certificate กำหนดให้การผลิตถ่านชีวภาพต้องคำนึงถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการคาร์บอนในเซชันด้วย (European Biochar Certificate, 2022) ดังนั้น การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจึงมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้ว เนื่องจากชีวมวลมีค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงประมาณ 0.0304 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมชีวมวล ขณะที่ น้ำมันเครื่องใช้แล้วค่าเฉลี่ยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงประมาณ 3.2200 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัม น้ำมันเครื่องใช้แล้ว (Yrjälä et al., 2022; องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2565) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเน้นการใช้เชื้อเพลิงจากชีวมวลในการศึกษาการคาร์บอนในเซชันของชีวมวลชนิดอื่น

ตารางที่ 2 การศึกษาการคาร์บอนในเซชันเปลือกมะพร้าว น้ำหอมโดยใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน

รายการ	หน่วย	ชนิดเชื้อเพลิง			
		ชีวมวล		น้ำมันเครื่องใช้แล้ว	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักเริ่มต้น	กิโลกรัม	16.00	16.00	16.00	16.00
ความชื้นชีวมวล	ร้อยละโดยน้ำหนัก	16.25	14.04	16.25	14.04
ปริมาณเชื้อเพลิง	กิโลกรัม	6.50	5.50	1.80	2.20
น้ำหนักถ่านที่ได้	กิโลกรัม	5.00	5.00	5.00	5.20
ความชื้นถ่าน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	3.90	3.90	4.05	4.05
ร้อยละผลได้ (แบบแห้ง)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	35.86	34.93	35.80	36.28
ราคาเชื้อเพลิง	บาท/กิโลกรัม	0.60	0.60	5.00	5.00
ต้นทุนเชื้อเพลิง	บาท/กิโลกรัมถ่าน	0.78	0.66	1.80	2.12

การศึกษาการคาร์บอนในเซชันและคุณสมบัติของถ่านจากการคาร์บอนในเซชัน

ชีวมวล

การศึกษาการคาร์บอนในเซชันชีวมวลที่ต่างชนิดกันมีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลของการคาร์บอนในเซชัน เช่น ร้อยละผลได้ของการคาร์บอนในเซชัน โดยร้อยละผลได้ที่แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งแสดงข้อมูลของการคาร์บอนในเซชันของชีวมวลต่างชนิดกันนั้น จะแสดงค่าร้อยละผลได้ของน้ำหนักแห้ง (dry basis) โดยคำนวณได้จากสมการที่ 1 เนื่องจากชีวมวลแต่ละชนิดมีความชื้นไม่เท่ากันทำให้ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ จากตารางที่ 3 พบว่า เปลือกมะพร้าว น้ำหอมมีแนวโน้มให้ค่าร้อยละผลได้ของการคาร์บอนในเซชันมากที่สุด โดยมีค่าร้อยละ 35.40 โดยน้ำหนัก ขณะที่เห้งน้ำมันสำปะหลัง ไม้ไผ่ และไม้กระถินยักษ์ มีค่าร้อยละผลได้ ร้อยละ 29.00 26.20 และ 22.70 ตามลำดับ ทั้งนี้พิจารณาเฉพาะค่าร้อยละผลได้ไม่สามารถสรุปได้ว่าชีวมวลชนิดใดเหมาะสมกับการผลิตเป็นถ่านชีวภาพมากกว่ากัน เนื่องจากหากพิจารณาค่าความร้อนควบคู่กันดังที่แสดงในตารางที่ 4 ซึ่งแสดงการศึกษาค่าความร้อนและองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณของถ่านจากชีวมวลต่างชนิดกัน พบว่า ถ่านไม้กระถินยักษ์มีค่าความร้อนสูงที่สุด ตามด้วยถ่านไม้ไผ่ ถ่านเปลือกมะพร้าว น้ำหอม และถ่านเห้งน้ำมันสำปะหลัง โดยมีค่าความร้อน 7,857.10 6,984.52 6,857.23 และ 5,443.74 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามร้อยละผลได้ของการคาร์บอนในเซชันมีความสัมพันธ์กับปริมาณของคาร์บอนคงตัว และปริมาณของเถ้าที่มีอยู่ในชีวมวลแต่ละชนิดซึ่งมีความแตกต่างกัน ในขณะที่ปริมาณเถ้าที่มีอยู่ในชีวมวลส่งผลให้ค่าความร้อนของชีวมวลนั้นลดลงด้วย ดังนั้น เมื่อต้องการพิจารณาหาชีวมวลที่เหมาะสมในการผลิตเป็นถ่านชีวภาพผ่านกระบวนการคาร์บอนในเซชัน จึงไม่สามารถเปรียบเทียบชีวมวลที่ต่างชนิดกันได้อย่างชัดเจน และยังต้องคำนึงถึงความสามารถในการรวบรวมชีวมวลให้มีความยั่งยืนในเชิงปริมาณด้วย อย่างไรก็ตามสามารถใช้มาตรฐานถ่านชุมชน (วัชรานนท์ จุฑาจันทร์, 2562; โกลสล เรื่องแสน และคณะ, 2565) เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาเลือกชีวมวลได้

ตารางที่ 3 การศึกษาการคาร์บอนในเซชันของชีวมวลต่างชนิดกัน

รายการ	หน่วย	ไม้ไผ่	ไม้กระถิน ยักษ์	เหียงมัน สำปะหลัง	เปลือกมะพร้าว น้ำหอม
น้ำหนักเริ่มต้น	กิโลกรัม	52.00	59.00	20.50	16.00
ความชื้นชีวมวล	ร้อยละโดยน้ำหนัก	27.28	15.71	19.99	15.14
ปริมาณเชื้อเพลิง	กิโลกรัม	18.60	22.00	7.00	6.00
น้ำหนักถ่านที่ได้	กิโลกรัม	10.30	11.90	5.00	5.00
ความชื้นถ่าน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	3.22	3.99	4.35	3.90
ร้อยละผลได้ (แบบแห้ง)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	26.20	22.70	29.00	35.40

ตารางที่ 4 การศึกษาค่าความร้อนและองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณของถ่านจากชีวมวลต่างชนิดกัน

คุณสมบัติถ่านชีวภาพ	ถ่านไม้ไผ่	ถ่านไม้ กระถิน ยักษ์	ถ่านเหียงมัน สำปะหลัง	ถ่านเปลือก มะพร้าวน้ำหอม
ความชื้นถ่านชีวภาพ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	3.22	3.99	4.35	3.90
ค่าความร้อน (กรอส, แบบแห้ง, แคลอรีต่อกรัม)	6,984.52	7,857.10	5,443.74	6,857.23
องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีประมาณ (แบบแห้ง, ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
- สารระเหยง่าย	21.56	11.70	14.49	16.16
- คาร์บอนคงตัว	68.96	85.81	58.05	73.48
- เถ้า	9.48	2.49	27.46	10.36

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการคาร์บอนในเซชันเปลือกมะพร้าว น้ำหอม โดยใช้เตาเผาถ่านไร้ควัน พบว่า การคาร์บอนในเซชันเปลือกมะพร้าว น้ำหอม โดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงมีความเหมาะสมกว่าการใช้น้ำมันเครื่องใช้แล้ว โดยได้ร้อยละผลได้ของการคาร์บอนในเซชันเปลือกมะพร้าว น้ำหอม เฉลี่ยร้อยละ 35.72 โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับผลของการคาร์บอนในเซชันชีวมวลชนิดอื่นรวมถึงคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่ได้จากชีวมวลต่างชนิดกัน พบว่า เปลือกมะพร้าว น้ำหอม มีคุณสมบัติของถ่านชีวภาพใกล้เคียงกับถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่ซึ่งเป็นชีวมวลที่ได้รับความนิยมในการนำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพ ดังนั้นการนำเปลือกมะพร้าว น้ำหอมที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตจึงมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพ เป็นการแก้ปัญหาการจัดการของเสียที่เกิดขึ้น รวมทั้งยังสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าของเปลือกมะพร้าว น้ำหอมเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับผู้ประกอบการในทางหนึ่งด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณบริษัท อี-สแควร์ กรีน อินโนเวชั่น จำกัด เป็นอย่างสูง สำหรับการสนับสนุนด้านบุคลากร วัสดุอุปกรณ์ และงบประมาณที่มีค่าในการดำเนินงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตตานต์ ผู้อำนวยการศูนย์เชื้อเพลิง และพลังงานจากชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ให้คำปรึกษา และให้การสนับสนุนในด้านการวิเคราะห์และสถานที่ในการจัดทำงานวิจัย อีกทั้งขอขอบพระคุณบริษัท ทีเจ โคอเค้นท์ส ฟรุต จำกัด ที่ได้จัดหาเปลือกมะพร้าว น้ำหอม ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กนกพงษ์ ศรีเที่ยง. (2566). การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับประดผสมซึ่งข้าวโพด. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 33(1), 232–244.
- กรกนก โกศล, ศศิธร ศรีอ่อน, พรณพวรรณ จำปาแพง และ สายันต์ แสงสุวรรณ. (2566). ไบโอสาร์ (วัสดุผสมทศจรรัย) : การสังเคราะห์ พิสูจน์เอกลักษณ์ และศักยภาพการประยุกต์ใช้งาน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 25(1), 89–104.

- เกษตรดิจิทัล. (2564). *ข้อมูลพันธุ์ไม้ Bambusa beecheyana Munro*. สืบค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2567, จาก <https://data.addrun.org/plant/archives/d2081-bambusa-beecheyana-munro>.
- โกศล เรืองแสน, อัดชา เหมันต์, หอมหวน ตาสาโรจน์, สิทธิศักดิ์ เรืองฤทธิ์, ภัคคิปป ไกรโสดา, วิรารวรรณ เหมันต์, และ ศิริวรรณ เรืองแสน. (2565). การพัฒนาเตาเผาถ่านไม้หุงต้มมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. *วารสารวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, 1(1), 1–10.
- จุฑาพล จำปาแถม, ลำพูน เหลลาราช, ภูตินันท์ อารยางกูร, และ สุรสิงห์ อารยางกูร. (2565). การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่. *วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี*, 3(3), 81–93.
- ณิชภัทร สิทธิวรรณ. (2562). *ผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน การกักเก็บน้ำในดิน และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์*. (วิทยาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- น้ำฝน ใจดี, ยິงยศ จิตจักร และ กฤตยชล ทองธรรมสถิต. (2566). การออกแบบและพัฒนาแบรนด์เพื่อสร้างอัตลักษณ์และเพิ่มคุณค่า ถ่านชีวมวลอัดแท่งของวิสาหกิจชุมชนหนองเลงพัฒนา จังหวัดชลบุรี. *วารสารสังคมศาสตร์และวัฒนธรรม*, 7(10), 350–363.
- ประภา ธารเนตร, พันธิภา โพธิ์พันธุ์ และ กชกร หล้าพรหม. (2565). บทบาทของถ่านชีวภาพต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินและการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่เกษตรกรรม. *แก่นเกษตร*, 50(4), 1233–1253.
- ปริญญา นูวบุตร, จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์, และ เลิศสถิตชนกร เจริญพร. (2559). ถ่านและน้ำส้มควันไม้จากการคาร์บอนในเขชันของเปลือกไม้และเปลือกผลไม้. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 35(5), 519–524.
- ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์, ศิริวรรณ แก้วสวิง และ อมรประภา ทิศกระโทก. (2563). การผลิตถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพจากเปลือกทุเรียน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 39(5), 580–586.
- ลลิตา เพชรใจหาญ. (2565). *ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิตถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุเกษตร*. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยแม่โจ้).

- วิชรานนท์ จุฑาจันทร์. (2562). การศึกษากระบวนการเผาถ่านและสมบัติของถ่านอัดแท่งจากหญ้าแฝก. *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 9(2), 135–146.
- สมมาส แก้วล้วน, ภาณี ศรีธรรมรีน, สุรัชย์ ณัฐ จันท์ศรี, พิชัย อัจฉมมงคล, และ สิ้นสุภา จุ้ยจุลเจิม. (2564). การผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่เลี้ยงด้วยเตาเผาถ่านชุมชนขนาด 200 ลิตร ที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์. *วารสารวิจัยราชภัฏเชียงใหม่*, 22(2), 229-245.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2565). *ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) รวบรวมมาจากข้อมูลทุติยภูมิ สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร*. สืบค้นเมื่อ 17 กรกฎาคม 2567, จาก <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/tools/files.php?mod=YjNkblXNXBlbUYwYVc5dVgyVnRhWE56YVc5dQ&type=WDBaSlRFVlQ&files=TXc9PQ>.
- Dindoruk, B., Ratnakar, R. R., and He, J. (2020). Review of Recent Advances in Petroleum Fluid Properties and Their Representation. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 83, 103541.
- European Biochar Certificate. (2022). *Guidelines for a Sustainable Production of Biochar*. Retrieved July 10, 2024, from https://www.european-biochar.org/media/doc/2/version_en_10_1.pdf.
- Kant Bhatia, S., Palai, A. K., Kumar, A., Kant Bhatia, R., Kumar Patel, A., Kumar Thakur, A., and Yang, Y. H. (2021). Trends in Renewable Energy Production Employing Biomass-Based Biochar. *Bioresource Technology*, 340, 125644.
- Malyan, S. K., Kumar, S. S., Fagodiya, R. K., Ghosh, P., Kumar, A., Singh, R., and Singh, L. (2021). Biochar for Environmental Sustainability in the Energy-Water-Agroecosystem Nexus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111379.
- Morgan, W. (2024). *It's Not Game over – It's Game on': Why 2024 Is an Inflection Point for the Climate Crisis*. Retrieved July 16, 2024, from <https://www>.

climatecouncil.org.au/inot-game-over-game-on-why-2024-inflection-point-for-climate-crisis/.

National Aeronautics and Space Administration. (2024). *The Effects of Climate Change*. Retrieved July 16, 2024, from <https://science.nasa.gov/climate-change/effects/>.

Seow, Y. X., Tan, Y. H., Mubarak, N. M., Kansedo, J., Khalid, M, Ibrahim, M. L., and Ghasemi, M. (2022). A Review on Biochar Production from Different Biomass Wastes by Recent Carbonization Technologies and Its Sustainable Applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(1), 107017.

Sher, F., Iqbal, S. Z., Liu, H., Imran, M., and Snape, C. E. (2020). Thermal and Kinetic Analysis of Diverse Biomass Fuels under Different Reaction Environment: A Way Forward to Renewable Energy Sources. *Energy Conversion and Management*, 203, 112266.

Yrjälä, K., Ramakrishnan, M., and Salo, E. (2022). Agricultural Waste Streams as Resource in Circular Economy for Biochar Production towards Carbon Neutrality. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 26, 100339.

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ

ของดอกบัวหลวงสีชมพู

ANTIOXIDANT ACTIVITIES AND TOTAL PHENOLIC CONTENT OF PINK

NELUMBO NUCIFERA GAERTN. FLOWER EXTRACT

จิรพรรณ เทียนทอง*, วิริงรอง แสงอรุณเลิศ, สาวิตรี ซัคเลีย, ดารณี นิลทอง และ สุภาวิณี แก้วบังเกิด
Jeerapan Tientong*, Wirungrong Sangarunlert, Sawitree Suckley, Daranee Nilthong
and Supawinee Kaewbungkerd

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University

Received: 16 August 2024

Revised: 30 August 2024

Accepted: 30 August 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดจากดอกบัวหลวงสีชมพู ซึ่งเป็นพืชที่ปลูกมากในจังหวัดพิจิตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่สามารถเพิ่มมูลค่าในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือเครื่องดื่มที่ช่วยลดอนุมูลอิสระในร่างกาย การวิจัยนี้ทำการสกัดส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพู ได้แก่ กลีบดอก, เกสร, และรังไข่ ทั้งในรูปแบบสดและอบแห้ง โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลบริสุทธิ์และเอทานอลผสมน้ำ (1:1 โดยปริมาตร) จากนั้นนำสารสกัดหยาบมาทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวัดปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของบัวหลวงในรูปแบบอบแห้งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดจากบัวหลวงสด โดยเฉพาะสารสกัดจากเกสรอบแห้งที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลผสมน้ำ ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุด ($IC_{50} = 9.31 \pm 1.45 \mu\text{g/mL}$) เมื่อเปรียบเทียบกับรังไข่และกลีบดอกอบแห้ง นอกจากนี้ การสกัดด้วยเอทานอลผสมน้ำยังให้

* Corresponding author: จิรพรรณ เทียนทอง

E-mail: jeerapan.t@nsru.ac.th

ปริมาณฟีนอลิกรวมสูงที่สุด โดยสารสกัดจากเกสรอบแห้งมีปริมาณฟีนอลิกรวมสูงที่สุด (209.70 ± 2.17 mg GAE/g DW)

คำสำคัญ: ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ปริมาณฟีนอลิกรวม, บั้วหลวงสีชมพู

Abstract

This research focuses on studying the antioxidant activity and total phenolic content of extracts from pink sacred lotus (*Nelumbo nucifera*) flowers, a plant widely cultivated in Phichit Province. The objective of this study is to provide preliminary data for the development of agricultural products that can be value-added, such as dietary supplements or beverages that help reduce free radicals in the body. The research involves extracting different parts of the pink lotus flower, including petals, stamens, and ovaries, both in fresh and dried forms, using pure ethanol and ethanol-water (1:1 v/v) as solvents. The crude extracts were then tested for antioxidant activity using the DPPH assay and for total phenolic content using the Folin-Ciocalteu method. The results revealed that extracts from air-dried lotus parts exhibited higher antioxidant activity than those from fresh lotus. Notably, the stamen extract from air-dried lotus, using ethanol-water as the solvent, showed the highest DPPH antioxidant activity ($IC_{50} = 9.31 \pm 1.45$ μ g/mL) compared to the ovary and petal extracts. Additionally, the ethanol-water extraction yielded the highest total phenolic content, with the dried stamen extract having the highest phenolic content (209.70 ± 2.17 mg GAE/g DW).

Keywords: antioxidant activity, total phenolic content, pink *Nelumbo nucifera* Gaertn.

บทนำ

การสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรเป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน เพราะประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์ด้วยพันธุ์ไม้และสมุนไพรหลากหลายชนิดที่มีศักยภาพในการใช้รักษาโรคต่าง ๆ อันเนื่องมาจากมีสารสำคัญมากมายที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดี การทดสอบสารสกัดจากสมุนไพรไทยเพื่อสำรวจหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจศึกษาเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะในพืชชนิดใหม่ ถึงแม้สารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากการสังเคราะห์นั้นจะมีประสิทธิภาพสูง แต่มีข้อจำกัดของการใช้และมีปัญหาด้านความปลอดภัยในการบริโภค จึงทำให้การแสวงหาสารสกัดที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น (ชนัญ ผลประไพ และ ศรีณยู อุ๋นทวี, 2562) มีรายงานว่าพืชธรรมชาติ นานาชนิดที่มีสารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) โดยเฉพาะอย่างยิ่งแซนโธน (xanthones) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดี (กรรณิการ์ พิมพิรส และคณะ, 2563)

บัวหลวงสีชมพู (*pink Nelumbo nucifera* Gaertn.) เป็นพืชสมุนไพรที่พบมากโดยทั่วไปในประเทศไทย มีคุณสมบัติที่น่าสนใจในการใช้ประโยชน์ทางการแพทย์และสมุนไพรต่าง ๆ ทุกส่วนของดอกบัวหลวงสามารถนำมาใช้ประกอบอาหาร รวมถึงมีสรรพคุณในการรักษาและป้องกันโรคต่าง ๆ ได้ เช่น กลีบดอกใช้เป็นยาฝาดสมาน ใบบำรุงร่างกายให้ชุ่มชื้น มีประสิทธิภาพในการขยายหลอดเลือดที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจ และมีสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่มีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคต่าง ๆ สารอนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดขึ้นในร่างกายมีบทบาทสำคัญในกระบวนการเกิดโรคต่าง ๆ การมีอนุมูลอิสระมากเกินไปเกิดภาวะออกซิเดทีฟสเตรส (oxidative stress) ซึ่งสามารถนำไปสู่การทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตได้ การสกัดสารจากดอกบัวหลวงสีชมพูจึงเป็นวิธีที่น่าสนใจในการค้นหาสารสกัดที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพื่อนำมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่ช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ (กฤษมา จิตแสง และ บรรลือสังข์ทอง, 2560 และ Adwas et al, 2019) การนำดอกบัวหลวงมาแยกเป็นส่วนต่าง ๆ เป็นขั้นตอนสำคัญในการสกัดสารสำคัญจากแต่ละส่วนของดอกบัวหลวงสีชมพูเพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดหยาบที่ได้ และใช้เป็นข้อมูลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของแต่ละส่วนของดอกบัวหลวงสีชมพู การนำไปประยุกต์ด้านต่าง ๆ ดังจะเห็นว่ามียานวิจัยมากมายที่สนใจนำสารสกัดสมุนไพรไปต่อยอดเพื่อเพิ่มมูลค่าของ

สมุนไพรไทย โดยการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือเครื่องดื่ม (อรอุมา คำแดง และคณะ, 2565) รวมถึงนำไปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางต่าง ๆ (พนิดา แสนประกอบ และ เกศศิรินทร์ แสงมณี, 2562; วรณิสา แก้วบ้านกรูด และคณะ, 2567) เพื่อส่งเสริมสุขภาพและความงามต่อไป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสกัดสารสำคัญจากดอกบัวหลวงสีชมพูโดยวิธีแช่หมัก (maceration) ซึ่งเป็นวิธีการสกัดที่ง่าย สะดวก ให้ประสิทธิภาพที่ดีในการสกัดสารสำคัญจากพืช และเหมาะสมสำหรับการสกัดสารออกฤทธิ์จากพืชที่สภาวะอุณหภูมิห้องโดยช่วยให้คงคุณภาพของสารสำคัญในสมุนไพรต่อความร้อน (Abubakar & Haque, 2020) สำหรับการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดพืชสมุนไพรด้วยวิธี 1,1-diphenyl picrylhydrazyl (DPPH) ก็เป็นวิธีที่สะดวกถูกต้องและรวดเร็ว การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH จึงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมโดยทั่วไปสำหรับประเมินความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ได้ นอกจากนี้การหาปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu โดยผลที่ได้แสดงปริมาณฟีนอลิกรวมซึ่งเป็นสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากพืชสมุนไพร (จิรภัทร เล่ห์สิงห์ และคณะ, 2567)

ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจสกัดสารจากดอกบัวหลวงสีชมพูในจังหวัดพิจิตร โดยทำการสกัดส่วนต่าง ๆ ของดอกบัว ได้แก่ รังไข่ เกสร และกลีบดอกด้วยวิธี maceration เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดเอ็นระหว่างในตัวทำละลายเอทานอลบริสุทธิ์และเอทานอลต่อ น้ำ (1:1 v/v) ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดหยาบที่ได้จากแต่ละส่วนของดอกบัวหลวงทั้งแบบสดและแบบอบแห้ง จากนั้นทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบที่ได้จากส่วนต่าง ๆ นี้ด้วยวิธี DPPH และการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นและการนำไปใช้ประโยชน์ด้านสุขภาพหรือเครื่องสำอางต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพู ทั้งแบบสด และแบบแห้ง ด้วยวิธี DPPH และวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมโดยวิธี Folin-Ciocalteu's reagent

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เตรียมตัวอย่างดอกบัวหลวงสีชมพู จากส่วนต่าง ๆ

เก็บตัวอย่างบัวหลวงสีชมพู (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) จากบึงบัว อำเภอเมือง จังหวัดพิบูลย์ และนำมาแยกส่วนต่าง ๆ ได้แก่ กลีบดอก (petals) เกสร (stamens) และรังไข่ (ovaries) ดังรูปที่ 1 นำมาล้างทำความสะอาดแล้วพักไว้ให้แห้ง แบ่งเป็นสองส่วนคือแบบสดและแบบอบแห้งโดยนำมาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เวลา 6 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักแห้งคงที่ คำนวณหาค่าร้อยละความชื้น (% moisture) ของส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพู จากสมการที่ 1

$$\% \text{ moisture} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}} \quad (1)$$

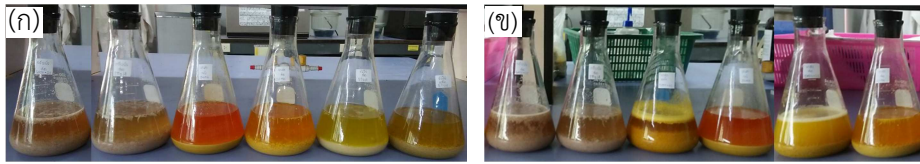
แยกบดตัวอย่างแต่ละส่วนให้ละเอียด จากนั้นจึงนำดอกบัวหลวงแต่ละส่วนมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลบริสุทธิ์และเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v)



รูปที่ 1 การเตรียมตัวอย่างดอกบัวหลวงส่วนต่าง ๆ

2. สกัดดอกบัวหลวงแบบสดและแบบอบแห้งโดยวิธีแช่หมัก

ซังตัวอย่างทั้ง 3 ส่วน ทั้งแบบสดและแบบอบแห้ง 50 กรัม บรรจุในขวดรูปชมพู่ที่มีจุกปิดสนิท เติมตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ เอทานอลบริสุทธิ์ (99.9%) และเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) อย่างละปริมาตร 200 mL สกัดด้วยวิธีแช่หมักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ดังรูปที่ 2 โดยเปิดฝาขวดคนเป็นระยะ ๆ กรองด้วยผ้าขาวบาง เก็บส่วนของเหลวไว้ นำส่วนกากมาสกัดต่อด้วยตัวทำละลายเดิมอีก 2 ครั้ง ๆ ละ 200 mL (รวมสกัด 3 ครั้ง)



รูปที่ 2 การสกัดด้วยวิธีแช่หมักที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน

(ก) กลีบดอกบัวหลวง เกสร และรังไข่ หมักด้วยตัวทำละลายเอทานอล

(ข) กลีบดอกบัวหลวง เกสรและรังไข่ หมักด้วยตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v)

นำส่วนของเหลวที่สกัดได้ทั้ง 3 ครั้ง มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไประเหยด้วยเครื่องระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40-50 °C ความดัน 150 mbar จนได้สารสกัดหยาบ (crude extract) ที่มีลักษณะข้นหนืด ชั่งน้ำหนักของสารสกัด คำนวณหาร้อยละของผลผลิตของสารสกัดหยาบที่ได้ (% yield) จากสมการที่ 2

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{น้ำหนักของสารสกัดหยาบที่ได้} \times 100}{\text{น้ำหนักของพืชตัวอย่าง}} \quad (2)$$

จากนั้นนำสารสกัดหยาบที่ได้บรรจุไว้ในขวด ปิดฝาให้สนิท หุ้มด้วยวัสดุทึบแสง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อนำไปศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวม

3. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดอกบัวหลวงสีชมพูด้วยวิธี DPPH

การตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH radical scavenging activity) ตามวิธีของ Shirwaikar et al. (2006) และ Zhu et al. (2011) เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารต่าง ๆ โดยใช้สาร DPPH radical ที่ความเข้มข้น 6.5 mM ปริมาตรเท่ากับ 2 mL เตรียมสารสกัดตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (10-250 mg/L) แล้วเติมผสมสารละลายอนุมูลอิสระ DPPH ที่สีม่วงเข้ม ปริมาตรเท่ากับ 2 mL เขย่าส่วนผสมทั้งหมดด้วยเครื่องผสมสารละลาย (vortex mixer) จากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืดทันทีเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 516 nm ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer) โดยใช้สาร BHT และ BHA เป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระกับสารสกัดตัวอย่าง คำนวณค่า

DPPH radical scavenging activity (%) และรายงานผลโดยค่า IC_{50} ในหน่วยความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่าง ($\mu\text{g/mL}$) จากผลการทดลองที่ได้คำนวณหา DPPH radical scavenging activity (%) จากสมการที่ 3

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \left(\frac{A_c - A_s}{A_c} \right) * 100 \quad (3)$$

เมื่อ A_c คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารควบคุม (Absorbance of control)

A_s คือค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ผสมกับสารสกัดตัวอย่างหรือสารมาตรฐาน (Absorbance of sample or standard solution)

4. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu

วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม ด้วยวิธีสเปกโตรโฟโตเมตรี (UV-visible spectrophotometry) โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน ตามวิธีของ Singleton and Rossi (1965) ที่ปรับขั้นตอนการวิเคราะห์โดย Meda et al. (2005) กล่าวคือ เตรียมสารสกัดตัวอย่างโดยชั่งสารสกัดตัวอย่าง 0.1000 g ละลายในเอทานอล 2 mL และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร 100 mL ปิดเตตสารสกัดตัวอย่างที่เจือจางแล้วมาปริมาตร 0.5 mL ใส่ในหลอดทดลองแยกกัน 3 หลอด เติมสารเติม Folin-Ciocalteu's reagent 2.5 mL เขย่าส่วนผสมทั้งหมดด้วยเครื่องผสมสารละลาย แล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 7.5% w/v ปริมาตร 2.0 mL และผสมอีกครั้งด้วยเครื่องผสมสารละลาย จากนั้นตั้งหลอดทดลองไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 นาที แล้วนำมาวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 nm คำนวณหาปริมาณฟีนอลิกรวมในสารตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานภายนอกของกรดแกลลิกในช่วง 0 ถึง 200 mg/L โดยผลการคำนวณปริมาณฟีนอลิกรวมในสารสกัดตัวอย่าง แสดงในหน่วยมิลลิกรัมของสารเทียบเท่ากับกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมของน้ำหนักรวมตัวอย่าง ($\text{mg GAE/100 g of sample}$)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ปริมาณความชื้นในส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพู

ผลร้อยละความชื้นในส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพู แสดงในตารางที่ 1 พบว่า เกสรมีร้อยละความชื้นน้อยที่สุด คือ 68.0 ± 0.6 เมื่อเปรียบเทียบกับกลีบดอกและรังไข่ซึ่งมี ร้อยละความชื้นสูงมากคือ 87.0 ± 2.0 และ 84.2 ± 3.1 ตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงว่าน้ำหนัก ตัวอย่างแบบสดของทั้งกลีบดอกและรังไข่มีน้ำเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่มาก ผลดังกล่าว จึงทำให้ทราบว่าเมื่อชั่งน้ำหนักของกลีบดอกอบแห้งและรังไข่อบแห้งที่มีการสูญหายของน้ำไป แล้วจะได้ปริมาณของตัวอย่างปริมาณมากขึ้นเมื่อเทียบกับการชั่งน้ำหนักตัวอย่างกลีบดอกแบบ สดและรังไข่แบบสด ตามลำดับ ในขณะที่น้ำหนักเกสรอบแห้งจะมีความแตกต่างกับเกสรแบบ สดน้อยที่สุด เพราะร้อยละความชื้นของเกสรที่น้อยที่สุด

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้นในส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพู

ส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวง สีชมพู	ร้อยละความชื้น (% moisture) (ค่าเฉลี่ย \pm SD)
กลีบดอก	87.0 ± 2.0
เกสร	68.0 ± 0.6
รังไข่	84.2 ± 3.1

2. การสกัดหยาบส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพูด้วยตัวทำละลายเอทานอล บริสุทธิ์และเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v)

จากตารางที่ 2 พบว่าสารสกัดหยาบดอกบัวหลวงสีชมพูจากส่วนต่าง ๆ ทั้งแบบสด และอบแห้งที่สกัดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์และเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) ทั้งหมด 12 ตัวอย่าง มีลักษณะทางกายภาพเป็นของเหลวขุ่นหนืด สารสกัดหยาบที่ได้นี้จะถูกเก็บไว้ในขวดเก็บสาร ปิดฝาแล้วหุ้มทั้งขวดด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันการสัมผัสแสงและเก็บไว้ในตู้เย็นที่ อุณหภูมิ 4°C เพื่อรอการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมต่อไป

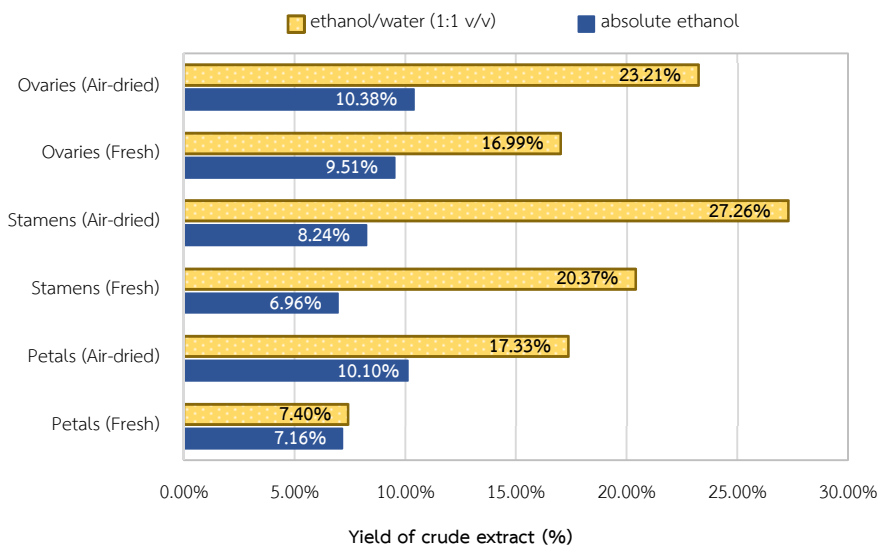
ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของสารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดด้วยเอทานอลที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ตัวทำละลาย	ลักษณะทางกายภาพ
กลีบดอกสด	เอทานอล	ของเหลวขุ่นหนืดสีน้ำตาลเข้ม
เกสรสด	เอทานอล	ของเหลวขุ่นหนืดสีส้มเหลืองเข้ม
รังไข่สด	เอทานอล	ของเหลวขุ่นหนืดสีน้ำตาลดำเข้ม
กลีบดอกอบแห้ง	เอทานอล	ของเหลวขุ่นหนืดสีน้ำตาลดำเข้ม
เกสรอบแห้ง	เอทานอล	ของเหลวขุ่นหนืดสีส้มเหลือง
รังไข่อบแห้ง	เอทานอล	ของเหลวขุ่นหนืดสีน้ำตาลเข้ม
กลีบดอกสด	เอทานอล-น้ำ (1:1 v/v)	ของเหลวขุ่นหนืดสีน้ำตาลแดงเข้ม
เกสรสด	เอทานอล-น้ำ (1:1 v/v)	ของเหลวขุ่นหนืดสีส้มเหลืองเข้ม
รังไข่สด	เอทานอล-น้ำ (1:1 v/v)	ของเหลวขุ่นหนืดสีน้ำตาลดำเข้ม
กลีบดอกอบแห้ง	เอทานอล-น้ำ (1:1 v/v)	ของเหลวขุ่นหนืดสีน้ำตาลเข้ม
เกสรอบแห้ง	เอทานอล-น้ำ (1:1 v/v)	ของเหลวขุ่นหนืดสีส้มเหลือง
รังไข่อบแห้ง	เอทานอล-น้ำ (1:1 v/v)	ของเหลวขุ่นหนืดสีน้ำตาลเข้ม

จากรูปที่ 3 แสดงร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้ของดอกบัวหลวงสีชมพูทั้งแบบสดและแบบอบแห้งที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลบริสุทธิ์ และตัวทำละลายเอทานอลต่อ น้ำ (1:1 v/v) ซึ่งแยกสกัดเป็นส่วนต่าง ๆ ได้แก่ กลีบดอก เกสร และรังไข่ พบว่าสารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดด้วยเอทานอลต่อ น้ำ (1:1 v/v) มีปริมาณมากกว่าสารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ตั้งแต่ 1.03 ถึง 3.31 เท่า โดยพบว่าดอกบัวหลวงสีชมพู จากส่วนเกสรอบแห้งที่สกัดด้วยเอทานอลต่อ น้ำ (1:1 v/v) จะให้ร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้สูงที่สุดคือ 27.26% โดยได้ปริมาณสารสกัดหยาบที่มากกว่าการสกัดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ (8.24%) ถึง 3.31 เท่า เมื่อทำการสกัดส่วนรังไข่อบแห้งด้วยเอทานอลต่อ น้ำ (1:1 v/v) จะให้ร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้สูงรองลงมาคือ 23.21% โดยได้ปริมาณสารสกัดหยาบมากกว่าที่สกัดจากเอทานอลบริสุทธิ์ (10.38%) ถึง 2.24 เท่า พบว่าการสกัดส่วนของเกสรแบบสดด้วยเอทานอลต่อ น้ำ (1:1 v/v) ให้ร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้สูงมากเช่นกัน (20.37%) และได้ปริมาณสารสกัดหยาบมากกว่าการสกัดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ (8.24%) ถึง 2.93 เท่า นอกจากนี้ร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดดอกบัวหลวงสีชมพูด้วยเอทานอล

ต่อน้ำ (1:1 v/v) สำหรับส่วนของกลีบดอกอบแห้ง (17.33%) รังไข่แบบสด (16.99%) และกลีบดอกแบบสด (7.40%) มีปริมาณสูงกว่าการสกัดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์จากส่วนกลีบดอกอบแห้ง (10.10%) รังไข่แบบสด (9.51%) และกลีบดอกแบบสด (7.16%) มากกว่าถึง 1.72 และ 1.03 เท่า ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการสกัดส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพูทั้งแบบสดและแบบอบแห้งด้วยเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) จะให้ร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้จากเกสรอบแห้ง (27.26%) รังไข่อบแห้ง (23.21%) และกลีบดอกอบแห้ง (17.33%) ซึ่งมีค่าสูงกว่าสารสกัดหยาบที่ได้จากการสกัดส่วนต่าง ๆ แบบสดคือ เกสรแบบสด (20.37%) รังไข่แบบสด (16.99%) และกลีบดอกแบบสด (7.40%) ตามลำดับ ในการสกัดดอกบัวหลวงสีชมพูด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับการสกัดด้วยเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) โดยพบว่าดอกบัวหลวงสีชมพูที่อบแห้งแล้วจะให้ร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้มีค่าที่สูงกว่าแบบสด กล่าวคือ รังไข่อบแห้ง (10.38%) กลีบดอกอบแห้ง (10.10%) และเกสรอบแห้ง (8.24%) ซึ่งมีค่าสูงกว่าร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้จากดอกบัวหลวงสีชมพูแบบสดคือ รังไข่แบบสด (9.51%) กลีบดอกแบบสด (7.16%) และ และเกสรแบบสด (6.96%) ตามลำดับ



รูปที่ 3 ร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้ (%Yield of crude extract) ของส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพูทั้งแบบสด (Fresh) และแบบอบแห้ง (Air-dried) ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลบริสุทธิ์และเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v)

ตารางที่ 3 การศึกษาเปรียบเทียบร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้ (%Yield of crude extract) ของส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพูทั้งแบบสด (Fresh) และแบบอบแห้ง (Air-dried) ที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลบริสุทธิ์และเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) ด้วยสถิติ t-test

ตัวทำละลาย	ส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพู	Mean±S.D.	df	t-test
เอทานอล เอทานอล-น้ำ (1:1 v/v)	เกสรอบแห้ง	27.26±0.01 8.24±0.04	2	-1098.120
เอทานอล เอทานอล-น้ำ (1:1 v/v)	รังไข่อบแห้ง	23.21±0.03 10.38±0.05	2	-277.778
เอทานอล เอทานอล-น้ำ (1:1 v/v)	กลีบดอกอบแห้ง	17.33±0.10 10.10±0.08	2	-44.693
เอทานอล เอทานอล-น้ำ (1:1 v/v)	เกสรแบบสด	20.37±0.15 6.96±0.09	2	-387.113
เอทานอล เอทานอล-น้ำ (1:1 v/v)	รังไข่แบบสด	16.99±0.07 9.51±0.11	2	-323.894
เอทานอล เอทานอล-น้ำ (1:1 v/v)	กลีบดอกแบบสด	7.40±0.12 7.16±0.06	2	-6.928

นอกจากนี้ พบว่าร้อยละผลผลิตของสารสกัดหยาบที่ได้แตกต่างกันเนื่องจากสภาพขั้ว (polarity) ของตัวทำละลาย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ การสกัดดอกบัวหลวงสีชมพูด้วยเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) จะได้รับร้อยละผลผลิตของสารสกัดหยาบที่ได้สูงกว่าการสกัดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในตารางที่ 3 ทั้งนี้เนื่องจากเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) เป็นตัวทำละลายที่มีน้ำเป็นส่วนผสมซึ่งมีสภาพขั้วที่สูงกว่าเอทานอลบริสุทธิ์ ดังนั้นตัวทำละลายเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) จึงสามารถละลายสารที่มีขั้วสูงออกมาจากส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพูได้มาก ในขณะที่เดียวกันในตัวทำละลายผสมที่มีเอทานอลซึ่งมีสภาพขั้วต่ำกว่าน้ำจึงช่วยละลายสารที่มีสภาพขั้วต่ำกว่าน้ำออกมาจากดอกบัวหลวงสีชมพูได้ด้วย ทำให้สารละลายผสมของเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) ซึ่งมีสภาพขั้วที่สูงกว่าเอทานอลบริสุทธิ์จึงมีความสามารถในการละลายสารสำคัญจากส่วนต่าง ๆ ของ

ดอกบัวหลวงสีชมพูได้มากกว่าเอทานอลบริสุทธิ์ เช่นนี้จึงเป็นผลดีต่อการสกัดสารจากวัตถุดิบธรรมชาติที่ทำให้ได้ร้อยละผลผลิตของสารสกัดหยาบที่ได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยจันทกานต์ นุชสุข (2561) ที่ทำการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากปลีกกล้วยไข่ กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอม โดยเตรียมสารสกัดหยาบจากปลีกกล้วยไข่ กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอมด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ เอทานอล เมทานอล และน้ำกลั่น พบว่า การสกัดด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาณผลผลิตร้อยละมากที่สุด รองลงมา คือ เอทานอลและเมทานอลตามลำดับ และงานวิจัยของสุริยา ทุดปอ และจิตรา สิงห์ทอง (2560) ที่ทำการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในแก่นตะวันสายพันธุ์เบอร์ 2 ที่มีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบการสกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ น้ำเอทานอล และอะซิโตน พบว่าแก่นตะวัน 20 สัปดาห์ที่สกัดด้วยน้ำ มีปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงที่สุด เนื่องจากสารทั้งสองเป็นสารที่มีขั้วจึงสามารถละลายในน้ำได้ดี และน้ำเป็นตัวทำละลายมีขั้วสูงทำให้เมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลายจึงสามารถสกัดสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ทั้งหมดได้ปริมาณสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเอทานอลและอะซิโตน

3. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพู

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดหยาบที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพู (กลีบดอก เกสร และรังไข่) ที่สกัดจากตัวทำละลายเอทานอลบริสุทธิ์ และเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) พบว่าสารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพูมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่แสดงผลโดยค่า IC_{50} และปริมาณฟีนอลิกรวม แสดงดังตารางที่ 4 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH รายงานผลโดยค่า IC_{50} ซึ่งแสดงถึงความเข้มข้นของสารสกัดตัวอย่าง ($\mu\text{g/mL}$) ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยทำให้ความเข้มข้นของอนุมูลอิสระ DPPH ลดลงร้อยละ 50 ดังนั้นสารสกัดตัวอย่างที่มีค่า IC_{50} น้อยที่สุด จึงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และปริมาณฟีนอลิกรวมระหว่างสารสกัดหยาบจากส่วนต่าง ๆ ทั้งแบบสดและแบบอบแห้งที่สกัดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์และเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) พบว่าการสกัดส่วนต่าง ๆ ของบัวหลวงในรูปแบบอบแห้งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการสกัดจากบัวหลวงสด ทั้งในด้านฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมที่สูงกว่า และพบว่าการสกัดส่วนต่าง ๆ ที่อบแห้งแล้วด้วยตัวทำละลาย

เอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) ได้สารสกัดหยาบที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และมีปริมาณฟีนอลิกรวมที่มากกว่าสารสกัดหยาบที่สกัดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์

ตารางที่ 4 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ของสารสกัดหยาบที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพู (กลีบดอก เกสร และรังไข่) ที่สกัดจากตัวทำละลายเอทานอลบริสุทธิ์และเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v)

No.	Samples of Various Parts of Pink Royal Lotus	Samples Extracted from Ethanol/Water (1:1 v/v)		Samples Extracted from Absolute Ethanol		References IC ₅₀ (µg/mL)
		Total Phenolic Content (mg GAE/g DW)	IC ₅₀ (µg/mL)	Total Phenolic Content (mg GAE/g DW)	IC ₅₀ (µg/mL)	
		1	Ovaries (Air-dried)	184.91 ± 3.24	10.52 ± 1.82	
2	Ovaries (Fresh)	160.72 ± 4.11	13.44 ± 2.01	118.72 ± 4.31	26.14 ± 2.21	-
3	Stamens (Air-dried)	209.70 ± 2.17	9.31 ± 1.45	198.21 ± 2.52	16.53 ± 1.42	-
4	Stamens (Fresh)	163.58 ± 3.82	12.56 ± 2.15	175.60 ± 3.10	24.33 ± 2.14	-
5	Petals (Air-dried)	136.61 ± 2.54	14.90 ± 1.92	128.94 ± 2.73	18.90 ± 2.71	-
6	Petals (Fresh)	61.73 ± 4.30	27.11 ± 3.24	83.90 ± 3.02	21.00 ± 2.87	-
7	BHT	-	-	-	-	7.04 ± 1.20
8	BHA	-	-	-	-	3.12 ± 1.16

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกบัวหลวงสีชมพูส่วนต่าง ๆ โดยทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH พบว่า สารสกัดจากส่วนเกสรอบแห้งที่สกัดด้วยเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) มีค่า IC₅₀ น้อยที่สุด เท่ากับ 9.31 ± 1.45 µg/mL จึงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระรองลงมาคือรังไข่อบแห้ง และกลีบดอกอบแห้ง โดยมีค่า IC₅₀ คือ 10.52±1.82 และ 14.90±1.92 µg/mL ตามลำดับ พบว่า สารสกัดที่ได้จากกลีบดอกแบบสด มีค่า IC₅₀ มากที่สุด เท่ากับ 27.11 ± 3.24 µg/mL จึงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้น้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม พบว่าสารสกัดที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของดอกบัวหลวงสีชมพูแบบอบแห้งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่น้อยกว่าสารมาตรฐานอ้างอิง BHT และ BHA ซึ่งมีค่า IC₅₀ เท่ากับ 7.04±1.20 และ 3.12±1.16 µg/mL ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่า สารสกัดหยาบของเกสรดอกบัวหลวงสีชมพูแบบอบแห้ง มีปริมาณฟีนอลิกรวมสูงที่สุด คือ 209.70±2.17 mg GAE/g DW รองลงมาคือ รังไข่อบแห้ง เท่ากับ 184.91±3.24 mg GAE/g DW และน้อยที่สุดคือ กลีบดอกแบบสด เท่ากับ 61.73 ± 4.30 mg GAE/g DW ซึ่งสอดคล้อง

กับงานวิจัยของ On-nom et al. (2023) ที่แสดงว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดหยาบที่ได้จากเกสรมีมากกว่ากลีบดอก

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้พบว่าการสกัดด้วยเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) ได้ร้อยละสารสกัดหยาบที่ได้มากกว่าสารการสกัดด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ โดยส่วนเกสรอบแห้งของดอกบัวหลวง สีชมพูที่สกัดด้วยเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) จะให้ร้อยละผลผลิตสารสกัดหยาบที่ได้มากที่สุด พบว่าสารสกัดจากดอกบัวหลวงทุกส่วนที่ศึกษาได้แก่ ส่วนเกสร รังไข่ และกลีบดอก มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูง โดยเฉพาะสารสกัดหยาบด้วยเอทานอลต่อน้ำ (1:1 v/v) ของเกสรดอกบัวสีชมพูที่สกัดจากดอกบัวอบแห้งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด และมีปริมาณฟีนอลิกรวมสูงที่สุด อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาชนิดของสารสำคัญและการนำสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของดอกบัวหลวงมาใช้ประโยชน์ด้านสุขภาพให้แพร่หลายมากขึ้น นอกจากนี้ควรพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดดอกบัวหลวงที่สะดวกในการบริโภคที่คงการต้านอนุมูลอิสระไว้ได้ดี

ข้อเสนอแนะ

ควรทำการเปรียบเทียบการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการอื่นร่วมด้วย เนื่องจากวิธี DPPH เป็นวิธีเบื้องต้นที่ง่ายในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิธี ABTS assay วิธี FRAP assay เทคนิคโครมาโทกราฟีเพื่อแยกชนิดและหาปริมาณสารเคมีองค์ประกอบในสารสกัด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ และขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรรณิการ์ พิมพรัส, เกศริน ชีฆายุ และ พิรดา สุกประเสริฐ. (2563). ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa* ของสารสกัดจากพะยอม (*Shorea roxburghii* G. Don). *วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ*, 8(1), 15-27.
- กุสุมา จิตแสง และ บรรลือ สังข์ทอง. (2560). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวม จากส่วนต่าง ๆ ของบัวหลวง 2 พันธุ์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย มหาสารคาม*, 36(2), 154-160.
- จันทกานต์ นุชสุข. (2561). ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากเปลือกกล้วยไข่ กล้วยน้ำว้า และกล้วยหอม. *วารสารวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย ราชภัฏนครสวรรค์*, 10(12), 1-10.
- จิรภัทร เล่ห์สิงห์, ธัญญา พรหมศร, กริยาภา หลายรุ่งเรือง และ เจมส์ พึ่งผล. (2567). การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมจากสารสกัดยาอายุวัฒนะ. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 18(1), 79-91.
- ชนัญ ผลประไพ และ ศรัณยู อุ๋นทวี. (2562). การพัฒนากระบวนการเตรียมสารสกัดสมุนไพร ไทยที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. *Thai Journal of Science and Technology*, 8(5), 479-492.
- พนิดา แสนประกอบ และ เกศศิริรินทร์ แสงมณี. (2562). การประยุกต์ใช้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงในบิลซ์ครีม. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 11 วันที่ 27-28 มีนาคม 2562*, 3(ST.101), 1-5.
- วรรณิสา แก้วบ้านกรูด, รินทร์ลดา มหาสถิตย์, กนิษฐา ส่วนโนลี และ วรงค์พร รัตนบุญ. (2567). บาล์มทำความสะอาดเครื่องสำอางจากสารสกัดเปลือกมะเขือเทศราชินี. *วารสารวิจัย มทร.กรุงเทพ*, 18(1), 90-99.
- สุรียา ทุดปอ และ จิตรา สิงข์ทอง. (2560). สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของแก่นตะวันที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 19(3), 45-57.

- อรอุมา คำแดง, รัตนาภรณ์ มะโนกิจ และ เกียรติศักดิ์ สิงห์แก้ว. (2565). คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มกุหลาบเสริมรากบัวหลวงแบบสดและแบบอบแห้ง. *วารสารเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์และนวัตกรรม*, 1(1), 8-21.
- Abubakar, A. R., & Haque, M. (2020). Preparation of Medicinal Plants: Basic Extraction and Fractionation Procedures for Experimental Purposes. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 12(1), 1-10.
- Adwas, A. A., Elsayed, A., Azab, A. E., & Quwaydir, F. A. (2019). Oxidative stress and antioxidant mechanisms in human body. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 6(1), 43-47.
- Meda, A., Lamien, C. E., Romito, M., Millogo, J., & Nacoulma, O. G. (2005). Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. *Food chemistry*, 91(3), 571-577.
- On-nom, N., Thangsiri, S., Inthachat, W., Temviriyankul, P., Sahasakul, Y., Chupeerach, C., & Suttisansanee, U. (2023). Seasonal effects on phenolic contents and in vitro health-promoting bioactivities of sacred lotus (*Nelumbo nucifera*). *Plants*, 12(7), 1441.
- Shirwaikar, A., Shirwaikar, A., Rajendran, K., & Punitha, I. S. R. (2006). In vitro antioxidant studies on the benzyl tetra isoquinoline alkaloid berberine. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 29(9), 1906-1910.
- Singleton, V., & Rossi, J. (1965). Colorimetry of Total Phenolic Compounds with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
- Zhu, K. X., Lian, C. X., Guo, X. N., Peng, W., & Zhou, H. M. (2011). Antioxidant activities and total phenolic contents of various extracts from defatted wheat germ. *Food Chemistry*, 126(3), 1122-1126.

OPTIMIZING GROWTH CONDITIONS FOR WOLFFIA (*Wolffia globosa*) USING AN AB HYDROPONIC FERTILIZER CULTURING SYSTEM

Wiwat Sangpakdee^{1,*}, Wiwat Kaensa¹, Panya Sasopa² and Thaninatphasit Sangpakdee³

¹ Biology program, Science, Udon Thani Rajabhat University

² Mathematics program, Science, Udon Thani Rajabhat University

³ Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University

Received: 4 February 2024

Revised: 30 August 2024

Accepted: 30 August 2024

Abstract

This research focuses on the optimization of growth conditions for *Wolffia*, the smallest flowering plant, utilizing an AB hydroponic fertilizer culturing system. The study addresses the increasing global demand for sustainable and nutritious food sources, positioning *Wolffia* as a promising solution due to its rapid growth and high protein content. The research methodology involves a systematic investigation into the effects of varying nutrient concentrations, light intensities, and pH levels within the AB hydroponic system. The results highlighted the significance of AB fertilizer concentrations, with 5 ml/l demonstrating superior growth rates and quality metrics. Surprisingly, lower light intensities (3,000-6,000 lux) yielded the highest growth rates and thallus size, challenging conventional expectations. pH levels exhibit a non-significant impact on growth, emphasizing the adaptability of *Wolffia* to a broader pH range. Controlled environmental conditions further validate the success of the optimized hydroponic system. Proximate analysis reveals *Wolffia*'s nutritional richness, supporting its potential as a functional food source. This research contributes valuable insights to

* Corresponding author: Wiwat Sangpakdee

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

hydroponics and sustainable agriculture, positioning *Wolffia* as a resilient and resource-efficient food source. The findings have implications for global food security and potential applications in space agriculture.

Keywords: *Wolffia*, AB hydroponic fertilizer, culturing system

Introduction

The increasing global demand for sustainable and nutritious food sources has driven the exploration of unconventional alternatives. *Wolffia*, the smallest flowering plant, offers a promising solution due to its rapid growth, high protein content, which can range from 20% to 45% of its dry weight depending on the species and growing conditions (Sree et al., 2016) and potential applications in both food production and environmental remediation. However, to fully realize *Wolffia*'s potential as a viable food source, there is a critical need to standardize its growth conditions, particularly within hydroponic systems. Our research addresses this gap by optimizing the growth conditions of *Wolffia* using an AB hydroponic fertilizer culturing system, which has yet to be thoroughly explored in existing literature.

Hydroponic systems have emerged as efficient alternatives to traditional soil-based cultivation, providing controlled environments that can be precisely tailored to meet the specific needs of various plant species. The AB hydroponic fertilizer, known for its balanced nutrient composition, presents a unique opportunity to fine-tune the nutrient supply for *Wolffia*. AB fertilizer, commonly used in hydroponic systems, is composed of two main components: Solution A, which typically contains calcium nitrate and iron chelates, and Solution B, which includes potassium nitrate, magnesium sulfate, and a blend of micronutrients such as boron, manganese, zinc, copper, and molybdenum. These nutrients are essential for the growth and development of *Wolffia*, as they support various

physiological processes. Despite its potential, no standardized hydroponic protocol currently exists for *Wolffia*, limiting its scalability and broader application. Our study aims to bridge this gap by systematically investigating the effects of varying nutrient concentrations, light intensities, and pH levels within the AB hydroponic system, thereby laying the groundwork for the development of a standardized protocol.

Previous studies have underscored *Wolffia*'s potential as a high-yield, low-resource-input crop with diverse applications. Nutritional studies, such as those by Kaplan et al. (2018) and On-Nom et al. (2023), have highlighted *Wolffia*'s rich protein content and its applicability in addressing malnutrition, particularly in resource-limited regions. Environmental applications have also been explored, with Pandey et al. (2020) and Delgado-González et al. (2021) demonstrating *Wolffia*'s effectiveness in phytoremediation and wastewater treatment. Additionally, the potential of *Wolffia* in space agriculture has been investigated, with Romano & Aronne (2021) and Romano et al. (2024) examining its adaptability to altered gravity conditions and its suitability for extraterrestrial cultivation.

While these studies provide valuable insights, none have focused on optimizing *Wolffia*'s growth within a hydroponic system, particularly using the AB fertilizer. This study builds upon the existing body of research by introducing and evaluating a novel approach to *Wolffia* cultivation that could enhance its growth efficiency and nutritional profile. Specifically, this study seeks to investigate the effects of varying nutrient concentrations on the growth rate of *Wolffia* in an AB hydroponic system, assess the impact of different light intensities and pH levels on *Wolffia*'s growth performance, and develop a standardized hydroponic protocol for optimizing *Wolffia* cultivation.

Materials and Methods

1. Experimental Site and Plant Selection

The experiments were conducted at Udon Thani Rajabhat University in Samprao District, Udon Thani Province, Thailand. Locally sourced *Wolffia globosa* (Fig. 1) from Nongbua Lamphu province was chosen for this study due to its availability and previous indications of robust growth in regional conditions. The species was identified and verified through morphological examination and comparison with standard taxonomic references. Cultivation took place in twelve rectangular basins, each measuring 90 cm in width and 120 cm in length, within a greenhouse environment (Fig. 2).

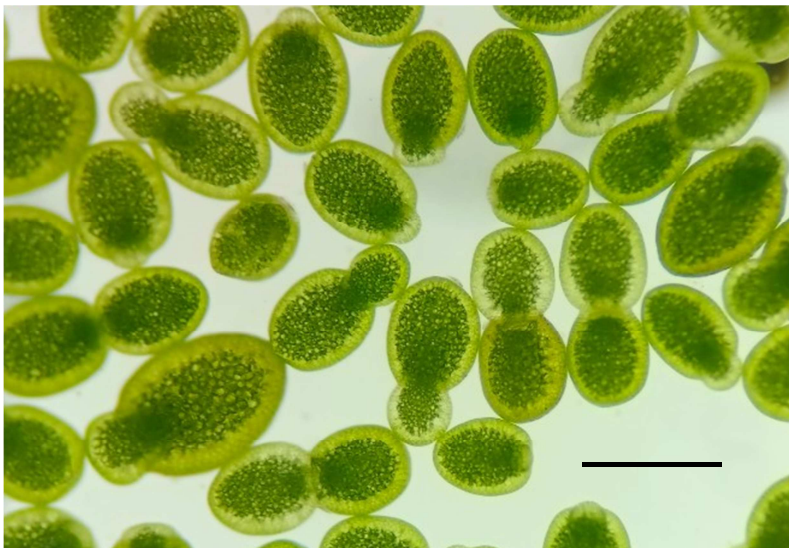


Fig. 1 *W. globosa* collected from a natural pond from Nongbua Lamphu province. Bar = 0.5 mm



Fig. 2 *W. globosa* cultured indoor in three different culturing systems and setup all culture systems in a greenhouse controlled by microcontroller connected with Wi-Fi and e-W Link software.

2. Culturing System Design:

A completely randomized design (CRD) was employed for the indoor culturing of *W. globosa* to determine growth rate and quality. The variables under investigation included AB fertilizer concentrations (1, 3, and 5 mL/l). Each treatment was replicated thrice, and a control treatment was included for comparison.

3. Environmental Condition and Monitoring:

Conditions such as light-dark period, light intensities (5,000-8,000 lux), pH levels (5-8) temperature (25-35 °C), moisture (70-92%), Dissolve oxygen (DO), NO_2 , and NO_3^- were not directly controlled. However, monitoring occurred at seven-day intervals, aligning with data collection points.

4. Growth Measurement:

The growth assessment of *W. globosa* involved tracking fresh weight and frond size over a 28-day cultivation period. Measurements were taken

weekly, and the plants were returned to their respective systems. Dry weight determination was carried out by overnight drying in a hot air oven at 60 °C.

5. Data Analysis:

Data analysis involved descriptive statistics and one-way analysis of variance (ANOVA) with subsequent Duncan's multiple comparison tests. Statistically significant differences were determined at a probability level < 0.05 ($p < 0.05$).

6. Proximate Analysis:

The same amount of 250 g for fresh and dry samples (dry samples derived from 5 kg of fresh samples by drying with an oven) of *W. globosa* subjected randomly to horizontal surface agitation were sent to the central laboratory Thailand Co., Ltd., for proximate analysis.

7. Ethical Considerations:

Due to the small size of *Wolffia* plants, ethical guidelines and approvals were not applicable to this research.

Results and Discussion

1. Effects of AB Fertilizer Concentration on Growth and Quality of *Wolffia globosa*

The growth metrics of *W. globosa* under varying concentrations of AB fertilizer revealed a clear dose-dependent response (Tables 1-3). The highest concentration of 5 mL/L consistently led to superior outcomes across all measured parameters, including fresh weight, production rate, and frond size. These results suggest that increased nutrient availability significantly enhances *W. globosa* growth and development.

One potential reason for the superior performance at the 5 mL/L concentration is the balanced nutrient composition of the AB fertilizer, which may have provided optimal levels of macro and micronutrients necessary for

W. globosa's rapid growth. Higher nutrient availability likely supports increased photosynthetic activity and protein synthesis, crucial for the plant's biomass accumulation.

However, it is important to consider whether an even higher concentration could yield further improvements or if there exists an upper limit where the beneficial effects plateau or even reverse. Although this study did not test concentrations higher than 5 mL/L, future research could explore this to determine the optimal nutrient range for *W. globosa* cultivation.

2. Influence of Light Intensity on Growth

Interestingly, the study found that *W. globosa* exhibited the highest growth rates and larger frond sizes under lower light intensities within the 3,000-6,000 lux range, which contrasts with typical expectations that higher light intensities would enhance growth. This unexpected result could be due to *W. globosa*'s adaptation to shaded aquatic environments in its natural habitat, where excessive light might lead to photo-oxidative stress or hinder nutrient uptake efficiency.

Comparing this finding with existing literature, it appears that while many aquatic plants thrive under moderate to high light conditions, *W. globosa* may have evolved mechanisms to optimize its growth under lower light intensities. On-Nom et al. (2023) demonstrated *W. globosa*'s versatility in different applications, but their study focused on its use in processed forms rather than on raw growth conditions, making direct comparisons challenging. Nevertheless, our findings suggest a unique light requirement for *W. globosa* that could inform cultivation practices, particularly in controlled environments with limited light availability.

3. pH Level Adaptability

The study also explored the effects of pH levels on *W. globosa* growth and found no significant differences in growth rates and frond size across

the pH range of 5-8. This adaptability to a broad pH spectrum is noteworthy, as it contrasts with many hydroponic crops that often exhibit optimal growth within a narrow pH range.

W. globosa's ability to thrive across various pH levels may be attributed to its efficient regulation of ion exchange processes and cellular homeostasis, allowing it to maintain growth and nutrient uptake under different pH conditions. This resilience to pH fluctuations enhances its potential for diverse hydroponic systems, where pH control can be challenging.

4. Environmental Conditions and Their Influence

The controlled environmental conditions during the cultivation period (Table 4) provided a stable framework for evaluating the effects of the experimental variables. The maintenance of suitable light-dark periods, light intensities, pH levels, temperature, and nutrient concentrations minimized external variability, ensuring that the observed differences in growth were attributable to the AB fertilizer concentrations and other controlled factors.

However, slight fluctuations in environmental parameters, such as temperature and dissolved oxygen (DO), were observed. While these did not appear to significantly impact the overall growth outcomes, they highlight the importance of continuous monitoring and potential adjustments in long-term cultivation practices.

5. Proximate Analysis and Nutritional Composition

The proximate analysis of fresh and dry *W. globosa* of random samples (Table 5) revealed a nutrient-rich profile, including high protein content, essential amino acids, dietary fiber, and minerals such as calcium and iron. These findings align with Kaplan et al.'s (2018) emphasis on *Wolffia*'s potential to address malnutrition, particularly in resource-limited regions.

The nutritional composition of *W. globosa* supports its application as a functional food source, with potential for inclusion in diverse dietary products.

As explored by Monthakantirat et al. (2022) and Siriwat et al. (2023), the rich protein and antioxidant content of *Wolffia* could be harnessed in developing health-promoting foods, furthering its relevance in the context of global food security.

6. Implications for Sustainable Agriculture and Space Exploration

The optimized hydroponic system developed in this study provides valuable insights into the cultivation of *W. globosa*, with implications for sustainable agriculture. Given its rapid growth, minimal resource requirements, and nutritional richness, *Wolffia* presents a viable alternative for enhancing food security, particularly in regions with limited arable land.

Moreover, the adaptability of *W. globosa* to varying pH levels and lower light intensities may extend its potential for space agriculture. Romano et al. (2024) explored *Wolffia*'s growth under altered gravity conditions, suggesting its suitability for extraterrestrial cultivation. Our findings reinforce this potential, demonstrating that *Wolffia* can thrive under controlled environmental conditions, making it a strong candidate for inclusion in space missions focused on sustainable food production.

Table 1 Fresh weight (g/m²) of *W. globosa* cultivated in three different concentrations of AB fertilizer

AB Fertilizer Concentration (mL/L)	Days-culture				
	0	7	14	21	28
1 mL/L	25±0.1	53±0.22b	89±0.30c	129±0.33c	150±0.35c
3 mL/L	25±0.1	58±0.40ab	103±0.25b	149±0.45b	178±0.30b
5 mL/L	25±0.1	61±0.33a	122±0.22a	159±0.29a	219±0.30a
Control	25±0.1	50±0.56c	78±0.48d	112±0.40d	138±0.39d

^{a, b, c, d} significant difference in mean of column at $p < 0.05$

Table 2 Production rate (g dry weight/m²/d) of *W. globosa* cultivated in three different concentrations of AB fertilizer

AB Fertilizer Concentration (mL/L)	Days-culture			
	7	14	21	28
1 mL/L	2.6±0.02b	4.45±0.03b	6.29±0.03b	7.35±0.05cd
3 mL/L	2.8±0.04ab	5.15±0.05ab	7.26±0.05ab	8.72±0.03b
5 mL/L	3.0±0.03a	6.1±0.02a	7.75±0.09a	10.73±0.03a
Control	2.46±0.06c	3.9±0.08c	5.46±0.04c	6.76±0.09d

a, b, c, d significant difference in mean of column at $p < 0.05$

Table 3 Frond size (mm²) of *W. globosa* cultivated in three different concentrations of AB fertilizer

AB Fertilizer Concentration (mL/L)	Days-culture				
	0	7	14	21	28
1 mL/L	0.40±0.01	0.48±0.04	0.50±0.05c	0.54±0.02b	0.49±0.04
3 mL/L	0.40±0.01	0.57±0.05	0.56±0.32b	0.55±0.03ab	0.54±0.02
5 mL/L	0.40±0.01	0.55±0.03	0.57±0.03a	0.56±0.03a	0.55±0.04
Control	0.40±0.01	0.51±0.05	0.50±0.04c	0.50±0.03c	0.48±0.04

a, b, c significant difference in mean of column at $p < 0.05$

Table 4 Environment condition during the cultivation (June 2023 - September 2023) in five culture systems

Parameters	value
Light-dark period	About 12:12 hrs
Light intensities	5,000-8,000 lux
pH levels	5-8
Temperature	25-35
Moisture	70-92% RH
Dissolve oxygen (DO)	3.2-12 mg/L
NO ³⁻ , NO ₂	0-12.5, <0.3 mg/L

Table 5 Proximate analysis of Fresh and dry samples of *W. globosa* subjected to horizontal surface agitation

Nutrition information of <i>Wolffia globosa</i>				
Serving size: 1 sachet (250 g.)				
Amount per serving: 1	Fresh		Dry	
	(Percent Thai RDI)*		(Percent Thai RDI)*	
Total fat	0 g.	0%	0 g.	0%
Saturated fat	0 g.	0%	0 g.	0%
Cholesterol	0 mg	0%	0 mg	0%
Protein	2 g.		6 g.	
Total carbohydrate	2 g.	1%	19 g.	1%
Dietary fiber	2 g.	8%	8 g.	8%
Sugars	0 g.		0 g.	
Sodium	25 mg.	1%	85 mg.	1%
Vitamin A		10%		0%
Vitamin B1		0%		0%
Vitamin B2		0%		0%
Calcium		6%		70%
Iron		6%		150%

*Percent Thai Recommended Daily Intakes for population over 6 years of age are based on a 2,000 kcal diet

Conclusion

Our research provides valuable insights into the cultivation of *Wolffia globosa* using an optimized hydroponic system, particularly highlighting the optimal AB fertilizer concentration of 5 ml/L and the favorable light intensity range of 3,000-6,000 lux for maximizing growth. This study advances current knowledge by demonstrating *Wolffia's* adaptability to varying environmental conditions, offering a novel approach to its cultivation. The findings underscore

Wolffia's potential as a resilient and resource-efficient food source, positioning it as a promising solution for addressing global challenges related to food security and sustainable agriculture.

Acknowledgements

The authors extend their sincere gratitude to the Local Food Innovations Promote Health Project under the Integrated Plan to Develop Industries and Services of the Future, Fiscal Year 2023-2024, generously supported by Faculty of Science, Udon Thani Rajabhat University and the Ministry of Higher Education, Science, Research, and Innovation. This project has been instrumental in providing essential resources and support, enabling the successful execution of our research endeavors.

References

- Delgado-González, C. R., Madariaga-Navarrete, A., Fernández-Cortés, J. M., Islas-Pelcastre, M., Oza, G., Iqbal, H. M., & Sharma, A. (2021). Advances and applications of water phytoremediation: A potential biotechnological approach for the treatment of heavy metals from contaminated water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(10), 5215. doi: 10.3390/ijerph18105215.
- Kaplan, A., Zelicha, H., Tsaban, G., Meir, A. Y., Rinott, E., Kovsan, J., ... & Shai, I. (2019). Protein bioavailability of *Wolffia globosa* duckweed, a novel aquatic plant—a randomized controlled trial. *Clinical Nutrition*, *38*(6), 2576-2582. doi: 10.1016/j.clnu.2018.12.009.
- Monthakantirat, O., Chulikhit, Y., Maneenet, J., Khamphukdee, C., Chotritthirong, Y., Limsakul, S., ... & Daodee, S. (2022). Total active compounds and mineral contents in *Wolffia globosa*. *Journal of Chemistry*, *2022*(1), 9212872. doi: 10.1155/2022/9212872.

- On-Nom, N., Promdang, P., Inthachat, W., Kanoongon, P., Sahasakul, Y., Chupeerach, C., ... & Temviriyankul, P. (2023). *Wolffia globosa*-Based Nutritious Snack Formulation with High Protein and Dietary Fiber Contents. *Foods*, 12(14), 2647. doi: 10.3390/foods12142647.
- Pandey, A., Verma, R. K., & Mohan, J. (2020). Assessment of Growth and Composition of Aquatic Plant *Wolffia globosa* (L.). *International Journal of Botany Studies*, 5(5), 409-414.
- Romano, L. E., & Aronne, G. (2021). The world smallest plants (*Wolffia* Sp.) as potential species for bioregenerative life support systems in space. *Plants*, 10(9), 1896. doi: 10.3390/PLANTS10091896.
- Romano, L. E., van Loon, J. J., Izzo, L. G., Iovane, M., & Aronne, G. (2024). Effects of altered gravity on growth and morphology in *Wolffia globosa* implications for bioregenerative life support systems and space-based agriculture. *Scientific reports*, 14(1), 410. doi: 10.1038/s41598-023-49680-3.
- Siriwat, W., Ungwiwatkul, S., Unban, K., Laokuldilok, T., Klunklin, W., Tangjaidee, P., ... & Phongthai, S. (2023). Extraction, enzymatic modification, and anti-cancer potential of an alternative plant-based protein from *Wolffia globosa*. *Foods*, 12(20), 3815. doi: 10.3390/foods12203815.
- Sree, K. S., Bog, M., & Appenroth, K. J. (2016). Taxonomy of duckweeds (Lemnaceae), potential new crop plants. *Emirates Journal of Food & Agriculture*, 28(5), 291-302. doi: 10.9755/ejfa.2016-01-038.

การประยุกต์ใช้เทคนิค HYBRID AHP-TOPSIS สำหรับคัดเลือกการแปรรูป และพัฒนาผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่

USING THE HYBRID AHP-TOPSIS TECHNIQUE FOR SELECTING PRODUCT PROCESSING AND DEVELOPMENT FOR BAMBOO PRODUCTS

สมศักดิ์ ทองแก้ว¹, ปรีวรรต นาสวาสดี^{2,*} และ กฤษณะ ช่องศรี³

Somsak Thongkaew¹, Pariwat Nasawat^{2,*} and Krisana Chongsri³

¹ สาขาวิชาทัศนศิลป์และมัลติมีเดียอาร์ต คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

² สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

³ สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

¹ Program in Visual and Media Arts, Faculty of Humanities and Social Sciences,
Rajabhat Rajanagarindra University

² Program in Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Rajabhat Rajanagarindra University

³ Program in Applied Physics, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

Received: 9 April 2024

Revised: 30 August 2024

Accepted: 30 August 2024

บทคัดย่อ

กระบวนการตัดสินใจสำหรับคัดเลือกการแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนยากต่อการตัดสินใจเพราะว่ามีเกณฑ์หลายอย่างที่ต้องพิจารณาไปพร้อม ๆ กัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอเทคนิค Hybrid AHP-TOPSIS ในการประเมินและจัดลำดับความสำคัญ เริ่มจากกำหนดเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการตัดสินใจแบ่งเกณฑ์ออกเป็นชั้นย่อย และกำหนดระดับความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ ชั้นตอนต่อมาให้คะแนนในแต่ละเกณฑ์ตามระดับความสำคัญโดยใช้เทคนิค AHP ต่อจากนั้นใช้เทคนิค TOPSIS เพื่อจัดลำดับและเลือกทางเลือกที่มีประสิทธิภาพที่สุด โดยคำนวณค่าอุดมคติทางบวก (S_i^*) และค่าในอุดมคติทางลบ (S_i^-) รวมถึงค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์ (C_i^*) กำหนดเกณฑ์ที่สำคัญตามความต้องการของผู้ประกอบการ 7 เกณฑ์ตัดสินใจ และวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่

* Corresponding author: ปรีวรรต นาสวาสดี

E-mail: pariwat@techno.rru.ac.th

ทั้งหมด 5 ทางเลือก ผลการคำนวณค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์ (C_i^*) คือ ผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่อัด (A_3) = 0.764 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ไม้ตะเคียบ (A_1) = 0.502 ผลิตภัณฑ์ถ่านไม้ไผ่ (A_5) = 0.258 ผลิตภัณฑ์ไม้เสียบลูกชิ้น (A_2) = 0.167 และผลิตภัณฑ์ไม้จิ้มฟัน (A_4) = 0.154 ตามลำดับ ดังนั้นวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในคัดเลือกการแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้

คำสำคัญ: การแปรรูปผลิตภัณฑ์, ไม้ไผ่, การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์, กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์, วิธีเรียงลำดับแบบอุดมคติ

Abstract

The decision-making process for selecting the processing and development of bamboo products to enhance product value is a complex problem due to the various criteria that need to be considered simultaneously. Therefore, this research proposes the hybrid AHP-TOPSIS technique for evaluating and prioritizing importance. It begins by defining relevant criteria used in decision-making, dividing them into sub-criteria, and assigning importance levels to each criterion. Then, scores are given to each criterion based on their importance levels using the AHP technique. Subsequently, the TOPSIS technique is utilized to rank and select the most efficient alternatives. By calculating the positive ideal solution (S_i^*) and negative ideal solution (S_i'), as well as the relative closeness coefficient (C_i^*), the criteria deemed important according to the needs of the decision-makers, 7 decision-making criteria, and all 5 alternative product processing methods from bamboo are assessed. The results of calculating the relative closeness coefficient (C_i^*) are as follows: bamboo pressed product (A_3) = 0.764, followed by bamboo reed product (A_1) = 0.502, bamboo charcoal product (A_5) = 0.258, bamboo skewer product (A_2) = 0.167, and bamboo toothpick product (A_4) = 0.154, respectively. Therefore, the method proposed in this research can serve as a

guideline for selecting the processing and development of suitable products to enhance the value of other products.

Keywords: Product Processing, Bamboo, Multiple Attribute Decision Making, AHP, TOPSIS

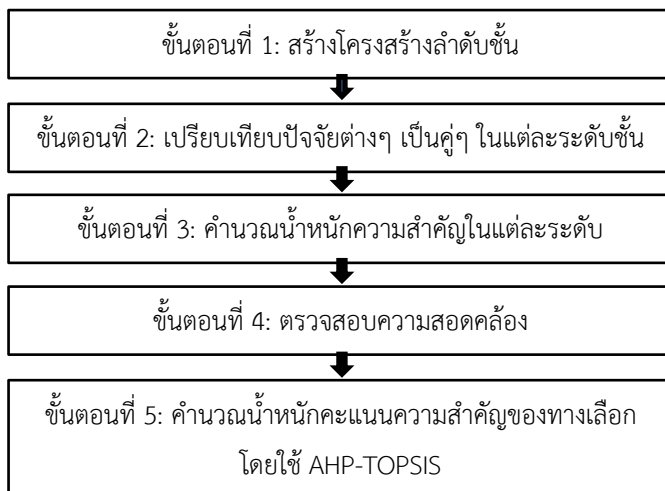
บทนำ

ประเทศไทยได้ประกาศแนวทางการส่งเสริมและสนับสนุนกระบวนการพัฒนาเศรษฐกิจแบบ (Bio-Circular-Green Economy: BCG) เพื่อการใช้ทรัพยากรมีประโยชน์สูงสุด ต้นไม้เป็นไม้ที่สามารถปลูกทดแทนต้นที่ถูกตัดได้อย่างรวดเร็วในประเทศไทยมีพันธุ์ไม้ทั้งหมด 69 ชนิด สามารถใช้งานได้ทุกส่วนในลำต้นด้วยเนื้อไม้ไม่มีคุณสมบัติที่แข็งแรง น้ำหนักเบา การยืดหยุ่นที่นิยมใช้ในงานก่อสร้าง และอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2564) สำหรับคัดเลือกการแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ในพื้นที่ของจังหวัดฉะเชิงเทรามีจำนวนเกษตรกรที่ปลูกไม้ทั้งหมด 335 ราย และพื้นที่ปลูกไม้รวมทั้งสิ้น 1,518 ไร่ กลุ่มแปลงใหญ่ไม้ไผ่ในอำเภอท่าตะเกียบ มีเกษตรกรที่ปลูกไม้จำนวน 108 ราย และพื้นที่เพาะปลูก 602 ไร่ เกษตรกรได้รับประโยชน์ทางด้านนิเวศวิทยา เศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2563) วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อจัดลำดับเกณฑ์สำคัญและตัดสินใจเลือกพัฒนาผลิตภัณฑ์จากไม้ การประยุกต์ใช้เทคนิคการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multiple Attribute Decision Making: MADM) เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจหลายลักษณะหรือหลายหลักเกณฑ์ วิธีการที่เกี่ยวข้อง MADM เช่น AHP TOPSIS PROMETHEE ELECTRE และ DSS (Kailomsom & Wichapa, 2022), (Boonkanit, 2020) ดังนั้นงานวิจัยนี้เลือกวิธีการกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) และวิธีเรียงลำดับแบบอูตมคติ (TOPSIS) ซึ่งกำหนดเกณฑ์ที่สำคัญตามความต้องการของผู้ประกอบการ 7 เกณฑ์ตัดสินใจ และวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ทั้งหมด 5 ทางเลือก เริ่มจากวิธี AHP มีความสามารถในการแบ่งปัญหาทางการตัดสินใจที่ซับซ้อนอย่างมีระเบียบเป็นโครงสร้างลำดับชั้นช่วยให้การประเมินตัดสินใจเปรียบเทียบแบบคู่ระหว่างเกณฑ์และทางเลือก ช่วยในการคำนวณที่แม่นยำมีการกำหนดความสำคัญที่สัมพันธ์ของแต่ละเกณฑ์ และลำดับทั้งหมดของทางเลือก และวิธี TOPSIS มีประสิทธิภาพในการจัดลำดับทางเลือกตามความใกล้เคียงกับสถานะที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุด โดยพิจารณาทั้งค่า

อุดมคติเชิงบวก และค่าอุดมคติเชิงลบ วิธี TOPSIS (To-On et al., 2023) นำเสนอวิธีที่มีการเชื่อมโยงไม่เพียงแต่ลักษณะที่ดีแต่ยังหาข้อเสียของแต่ละทางเลือกเป็นวิธีคำนวณที่เข้าใจง่าย ทำให้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้ Hybrid AHP-TOPSIS (Nasawat et al., 2021), (Ransikarbum & Chanthakhot, 2020) ได้นำการตัดสินใจเกี่ยวกับเกณฑ์และการจัดลำดับทางเลือกผสมผสานช่วยเสริมคุณสมบัติของกระบวนการตัดสินใจที่ซับซ้อน ดังนั้นวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในคัดเลือกการแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการคำนวณน้ำหนักความสำคัญของวิธีการแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ เริ่มจากวิธี AHP สร้างโครงสร้างลำดับชั้นของปัญหา ตามด้วยการสร้างเมตริกซ์การเปรียบเทียบรายคู่ของผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่าน จากนั้นนำผลการรวมเมตริกซ์การเปรียบเทียบรายคู่จะถูกคำนวณและนำมาใช้ในการคำนวณน้ำหนักความสำคัญของแต่ละวิธี หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จะถูกทดสอบความสอดคล้อง และการคำนวณน้ำหนัก ขั้นตอนสุดท้าย TOPSIS จะถูกใช้ในการจัดอันดับทางเลือก (Singh et al., 2023), (Sharma et al., 2020) ดังแสดงในรูปที่ 1



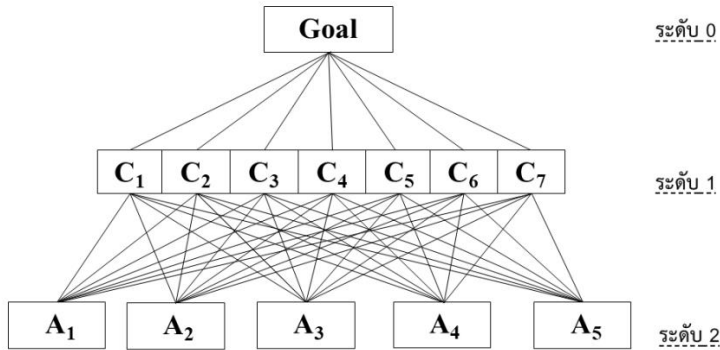
รูปที่ 1 การเปรียบเทียบเชิงนามธรรม AHP-TOPSIS

การประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid AHP-TOPSIS

1. กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ของกระบวนการ AHP ประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ 5 ขั้นตอน (Ozer, 2008), (Saaty & Kearns, 1991), (Saaty, 1985)

ขั้นตอนที่ 1 โครงสร้างลำดับชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โครงสร้างลำดับชั้นของ AHP

การกำหนดเกณฑ์ทั้งหมดในทุกระดับกรณีศึกษาถูกสร้างขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 15 คน ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์มาสร้างโครงสร้างลำดับชั้นตามทฤษฎี AHP ระดับ 0 คือ ทางเลือกวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ที่เหมาะสมที่สุด ระดับที่ 1 ประกอบด้วยเกณฑ์หลัก 7 เกณฑ์ ได้แก่ เครื่องจักร (C_1) นโยบายและการบริหาร (C_2) ต้นทุนรวม (C_3) ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม (C_4) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ (C_5) การตลาดและการขาย (C_6) และแรงงาน (C_7) ในระดับที่ 2 มี 5 ทางเลือกในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ไม้ตะเกียบ (A_1) ผลิตภัณฑ์ไม้เสียบลูกชิ้น (A_2) ผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่อัด (A_3) ผลิตภัณฑ์ไม้จิ้มฟัน (A_4) และผลิตภัณฑ์ถ่านไม้ไผ่ (A_5)

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการทำการวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ทีละคู่ โดยใช้ตารางเมตริกซ์การเปรียบเทียบแบบคู่ (Pairwise Comparison) และกำหนดตัวเลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 1-9 เพื่อทำการเปรียบเทียบ ความหมายของตัวเลขแต่ละตัวได้แสดงในตารางที่ 1 ในส่วนของตารางเมตริกซ์การเปรียบเทียบแบบคู่ขนาดของเมตริกซ์ A มีขนาดเท่ากับ $n \times n$ โดยที่ n คือจำนวนของเกณฑ์หรือทางเลือกที่ต้องการทำการเปรียบเทียบ และ a_{ij} เป็นตัวเลขที่ใช้แสดง

การเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ที่ i กับเกณฑ์ที่ j โดยที่ตัวเลขในตารางเมตริกซ์การเปรียบเทียบแบบคู่มีความสัมพันธ์ดังนี้ (Velmurugan et al., 2022), (Dinkoksung et al., 2023), (Wichapa & Sodsoon, 2023), (Nasawat et al., 2020)

$$a_{ii} = 1 \quad (1)$$

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \quad (2)$$

$$a_{ij} > 0 \quad (3)$$

$$a_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} : \forall j \quad (4)$$

ตารางที่ 1 แสดงความหมายของตัวเลขเปรียบเทียบรายคู่

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวเลข (Numerical Value)
เท่ากัน (Equally Preference)	1
เท่ากันถึงปานกลาง (Equally to Moderately Preference)	2
ปานกลาง (Moderately Preference)	3
ปานกลางถึงค่อนข้างมาก (Moderately to Strongly Preference)	4
ค่อนข้างมาก (Strongly Preference)	5
ค่อนข้างมากถึงมากกว่า (Strongly to Very Strongly Preference)	6
มากกว่า (Very Strongly Preference)	7
มากกว่าถึงมากที่สุด (Very Strongly to Extremely Preference)	8
มากที่สุด (Extremely Preference)	9

ลักษณะเมตริกซ์เปรียบเทียบแบบคู่จะแสดงดับเมตริกซ์ A

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n}$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณน้ำหนักความสำคัญในแต่ละระดับจากตารางเมตริกซ์การเปรียบเทียบแบบคู่ โดยมีขั้นตอนย่อยดังนี้

1) ผลรวมแนวสดมภ์ของตารางเมตริกซ์การเปรียบเทียบแบบคู่ แสดงในสมการที่ (1) – (4)

2) นอร์มอลไลซ์เมตริกซ์ (Normalized Matrix) แสดงในสมการที่ (5) จะได้ตารางนอร์มอลไลซ์เมตริกซ์ (A_{Norm})

$$A_{Norm} = [a_{ij}/a_j] = [\alpha_{ij}] \quad : \forall i \quad \forall j \quad (5)$$

$$A_{Norm} = \begin{bmatrix} a_{11}/a_1 & a_{12}/a_2 & a_{13}/a_3 & \dots & a_{1n}/a_n \\ a_{21}/a_1 & a_{22}/a_2 & a_{23}/a_3 & \dots & a_{2n}/a_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1}/a_1 & a_{n2}/a_2 & a_{n3}/a_3 & \dots & a_{nn}/a_n \end{bmatrix}_{n \times n}$$

$$A_{Norm} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \dots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \dots & \alpha_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n}$$

3) หาค่าน้ำหนักความสำคัญจากนอร์มอลไลซ์เมตริกซ์ โดยหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวแสดงในสมการที่ (6) – (8) ผลลัพธ์ที่ได้คือน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์

$$w_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} / n \quad : \forall i \quad (6)$$

$$W^T = \{w_1 \quad w_2 \quad w_3 \quad \dots \quad w_n\} \quad (7)$$

$$B = \{b_1 \quad b_2 \quad b_3 \quad \dots \quad b_n\} \quad (8)$$

ขั้นตอนที่ 4: ตรวจสอบความสอดคล้องมีขั้นตอนย่อย แสดงในสมการที่ (9)

1) คำนวณค่า λ_{max}

$$\text{กำหนดให้ } AW^T = B$$

A คือ เมตริกซ์การเปรียบเทียบแบบคู่ ขนาด $n \times n$

W^T คือ เมตริกซ์น้ำหนักแต่ละเกณฑ์ ขนาด $n \times 1$

B คือ เมตริกซ์ผลเฉลยของ AW^T

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot W_i / b_i) / n \quad (9)$$

2) คำนวณค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index: CI) แสดงในสมการที่ (10)

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (10)$$

3) หาค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency: RI) จากตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม และขนาดของเมตริกซ์ (N)

N	2	3	4	5	6	7	8
RI	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

4) คำนวณอัตราความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) แสดงในสมการที่ (11)

$$CR = CI / RI \quad (11)$$

ค่าอัตราความสอดคล้องควรไม่เกิน 0.1 ถ้าค่า CR เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ หมายถึงว่ามีข้อผิดพลาดในกระบวนการวินิจฉัยที่ทำให้ไม่สอดคล้องกัน ดังนั้นจึงต้องทำการทบทวนหรือปรับปรุงกระบวนการวินิจฉัยก่อนที่จะดำเนินการประเมินหรือวินิจฉัยใหม่

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของทางเลือก

2. วิธีเรียงลำดับแบบอุดมคติ

วิธี TOPSIS เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบ MADM เพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยแบ่งเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างตารางเมทริกซ์การทำการตัดสินใจโดย x_{ij} คือข้อมูลตัวเลขจากการทำการตัดสินใจสำหรับทางเลือก i และปัจจัย j เมื่อ A_i แทนทางเลือก (Alternative) และ f_j แทนปัจจัย แสดงในสมการที่ (12)

$$\begin{matrix} & f_1 & f_2 & f_3 & \cdots & f_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (12)$$

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเมทริกซ์การทำการตัดสินใจแบบนอร์มัลไลเซชัน (Normalized decision matrix) โดยคำนวณแต่ละค่า r_{ij} แสดงในสมการที่ (13) โดยจุดประสงค์เพื่อเปลี่ยนปัจจัยที่มีหลายหน่วยที่ต่างกันให้เป็นปัจจัยแบบไม่มีหน่วย

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} ; \begin{matrix} \forall i=1, \dots, m \\ \forall j=1, \dots, n \end{matrix} \quad (13)$$

ขั้นตอนที่ 3 จากข้อมูลน้ำหนักของปัจจัย w_j ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูล และข้อมูลการทำการตัดสินใจแบบนอร์มัลไลเซชัน r_{ij} ให้สร้างตารางเมทริกซ์การทำการตัดสินใจแบบนอร์มัลไลเซชันที่ถ่วงน้ำหนักแล้วโดยหาค่า v_{ij} แสดงในสมการที่ (14)

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (14)$$

ขั้นตอนที่ 4 จากข้อมูลเมทริกซ์การทำการตัดสินใจแบบนอร์มัลไลเซชันที่ถ่วงน้ำหนักแล้วข้างต้น v_{ij} คำนวณค่าอุดมคติทางบวกซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดแทนด้วย A^* และคำนวณค่าในอุดมคติทางลบเป็นค่าที่แย่ที่สุดแทนด้วย A' แสดงในสมการที่ (15) – (16) ตามลำดับ โดยที่ J คือ เซตของปัจจัยยิ่งมามากยิ่งดี ส่วน J' คือ เซตของปัจจัยยิ่งน้อยยิ่งดี

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\}; \text{ โดยที่ } v_j^* = \begin{cases} \max(v_{ij}) & \text{เมื่อ } j \in J \\ \min(v_{ij}) & \text{เมื่อ } j \in J' \end{cases} \quad (15)$$

$$A' = \{v_1', \dots, v_n'\}; \text{ โดยที่ } v_j' = \begin{cases} \min(v_{ij}) & \text{เมื่อ } j \in J \\ \max(v_{ij}) & \text{เมื่อ } j \in J' \end{cases} \quad (16)$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาตัววัดการแยก (Separation Measure) สำหรับแต่ละทางเลือก i โดยสามารถคำนวณวัดการแยกจากค่าในอุดมคติทางบวก s_i^* และคำนวณการแยกจากค่าในอุดมคติทางลบ s_i' แสดงในสมการที่ (17) – (18) ตามลำดับ

$$s_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad \forall i=1, \dots, m \quad (17)$$

$$s_i' = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j')^2} \quad \forall i=1, \dots, m \quad (18)$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่าความใกล้ชิดสัมพัทธ์ (Relative closeness) ที่เข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุดสำหรับทางเลือก i เรียกว่า c_i^* แสดงในสมการที่ (19) โดยค่า c_i^* ที่คำนวณได้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ความหมายของค่า c_i^* ที่ได้คือ 0 คือทางเลือกที่แย่ที่สุดและ 1 คือทางเลือกที่ดีที่สุด แสดงในสมการที่ (20)

$$c_i^* = \frac{s_i'}{s_i^* + s_i'} \quad (19)$$

$$c_i^* = \begin{cases} 1 & \text{if } A_i = A^* \\ 0 & \text{if } A_i = A' \end{cases} \quad (20)$$

ขั้นตอนที่ 7 จากความใกล้ชิดสัมพัทธ์ที่เข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุด c_i^* สำหรับแต่ละทางเลือกให้จัดอันดับแต่ละทางเลือกที่มีค่า c_i^* เข้าใกล้ 1 ที่สุดคือค่าที่ดีที่สุด

ผลการวิจัยและการอภิปรายผลวิจัย

1. ผลการวิจัยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

การเลือกลำดับความสำคัญด้วยกระบวนการ AHP เป็นการตัดสินใจจากปัจจัยที่มีความสำคัญโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน โดยใช้ซอฟต์แวร์ B-BOX ผลการคำนวณค่ากระบวนการ AHP แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เมทริกซ์การตัดสินใจ

Items	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	0.057	0.077	0.081	0.046	0.064	0.080	0.072
A_2	0.016	0.016	0.019	0.024	0.026	0.018	0.014
A_3	0.136	0.105	0.109	0.138	0.108	0.107	0.101
A_4	0.005	0.005	0.006	0.005	0.005	0.006	0.011
A_5	0.038	0.039	0.028	0.034	0.034	0.033	0.036
SUM	0.502	0.493	0.494	0.498	0.487	0.493	0.484
Weight	0.03	0.25	0.08	0.11	0.25	0.16	0.12

ผลการคำนวณน้ำหนักความสำคัญของวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่แต่ละวิธีโดยใช้กระบวนการ AHP โดยใช้ซอฟต์แวร์ B-BOX คือ C_1 เท่ากับ 0.03, C_2 เท่ากับ 0.25 และ C_3 เท่ากับ 0.08 ตามลำดับ

2. ผลการวิจัยวิธีเรียงลำดับแบบอุดมคติ

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีเรียงลำดับแบบอุดมคติ โดยใช้ซอฟต์แวร์ Microsoft Excel 2021 ผลการคำนวณค่าวิธีเรียงลำดับแบบอุดมคติ โดยเริ่มจากสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจที่เป็นมาตรฐาน แสดงในตารางที่ 4 จากนั้นการวิเคราะห์ตารางเมทริกซ์การทำการตัดสินใจแบบปรับสเกลที่ถ่วงน้ำหนักโดยใช้ข้อมูลของค่าน้ำหนักปัจจัยจากวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ด้วยวิธีกระบวนการ AHP แสดงในตารางที่ 5 แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณค่าอุดมคติเชิงบวก (PIS) และค่าอุดมคติเชิงลบ (NIS) แสดงในตารางที่ 6-7 เพื่อคำนวณค่าตัววัดการแยกจากคำตอบใน

อุดมคติทางบวก (S_i^*) และค่าตัววัดการแยกจากคำตอบในอุดมคติทางลบ (S_i') รวมถึงค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์ (C_i^*) แสดงในตารางที่ 8 สำหรับแต่ละปัจจัยวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ตามลำดับ

ตารางที่ 4 เมทริกซ์การตัดสินใจที่เป็นมาตรฐาน

Items	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	0.113	0.157	0.165	0.093	0.131	0.162	0.149
A_2	0.032	0.033	0.038	0.049	0.053	0.037	0.030
A_3	0.270	0.212	0.221	0.277	0.221	0.217	0.209
A_4	0.010	0.011	0.013	0.011	0.011	0.011	0.023
A_5	0.076	0.080	0.056	0.068	0.070	0.066	0.074

ตารางที่ 5 เมทริกซ์การตัดสินใจแบบถ่วงน้ำหนักแบบมาตรฐาน

Items	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	0.004	0.040	0.013	0.010	0.032	0.025	0.019
A_2	0.001	0.008	0.003	0.005	0.013	0.006	0.004
A_3	0.009	0.054	0.017	0.030	0.054	0.034	0.026
A_4	0.000	0.003	0.001	0.001	0.003	0.002	0.003
A_5	0.003	0.020	0.004	0.007	0.017	0.010	0.009

ตารางที่ 6 ค่าอุดมคติเชิงบวก (PIS)

Items	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A_2	0.000	0.002	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001
A_3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A_4	0.000	0.003	0.000	0.001	0.003	0.001	0.001
A_5	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000

ตารางที่ 7 ค่าอุดมคติเชิงลบ (NIS)

Items	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
A_1	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000
A_2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A_3	0.000	0.003	0.000	0.001	0.003	0.001	0.001
A_4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A_5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 8 สัมประสิทธิ์ที่ใกล้ค่าอุดมคติที่สุด

Items	S^*	S'	C^*	Rank
A_1	0.052	0.053	0.502	2
A_2	0.107	0.021	0.167	4
A_3	0.023	0.073	0.764	1
A_4	0.124	0.023	0.154	5
A_5	0.088	0.031	0.258	3

ผลการวิเคราะห์การจัดลำดับความสำคัญในการคัดเลือกการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ ทางเลือกที่ดีที่สุด คือ A_3 ผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่อัด, A_1 ผลิตภัณฑ์ไม้ตะเกียบ, A_5 ผลิตภัณฑ์ถ่านไม้ไผ่, A_2 ผลิตภัณฑ์ไม้เสียบลูกชิ้น, A_4 ผลิตภัณฑ์ไม้จิ้มฟัน ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิค MADM แบบผสมที่ใช้ในการคัดเลือกการแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ โดยเริ่มต้นจากการกำหนดเกณฑ์ที่สำคัญตามความต้องการของผู้ประกอบการ 7 เกณฑ์ตัดสินใจหลักที่ระบุในกรณีศึกษานี้คือ เครื่องจักร (C_1) นโยบายและการบริหาร (C_2) ต้นทุนรวม (C_3) ความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม (C_4) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ (C_5) การตลาดและการขาย (C_6) และแรงงาน (C_7) มีวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ทั้งหมด 5 ทางเลือก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ไม้ตะเกียบ (A_1) ผลิตภัณฑ์ไม้เสียบลูกชิ้น (A_2) ผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่อัด (A_3) ผลิตภัณฑ์ไม้จิ้มฟัน (A_4) และผลิตภัณฑ์ถ่านไม้ไผ่ (A_5) ในขั้นตอนถัดไป มีการประเมินโดยใช้ AHP

บนเวกเตอร์ลำดับที่สำคัญและน้ำหนักสำหรับทุกระดับ ระดับ 1 และ ระดับ 2 จากนั้นทำการจัดลำดับทางเลือกโดยใช้ TOPSIS เลือกทางเลือกที่ดีที่สุด ผลการคำนวณค่าความใกล้เคียงสัมพัทธ์ (C_i^*) คือ ผลัดภัณฑ์ไม้ไผ่อัด (A_3) = 0.764 ตามด้วยผลัดภัณฑ์ไม้ตะเกียบ (A_1) = 0.502 ผลัดภัณฑ์ถ่านไม้ไผ่ (A_5) = 0.258 ผลัดภัณฑ์ไม้เสียบลูกชิ้น (A_2) = 0.167 และผลัดภัณฑ์ไม้จิ้มฟัน (A_4) = 0.154 ตามลำดับ ข้อดีของเทคนิคแบบผสมผสานที่นำเสนอสามารถช่วยในการเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการแปรรูปและพัฒนาผลัดภัณฑ์จากไม้ไผ่เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพและยืดหยุ่นในการแก้ปัญหาเกณฑ์ที่ซับซ้อน สำหรับงานวิจัยในอนาคตผู้วิจัยแนะนำเทคนิค MADM เช่น MAVT, PROMETHEE, SAW, GRA, ELECTRE, DEA, VIKOR และ TOPSIS สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในปัญหาการเลือกผลัดภัณฑ์ที่ซับซ้อนอื่น ๆ สามารถเพิ่มเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือกได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ปลูกไผ่อำเภอท่าตะเกียบ ตำบลท่าตะเกียบ อำเภอท่าตะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ และทุนวิจัยจากงบประมาณเพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund; FF) จัดสรรงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว.)

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2563). *คู่มือโครงการส่งเสริมการเกษตรประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563*. กรุงเทพฯ: สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร.
- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2564). *การวิเคราะห์ห่วงโซ่มูลค่าของไผ่ในประเทศไทย*. นนทบุรี: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.
- Boonkanit, P. (2020). Low-Pressure Die Casting Machine Selection Using a Combined AHP and TOPSIS Method. *Naresuan University Engineering Journal*, 15(2), 1-11.
- Dinkoksung, S., Pitakaso, R., Khonjun, S., Srichok, T., & Nanthasamroeng, N. (2023). Modeling the medical and wellness tourism supply chain for enhanced

- profitability: An open innovation approach. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(3), 100137.
- Kailomsom, P., & Wichapa, N. (2022). Evaluating and Ranking the Fuel Briquettes from Agricultural Residues Using the Virtual Cross-Efficiency Method. *The Journal of Industrial Technology*, 18(2), 230-246.
- Nasawat, P., Talangkun, S., Arunyanart, S., & Wichapa, N. (2020). Selection of Suitable Rice Weevil Disinfestation Method Using Hybrid FAHP-FTOPSIS. *Journal of Advanced Development in Engineering and Science*, 10(29), 65-80.
- Nasawat, P., Talangkun, S., Arunyanart, S., & Wichapa, N. (2021). Hybrid cross-efficiency approach based on ideal and anti-ideal points and the critic method for ranking decision-making units: a case study on ranking the methods of rice weevil disinfestation. *Decision Science Letters*, 10(3), 375-392.
- Ozer, I. (2008). *Multi-criteria Group Decision Making Methods Using AHP and Integrated Web-bases Decision Support Systems*. University of Ottawa.
- Ransikarbum, K., & Chanthakhot, W. (2020). An Analysis of Fire Assembly Point using Information Entropy Weight and TOPSIS. *Thai Industrial Engineering Network Journal*, 6(1), 54-64.
- Saaty, T.L. (1985). *Decision making for leaders*. California: Life time learning publication.
- Saaty, T.L., & Kearns K.P. (1991). *Analytical planning the organization of systems: The analytic hierarchy process*. USA: Publications Pittsburgh.
- Sharma, D., Sridhar, S., & Claudio, D. (2020). Comparison of AHP-TOPSIS and AHP-AHP methods in multi-criteria decision-making problems. *International journal of industrial and systems engineering*, 34(2), 203-223.

- Singh, V., Kumar, V., & Singh, V. B. (2023). A hybrid novel fuzzy AHP-Topsis technique for selecting parameter-influencing testing in software development. *Decision Analytics Journal*, 6, 100159.
- To-On, P., Wichapa, N., & Khanthirat, W. (2023). A novel TOPSIS linear programming model based on response surface methodology for determining optimal mixture proportions of lightweight concrete blocks containing sugarcane bagasse ash. *Heliyon*, 9(7). e17755.
- Velmurugan, K., Saravanasankar, S., Venkumar, P., Sudhakarapandian, R., & Di Bona, G. (2022). Hybrid fuzzy AHP-TOPSIS framework on human error factor analysis: Implications to developing optimal maintenance management system in the SMEs. *Sustainable Futures*, 4, 100087.
- Wichapa, N., & Sodsoon, S. (2023). A Relative Closeness Coefficient Model Based on the Distance of Virtual DMUs Cross-Efficiency Method for Ranking Thai Economic Development. *Engineering Letters*, 31(1).

Udon Thani Rajabhat University
Journal of Science and Technology

Vol.12 Issue.2 (2024)

ISSN 2287-0083

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

