

J
JOURNAL

S
SCIENCE

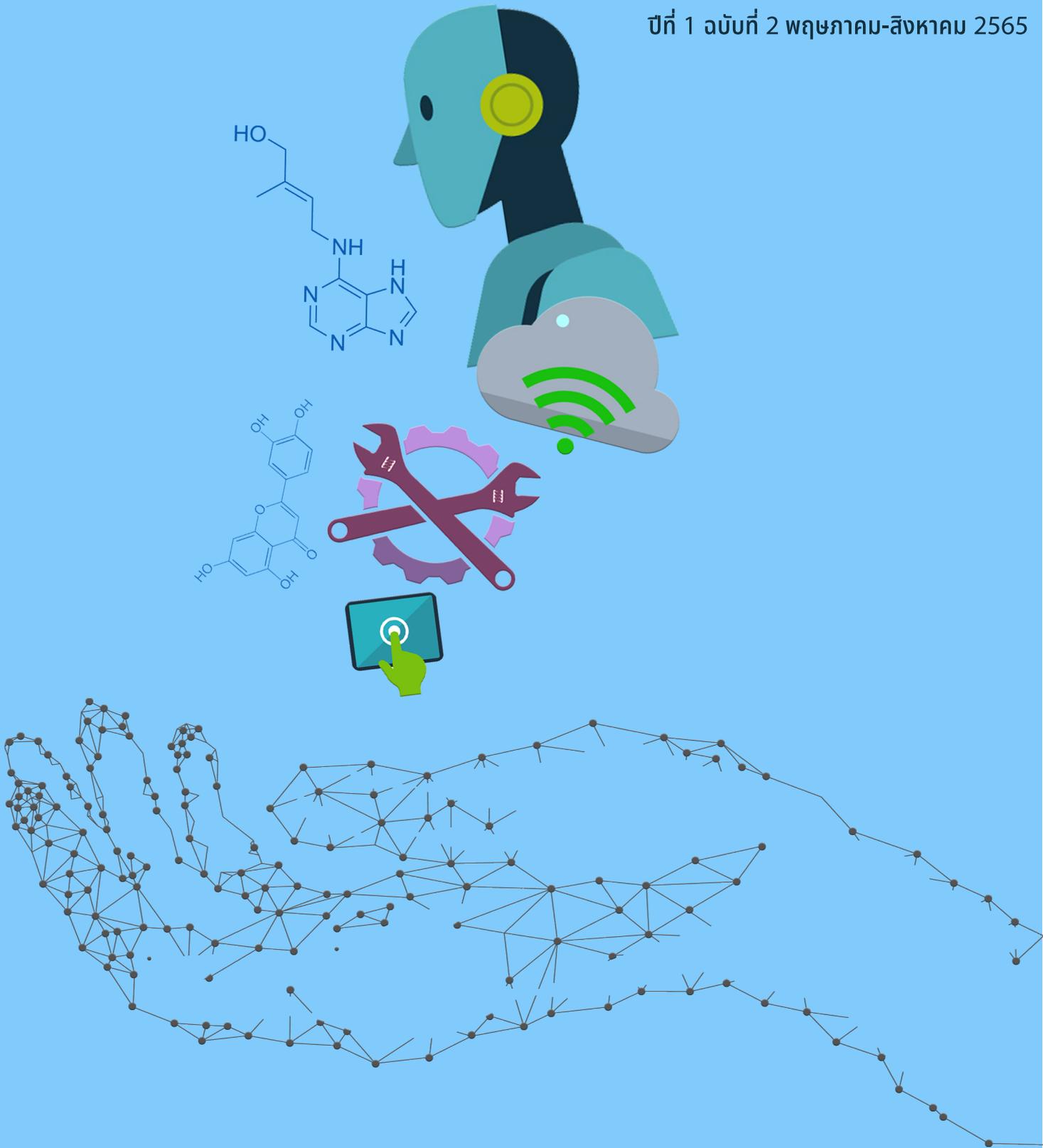
E
ENGINEER

T
TECHNOLOGY

RMU
Rajabhat Maha Sarakham University

Journal of Science Engineering and Technology Rajabhat Maha Sarakham University (JSET RMU)

ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2565



วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2565

เจ้าของ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี
เพื่อส่งเสริมความร่วมมือ การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ด้านวิชาการและการวิจัย

กำหนดการตีพิมพ์ ปีละ 3 ฉบับ

ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม - เมษายน

ฉบับที่ 2 เดือน พฤษภาคม - สิงหาคม

ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน - ธันวาคม

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนตรชนก จันทร์สว่าง มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.อลงกลด แทนอมทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพงษ์ พวงมะลิ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารณี หอมดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมกฤษ ปิติฤกษ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สหลาภ หอมวุฒิมังค์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ประสาธน์ เนื่องเฉลิม	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ วงชาลี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรุยุทธ นิลสระคู	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิวดล กัญญาคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย อินทะตา	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ งามชมภู	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาดา จันทะคุณ	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิกกร สายแก้ว	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉาณุกรณ์ ทับทิมใส	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.วันทนี พลวิเศษ	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความประจำฉบับ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุพล หงส์ภักดี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาณวิช สุวรรณพงศ์	มหาวิทยาลัยนครพนม
อาจารย์ ดร.ธีรพล อุปชาบาล	มหาวิทยาลัยนครพนม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบ็ญจพร กุลนีย์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยงค์ เสริมผล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรัญญา แก้วดวงตา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิจิตร ฤทธิธรรม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักราวุฒิ เตโซ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธิรายุ ปิ่นทอง	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.รภัสสา จันทาศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พรพัชรพงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ งามชมภู	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทวีทรัพย์ ไชยรักษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชวิศร ปุคะภาค	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.พัชระ นาเสียม	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.กิจปพน ศรีธานี	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.อดิศักดิ์ พละสาร	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.นรากรณ์ แก้วขาว	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อาจารย์ ดร.นารีมีส เจะและ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อาจารย์ ดร.พัชราพร พงษ์พัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อาจารย์ ดร.อมรเทพ สอนศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
	วิทยาเขตขอนแก่น
อาจารย์ ดร.ธัญญาวัฒน์ หอมสมบัติ	มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ
	วิทยาเขตอุดรธานี

ติดต่อสอบถาม: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม 80 ถนนนครสวรรค์ ตำบลตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000
โทรศัพท์ 043-712620 เว็บไซต์ <https://jset.rmu.ac.th> อีเมล jset@rmu.ac.th

บรรณาธิการแถลง

วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ดำเนินงานโดยความร่วมมือกันระหว่างคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ ส่งเสริมความร่วมมือ การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ด้านวิชาการ และการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี วารสารปีที่ 1 ฉบับที่ 2 ประกอบด้วยบทความวิจัยจากการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ และเทคโนโลยี ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มีเนื้อหาสาระเกี่ยวข้องกับทางด้าน นวัตกรรมเกษตร พลังงาน วิทยาศาสตร์สุขภาพ ดาราศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทุกบทความได้ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องตามข้อกำหนดของวารสาร

กองบรรณาธิการ ขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ส่งผลงานมาตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้ และผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณากลับนกรอง แนะนำปรับปรุงแก้บทความให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านทุกท่าน ทั้งนี้หากท่านมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาคุณภาพของวารสาร กองบรรณาธิการขอน้อมรับไว้ด้วยความยินดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนตรชนก จันทร์สว่าง

บรรณาธิการ

สารบัญ

เปรียบเทียบคุณภาพธาตุอาหารจากปุ๋ยคอกต่อการผลิตเมล่อน (<i>Cucumis melo</i> L.) อินทรีย์ในสภาพโรงเรือน Comparison of Nutrient Quality from Manure to Organic Melon (<i>Cucumis melo</i> L.) Production in Greenhouse เอกวุฒิ ภัทภูมินทร์, ปริญญา แข็งขัน และ เอกรินทร์ สารีพัฑ	1
การวิเคราะห์คาบการโคจรและพารามิเตอร์สัมบูรณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem Orbital Period Analysis and Absolute Parameters of the Eclipsing Binary V404 Gem ปฐมพงศ์ พันธุ์พิบูลย์, ทวีศักดิ์ สีหาบุญมาก และ เอกพงศ์ แทนสา	17
การพัฒนาเครื่องทอดไก่กึ่งอัตโนมัติด้วยระบบน้ำมันทอดหมุนเวียน The Development of Semi-Automated Chicken Fried Machine with Oil Recirculation System วาทิต วงษ์ดอกไม้, วราภรณ์ ชนะพรพมา, ปริญญา ตีร์รัมย์ และ สิทธิพันธ์ ทองศิริ	31
เรือเก็บขยะบนผิวน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบควบคุมด้วยสมาร์ทโฟน Solar-powered Water's Surface Waste Cleaning Boat Controlled via Smartphone พีรพงศ์ แสงคุณที, ธนากร อิมคุ้ม, รัชชานนท์ ทองโชติ, กฤษ ตราชู, ณรงค์ บุญเสนอ และ ชัชชล เปรมชัยสวัสดิ์	46
การพัฒนาเสารับส่งสัญญาณแบบไร้สายจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น Development of Wireless Transmission Towers from Local Waste Materials ธนรัตน์ ยอดดำเนิน, จตุรงค์ ธงชัย และ พรนรินทร์ สายกลั่น	59

สารบัญ (ต่อ)

ความยาวส่วนทำระเหย และสารทำงานสำหรับการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน Evaporation Length and the Working Fluid for Heat Transfer Heat Pipe วสันต์ ปินะเต และ ดวงกมล ตั้งโพนทอง	83
การศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นปริมาณคลอโรฟิลล์ และฤทธิ์ ต้านอนุมูลอิสระของใบกัญชา (<i>Cannabis sativa</i> L.) Study Amount of Organic Fertilizer on Growth, Chlorophyll Content and Antioxidant Activity of Cannabis Leaves (<i>Cannabis sativa</i> L.) กษิดิ์เดช อ่อนศรี, กัญตนา หลอดทองกลาง, เกศินี ศรีปฐมกุล และ อรพรรณ หัสรังค์	93
อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของกัญชา Effects of Nitrogen Potassium and Phosphorus Fertilizers on Growth of Cannabis กษิดิ์เดช อ่อนศรี, กัญตนา หลอดทองกลาง, เกศินี ศรีปฐมกุล และ อรพรรณ หัสรังค์	104
ผลของการออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตที่มีต่อสมรรถภาพทางกายและการทำงานของ ของระบบหัวใจและหลอดเลือดในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3 : การศึกษานำร่อง Effects of the Life – Build – Line Exercise on Physical Performance and Cardiovascular Function in Chronic Kidney Disease Stage 3 Patients: A Pilot Study คนรัตน์ เดโฝเซซ, ศุภศาสตร์ คนหาญ, สุมน ตั้งสุนทรวิวัฒน์ และ ณิชานันท์ ปัญญาเอก	118

เปรียบเทียบคุณภาพธาตุอาหารจากปุ๋ยคอกต่อการผลิตเมล่อน
(*Cucumis melo* L.) อินทรีย์ในสภาพโรงเรือน
Comparison of Nutrient Quality from Manure to Organic Melon
(*Cucumis melo* L.) Production in Greenhouse

เอกวุฒิ ภักภูมินทร์, ปริญดา แข็งขัน และ เอกรินทร์ สารีพัว*
EkawootPukpumin, Parinda Khaengkhan and Eakrin Sareepua*

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ 46000
Devition of Plant Production Technology, Faculty of Agricultural technology,
Kalasin University, Kalasin 46000

*Corresponding author. Email: eakrin.sa@ksu.ac.th

บทคัดย่อ

การผลิตเมล่อนคุณภาพผลผลิตมีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะเมล่อนอินทรีย์ เนื่องจากแหล่งธาตุอาหารปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีความหลากหลาย โดยเฉพาะปุ๋ยคอกที่เป็นองค์ประกอบหลักในวัสดุปลูกที่ยังมีข้อมูลการศึกษาไม่มากนักถึงชนิดของปุ๋ยคอกที่เหมาะสมในการผลิตเมล่อนอินทรีย์ที่มีศักยภาพให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ จึงทำการศึกษาศักยภาพของแหล่งธาตุอาหารจากปุ๋ยคอกแต่ละชนิดในการผลิตเมล่อนอินทรีย์ โดยวางแผนการทดลองแบบ 2 x 6 factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ปัจจัย A (ชนิดพันธุ์เมล่อน จำนวน 2 พันธุ์ ได้แก่พันธุ์โอเรนซี (A1) และ 2) พันธุ์ปรีนเซส (A2) และ ปัจจัย B (วัสดุปลูกที่มีแหล่งของธาตุอาหารแตกต่างกัน จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ (B1) ปุ๋ยหมักมูลโค (B2) ปุ๋ยหมักมูลสุกร (B3) ปุ๋ยหมักมูลไก่ (B4) ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน (B5) และ ปุ๋ยหมักมูลค่างคว (B6)) จากผลการทดลอง พบว่า พันธุ์ของเมล่อนมีการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบแตกต่างกันในทุกช่วงการเจริญเติบโต โดยเมล่อนพันธุ์โอเรนซี (A1) มีลักษณะการเจริญเติบโตสูงกว่าเมล่อนพันธุ์ปรีนเซส (A2) ส่วนวัสดุปลูก พบว่า วัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลโคมีศักยภาพดีที่สุดในลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ แต่ในลักษณะปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่า วัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลค่างควและมูลไส้เดือนมีปริมาณสูงที่สุด และเมล่อนพันธุ์โอเรนซี (A1) ที่ปลูกในวัสดุปลูกจากมูลโค มูลค่างคว และมูลไส้เดือน มีลักษณะการเจริญเติบโตดีที่สุดในลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต พบว่า เมล่อนพันธุ์โอเรนซี (A1) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ขนาดผล และความหนาของเนื้อผลมากกว่าเมล่อนพันธุ์ปรีนเซส (A2) และวัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลโคให้ลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตดีที่สุดในรองลงมา คือ วัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลค่างคว และมูลไส้เดือน ส่วนลักษณะคุณภาพของผลผลิต

พบว่า เมล่อนพันธุ์โอเรนซี (A1) มีเปอร์เซ็นต์ความหวานสูงกว่าเมล่อนพันธุ์ปรีนเซส (A2) ส่วนวัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลค่างควาและมูลไส้เดือนมีเปอร์เซ็นต์ความหวานสูงที่สุด จากการศึกษาในครั้งนี้ สรุปได้ว่า เมล่อนพันธุ์โอเรนซี (A1) และวัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักจากมูลโค มูลค่างควา และมูลไส้เดือนเหมาะสมจะนำมาใช้ในการผลิตเมล่อนอินทรีย์ และวัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลสุกรไม่ค่อยเหมาะสมที่จะนำมาใช้ปลูกเมล่อนอินทรีย์

คำสำคัญ: พืชผักอินทรีย์ โรงเรือนปลูกพืช การปลูกเมล่อน ปุ๋ยอินทรีย์

Abstract

The production of melon productivity quality is very important. Especially organic melon due to various nutrients sources, organic fertilizer used manure, which is the main component in planting materials, which still doesn't have much study data about the type of manure suitable for producing organic melon which has the potential to produce quality products. Therefore, the potential of nutrients from each type of manure to produce organic melon has been studied. The 4 x 2 factorial in CRD experiment planned for 4 replications. The factors studied were factor A (2 melon varieties namely Orrancy melon A1 and Princess melon A2) and factor B (planting materials with 6 different nutrients sources six types of manure are hydroponics (B1), cow manure compost (B2), pig manure compost (B3), chicken manure compost (B4), earthworm compost (B5) and bat manure compost. (B6)). From the experiment, it was found that the varieties of Melon had different growth in stem and leaf in every growth phase. The Orrancy melon (A1) had higher growth characteristics than the Princess melon A2 varieties. Plant material from cow manure compost has the best potential for growth through trunk and leaves. But in the amount of chlorophyll, it was found that the plant material from compost, bat manure and earthworm were the highest amount. And Orrancy melon (A1) grown on planting materials from cow dung, bat manure and earthworm manure have the best growth characteristics. Yield and yield components, found that Melon strain Orrancy melon (A1) had higher weight per fruit, fruit size and fruit thickness than Princess melon (A2) and planting material from cow manure compost gave the best yield characteristics and yield components, followed by the material. Planted from compost, bat manure and earthworms. As for the quality characteristics of

the produce, it was found that Orrancy melon (A1) had higher percentage of sweetness than Princess melon (A2) and the planting material from compost, bat manure and earthworm manure had the highest percentage of sweetness. In this study, the Orrancy melon (A1) and plant material were obtained from compost from cow manure, bat manure and earthworm manure. Suitable to be used in the production of organic melon and planting material from pig manure compost is not suitable for organic melon cultivation.

Keywords: organic vegetable, greenhouse, melon planting, organic fertilizer

บทนำ

เมล่อน มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cucumis melon* L. อยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae เป็นพืชผักในตระกูลแตงอีกชนิดหนึ่งที่ผลสุกใช้รับประทานเป็นผลไม้ ในอดีตเมล่อนต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงมีราคาแพงทำให้ไม่ค่อยเป็นที่รู้จักแพร่หลายมากนัก แต่ในปัจจุบันมีการปลูกเมล่อนขึ้นได้เองภายในประเทศมากขึ้น ทำให้ราคาถูกลงและเริ่มเป็นที่รู้จักมากขึ้น มีการบริโภคกันอย่างกว้างขวางทั้งการบริโภคสดและการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งประเทศไทยมีโอกาสขยายตัวได้มาก และกำลังเป็นที่นิยมในตลาด ทวีปและตลาดซุเปอร์มาเกต เนื่องจาก มีรสชาติดีเนื้อนุ่ม หวานฉ่ำและมีกลิ่นหอมสามารถเก็บรักษาผลสุกไว้ได้นานและมีราคาค่อนข้างแพง เหมาะกับการบริโภคในช่วงที่มีอากาศร้อนอย่างประเทศไทย ทำให้ความต้องการบริโภคในปัจจุบันเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้เมล่อนกลายเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่น่าจับตามอง (กฤษฎี พรหมทอง, 2559)

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีผู้บริโภคที่เริ่มนิยมพืชผักอินทรีย์มากขึ้น และมีผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญเกี่ยวกับสุขภาพจำนวนไม่น้อยที่มีความกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัยในตัวพืชผักที่ปลูกโดยใช้ธาตุอาหารที่เป็นสารเคมี รวมถึงปัญหาต้นทุนและความยั่งยืนในการผลิตของเกษตรกร จึงได้มีการศึกษาการใช้แหล่งของปุ๋ยอินทรีย์มาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารในการผลิตพืชผัก แต่ปัญหาในการผลิตในระบบอินทรีย์โดยเฉพาะการผลิตเมล่อนในตลาดบ่น คือ การควบคุมคุณภาพของผลผลิตเมล่อน เช่น ความหวาน ความกรอบ กลิ่นหอม และน้ำหนักผลผลิต เป็นต้น เมล่อนเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญในเชิงการค้าในหลายประเทศ เพราะมีรสชาติหวาน และกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ (Villanueva et al., 2004) ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการผลิตและตลาดของเมล่อน เนื่องจาก แหล่งธาตุอาหารปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มีความหลากหลาย โดยเฉพาะปุ๋ยคอกที่เป็นองค์ประกอบหลักในการปลูกพืชอินทรีย์ ยังมีข้อมูลการศึกษาไม่มากนักถึงชนิดของปุ๋ยคอกที่เหมาะสมในการผลิตเมล่อนอินทรีย์ที่มีศักยภาพให้ผลผลิตที่มีคุณภาพ ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมในท้องตลาด

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยคอกแต่ละชนิดในการผลิตเมล่อนอินทรีย์เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาและเป็นแหล่งข้อมูลให้กับประชาชนที่สนใจหรือผู้ที่กำลังจะปรับเปลี่ยนการทำการเกษตรแบบเคมี กลับมาทำการเกษตรแบบอินทรีย์ และเพิ่มการแข่งขันสินค้าด้านการเกษตร เป็นแหล่งเรียนรู้เทคโนโลยีการผลิตพืชผักอินทรีย์ และส่งเสริมการเรียนรู้เทคโนโลยีการผลิตพืชอินทรีย์ให้เกษตรกรและผู้ที่เกี่ยวข้อง ภายในจังหวัดและพื้นที่ใกล้เคียง และช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันสินค้าด้านการเกษตรต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

วางแผนการทดลองแบบ 2×6 factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาก่อนจำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัย A คือ พันธุ์เมล่อนจำนวน 2 พันธุ์ โดยแบ่งเป็น 1) พันธุ์โอเรนซี (A1) และ 2) พันธุ์ปรีนเซส (A2) ส่วนปัจจัย B คือ แหล่งธาตุอาหาร จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ (B1) ปุ๋ยหมักมูลโค (B2) ปุ๋ยหมักมูลสุกร (B3) ปุ๋ยหมักมูลไก่ (B4) ปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน (B5) และ ปุ๋ยหมักมูลค่างคว (B6)

การเตรียมปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์

การเตรียมดินผสมและปุ๋ยคอก โดยการนำวัสดุที่จะใช้เป็นส่วนผสมของดินผสมในการปลูกเมล่อนมาหมักเป็นเวลาอย่างน้อย 2 เดือน เพื่อให้จุลินทรีย์ได้ย่อยสลายเศษวัสดุดินผสม ได้แก่ ปุ๋ยหมักใบไม้ ขุยมะพร้าว กาบมะพร้าวสับ และปุ๋ยคอกแต่ละชนิด ทั้ง 5 ชนิด ในสัดส่วน 2 : 1 : 1 : 2 ตามลำดับ โดยมีการรดน้ำกองปุ๋ยหมักทุกวัน และให้มีการกลับกองปุ๋ยหมักแต่ละชนิด สัปดาห์ละ 3 ครั้ง เพื่อเป็นการเติมอากาศออกซิเจนให้จุลินทรีย์ได้ย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลักษณะของโรงเรือนที่ใช้ในงานวิจัย

เป็นโรงเรือนปลูกพืชแบบทรงหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth greenhouse) ขนาด : กว้าง 6 เมตร ความยาว 12 เมตร สูง 3.5 เมตรโครงสร้างโครงเรือน : เป็นเหล็กชุบสีกันสนิม วัสดุคลุมโรงเรือน : ด้านข้างคลุมตาข่ายกันแมลงขนาด 32 เมส หลังคาโค้ง คลุมพลาสติก พีอี ความหนา 150 ไมครอน ประตูโรงเรือน : เป็นแบบบังใบทำด้วยตาข่ายกันแมลง จำนวน 2 ชั้น การระบายอากาศ : อาศัยการถ่ายเทอากาศจากด้านข้างโรงเรือน ผ่านตาข่ายกันแมลง และด้านบนหลังคาฟันเลื่อย

ระบบจ่ายน้ำและปุ๋ย : เป็นระบบใช้หัวน้ำหยด ต่อจากสาย PE ขนาด 25 มิลลิเมตร โดยใช้ปั้มน้ำ ขนาดกำลัง 60 W ขับน้ำเข้าสู่ระบบจากถังเก็บน้ำ 50 ลิตร จำนวน 3 ถัง ที่สามารถให้น้ำกับหัวหยดได้อย่างน้อย 200 ต้น จำนวน 2 ชุด

การปลูกและดูแลรักษาต้นเมล่อน

การเพาะกล้า โดยบ่มเมล็ดพันธุ์เมล่อนทั้ง 2 พันธุ์ ด้วยการนำเมล็ดใส่ห่อผ้าลงแช่น้ำประมาณ 5 ชั่วโมง จากนั้นบ่มเมล็ดจนมีรากงอกนำไปเพาะในถาดเพาะโดยใช้พีทมอสเป็นวัสดุเพาะ เมื่อต้นกล้าอายุกล้า 14 วันจึงย้ายปลูก

การย้ายกล้าปลูก ย้ายปลูกต้นกล้าเมล่อนหลังจากต้นกล้ามีใบจริงครบ 2 ใบ ทำการย้ายกล้าลงในแปลงปลูกแต่ละทริตเมนต์ ระยะปลูกระหว่างต้น 30 เซนติเมตร โดยในแต่ละทริตเมนต์จะปลูกต้นเมล่อนจำนวน 30 ต้นต่อแปลง รวมทั้งหมด 6 แปลง รวมจำนวน 180 ต้น

การให้น้ำ ให้น้ำต้นเมล่อนหลังจากย้ายกล้าปลูกแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ ระยะแรก เป็นระยะที่มีการเจริญเติบโตของลำต้น ตั้งแต่ปลูกจนถึง 35-40 วัน หรือก่อนการออกดอกให้น้ำอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 ลิตรต่อต้นต่อวัน ระยะที่สอง เป็นระยะผสมเกสร จะลดปริมาณน้ำลงเล็กน้อยแต่อย่าให้ดินแห้งและพยายามอย่าให้น้ำถูกดอกเพราะจะทำให้ละอองเกสรตายได้ ระยะที่สาม เป็นระยะการเจริญเติบโตของผลให้น้ำเต็มทีวันละ 2-3 ลิตรต่อต้นต่อวัน ส่วนระยะที่สี่ เป็นระยะพัฒนาคุณภาพ ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 15-20 วันก่อนเก็บเกี่ยว จะลดปริมาณการให้น้ำลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งหยุดให้น้ำและปล่อยให้ดินแห้งก่อนเก็บเกี่ยว 5 วัน

การตัดแต่งกิ่ง หลังจากย้ายปลูก 15 วัน ทำการตัดแต่งโดยให้ลำต้นเมล่อนเลื้อยพันค้างเชือกผ้าที่ขึงไว้จากล่างขึ้นบน โดยต้องมีการตัดแต่งให้ขึ้นเชือกทุก ๆ 2-3 วัน ในระยะนี้ต้นเมล่อนจะมีแขนงข้างเกิดขึ้นตามจำนวนข้อไปเรื่อย ๆ ให้แต่งแขนงข้างออกจนถึงข้อที่ 9-12 เพื่อเว้นไว้สำหรับรอการผสม เมื่อต้นเมล่อนอายุประมาณ 20 วัน หลังจากย้ายปลูก ทำการแต่งใบล่างออก 4-5 ใบ ให้โปร่งง่ายต่อการดูแลรักษา และทำการเด็ดยอดแขนงข้อที่ 9 - 12 โดยเหลือใบไว้ 2 ใบต่อแขนง เพื่อบังคับไม่ให้อาหารไปเลี้ยงส่วนอื่นยกเว้นดอกที่จะทำการผสม และเด็ดยอดทิ้งเมื่อต้นเมล่อนมีความสูงประมาณ 140 เซนติเมตร

การให้ปุ๋ยต้นเมล่อน โดยทริตเมนต์ที่เป็นปุ๋ยหมักมูลสัตว์ จะให้ปุ๋ยน้ำอินทรีย์ TPI อัตราส่วน 20 ซีซีต่อน้ำ 1 ลิตร ส่วนปุ๋ยเคมี (AB) จะให้ในอัตราส่วน 200 ซีซีต่อน้ำ 20 ลิตร โดยให้ปุ๋ยทางระบบน้ำพร้อมกับการให้น้ำในช่วง 1 - 30 วัน หลังจากย้ายปลูกจะให้ปุ๋ยสัปดาห์ละ 3 ครั้ง ช่วง 30 - 60 วัน หลังจากย้ายปลูกจะให้ปุ๋ยสัปดาห์ละ 5 ครั้ง จนถึงช่วงผสมเกสร จะให้ปุ๋ยทางระบบน้ำทุกวันพร้อมกับให้น้ำ

การผสมเกสร การปลูกเมล่อนในโรงเรือนจะต้องช่วยผสมดอกด้วยมือ โดยเก็บดอกตัวผู้ที่มีลักษณะตูมซึ่งจะบานวันถัดไปนำมาบ่มโดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-28 องศาเซลเซียส) 1 คืน เมื่อดอกตัวเมียเริ่มบาน ทำการผสมเกสรแขนงที่ 9 -12 ตามลำดับการบานของดอกตัวเมีย โดยนำดอกตัวผู้ที่บ่มไว้ มาผสมในช่วงเช้าไม่เกินเวลา 10.00 น. หลังทำการผสม 7-10 วัน ให้คัดไว้ 1 ลูกที่สวยและ

สมบูรณ์ที่สุด หลังจากทีเลือกผลที่ดีที่สุดแล้วใช้เชือกผ้าทำเป็นบ่วงคล้อง แล้วให้นำปลายเชือกอีกปลายหนึ่งไปผูกไว้กับค้ำ

การเก็บเกี่ยว สำหรับเมล่อนจะมีอายุตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงช่วงเวลาเก็บเกี่ยวประมาณ 70-80 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และช่วงฤดูในการปลูก ก่อนเก็บเกี่ยวให้ทำการการควบคุมน้ำและปุ๋ย โดยงดให้น้ำและปุ๋ย 5-7 วันก่อนการเก็บเกี่ยว

การบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลในลักษณะการเจริญเติบโต ได้แก่ ความยาวลำต้น (เซนติเมตร) จำนวนใบ (ใบต่อต้น) และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) ด้วยเครื่องวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ (Digital Chlorophyll Meter) ของเมล่อนทั้งหมดทุกสัปดาห์ และบันทึกลักษณะผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักผล (กิโลกรัม) ขนาดของผล (เซนติเมตร) ความหนาของเปลือก (เซนติเมตร) ความหนาของเนื้อ (เซนติเมตร) และ 5) ความกว้างของช่องว่างผล (เซนติเมตร) ลักษณะคุณภาพของผลผลิต ได้แก่ ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) โดยใช้เครื่อง firmness tester ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร นำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นหน่วยนิวตันต่อเซนติเมตร และ เปอร์เซ็นต์ความหวาน (องศาบริกซ์) โดยใช้ hand refractometer

การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากเก็บข้อมูลลักษณะที่ศึกษาและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Statistic 8 (SXW Tallahassee, FL, USA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้ค่า Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาศักยภาพของแหล่งธาตุอาหารจากปุ๋ยคอกแต่ละชนิดต่อการผลิตเมล่อนอินทรีย์ในครั้งนี้ เป็นการปลูกเปรียบเทียบลักษณะการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต รวมถึงคุณภาพผลผลิตของเมล่อน โดยใช้เมล่อน จำนวน 2 พันธุ์ พันธุ์โอเรนซีและพันธุ์ปรีนเซส และวัสดุปลูกจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ วัสดุปลูกที่มีแหล่งธาตุอาหารจากปุ๋ยคอก จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ มูลโค มูลไก่ มูลสุกร มูลค่างควา และมูลไส้เดือน และวัสดุปลูกที่ใช้ปุ๋ยไฮโดรโปรอนิกส์เป็นพรีตเมนต์เปรียบเทียบ ทดลองในสภาพโรงเรือน ซึ่งแบ่งการแสดงผลการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ลักษณะการเจริญเติบโตของเมล่อน

ลักษณะการเจริญเติบโตที่ศึกษา ได้แก่ จำนวนใบ (ใบต่อต้น) ความยาวลำต้น (เซนติเมตร) และปริมาณคลอโรฟิลล์ (เปอร์เซ็นต์) โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่หลังย้ายปลูกต้นเมล่อนในสัปดาห์ที่ 2 จนถึงสัปดาห์ที่ 7 ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาก่อนการเก็บเกี่ยว 1 สัปดาห์ จากการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลองแบบ factorial in CRD เพื่อศึกษาความแตกต่างของปัจจัย (Factor) ที่

ทำการศึกษาคือ พันธุ์เมล่อนที่ใช้ปลูก (A) วัสดุปลูกที่มีแหล่งของธาตุอาหารแตกต่างกัน (B) และอิทธิพลของพันธุ์เมล่อนต่อวัสดุปลูกแต่ละชนิด ($A \times B$) ในลักษณะการเจริญเติบโต พบว่า ปัจจัยพันธุ์ของเมล่อนที่ศึกษามีจำนวนใบต่อดัน (ตารางที่ 1) และความยาวลำต้น (ตารางที่ 2) มีความแตกต่างกันในทุกช่วงการเจริญเติบโต ส่วนลักษณะปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่า ในช่วงระยะแรกหลังย้ายปลูกในสัปดาห์ที่ 2 และช่วงระยะหลังก่อนเก็บเกี่ยวในสัปดาห์ที่ 7 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3) แต่อย่างไรก็ตามจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่า พันธุ์โอเรนซี (A1) มีลักษณะการเจริญเติบโตในลักษณะจำนวนใบ และความยาวลำต้นสูงกว่าพันธุ์ปรีนเซส (A2) และปัจจัยวัสดุปลูก พบว่า มีผลต่อการเจริญเติบโตทุกลักษณะที่ศึกษาแตกต่างกัน โดยวัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลโคมีศักยภาพดีที่สุด และมีการเจริญเติบโตทางลำต้นดีกว่าปุ๋ยไฮโดรโปรอนิกส์ที่เป็นทรีตเมนต์เปรียบเทียบ แต่ในลักษณะปริมาณคลอโรฟิลล์พบว่า วัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลค่างควา และปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบดีกว่าปุ๋ยไฮโดรโปรอนิกส์ที่เป็นทรีตเมนต์เปรียบเทียบ (ตารางที่ 3) สำหรับอิทธิพลของพันธุ์เมล่อนต่อวัสดุปลูก พบว่า มีความแตกต่างกันในลักษณะจำนวนใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ แต่ความยาวลำต้น พบว่า ไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ที่แตกต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตในลักษณะจำนวนใบต่อดันและปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ปลูกในวัสดุปลูกแต่ละชนิดแตกต่างกัน ยกเว้นลักษณะความยาวของลำต้น อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลอง พบว่า พันธุ์โอเรนซี (A1) ที่ปลูกในวัสดุปลูกจากมูลโค มูลค่างควา และมูลไส้เดือน มีลักษณะการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด และมีศักยภาพสูงกว่าปุ๋ยไฮโดรโปรอนิกส์ที่เป็นทรีตเมนต์เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพันธุ์เมล่อนที่ได้รับแหล่งของธาตุอาหารปุ๋ยคอกชนิดต่างๆ แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าเมล่อนมีการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยคอกต่างกัน และอาจมีผลจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน โดยสอดคล้องกับงานของ Hamid et al. (2002) และ Nooprom & Santipracha (2015) ที่ลักษณะการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับธรรมชาติของพันธุ์กรรมหรือลักษณะประจำพันธุ์ของพืชชนิดนั้น

ลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต พบว่า น้ำหนักผลผลิตของเมล่อนพันธุ์ทั้ง 2 พันธุ์ มีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 4) โดยพันธุ์โอเรนซี (A1) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล (628.8a กรัมต่อผล) ความกว้างผล (9.9a เซนติเมตร) ความยาวผล (11.0a เซนติเมตร) และความหนาของเนื้อผล (2.89a เซนติเมตร) มากกว่าพันธุ์ปรีนเซส (A2) ส่วนวัสดุปลูก พบว่า วัสดุปลูกที่มีแหล่งของธาตุอาหารต่างชนิดกันมีผลต่อลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของเมล่อน (ตารางที่ 4) โดยวัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลโคให้ลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตที่ดีที่สุด รองลงมา คือ วัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลค่างควา และมูลไส้เดือน ซึ่งมีศักยภาพสูงกว่าปุ๋ยไฮโดรโปรอนิกส์ที่เป็นทรีตเมนต์เปรียบเทียบ (ตารางที่ 4) ในขณะที่วัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลสุกรให้ลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยมูลโคไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการปลูกเมล่อน อย่างไรก็ตาม

จากผลการทดลองในครั้งนี้ พบว่า พันธุ์โอเรนซี (A1) ที่ปลูกในวัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลโค มีศักยภาพให้ลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตที่ดีที่สุด (ตารางที่ 4) รองลงมาเป็น พันธุ์ปรีนเซส (A2) ที่ปลูกในวัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลค่างควา และปลูกในวัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลโค ซึ่งมีลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตสูงกว่าปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ที่เป็นทรีตเมนต์เปรียบเทียบกับอีกด้วย แต่ความต้องการและการตอบสนองต่อชนิดและปริมาณธาตุอาหารของเมล่อนแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน (Deus, J.A.L., et.al., 2015) จึงควรมีการศึกษาการตอบสนองของเมล่อนแต่ละพันธุ์ในแต่ละชนิดต่อปุ๋ยต่าง ๆ เพื่อเป็นทางเลือกการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมในการผลิตเมล่อนอินทรีย์

ลักษณะคุณภาพของผลผลิต

ลักษณะคุณภาพของผลผลิตเมล่อนเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อราคาและคุณภาพของเมล่อน โดยเฉพาะการผลิตเมล่อนในระบบอินทรีย์ที่ปกติจะมีศักยภาพของผลผลิตและคุณภาพผลผลิตไม่ดีเท่ากับการผลิตในระบบเคมี ดังนั้น การศึกษาหาวิธีการปลูกเมล่อนในระบบอินทรีย์ที่มีศักยภาพเทียบเท่าหรือดีกว่าระบบเคมี จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาการผลิตเมล่อนอินทรีย์ จากผลการศึกษาในครั้งนี้ เป็นการเปรียบเทียบลักษณะคุณภาพของผลผลิตเมล่อนในด้านเปอร์เซ็นต์ความหวาน และลักษณะความแน่นเนื้อที่เป็นปัจจัยสำคัญในด้านคุณภาพของเมล่อน โดยในลักษณะพันธุ์ของเมล่อนที่ศึกษา พบว่า เปอร์เซ็นต์ความหวานของผลเมล่อนมีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5)

ซึ่งพันธุ์ A1 (12.8a องศาบริกซ์) มีเปอร์เซ็นต์ความหวานสูงกว่าเมล่อนพันธุ์ A2 (11.0b องศาบริกซ์) ซึ่งคุณภาพความหวานของเมล่อนแต่ละพันธุ์จะมีคุณลักษณะแตกต่างกัน และในปัจจัยวัสดุปลูก พบว่า วัสดุปลูกจากมูลค่างควาและมูลไส้เดือนมีเปอร์เซ็นต์ความหวานสูงสุดและสูงกว่าปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ที่เป็นทรีตเมนต์เปรียบเทียบ (ตารางที่ 5) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยหมักจากมูลค่างควาและมูลไส้เดือนที่เป็นปุ๋ยอินทรีย์สามารถนำมาใช้ในการผลิตเมล่อนอินทรีย์ได้ ซึ่งมีศักยภาพใกล้เคียงหรืออาจสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ในลักษณะความแน่นเนื้อ พบว่า พันธุ์เมล่อนที่ศึกษาไม่มีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 5) แต่วัสดุปลูกที่ใช้มีผลทำให้ความแน่นเนื้อแตกต่างกัน โดยวัสดุปลูกจากมูลไก่สามารถทำให้ผลเมล่อนมีความแน่นเนื้อมากที่สุด ในขณะที่วัสดุปลูกจากมูลโคและมูลสุกรมีความแน่นเนื้อต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ เนื่องจากคุณภาพของธาตุอาหารที่มีในปุ๋ยจากมูลสัตว์มีความไม่คงที่ของธาตุอาหารทำให้พบว่า ลักษณะความแน่นเนื้อของคุณภาพผลผลิตมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ แต่อย่างไรก็ตาม ในการผลิตเมล่อนการใช้ปุ๋ยคอกเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถควบคุมคุณภาพของผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากงานวิจัยของ กนกอร อัมพรายน และคณะ (2563) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการให้ปุ๋ยแบบครั้งเดียวและการให้ปุ๋ยตามระยะการเจริญเติบโตในเมล่อน โดยพบว่าการใช้ปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีสามารถให้ผลผลิตและคุณภาพของเมล่อนดีที่สุด

ตารางที่ 1 ลักษณะการเจริญเติบโตของแตง 2 พันธุ์ ใน 6 วัสดุปลูกที่มีแหล่งธาตุอาหารต่างกันในจำนวนลักษณะใบในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 7 หลังย้ายปลูก

Factor	Number of leaves (leaves per plant)					
	2 nd week	3 rd week	4 th week	5 th week	6 th week	7 th week
Factor A (varieties)						
A1	11.1 a	16.1 a	21.1 a	24.8 b	28.7 b	32.0 b
A2	6.1 b	11.1 b	16.5 b	28.0 a	30.8 a	35.4 a
F-test	**	**	**	**	**	**
Factor B (nutrient sources)						
B1	7.5 d	12.4 d	21.8 a	26.8 b	29.7 bc	35.4 a
B2	11.3 a	16.2 a	20.7 a	29.7 a	32.4 a	35.1 a
B3	7.1 d	12.3 d	18.9 b	22.8 c	26.3 d	29.5 b
B4	8.9 c	13.7 c	17.4 c	26.5 b	30.1 bc	34.9 a
B5	9.9 b	14.9 b	17.3 c	26.8 b	31.2 ab	33.9 a
B6	7.1 d	12.3 d	16.5 c	25.9 b	29.0 c	33.5 a
F-test	**	**	**	**	**	**
Factor A x B						
A1 B1	8.0 e	13.5 c	17.9 de	22.9 g	28.2 def	31.9 bcd
A1 B2	12.9 b	18.5 a	24.6 a	27.3 cde	30.3 bcd	32.5 bcd
A1 B3	7.8 ef	13.5 c	17.7 de	22.0 g	27.3 efg	31.1 de
A1 B4	12.0 c	16.2 b	21.8 b	25.9 de	29.3 cdef	32.0 bcd
A1 B5	14.8 a	18.9 a	23.9 a	27.8 cd	30.3 cd	32.8 bcd
A1 B6	11.4 c	16.1 b	20.4 bc	22.9 g	26.9 fg	31.6 cde
A2 B1	7.0 fg	11.2 d	16.8 ef	30.6 ab	31.2 bc	39.0 a
A2 B2	9.8 d	13.9 c	18.9 cd	32.0 ab	34.4 ab	37.7 a
A2 B3	3.0 h	8.5 e	13.9 g	23.6 fg	25.3 g	27.9 e
A2 B4	6.4 g	11.1 d	15.4 fg	25.3 ef	29.8 cde	37.0 a
A2 B5	7.9 e	13.5 c	19.6 c	27.6 cd	33.0 ab	35.7 ab
A2 B6	2.8 h	8.5 e	14.2 g	28.9 bc	31.0 bc	35.4 abc
F-test	**	**	**	**	**	*
Mean	8.6	13.6	18.8	26.4	29.8	33.7
% C.V.	6.14	5.04	5.24	4.61	5.27	6.79

* and ** = significantly different at p<0.05 and 0.01 respectively.

Mean within the same column followed by the different letters are significantly different according to LSD (p<0.05).

Melon Orrancy Variety (A1) and Melon Princess Variety (A2). Hydroponics fertilizer (B1), cow manure compost (B2), pig manure compost (B3), chicken manure compost (B4), bat manure compost (B5) and vermicompost fertilizer (B6).

ตารางที่ 2 ลักษณะการเจริญเติบโตของแตง 2 พันธุ์ในวัสดุปลูก 6 ชนิดที่มีแหล่งธาตุอาหารต่างกันในลักษณะความยาวลำต้นระหว่างสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 7 หลังย้ายปลูก

Factor	Trunk length (cm.)					
	2 nd week	3 rd week	4 th week	5 th week	6 th week	7 th week
Factor A (varieties)						
A1	68.8 a	115.5 a	155.6 a	185.7 a	201.8 a	217.4 a
A2	49.3 b	95.5 b	127.6 b	157.3 b	166.2 b	176.4 b
F-test	**	**	**	**	**	**
Factor B (nutrient sources)						
B1	85.5 a	128.0 a	163.7 ab	191.6 ab	198.2 ab	210.1 ab
B2	85.6 a	128.5 a	176.4 a	200.8 a	212.7 a	219.2 a
B3	23.4 d	74.0 c	111.4 d	156.4 cd	169.2 c	181.6 c
B4	27.5 d	72.6 c	104.9 d	146.8 d	168.9 c	188.8 c
B5	72.1 b	114.8 b	151.6 bc	173.2 bc	181.0 bc	194.7 bc
B6	60.1 c	114.8 b	141.5 c	160.2 cd	174.0 c	187.0 c
F-test	**	**	**	**	**	**
Factor A x B						
A1 B1	94.6	133.4	169.9	196.6	209.2	226.4
A1 B2	96.6	143.5	203.9	224.1	234.6	243.0
A1 B3	33.4	84.0	121.4	168.8	183.9	195.1
A1 B4	35.7	82.6	114.9	153.1	183.0	200.2
A1 B5	82.1	124.8	161.6	193.4	203.5	225.2
A1 B6	70.1	124.8	161.9	178.0	196.3	214.6
A2 B1	76.6	123.5	157.4	186.7	187.3	193.8
A2 B2	74.6	113.4	148.8	177.5	190.7	195.4
A2 B3	13.4	64.0	101.4	144.0	154.4	168.0
A2 B4	19.2	62.6	94.9	140.4	154.7	177.5
A2 B5	62.1	104.8	141.6	153.0	158.5	164.2
A2 B6	50.1	104.8	121.2	142.3	151.7	159.4
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mean	59.0	105.5	141.6	171.5	184.0	196.9
% C.V.	7.55	9.92	9.81	8.99	9.45	7.81

ns and ** = not significantly different and significantly different at $p < 0.01$ respectively.

Mean within the same column followed by the different letters are significantly different according to LSD ($p < 0.05$).

Melon Orrancy Variety (A1) and Melon Princess Variety (A2). Hydroponics fertilizer (B1), cow manure compost (B2), pig manure compost (B3), chicken manure compost (B4), bat manure compost (B5) and vermicompost fertilizer (B6).

ตารางที่ 3 ลักษณะการเจริญเติบโตของแตง 2 พันธุ์ในวัสดุปลูก 6 ชนิดที่มีแหล่งธาตุอาหารต่างกันในลักษณะคลอโรฟิลล์ระหว่างสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 7 หลังย้ายปลูก

Factor	Chlorophyll (SPAD unit)					
	2 nd week	3 rd week	4 th week	5 th week	6 th week	7 th week
Factor A (varieties)						
A1	39.8	42.6 a	42.0 a	43.3 a	44.1 a	40.3
A2	39.9	39.8 b	39.2 b	38.2 b	37.7 b	39.1
F-test	ns	**	**	**	**	ns
Factor B (nutrient sources)						
B1	39.7 b	41.9 b	40.8 bc	45.1 a	42.7 b	44.4 ab
B2	35.9 c	38.7 b	38.4 c	37.5 bc	42.2 b	40.9 b
B3	33.8 c	39.6 b	36.4 c	35.6 c	36.4 c	30.0 d
B4	39.3 b	39.4 b	37.0 c	38.5 bc	36.7 c	35.2 c
B5	46.2 a	46.0 a	46.7 a	40.4 b	39.5 bc	40.2 b
B6	44.1 a	41.7 b	44.3 ab	47.4 a	47.7 a	47.8 a
F-test	**	**	**	**	**	**
Factor A x B						
A1 B1	35.4 c	41.6 c	39.5 bc	41.9 bc	39.5 de	46.4 b
A1 B2	42.2 b	44.0 abc	42.0 b	37.7 cd	39.4 de	41.4 bc
A1 B3	33.3 cd	34.8 d	29.5 d	27.1 e	25.6 f	24.0 e
A1 B4	36.7 c	42.1 bc	30.8 d	32.2 de	31.2 f	31.8 d
A1 B5	44.3 ab	45.4 abc	44.4 ab	40.6 bc	38.2 e	42.2 bc
A1 B6	46.6 a	48.0 a	49.0 a	49.7 a	52.4 a	56.1 a
A2 B1	44.0 ab	42.2 bc	42.0 b	48.4 a	45.9 bc	42.5 bc
A2 B2	29.5 d	33.3 d	34.8 cd	37.3 cd	45.1 bcd	40.3 bc
A2 B3	45.4 ab	44.3 abc	44.4 ab	44.1 ab	47.2 ab	35.9 cd
A2 B4	30.8 d	36.7 d	42.1 b	44.7 ab	42.2 bcde	38.5 cd
A2 B5	48.0 a	46.6 ab	49.0 a	40.3 bc	40.9 cde	38.2 cd
A2 B6	41.6 b	35.4 d	39.5 bc	45.2 ab	43.0 bcde	39.4 c
F-test	**	**	**	**	**	**
Mean	39.8	41.2	40.6	40.8	40.9	39.7
% C.V.	6.28	6.64	9.93	8.24	9.11	9.92

ns and ** = not significantly different and significantly different at p<0.01 respectively.

Mean within the same column followed by the different letters are significantly different according to LSD (p<0.05).

Melon Orrancy Variety (A1) and Melon Princess Variety (A2). Hydroponics fertilizer (B1), cow manure compost (B2), pig manure compost (B3), chicken manure compost (B4), bat manure compost (B5) and vermicompost fertilizer (B6).

ตารางที่ 4 ข้อมูลผลผลิตและส่วนประกอบผลผลิตจากแดง 2 พันธุ์ ต่อวัสดุปลูก 6 ชนิดที่มีแหล่งธาตุอาหารต่างกัน

Factor	Yields (gram per fruit)	Yield component (cm.)			
		wide	length	thick	
Factor A (varieties)					
A1	628.8 a	9.9 a	11.0 a	2.89 a	
A2	521.8 b	9.0 b	10.2 b	2.48 b	
F-test	**	**	**	**	**
Factor B (nutrient sources)					
B1	536.0 bc	9.1 c	10.3 c	2.43 cd	
B2	790.6 a	10.7 a	12.0 a	3.08 a	
B3	345.8 d	7.3 d	9.23 d	2.28 d	
B4	461.2 c	9.2 c	9.45 d	2.63 bc	
B5	710.2 a	10.3 ab	11.1 b	2.98 a	
B6	608.2 b	9.9 b	11.3 b	2.68 b	
F-test	**	**	**	**	**
Factor A x B					
A1 B1	639.4 cde	9.8 bc	11.2 bc	2.63 cde	
A1 B2	868.2 a	11.0 a	12.2 a	3.37 a	
A1 B3	362.0 g	8.2 d	8.9 ef	2.23 f	
A1 B4	576.8 de	9.9 bc	10.5 cd	2.83 bc	
A1 B5	655.5 bcde	10.1 bc	11.2 bc	3.30 a	
A1 B6	671.2 bcd	10.3 ab	11.9 ab	2.97 b	
A2 B1	432.6 fg	8.5 d	9.5 e	2.33 ef	
A2 B2	713.0 bc	10.4 ab	11.7 ab	2.80 bc	
A2 B3	329.5 g	6.5 e	9.6 d	2.23 f	
A2 B4	345.6 g	8.6 d	8.4 f	2.43 def	
A2 B5	764.9 ab	10.5 ab	11.0 bc	2.67 bcd	
A2 B6	545.1 ef	9.4 c	10.7 c	2.40 def	
F-test	**	**	**	*	
Mean	575.3	9.4	10.6	2.7	
% C.V.	11.75	4.69	5.04	6.99	

* and ** = significantly different at $p < 0.05$ and 0.01 respectively.

Mean within the same column followed by the different letters are significantly different according to LSD ($p < 0.05$).

Melon Orrancy Variety (A1) and Melon Princess Variety (A2). Hydroponics fertilizer (B1), cow manure compost (B2), pig manure compost (B3), chicken manure compost (B4), bat manure compost (B5) and vermicompost fertilizer (B6).

ตารางที่ 5 ข้อมูลคุณลักษณะคุณภาพของแตง 2 พันธุ์ บนวัสดุปลูก 6 ชนิดที่มีแหล่งธาตุอาหารต่างกัน

Factor	% brix (°brix)	Firmness (N/mm)
Factor A (varieties)		
A1	12.8 a	1.98
A2	11.0 b	2.04
F-test	**	ns
Factor B (nutrient sources)		
B1	11.9 b	1.95 c
B2	10.3 c	1.65 d
B3	10.9 bc	1.67 d
B4	11.0 bc	2.48 a
B5	13.8 a	2.08 bc
B6	13.6 a	2.23 bc
F-test	**	**
Factor A x B		
A1 B1	13.0 bc	1.63 ef
A1 B2	10.6 de	1.97 c
A1 B3	11.4 d	1.47 f
A1 B4	13.0 bc	2.07 c
A1 B5	14.4 a	2.37 b
A1 B6	14.3 a	2.40 b
A2 B1	10.7 de	1.67 def
A2 B2	10.0 ef	1.93 cd
A2 B3	9.0 f	1.87 cde
A2 B4	10.4 de	2.90 a
A2 B5	13.2 bc	1.80 cde
A2 B6	12.8 c	2.07 c
F-test	*	*
Mean	11.9	2.0
% C.V.	6.90	8.51

ns, * and ** = not significantly different, significantly different at $p < 0.05$ and 0.01 respectively.

Mean within the same column followed by the different letters are significantly different according to LSD ($p < 0.05$).

Melon Orrancy Variety (A1) and Melon Princess Variety (A2). Hydroponics fertilizer (B1), cow manure compost (B2), pig manure compost (B3), chicken manure compost (B4), bat manure compost (B5) and vermicompost fertilizer (B6).

จากการศึกษาในครั้งนี้ สรุปได้ว่า พันธุ์เมล่อนที่เหมาะสมต่อการผลิตเมล่อนอินทรีย์ คือ พันธุ์โอเรนซี (A1) โดยปัจจัยเรื่องของพันธุ์นั้นมีความสำคัญอย่างมากในการผลิตเมล่อนที่มีวัตถุประสงคที่เฉพาะเจาะจง เนื่องจาก การแสดงออกของยีนมีความผันแปรไปตามสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้อง (อารักษ์ ธีรอาพน, 2555) จึงทำให้เมล่อนแต่ละพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น วันดอกแรกบานของดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย สีเปลือก รูปทรงผล และสีของเนื้อผล เป็นต้น (Alenazi et al., 2015) และปุ๋ยคอกที่เป็นแหล่งธาตุอาหารที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการผลิตเมล่อนอินทรีย์ คือ ปุ๋ยหมักจากมูลโค มูลค่างควา และมูลไส้เดือน เนื่องจากสามารถให้ลักษณะการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตของเมล่อนที่ดีที่สุด และวัสดุปลูกจากปุ๋ยคอกเป็นแหล่งธาตุอาหารที่ไม่ค่อยเหมาะสมที่จะนำมาใช้ปลูกเมล่อนคือ มูลสุกร เนื่องจาก ให้ลักษณะการเจริญเติบโตและผลผลิตต่ำที่สุด ซึ่งพันธุ์ของเมล่อนจะมีความเหมาะสมกับวัสดุปลูกแต่ละชนิดแตกต่างกันและขนาดและรูปทรงของภาชนะปลูกไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นเมล่อน (ณัฐชา จันทร์ตะคุ และคณะ, 2559) แต่ในลักษณะปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ปลูกในวัสดุปลูกปุ๋ยคอกแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยในปุ๋ยหมักมูลค่างควาและมูลไส้เดือนพบสูงที่สุด เนื่องจากปุ๋ยคอกทั้ง 2 ชนิด จากข้อมูลงานวิจัยของวาสนา วิญญรัตน์ และคณะ (2557) พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าปุ๋ยคอกชนิดอื่น ๆ ซึ่งปริมาณไนโตรเจนจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืช อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองการใช้วัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลโคให้ผลการเจริญเติบโตสอดคล้องกับการศึกษาวัสดุปลูกที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและศักยภาพการผลิตผักลิ้นห่านในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต ที่ให้ความเจริญทางลำต้นได้ดีที่สุดทั้งนี้ความแตกต่างระหว่างการใช้มูลสัตว์แต่ละชนิดอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตที่ต่างกัน เนื่องจากปริมาณขององค์ประกอบธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยคอกมูลสัตว์ที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้นมีปริมาณมากน้อยไม่เท่ากัน (ชัยภูมิ สุขสำราญ, 2563) แต่การเลือกใช้วัสดุปลูกปุ๋ยคอกแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับพืชเป็นเทคนิคที่สามารถควบคุมการจัดการธาตุอาหารพืชได้ดี

สรุปผลและเสนอแนะ

จากผลการทดลอง พบว่า ชนิดพันธุ์ของเมล่อนมีลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบแตกต่างกัน โดยพันธุ์โอเรนซี (A1) มีการเจริญเติบโตสูงกว่าพันธุ์ปรีนเซส (A2) ส่วนปัจจัยวัสดุปลูกพบว่า วัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลโคมีศักยภาพดีที่สุดต่อเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ และพบว่าวัสดุปลูกจากปุ๋ยหมักมูลค่างควาและมูลไส้เดือนพบปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด สำหรับอิทธิพลของพันธุ์เมล่อนต่อวัสดุปลูก จะมีความแตกต่างกันในลักษณะจำนวนใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยพันธุ์โอเรนซี (A1) ที่ปลูกในวัสดุปลูกจากมูลโค มูลค่างควา และมูลไส้เดือน มีผลการเจริญเติบโตดีที่สุด ลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต พบว่า พันธุ์โอเรนซี (A1) มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ขนาดผล และความหนาของเนื้อผลมากกว่าพันธุ์ปรีนเซส (A2) ในส่วนวัสดุปลูก พบว่า วัสดุจากปุ๋ยหมักมูลโคให้ลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตดีที่สุด ปุ๋ยหมักมูลค่างควา และมูลไส้เดือน รองลงมา น้อยที่สุดคือปุ๋ยหมักมูลสุกร

ให้และพบว่า พันธุ์โอเรนซี (A1) มีเปอร์เซ็นต์ความหวานสูงกว่าพันธุ์ปรีนเซส (A2) และวัสดุจากปุ๋ยหมักมูลค่างควาและมูลไส้เดือนมีเปอร์เซ็นต์ความหวานสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม ในลักษณะความแน่นเนื้อ แต่วัสดุที่ใช้มีผลทำให้ความแน่นเนื้อแตกต่างกัน โดยวัสดุจากปุ๋ยหมักมูลไก่มีความแน่นเนื้อมากที่สุด และวัสดุจากมูลโคและมูลสุกรมีความแน่นเนื้อต่ำที่สุด จากการศึกษาในครั้งนี้ สรุปได้ว่า พันธุ์โอเรนซี (A1) และวัสดุจากปุ๋ยหมักจากมูลโค มูลค่างควา และมูลไส้เดือน เหมาะสมจะนำมาใช้ในการผลิตเมล่อนอินทรีย์ และวัสดุจากปุ๋ยหมักมูลสุกรไม่ค่อยเหมาะสมที่จะนำมาใช้ปลูกเมล่อนอินทรีย์ ดังนั้นควรมีการศึกษาคุณสมบัติของดินผสมที่เป็นวัสดุปลูกของเมล่อนทั้งก่อนการปลูก ระหว่างการปลูก และหลังการปลูก เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการวิจารณ์ผลการทดลอง จะทำให้ผลการวิจัยมีน้ำหนักและครอบคลุมปัจจัยที่ศึกษาคืบขึ้นและควรมีการปลูกทดลองในช่วงฤดูกาลที่มีความหลากหลายกว่านี้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาพแวดล้อมต่อการแสดงออกของพันธุ์เมล่อนที่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

- กนกอร อัมพรายน, อนันต์ พิริยะภัทรกิจ, ปวีศ ตั้งบรรจธรรมา และศิริพร เปรมฤทธิ (2563). การผลิตเมล่อนแบบให้ปุ๋ยครั้งเดียว. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 9(2), 211-217.
- กฤษฎี พรหมทอง. (2559). ปลูกเมล่อนระบบน้ำหยดแบบประณีตประหยัดน้ำให้ผลผลิตสูง. *เกษตรกรรมธรรมชาติ*, 1, 49-53.
- ชัยภูมิ สุขสำราญ. (2563). ผลของวัสดุปลูกต่อการเจริญเติบโต และศักยภาพการผลิตผักลิ้นห่านในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต. *วารสารแก่นเกษตร*, 48(3), 509-514.
- ณัฐชา จันทร์ตะคุ, ธาดา แก้วโสภาก, ภัสรา ศิริสวัสดิ์, นัฏฐา ตำนานา, आयुมิ นาคใหม่ และอารักษ์ ธีรอำพน. (2559). ขนาดและรูปร่างภาชนะที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของแตงเทศที่ปลูกด้วยระบบปลูกแบบวัสดุปลูกและแบบดินปลูก *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์*, (ฉบับพิเศษ 3), 15-23.
- วาสนา วิรุญรัตน์, วิณา นิลวงศ์, ปรีดา นาเทเวศน์ และนงลักษณ์ ปุระณะพงษ์. (2557). *ศึกษาเปรียบเทียบผลจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการของดินในระบบการปลูกผักอินทรีย์*. คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- อารักษ์ ธีรอำพน. (2555). *ความแปรปรวนทางพันธุกรรมของการเจริญเติบโตและผลผลิตในการผสมระหว่างแตงไทยกับแตงแคนดาอุป*. รายงานโครงการวิจัยปีงบประมาณ 2553, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Alenazi, M., Abdel-Razzak, H., Ibrahim, A., Wahb-Allah, M., & Alsadon, A. (2015). Response of muskmelon cultivars to plastic mulch and irrigation regimes under greenhouse conditions. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 25, 1398-1410.

- Deus, J.A.L., Soares, I., Neves, J.C.L., Medeiros, J.F., & Miranda, F.R. (2015). Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 39, 498-511.
- Hamid, A., Baloch, J.U., & Khan, N. (2002). Performance of six cucumber (*Cucumis sativus* L.) genotypes in Swat-Pakistan. *International Journal of Agriculture and Biology*, 4, 491-492.
- Nooprom, K., & Santipracha, Q. (2015). Effect of varieties on growth and yield of yard long bean under Songkhla conditions, Thailand. *Modern Applied Science*, 9, 247-251.
- Villanueva, M.J., Tenorio, M.D., Esteban, M.A., & Mendoza, M. C. (2004). Compositional changes during ripening of two cultivars of muskmelon fruits. *Food Chemistry*, 87, 179-185.

การวิเคราะห์คาบการโคจรและพารามิเตอร์สัมบูรณ์ของระบบดาวคู่ อุปราคา V404 Gem Orbital Period Analysis and Absolute Parameters of the Eclipsing Binary V404 Gem

ปฐมพงษ์ พันธุ์พิบูลย์^{1*}, ทวีศักดิ์ สีหาบุญมาก² และ เอกพงษ์ แทนสา²
Patapong Panpiboon^{1*}, Thawisak Sihabunmak² and Ek-kapong Tansa²

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

¹Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Mahasarakham University.

²Program of Physics, Faculty of Education, Rajabhat Mahasarakham University.

*Corresponding author. E-mail: patapong.pa@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์คาบการโคจรและพารามิเตอร์สัมบูรณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem สังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร วัดโฟโตเมตรีด้วยกล้องซีซีดีผ่านแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงินและแสงสีเหลือง ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 9,10 และ 12 มกราคม พ.ศ. 2562 ปรับปรุงภาพถ่ายสู่ค่ามาตรฐานและวัดค่าโชติมาตรโดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรีด้วยโปรแกรม SIRIL วิเคราะห์คาบการโคจรของระบบดาวคู่ด้วยแผนภาพ ($O - C$) สังเคราะห์กราฟแสงและทำนายพารามิเตอร์สัมบูรณ์ของระบบดาวคู่ด้วยโปรแกรม PHOEBE ผลจากการวิเคราะห์คาบการโคจรของระบบเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา $dP/dt = 3.45(\pm 0.20) \times 10^{-7}$ วันต่อปี ค่าอุณหภูมิยังผลของดาวปฐมภูมิ อุณหภูมิยังผลของดาวทุติยภูมิ มุมเอียงของระนาบวงโคจร ศักย์พื้นผิว และอัตราส่วนมวลมีค่า 5528 เคลวิน $5440(\pm 15)$ เคลวิน $78.63(\pm 0.37)$ องศา $7.21(\pm 0.01)$ และ $3.43(\pm 0.01)$ ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของคาบการโคจรทำให้ทราบวาระบบดาวคู่นี้อยู่ในช่วงวิวัฒนาการที่ดาวสมาชิกทั้งสองกำลังเคลื่อนที่ออกห่างจากจุดศูนย์กลางมวล ผลเฉลยของพารามิเตอร์สัมบูรณ์แสดงให้เห็นวาระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem จัดอยู่ในประเภท W Ursae Majoris ชนิด W-type

คำสำคัญ: ดาวคู่อุปราคา การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร แบบจำลองกราฟแสง วิวัฒนาการของดาวฤกษ์

Abstract

In this research, we analyze the orbital period and absolute parameters of the eclipsing binary V404 Gem. This work used the 0.7-meter reflecting telescope with CCD photometric system in blue and visual bands. The photometric data were obtained in 9, 10 and 12 January 2019 at the Thai National Observatory, Nakhon Ratchasima (Chalermprakhat Astronomical Observatory Commemorating King Bhumibhol's 7th Birthday Anniversary). The data reduction and measuring the magnitude were processed by differential photometric technique with SIRIL program. The orbital period was analyzed by Observed-minus-Calculated (*O-C*) diagram. The synthesizing light curves were predicted for absolute parameters with PHOEBE program. The results showed that the orbital period changes increased to $dP/dt = 3.45(\pm 0.20) \times 10^{-7}$ days per year. The effective temperature of the primary and secondary stars, the inclination, surface potential and the mass ratio were 5528 K, 5440(± 15) K, 78.63(± 0.37) degree, 7.21(± 0.01) and 3.43, respectively. The increasing of orbital period revealed an evolutionary status of the eclipsing binary V404 Gem, which both components moving away from the center of mass. The solutions of absolute parameters showed that the classification of this system was a W-subtype of W Ursae Majoris binary star system.

Keywords: Eclipsing binary, Orbital period changes, Light curve modeling, Stellar evolution

บทนำ

การศึกษาาระบบดาวคู่อุปราดาเป็นหัวข้อที่สำคัญในการวิจัยทางดาราศาสตร์ ดาวฤกษ์ที่ปรากฏบนท้องฟ้าส่วนใหญ่มีพฤติกรรมที่แสดงให้เห็นผ่านกล้องโทรทรรศน์ได้ว่าเป็นระบบดาวซึ่งประกอบด้วยดาวสมาชิก 2 ดวงหรือมากกว่า ระบบดาวฤกษ์นี้โคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลร่วมกัน (Adams & Joy, 1919) เป้าหมายที่เลือกศึกษาในครั้งนี้คือระบบดาวคู่อุปราดา V404 Gem หรือ GSC1330-0287 อยู่ในกลุ่มดาวคนคู่ (Gemini constellation) มีตำแหน่งในพิกัดไรต์แอสเซนชัน (Right ascension; Ra) คือ $a_{2000} = 06^h 47^m 02^s.81$ และมีตำแหน่งในพิกัดเดคลิเนชัน (Declination; Dec) คือ $b_{2000} = +15^\circ 37' 22''.98$ (Simbad, 2020) ดาวสมาชิกทั้งสองเป็นดาวแคระ (dwarfs) ซึ่งมีขนาดและความสว่างใกล้เคียงกัน

GSC1330-0287 ค้นพบครั้งแรกโดย Lasker et al. (1988) และบันทึกไว้ในฐานข้อมูล Guide Star Catalog (GSC) (Morrison et al., 2001) จากนั้น Ahterberg & Agerer (2005) พบว่า GSC1330-0287 เป็นระบบดาวคู่อุปราคาประเภท W Ursae Majoris (W UMa) หรือ EW type ซึ่งเป็นการค้นพบโดยบังเอิญเมื่อเป้าหมายหลักในขณะนั้นคือระบบดาวคู่อุปราคา KV Gem อีกทั้งยังยืนยันตำแหน่งของระบบดาวคู่ที่ค้นพบนี้จากการสำรวจของโครงการ ROTSE1 ซึ่งถูกบันทึกในฐานข้อมูล Northern Sky Variability Survey (NSVS) ด้วยชื่อ NSVS 9801698 ยิ่งไปกว่านั้นเขาได้คำนวณหาคาบการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลของระบบดาวคู่นี้ได้เท่ากับ 0.348705 วัน และสามารถนำมาเขียนเป็นสมการ Linear Ephemeris ได้ดังสมการที่ (1):

$$Min.I = HJD2452690.5116 + {}^o0.348705 \times E \quad (1)$$

เมื่อ E คือ ค่ายุค (Epoch) ของการสังเกตการณ์ในขณะเวลาที่วัดแสงได้น้อยที่สุด (Times of Minimum; ToM) เนื่องจากการบังกันของดาวสมาชิกในระบบดาวคู่อุปราคา GSC1330-0287 Hübscher, et al. (2006, 2007, 2009, 2011, 2013, 2004) ได้รวบรวมค่าเวลา ToM จากวารสาร Bundesdeutsche Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne e.V. (BAV) โดยรวบรวมข้อมูลการวิเคราะห์ของ Agerer and Tiefenbach (AG), Achterberg and Norderstedt (ATB) และ Quester and Esslingen (QU) เพื่อนำเสนอใหม่ในวารสาร Information Bulletin on Variable Stars (IBVS) จำนวน 6 ฉบับคือ IBVS 5731, IBVS 5761, IBVS 5874, IBVS 5984, IBVS 6070 และ IBVS 6118 จำนวน 26, 2, 12, 2, 3 และ 3 ข้อมูลตามลำดับ เราค้นพบว่าระบบดาวคู่นี้เปลี่ยนชื่อเป็น V404 Gem ครั้งแรกในวารสาร IBVS 6029 ซึ่งนำเสนอค่า ToM ไว้ 1 ข้อมูล (Diethelm, 2012) ยังมีการนำเสนอค่า ToM ของ V404 Gem โดย Nelson (2011, 2015) อีก 2 ข้อมูล ในวารสาร IBVS 5929 และ IBVS 6131 นอกจากนี้เรายังค้นพบข้อมูล ToM ในวารสาร Open European Journal on Variable Star (OEJV) จำนวน 1, 3 และ 11 ข้อมูลในฉบับที่ OEJV 0137, OEJV 0160 และ OEJV 0168 ตามลำดับ (Brát et al., 2011; Hořáková et al., 2013, 2015)

เนื่องจากค่า ToM ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem ที่ถูกบันทึกไว้ตั้งแต่ ค.ศ. 2002 ถึง ค.ศ. 2014 ซึ่งผ่านมาแล้ว 8 ปี (ปัจจุบัน ค.ศ. 2022) ยังไม่มีการรายงาน ค่า ToM เพิ่มเติม อีกทั้งยังไม่พบการรายงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์คาบการโคจรและพารามิเตอร์สัมบูรณ์ งานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์คาบการโคจรและพารามิเตอร์สัมบูรณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem โดยใช้ข้อมูลจากการสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง (reflecting telescope) วัดโฟโตเมตรี (photometry) โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรี (differential photometric technique) นำเสนอวิธีการวิเคราะห์คาบการโคจรจากค่า ToM อีกทั้งยังนำเสนอการสังเคราะห์กราฟแสง (Light

Curve; LC) และแสดงผลการทำนายพารามิเตอร์สัมบูรณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem ด้วยวิธีการคำนวณบนพื้นฐานของระเบียบวิธีวิลสัน-เดวินนี่ (Wilson-Devinney method) (Wilson & Devinney, 1971) เพื่ออธิบายวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ซึ่งเป็นพื้นฐานของการศึกษาการกำเนิดเอกภพได้ ผลการวิจัยทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจและเป็นแนวทางในงานวิจัยทางดาราศาสตร์เกี่ยวกับระบบดาวคู่อุปราคาต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์คาบการโคจรและพารามิเตอร์สัมบูรณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem โดยใช้ข้อมูลจากการสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เมตร ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา จังหวัดนครราชสีมา ณ วันที่ 9, 10 และ 12 มกราคม พ.ศ. 2562 วัดโฟโตเมตรีด้วยกล้องซีซีดี (Charge-Coupled Device; CCD) ผ่านแผ่นกรองแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงิน (Blue filter, B) และแสงสีเหลือง (Visual filter, V) ปรับปรุงภาพถ่ายสู่ค่ามาตรฐาน (reduction) และวัดค่าโชติมาตร (Magnitude; M) โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลโฟโตเมตรีด้วยโปรแกรม SIRIL (Freeastro, 2019) โดยเลือกดาวฤกษ์ที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกัน คือ ดาว TYC1330-1197-1 ($a_{2000} = 06^h46^m54^s.90$, $b_{2000} = +15^\circ38'5''.86$) และ TYC-1330-717-1 ($a_{2000} = 06^h46^m31^s.60$, $b_{2000} = +15^\circ40'36''.13$) (Simbad, 2020) เพื่อใช้เป็นดาวเปรียบเทียบ (comparison star) และดาวอ้างอิง (reference star) ตามลำดับ

วิเคราะห์หาค่า ToM ด้วยโปรแกรม MINIMA 27 (Nelson, 2019) นำเสนอวิธีการวิเคราะห์คาบการโคจรจากค่า ToM ผ่านแผนภาพ Observed-minus-Calculated (O-C) อีกทั้งยังนำเสนอการสังเคราะห์กราฟแสงและทำนายพารามิเตอร์สัมบูรณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem บนพื้นฐานของระเบียบวิธีวิลสัน-เดวินนี่ ด้วยโปรแกรม PHOEBE (Prsa & Zwitter, 2005) และคำนวณค่าพารามิเตอร์กายภาพด้วยสูตรเอมไพริคัล (empirical formula) ของ Harmanec (1988) โดยคำนวณมวลของดาวฤกษ์ (M) ได้จากสมการที่ (2) คำนวณรัศมีของดาวฤกษ์ (R) ได้จากสมการที่ (3) และคำนวณค่าแมกนิจูดโบลเมตริกของดาวฤกษ์ (M_{bol}) ได้จากสมการที่ (4) ดังนี้

$$\log M/M_\odot = [(1.77141X - 21.46965)X + 88.05700]X - 121.67820 \quad (2)$$

$$\log R/R_\odot = [(2.166639X - 26.91528)X + 112.10890]X - 156.11700 \quad (3)$$

$$M_{bol} = [(-10.8320X + 134.57640)X - 570.54460]X + 822.89520 \quad (4)$$

เมื่อ $X = \log T_{eff}$ โดยที่ T_{eff} คือ อุณหภูมิยังผลของดาวฤกษ์ ทั้งนี้เราใช้สูตรเอมไพริคัลดังกล่าวนี้คำนวณเฉพาะค่ามวล รัศมีและแมกนิจูดโบลเมตริกของดาวปฐุมภูมิเท่านั้น จากนั้นจึงนำมา

คำนวณเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนมวล ($q = M_2/M_1$) อัตราส่วนรัศมี (R_2/R_1) และอัตราส่วนแมกนิจูดโบลโลเมตริก (M_{bol2}/M_{bol1}) ซึ่งเป็นผลลัพธ์สุดท้าย (solutions) จากระเบียบวิธีวิลสัน-เดวินี่ อีกทั้งคำนวณค่ากำลังส่องสว่างของดาวฤกษ์ (L) ได้จากสมการ $L/L_{\odot} = (R/R_{\odot})^2(T/T_{\odot})^4$ โดยคำนวณจากค่าอุณหภูมิยังผลและรัศมีของดาวสมาชิกทั้งสอง

ตารางที่ 1 แสดงค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดตั้งแต่ ค.ศ. 2002 ถึง ค.ศ. 2019 ประเภทของอุปราคา ค่ายุคค่า ($O - C$) และเอกสารอ้างอิง

ToM (HJD 245000+)	Error	Type	Epoch	($O - C$)	Residuals	Reference
2359.4159	0.0069	II	-949.5	-0.0003	-0.0040	IBVS 5731
2690.3392	0.0010	II	-0.5	0.0020	-0.0006	IBVS 5731
2690.5116	0.0011	I	0.0	0.0000	-0.0026	IBVS 5731
2691.3847	0.0002	II	2.5	0.0013	-0.0013	IBVS 5731
2692.2576	0.0037	I	5.0	0.0025	-0.0001	IBVS 5731
2692.4307	0.0003	II	5.5	0.0012	-0.0014	IBVS 5731
2694.3485	0.0006	I	11.0	0.0012	-0.0014	IBVS 5731
2694.5234	0.0006	II	11.5	0.0017	-0.0009	IBVS 5731
2697.4853	0.0009	I	20.0	-0.0004	-0.0030	IBVS 5731
2707.4253	0.0005	II	48.5	0.0015	-0.0010	IBVS 5731
2713.3551	0.0021	II	65.5	0.0033	0.0008	IBVS 5731
2716.3170	0.0024	I	74.0	0.0012	-0.0013	IBVS 5731
2721.3747	0.0007	II	88.5	0.0027	0.0002	IBVS 5731
2722.4219	0.0014	II	91.5	0.0038	0.0013	IBVS 5731
2735.3237	0.0028	II	128.5	0.0035	0.0011	IBVS 5731
3007.4879	0.0013	I	909.0	0.0035	0.0017	IBVS 5731
3028.4116	0.0017	I	969.0	0.0049	0.0031	IBVS 5731
3055.4366	0.0007	II	1046.5	0.0052	0.0036	IBVS 5731
3070.4299	0.0009	II	1089.5	0.0042	0.0026	IBVS 5731
3088.3831	0.0021	I	1141.0	-0.0009	-0.0025	IBVS 5731
3407.4501	0.0014	I	2056.0	0.0010	0.0000	IBVS 5731
3408.4977	0.0021	I	2059.0	0.0025	0.0014	IBVS 5731

ตารางที่ 1(ต่อ) แสดงค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดตั้งแต่ ค.ศ. 2002 ถึง ค.ศ. 2019 ประเภทของอุปราคา
ค่ายุค ค่า ($O - C$) และเอกสารอ้างอิง

ToM (HJD 245000+)	Error	Type	Epoch	($O - C$)	Residuals	Reference
3410.4142	0.0005	II	2064.5	0.0011	0.0001	IBVS 5731
3410.4194	0.0042	II	2064.5	0.0063	0.0053	IBVS 5731
3760.3386	0.0008	I	3068.0	0.0001	-0.0007	IBVS 5731
3760.5120	0.0004	II	3068.5	-0.0009	-0.0017	IBVS 5731
4092.4798	0.0015	II	4020.5	-0.0003	-0.0011	IBVS 5761
4092.6554	0.0048	I	4021.0	0.0010	0.0001	IBVS 5761
4454.4391	0.0004	II	5058.5	0.0033	0.0020	IBVS 5874
4505.3493	0.0005	II	5204.5	0.0025	0.0012	IBVS 5874
4507.4419	0.0007	II	5210.5	0.0029	0.0016	IBVS 5874
4509.3602	0.0010	I	5216.0	0.0033	0.0020	IBVS 5874
4509.5339	0.0010	II	5216.5	0.0027	0.0013	IBVS 5874
4515.2880	0.0040	I	5233.0	0.0031	0.0018	IBVS 5874
4515.4626	0.0004	II	5233.5	0.0034	0.0020	IBVS 5874
4516.3342	0.0005	I	5236.0	0.0032	0.0019	IBVS 5874
4516.5090	0.0005	II	5236.5	0.0037	0.0023	IBVS 5874
4520.3448	0.0007	II	5247.5	0.0037	0.0024	IBVS 5874
4531.3273	0.0005	I	5279.0	0.0020	0.0006	IBVS 5874
4531.5030	0.0040	II	5279.5	0.0034	0.0020	IBVS 5874
5159.8652	0.0005	I	7081.5	-0.0009	-0.0038	IBVS 5929
5578.3124	0.0003	I	8281.5	0.0003	-0.0043	OEJV 0137
5578.3157	0.0025	I	8281.5	0.0036	-0.0009	IBVS 5984
5578.4866	0.0015	I	8282.0	0.0002	-0.0044	IBVS 5984
5956.3120	0.0004	II	9365.5	0.0037	-0.0027	OEJV 0160
5956.3127	0.0005	II	9365.5	0.0044	-0.0020	OEJV 0160
5956.3134	0.0010	II	9365.5	0.0051	-0.0013	OEJV 0160
5956.3134	0.0010	II	9365.5	0.0051	-0.0013	OEJV 0160
5968.6914	0.0005	I	9401.0	0.0041	-0.0024	IBVS 6029

ตารางที่ 1(ต่อ) แสดงค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุดตั้งแต่ ค.ศ. 2002 ถึง ค.ศ. 2019 ประเภทของอุปราคา
ค่ายุค ค่า ($O - C$) และเอกสารอ้างอิง

ToM (HJD 245000+)	Error	Type	Epoch	($O - C$)	Residuals	Reference
6001.2949	na	II	9494.5	0.0037	-0.0030	IBVS 6070
6001.4694	0.0005	I	9495.0	0.0038	-0.0029	IBVS 6070
6002.3453	0.0006	II	9497.5	0.0080	0.0013	IBVS 6070
6319.4920	0.0002	I	10407.0	0.0075	-0.0011	OEJV 0160
6319.4922	0.0003	I	10407.0	0.0077	-0.0009	OEJV 0160
6319.4923	0.0002	I	10407.0	0.0078	-0.0008	OEJV 0160
6643.4419	0.0027	I	11336.0	0.0104	-0.0003	IBVS 6118
6643.6172	0.0027	I	11336.5	0.0114	0.0006	IBVS 6118
6693.6557	0.0003	I	11480.0	0.0107	-0.0004	IBVS 6131
6694.3570	0.0005	I	11482.0	0.0146	0.0035	OEJV 0168
6703.4203	0.0003	I	11508.0	0.0115	0.0003	OEJV 0168
6703.4210	0.0001	I	11508.0	0.0123	0.0011	OEJV 0168
6709.3489	0.0001	I	11525.0	0.0122	0.0009	OEJV 0168
6709.3489	0.0002	I	11525.0	0.0122	0.0010	OEJV 0168
6729.3968	0.0003	II	11582.5	0.0096	-0.0018	OEJV 0168
6729.3975	0.0003	II	11582.5	0.0103	-0.0011	OEJV 0168
6729.3976	0.0005	II	11582.5	0.0103	-0.0011	OEJV 0168
6739.3385	0.0005	I	11611.0	0.0132	0.0017	OEJV 0168
6739.3388	0.0003	I	11611.0	0.0134	0.0019	OEJV 0168
6739.3389	0.0003	I	11611.0	0.0136	0.0021	OEJV 0168
8493.3419	0.0001	I	16641.0	0.0304	0.0011	This paper
8496.1305	0.0002	I	16649.0	0.0293	0.0000	This paper
8496.3072	0.0001	II	16649.5	0.0317	0.0023	This paper
8493.3388	0.0002	I	16641.0	0.0273	-0.0020	This paper
8496.1309	0.0003	I	16649.0	0.0297	0.0004	This paper
8496.3063	0.0001	II	16649.5	0.0308	0.0015	This paper

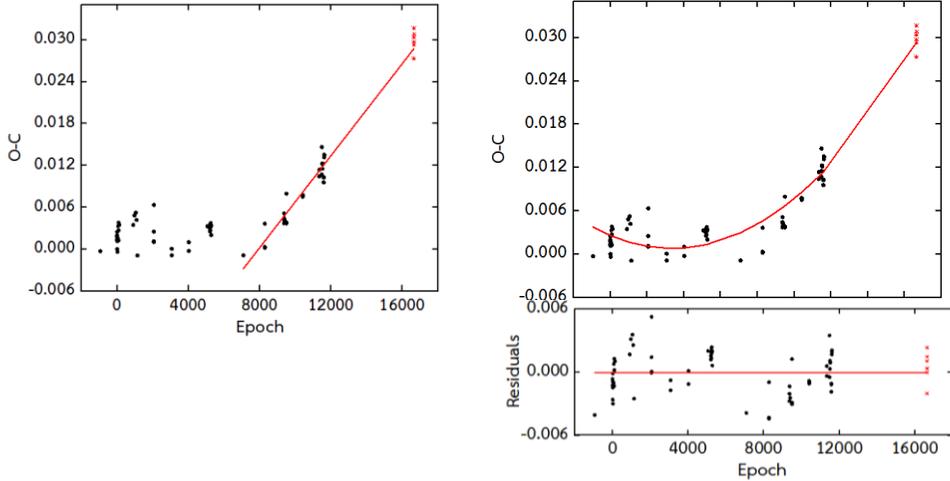
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิเคราะห์คาบการโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem เมื่อพิจารณาค่า ToM ที่ถูกบันทึกไว้ตั้งแต่ ค.ศ. 2002 ถึง ค.ศ. 2014 นำมาวิเคราะห์ร่วมกับค่า ToM จากข้อมูลโฟโตเมตรีของงานวิจัยนี้ในปี ค.ศ. 2022 เราคำนวณหาค่า ToM ด้วยโปรแกรม MINIMA 27 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1 เริ่มวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ด้วยการคำนวณหาค่ายุค (Epoch) ค่าผลต่างของเวลาที่แสงน้อยที่สุดในแต่ละยุคที่ทำการสังเกตการณ์กับเวลาที่แสงน้อยที่สุดในแต่ละยุค (Observed-minus-Calculated) ซึ่งคำนวณจากคาบการโคจรที่ใช้อ้างอิง (ค่าในเทอมที่ 2 ของสมการที่ (1)) จากนั้นเขียนแผนภาพ (O-C) ได้ดังภาพที่ 1 แสดงการกระจายของข้อมูลในการศึกษาในครั้งอดีตและข้อมูลของงานวิจัยนี้ ทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ในช่วงของข้อมูลที่มีความชันเป็นบวกเพื่อคำนวณหาสมการ Linear Ephemeris ใหม่หากมีการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่แสดงดังสมการที่ (5):

$$Min.I = HJD2458496.1306(\pm 0.00009) + {}^d0.348708(\pm 0.0000004) \times E \quad (5)$$

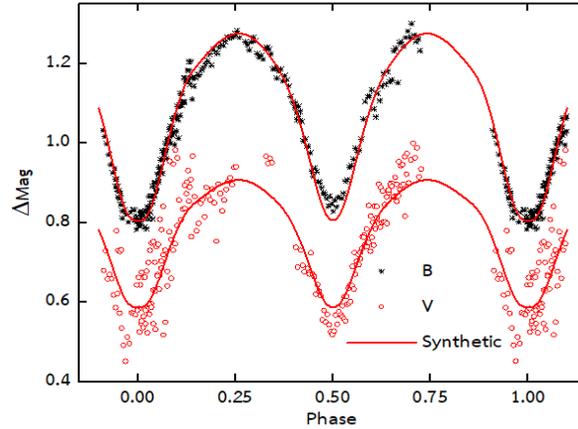
จากสมการที่ (5) พบว่าคาบการโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem ณ เวลาที่ทำการวิจัยเพิ่มขึ้นจาก $P = 0.348705$ วัน (Ahterberg & Agerer, 2005) เป็น $P = 0.348708(\pm 0.0000004)$ วัน ซึ่งสอดคล้องกับคาบการโคจรที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูล The ASAS-SN Catalog of Variable Stars: II (Jayasinghe, et al., 2018) ดังภาพที่ 1 นอกจากนี้เรายังวิเคราะห์การถดถอยรูปแบบพหุนามกำลังสอง (Quadratic Regression Analysis) กับข้อมูลภาพรวมทั้งหมดเพื่อวิเคราะห์หาอัตราการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของคาบการโคจร (Long-term orbital period variations) แสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (6):

$$(O - C) = 1.65(\pm 0.09) \times 10^{-10} \times E^2 - 1.14(\pm 0.14) \times 10^{-6} \times E + 2.66(\pm 0.45) \times 10^{-3} \quad (6)$$



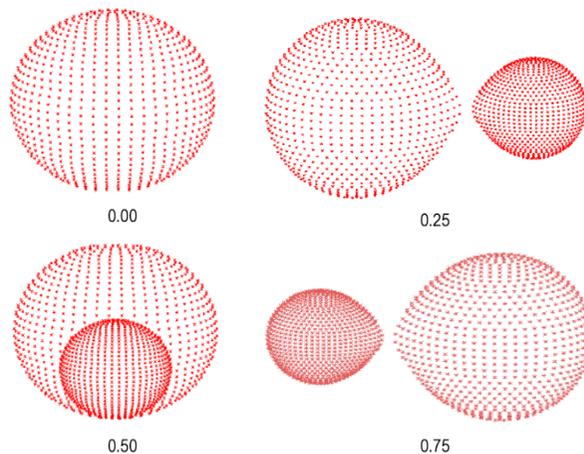
ภาพที่ 1 แผนภาพ (O-C) เมื่อวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่ายในช่วงข้อมูลมีความชันเป็นบวก (ซ้าย) วิเคราะห์การถดถอยรูปแบบพหุนามกำลังสองกับข้อมูลภาพรวมทั้งหมด (ขวาบน) และกราฟประมาณค่าความคลาดเคลื่อน (ขวาล่าง)

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ในทอมที่ 1 จากสมการที่ (6) มาคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตรา $dP/dt = 3.45(\pm 0.20) \times 10^{-7}$ วัน/ปี การวิเคราะห์พารามิเตอร์สัมบูรณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem ด้วยโปรแกรม PHOEBE เพื่อสร้างกราฟแสงสัณเคราะห์และสร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่ เราเลือกใช้แบบจำลองในโหมด Overcontact binary not in thermal contact แบบจำลองนี้ค่าศักย์พื้นผิวของดาวสมาชิกทั้งสอง (surface potential; W) มีค่าเท่ากัน ดาวสมาชิกทั้งสองมีค่าอุณหภูมิยังผล (effective temperature, T_{eff}) แตกต่างกัน เราใช้ค่าอุณหภูมิยังผลของดาวปฐมภูมิ $T_1 = 5528$ K จากตารางความสัมพันธ์ของ Flower (1996) เมื่อค่าดัชนีสี (B-V) = 0.708 ปรับค่าคงที่เริ่มจากค่าสัมประสิทธิ์การมืดคล้ำเนื่องจากความโน้มถ่วง (gravity darkening coefficients) ของดาวสมาชิก $g_1 = g_2 = 0.32$ (Lucy, 1967) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนโบลเมตริก (bolometric albedo coefficient) ของดาวสมาชิก $A_1 = A_2 = 0.5$ (Rucinski, 1969) ค่าสัมประสิทธิ์ความมืดคล้ำที่ขอบดาวฤกษ์ (logarithmic limb-darkening coefficients) ปรับตามตารางของ Van Hamme (1993) สมมติให้ระบบดาวคู่มิวังโคจรเป็นวงกลม (circular orbit) มีอัตราการหมุนรอบตัวเองของดาวสมาชิกเท่ากับอัตราการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวล (synchronous rotation) ค่าความรีของวงโคจร (eccentricity; e) มีค่าเป็นศูนย์และค่าครึ่งแกนหลักของวงโคจร (semi-major axis; a) มีค่าเท่ากับ 1



ภาพที่ 2 กราฟแสงของข้อมูลสังเกตการณ์เปรียบเทียบกับกราฟแสงสังเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นแสงสีน้ำเงินและแสงสีเหลือง

จากนั้นคำนวณหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด (fitting curve) คำนวณค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดด้วยค่า cost function ที่ต่ำสุด บันทึกค่าผลลัพธ์จากการคำนวณนำมาเขียนกราฟแสงแสดงดังภาพที่ 2 และสร้างแบบจำลองโครงสร้างกายภาพของระบบดาวคู่แสดงดังภาพที่ 3 ส่วนผลเฉลยจากกระบวนการสังเคราะห์กราฟแสงดังตารางที่ 2 สุดท้ายเรากำหนดค่าพารามิเตอร์สัมบูรณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem ด้วยสูตรเอมไพริคอลของ Harmanec (1988) แสดงค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3



ภาพที่ 3 แบบจำลองโครงสร้างทางกายภาพ ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem

ตารางที่ 2 ผลเฉลยจากกระบวนการสังเคราะห์กราฟแสงของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem

Parameters	Value
$q = M_2/M_1$	3.34(±0.01)
i (degree)	78.63(±0.37)
W	7.21(±0.01)
T_1 (K)	5528
T_2 (K)	5440(±15)

ค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 2 และ 3 บ่งชี้ได้ว่าระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem เป็นระบบดาวคู่อุปราคาชนิด W Ursae Majoris ชนิด W-type เนื่องจากดาวสมาชิกมีมวลน้อย สเปกตรัมของดาวจะอยู่ในช่วง G ถึง K (Malatesta, 2021) อุปราคาปฐมภูมิจะเกิดจากการที่ดาวสมาชิกดวงที่มีขนาดใหญ่กว่าบังดาวสมาชิกดวงที่มีขนาดเล็กกว่า (occultation) โดยดาวสมาชิกดวงเล็กจะมีอุณหภูมิยังผลสูงกว่าดาวสมาชิกดวงใหญ่

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์สัมบูรณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem

Parameters	Primary	Secondary
M/M_{\odot}	1.01	3.47
R/R_{\odot}	1.09	1.94
T/T_{\odot}	0.92	0.90
L/L_{\odot}	0.86	2.54
M_{bol}	4.68	7.11

สรุปผลและเสนอแนะ

การวิเคราะห์คาบการโคจรและพารามิเตอร์สัมบูรณ์ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem พบว่าคาบการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลของดาวสมาชิกทั้งสองเพิ่มขึ้นเป็น $P = 0.348708$ (±0.0000004) วัน เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา $dP/dt = 3.45(±0.20) \times 10^{-7}$ วันต่อปี ค่าอุณหภูมิยังผลของดาวปฐมภูมิ อุณหภูมิยังผลของดาวทุติยภูมิ มุมเอียงของระนาบวงโคจร ค่าศักย์พื้นผิว และอัตราส่วนมวลมีค่า 5528 เคลวิน 5440(±15) เคลวิน 78.63(±0.37) องศา 7.21(±0.01) และ 3.43(±0.01) ตามลำดับ ภาพโครงสร้างกายภาพของระบบดาวคู่นี้เผยให้เห็นถึงการบังกันแบบเต็มดวงในอุปราคาปฐมภูมิ และการบังกันแบบเคลื่อนที่ผ่านในอุปราคาทุติยภูมิ ผลเฉลยค่าพารามิเตอร์สัมบูรณ์

คือมวล รัศมี อุณหภูมิยังผล กำลังส่องสว่าง และแมกนิจูดโบลเมตริกของดาวสมาชิกทั้งสอง แสดงให้เห็นว่าระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem มีมวลและรัศมีมากกว่าดวงอาทิตย์แต่อุณหภูมิยังผลและกำลังส่องสว่างมีค่าน้อยกว่าดวงอาทิตย์ การเพิ่มขึ้นของคาบการโคจรทำให้ทราบว่าระบบดาวคู่นี้อยู่ในช่วงวิวัฒนาการที่ดาวสมาชิกทั้งสองกำลังเคลื่อนที่ออกห่างจากจุดศูนย์กลางมวล และยังพบว่าระบบดาวคู่นี้จัดอยู่ในประเภท W Ursae Majoris ชนิด W-type

เพื่อให้การศึกษาวิวัฒนาการของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นควรวิเคราะห์เกี่ยวกับตำแหน่งบนแผนภาพแฮร์ตสปรุง-รัสเซลล์ (Hertzsprung-Russell diagram) ระยะห่างจากโลก ความเร็วของการเคลื่อนที่ในแนวเล็งและแนวสัมผัส รวมถึงประเภทสเปกตรัมของดาวสมาชิกทั้งสอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทีมงานสังเกตการณ์ประจำหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา จังหวัดนครราชสีมา สำหรับข้อมูลโฟโตเมตรี (photometry) ของระบบดาวคู่อุปราคา V404 Gem

เอกสารอ้างอิง

- Adams, W.S., & Joy, A.H. (1919). The motions in space of some stars of high radial velocity. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*, 5(7), 239-241.
- Ahterberg, H., & Agerer, F. (2005). GSC 1330-0287 its ein Veranderlicher vom Typ EW. *BAV Rundbrief*, 3(1), 105.
- Brát, L., Trnka, J., Smelder, L., Lehky, M., Kucakova, H., Lomoz, F., Hanzl, D., Vrastak, M., Corfini, G., Pribik, V., Dreveny, R., Ehrenberger, R., Kocian, R., Masek, M., Polak, J., Starzomski, J., Marchi, F., Poddany, S., Zejda, M., ... Zambelli, R. (2011). B.R.N.O. Contributions #37 Times of minima. *OEJV*, 137, 1-57.
- Diethelm, R. (2012). Timings of minima of eclipsing. *IBVS*, 6029, 1-21.
- Flower, P.J. (1996). Transformations from theoretical Hertzsprung-Russell diagrams to color-magnitude diagrams: effective temperatures, B-V colors, and bolometric corrections. *AJ*, 469(1), 355-365.
- Freeastro. (2019). *Siril version 0.9.12*. <https://free-astro.org/index.php?title=Siril>.
- Harmanec, P. (1988). Stellar masses and radii based on modern binary data. *Bull Astron Inst Czechosl*, 39(6), 329-345.

- Hoňková, K., Jurysek, J., Lehky, M., Smelcer, L., Masek, M., Mazanec, J., Hanzl, D., et al. (2015). B.R.N.O. Contributions #39 Times of minima. *OEJV*, 168, 1-66.
- Hoňková, K., Jurysek, J., Lehky, M., Smelcer, L., Trnka, J., Masek, M., Urbanik, M., et al. (2013). B.R.N.O. Contributions #38 Times of minima. *OEJV*, 160, 1-174.
- Hübscher, J. (2011). BAV-results of observations photoelectric minima of selected eclipsing binaries and maxima of pulsating stars. *IBVS*, 5984, 1.
- Hübscher, J. (2014). BAV-results of observations photoelectric minima of selected eclipsing binaries and maxima of pulsating stars. *IBVS*, 6118, 1.
- Hübscher, J., & Lehmann, B. (2013). BAV-results of observations photoelectric minima of selected eclipsing binaries and maxima of pulsating stars. *IBVS*, 6070, 1.
- Hübscher, J., & Walter, F. (2007). BAV-results of observations photoelectric minima of selected eclipsing binaries and maxima of pulsating stars. *IBVS*, 5761, 1.
- Hübscher, J., Paschke, A., & Walter, F. (2006). BAV-results of observations photoelectric minima of selected eclipsing binaries and maxima of pulsating stars. *IBVS*, 5731, 1.
- Hübscher, J., Steinbach, H.M., & Walter, F. (2009). BAV-results of observations photoelectric minima of selected eclipsing binaries and maxima of pulsating stars. *IBVS*, 5874, 1.
- Jayasinghe, T., Stanek, K.Z., Kochanek, C.S., Shappee, B.J., Holoiien, T.W.S., Thompson, T.A., Prieto J.L., Dong S., Pawlak, M., Pejcha, O., Shields, J.V., Pojmanski, G., Otero, S., Britt, C.A., & Will, D. (2018). The ASAS-SN catalog of variable stars II: uniform classification of 412,000 known variables. *Mon Not Roy Astron Soc*, 489(2), 1907-1943.
- Lasker, B.M., Sturch, C.R., Lopez, C., Mallama, A.D., McLaughlin, S.F., Russell, J.L., Wisniewski, W.Z., Gillespie, B.A., Jenkner, H., Siciliano, E.D., Kenny, D., Baumert, J.H., Goldberg, A.M. ; Henry, G.W., Kemper, E., & Siegel, M.J. (1988). The guide star photometric catalog. *I. ApJS*, 68(1), 1-90.
- Lucy, L.B. (1967). Gravity-darkening for stars with convective envelopes. *Z Astrophys*, 65(1), 89-92.
- Malatesta, K. (2021). *W Ursae Majoris*. https://www.aavso.org/vsots_wuma.

- Morrison, J.E., Roser, S., McLean, B., Bucciarelli, B., & Lasker, B. (2001). The guide star catalog, version 1.2: and astrometric recalibration and other refinements. *AJ*, 121(1), 1752-1763.
- Nelson, B. (2011). CCD Minima for selected eclipsing binaries in 2009. *IBVS*, 5929, 1.
- Nelson, B. (2015). CCD Minima for selected eclipsing binaries in 2014. *IBVS*, 6195, 1.
- Nelson, B. (2019). *Software by Bob Nelson*. <https://www.variablestarssouth.org/software-by-bob-nelson>.
- Prsa, A. & Zwitter, T. (2005). A computational guide to physics of eclipsing binaries. I. Demonstrations and perspectives. *ApJ*, 628(1), 426-438.
- Rucinski, S.M. (1969). The proximity effects in close binary systems. II. The bolometric reflection effect for stars with deep convective envelopes. *AA*, 19(4), 245-255.
- Simbad. (2020). *Tabular data*. เข้าถึงได้จาก http://cdsportal.ustrasbg.fr/?target=V*%20V404%20Gem.
- Van Hamme, W. (1993). New Limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves. *AJ*, 106(5), 2096-2117.
- Wilson, R.E. & Devinney, E.J. (1971). Realization of accurate close-binary light curves: application to MR Cygni. *ApJ*, 166(3), 605-619.

การพัฒนาเครื่องทอดไก่กึ่งอัตโนมัติด้วยระบบน้ำมันทอดหมุนเวียน

The Development of Semi-Automated Chicken Fried Machine with Oil Recirculation System

วาทิต วงษ์ดอแก้ว*, วราภรณ์ ชนะพรพมา, ปริญญา ดีรัมย์ และ สิทินันท์ ทองศิริ

Wathit Wongdocmai*, Waraporn Chanapromma, Prinya Deerasmee

and Sittinan Thongsiri

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University

*Corresponding author. E-mail: wathito@hotmail.com

บทคัดย่อ

การพัฒนาเครื่องทอดไก่กึ่งอัตโนมัติด้วยระบบน้ำมันทอดหมุนเวียน มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาเครื่องทอดไก่กึ่งอัตโนมัติด้วยระบบน้ำมันทอดหมุนเวียน 2) เพื่อพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพน้ำมันทอดหมุนเวียนโดยการกรองเศษเจือปน และ 3) เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตกระบวนการทอดไก่ของสถานประกอบการ เครื่องจักรถูกออกแบบให้มีการทำงาน 2 ส่วน ได้แก่ เครื่องทอดไก่กึ่งอัตโนมัติ ทำหน้าที่บรรจุน้ำมันทอดและควบคุมอุณหภูมิน้ำมันทอดให้ได้ไม่ต่ำกว่า 160 °C ผ่านตัวเทอร์โมสตัท (Thermostats) และระบบน้ำมันทอดหมุนเวียนด้วยเครื่องกรองน้ำมันโดยการกรองเศษเจือปนผ่านกระดาษกรองอย่างละเอียดเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำมัน ขนาดความจุอ่างสามารถกักเก็บสิ่งเจือปนที่กรองแล้วได้ปริมาณมาก การทอดไก่แบบเดิมใช้ทอดในกระทะ 2 ใบ ทอดไก่ได้ครั้งละ 2 กิโลกรัม อุณหภูมิทอดเฉลี่ย 135.22 °C ใช้เวลาทอดเฉลี่ย 7.2 นาทีต่อรอบ หรือ 0.556 กิโลกรัมต่อนาที กำลังการผลิตอยู่ที่ 40 -100 กิโลกรัมต่อวัน ใช้ น้ำมันทอดประมาณ 14 - 35 ลิตร ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องที่พัฒนา พบว่า สามารถทอดไก่ได้ครั้ง 4 กิโลกรัม อุณหภูมิทอดเฉลี่ย 199.46 °C ใช้เวลาทอดเฉลี่ย 2.21 นาทีต่อรอบ หรือ 1.81 กิโลกรัมต่อนาที กำลังการผลิตอยู่ที่ 80 – 300 กิโลกรัมต่อวัน ใช้ น้ำมันทอดประมาณ 23 - 45 ลิตร นอกจากนี้ การมีระบบกรองน้ำมันยังช่วยประหยัดเวลาการจัดเศษแป้งในน้ำมันได้ เครื่องทอดที่พัฒนาจึงสามารถเพิ่มกำลังการผลิตกระบวนการทอดไก่ของสถานประกอบการได้จริง

คำสำคัญ: เครื่องทอดไก่ น้ำมันทอด การกรองน้ำมัน

Abstract

The development of semi-automated chicken fried machine with oil recirculation system had the objectives as the following: 1) to develop a semi-automatic chicken frying machine with a circulating oil frying system, 2) to develop a quality control system for circulating frying oil by filtering out impurities, and 3) to increase the production capacity of the establishment's frying process. The machine is designed to work in two parts: a semi-automatic chicken fried machine that serves to pack the frying oil and control the frying oil temperature through the thermostat, a frying oil recirculation system with the oil filter. The frying oil quality control system circulates by filtering the impurities through an oil filter paper which can filter the impurities more finely. The tank capacity can hold many filtered contaminants. The amount of chicken frying in two pans can fry two kilograms of chicken at a time, average oil temperatures 135.22 °C, taking an average of 7.2 minutes per round or 0.556 kilogram/minute. Total oil consumption is 14 - 35 liters per pan for frying 40 - 100 kilograms of chicken per day. Experimental results show that the machine can fry four kilograms of chicken at a time, average oil temperatures 199.46 °C, taking an average of 2.21 minutes per round or 1.81 kilogram/minute. Frying with a fryer has a larger capacity 80 – 300 kilograms of chicken per day and total oil consumption is 23 - 45 liters per day. The developed semi-automated chicken fried machine can increase the production capacity of the chicken frying process of the establishment.

Keywords: chicken fried machine, frying oil, oil filtration

บทนำ

การทอด เป็นการนำชิ้นอาหารใส่ลงในน้ำมันขณะร้อน ผิวนอกของอาหารจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบหลักในอาหารระเหยกลายเป็นไอ ผิวนอกของอาหารจะแห้ง ซึ่งมีลักษณะคล้ายการอบหรือการย่าง การระเหยของน้ำจะค่อย ๆ เคลื่อนที่เข้าไปด้านในของชิ้นอาหาร ผิวนอกของอาหารจะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนเท่า ๆ กับน้ำมันที่ทอด ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของการทอดคือ เพื่อเปลี่ยนคุณภาพการบริโภคของอาหาร วัตถุประสงค์รอง คือ การถนอมรักษาอาหารโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และอื่น ๆ ที่ผิวอาหาร หรือตลอดชิ้นอาหาร ซึ่งวิธีการทอดทางอุตสาหกรรมจำแนกโดยการถ่ายโอนความร้อนได้ 2 วิธี คือ 1) การทอดแบบน้ำมันตื้น (Shallow

Frying) เป็นการทอดที่ใช้ปริมาณน้ำมันน้อย หรือเพียงใช้น้ำมันเคลือบบนผิวกระทะ ป้องกันไม่ให้อาหารติดกระทะเท่านั้น วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น เบคอน ไช้เบอร์เกอร์ และพายชนิดต่าง ๆ และ 2) การทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep-Fat Frying) เป็นการทอดอาหารในน้ำมันปริมาณมาก โดยอาหารที่ทอดจะจมลงไปสู่น้ำมัน การทอดวิธีนี้เหมาะกับอาหารทุกรูปทรง อาหารที่ได้จากการทอดแบบน้ำมันท่วมนี้จะมีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างจากวิธีการทอดแบบแรกคือ มีลักษณะกรอบ พู มีสี กลิ่นและรสชาติเฉพาะตัวที่เกิดจากน้ำมันที่ใช้ในการทอด ทำให้อาหารน่ารับประทานมากขึ้น (วิไล รังสาดทอง, 2546, อ่างอิงโน สิริมา ชินสาร, 2551)

จากการสำรวจกระบวนการผลิตปัจจุบัน ณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชาบูอินดี้ อุดรดิตต์ เพื่อเก็บข้อมูลเบื้องต้น ศึกษาสภาพปัญหาและความต้องการ พบว่า ผู้ประกอบการได้เริ่มทำผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ไก่ทอดราดซอส สำหรับผู้บริโภคทานเล่นหรือทานกับข้าวสวย โดยเบื้องต้น ผู้ประกอบได้เตรียมวัตถุดิบเนื้อไก่สำหรับทอดกับแป้งชุบทอดลงในกระทะน้ำมันแบบทั่วไป น้ำมันที่ใช้เป็นน้ำมันปาล์ม ซึ่งกำลังการผลิตในแต่ละวันประมาณ 40 - 100 กิโลกรัมต่อวัน ใช้แรงงานในการทอดจำนวน 1 คน ณ ปัจจุบัน หลังจากผู้ประกอบการนำเสนอผลิตภัณฑ์ในรูปแบบแฟรนไชส์ ปรากฏว่ามียอดสั่งวัตถุดิบไก่ทอดเป็นปริมาณที่สูง ทำให้กำลังการผลิตที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่เพียงพอ เนื่องจากยังต้องพึ่งพาแรงงานคน อีกทั้งมีความยุ่งยากในการหมุนเวียนน้ำมันทอดมาใช้ซ้ำ ซึ่งน้ำมันทอดเป็นวัตถุดิบสำคัญในการทอด จากปัญหาดังกล่าวผู้ประกอบการจึงขอคำแนะนำและแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการทอดโดยใช้เครื่องจักร พร้อมทั้งมีระบบควบคุมการหมุนเวียนน้ำมันทอด จากการแลกเปลี่ยนข้อมูลตามที่กล่าวมาข้างต้น ผู้ประกอบการและกลุ่มผู้วิจัยจึงมีแนวคิดและความต้องการร่วมกันที่จะร่วมกันการพัฒนาเครื่องทอดไก่กึ่งอัตโนมัติด้วยระบบน้ำมันทอดหมุนเวียน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและกำลังการผลิตต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาเครื่องทอดไก่กึ่งอัตโนมัติด้วยระบบน้ำมันทอดหมุนเวียน
- 2) เพื่อพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพน้ำมันทอดหมุนเวียนโดยการกรองเศษเจือปน
- 3) เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตกระบวนการทอดไก่ของสถานประกอบการ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิลาวัลย์ ไตรจิตต์ (2563) ได้ศึกษาเรื่อง การหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์อาหารในรูปแบบการทอดและทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องทอดต้นแบบ โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างเครื่องทอดต้นแบบกับกระทะทั่วไป ในด้านคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิและเวลาในการทอดซ้ำ 210 °C และ 40 ครั้ง ตามลำดับ โดยระบุว่ากระบวนการทอดอาหารแบบน้ำมันท่วม เมื่อน้ำมันที่ใช้ทอดได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิที่สูง

เป็นเวลานาน ๆ จะก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์บางชนิดที่ไม่สามารถสลายตัวในน้ำมันได้ รวมถึงการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันระหว่างกระบวนการทอดที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค จากการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้น จะใช้หลักการถ่ายเทความร้อนระหว่างของเหลว 2 ชนิด ของน้ำมันและน้ำ งานวิจัยได้มีการประเมินต้นทุนในการใช้พลังงานและต้นทุนในการผลิตแคบหมูผลจากการศึกษา พบว่า ปริมาณค่าเพอร์ออกไซด์คาร์บอไซด์ไขมันอิสระ และปริมาณสารโพลาร์อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมาย กำหนด คือ 0.6 mg O₂/kg, 0.33% และ 11-20% ตามลำดับ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันและสีของแคบหมูมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการทอดเพิ่มมากขึ้น และจากการวิเคราะห์ผลการทดสอบ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นอยู่ที่ 30 ครั้ง นอกจากนั้นเครื่องทอดแบบของเหลวแยกชั้นยังมีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงในการทอดผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม ลดลง 6.534 บาท คิดเป็น 50% ซึ่งน้อยกว่าราคาต้นทุนที่สูญเสียเชื้อเพลิงของกระทะทั่วไป เนื่องจากเครื่องทอดออกแบบให้มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันทำให้สามารถประหยัดปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปจากการทอดผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่ากระทะทั่วไป

ศิริรักษา มณีแดง (2559) ได้ศึกษาเรื่อง การจัดการน้ำมันทอดซ้ำของผู้จำหน่ายอาหารทอดในพื้นที่เทศบาลตำบลวังไผ่ อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร เพื่อหาแนวทางในการจัดการน้ำมันทอดซ้ำของผู้ประกอบการในพื้นที่ โดยศึกษาพฤติกรรม ความรู้ และคุณภาพน้ำมันทอดอาหารของผู้จำหน่ายอาหารทอด ซึ่งเป็นกลุ่มผู้สมัครใจเข้าร่วมวิจัย จำนวน 10 ราย ผลการศึกษาพบว่า ผู้จำหน่ายใช้ระยะเวลาในการทอดเป็นเกณฑ์ในการเปลี่ยนน้ำมันใหม่ บางรายเติมน้ำมันเพิ่มในระหว่างการทอดเพื่อเจือจางปริมาณสารโพลาร์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการทอดและเพิ่มระยะเวลาในการใช้น้ำมันทอดซ้ำ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพฤติกรรม ความรู้ และคุณภาพน้ำมันทอดอาหารของผู้จำหน่าย และการร่วมค้นหาแนวทางในการจัดการน้ำมันทอด ทำให้ได้แนวทางในการจัดการน้ำมันทอดซ้ำซึ่งภายหลังการนำแนวทางไปใช้แล้ว มีการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้น โดยผู้จำหน่ายมีความรู้ความเข้าใจดีขึ้น มีการเติมน้ำมันใหม่เพิ่มระหว่างการทอดลดลง ด้านคุณภาพน้ำมันทอดอาหาร ไม่พบร้านใดมีค่าโพลาร์สูงเกินร้อยละ 20 และในแง่ความคุ้มค่าทางด้านต้นทุนการผลิต พบว่าผู้ประกอบการส่วนใหญ่มีต้นทุนในการผลิตลดลง

นันทิรา หงส์ศรีสุวรรณ (2558) ได้นำเสนอ อันตรัยจากน้ำมันทอดซ้ำ โดยระบุว่า น้ำมันทอดซ้ำ คือ น้ำมันที่ใช้ทอดอาหารซ้ำ มากกว่า 1 ครั้ง ที่มีปริมาณสารโพลาร์ (Polar Compounds) ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก และน้ำมันทอดซ้ำเสื่อมสภาพ คือ น้ำมันที่ใช้ทอดอาหารซ้ำ มากกว่า 2 ครั้ง ที่มีปริมาณสารโพลาร์เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก วัตถุประสงค์ที่สำคัญในอาหารประเภททอด คือ น้ำมันที่ใช้ในการทอด ดังนั้น อาหารทอดที่รับประทานจะเป็นอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายหรือไม่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด น้ำมันเมื่อได้รับความร้อนจากการทอดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี มี

ผลทำให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพ มีสีดำ กลิ่นเหม็นหืน จุดเกิดควันต่ำลง มีฟอง เหนียวหนืด และก่อให้เกิดกลุ่มสารประกอบที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย เรียกว่า สารโพลาร์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ และโรคหลอดเลือด นอกจากนี้ ในกระบวนการทอดอาหารที่ใช้ไขมันทอดซ้ำยังก่อให้เกิดสารก่อกลายพันธุ์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคมะเร็ง เรียกว่า สารโพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs)

จันทร์จิรา ตั้งสันทัศน์กุล (2554) ได้ทำการศึกษาปัจจัยและสภาวะการผลิตเพื่อพัฒนาระบบการทอดแบบพ่นฝอย ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่ทันสมัยในการฉีดพ่นละอองน้ำมันร้อนที่มีแรงดันสูงผ่านผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทอด โดยมีการควบคุมอุณหภูมิ และอัตราการไหลของน้ำมันทอดอย่างสม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์จะเคลื่อนที่ผ่านละอองน้ำมันร้อน ซึ่งเปรียบเสมือนทำการทอดอยู่ในการศึกษาวิจัยได้ใช้แผ่นข้าวตังเป็นวัตถุดิบ ทำการทอดที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นระยะเวลา 17 วินาที โดยกำหนดสภาวะอัตราการพ่นฝอยน้ำมันที่ต่างกัน 3 ระดับ และความเร็วรอบในการหมุนหม้อทอดที่ต่างกัน 3 ระดับ หลังจากนั้นเลือกสภาวะการทอดที่ดีที่สุด โดยพบว่า แผ่นข้าวตังที่ผ่านกระบวนการทอดแบบพ่นฝอยจะดูดซับน้ำมันในปริมาณที่น้อยกว่ากระบวนการทอดแบบจุ่ม มีอัตราการพ่นน้ำมัน 0.3 ลิตรต่อวินาที ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที และการสลัดเหวี่ยงหลังการทอดที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 นาที คือสภาวะที่ดีที่สุด สามารถลดปริมาณการดูดซับน้ำมันลงได้มากกว่า ร้อยละ 60 จึงกล่าวได้ว่ากระบวนการทอดแบบพ่นฝอยสามารถลดปริมาณการดูดซับน้ำมันทอดในผลิตภัณฑ์อาหารได้

จากการศึกษาทางวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ว่า กระบวนการทอดด้วยเครื่องทอดจะต้องคำนึงคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิที่เหมาะสมและเวลาในการทอดซ้ำ เครื่องทอดควรออกแบบให้มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันทำให้สามารถประหยัดปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสียไปจากการทอดผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่ากระทะทั่วไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ มีรายละเอียด ดังนี้

1. การลงพื้นที่เพื่อร่วมวางแผนงานวิจัยกับผู้ประกอบการ

จากสภาพปัจจุบัน ผู้ประกอบได้เตรียมวัตถุดิบเนื้อไก่สำหรับทอดกับแป้งชุบทอดลงในกระทะน้ำมันแบบทั่วไป น้ำมันที่ใช้เป็นน้ำมันปาล์ม มีกำลังการผลิตในแต่ละวัน ประมาณ 40 - 100 กิโลกรัมต่อวัน ใช้แรงงานในการทอดจำนวน 1 คน เนื้อไก่ที่ทอดลักษณะกึ่งสุกเพื่อส่งให้ลูกค้าหลักเป็นผู้ซื้อแพรรนช์ส์ของผู้ประกอบการนำไปเป็นวัตถุดิบปรุงขายต่อ ณ สาขาของตน โดยยอดสั่งวัตถุดิบไก่ทอดมีปริมาณสูงเพิ่มขึ้น ทำให้กำลังการผลิตที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่เพียงพอ มีข้อจำกัดด้านแรงงานคน ความยุ่งยากในการหมุนเวียนน้ำมันทอดมาใช้ซ้ำ ซึ่งน้ำมันทอดเป็นวัตถุดิบสำคัญในการทอด แนวทางการแก้ปัญหาเบื้องต้นซึ่งได้จากวิเคราะห์และสรุปปัญหา 3 ประเด็น ดังนี้

ประเด็นที่ 1 ความต้องการระบบการทอดด้วยการพัฒนาเครื่องทอดไก่กึ่งอัตโนมัติด้วยระบบน้ำมันทอดหมุนเวียน โดยวัสดุหลักเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) เป็นโลหะผสม (Alloy) ที่นิยมใช้เพื่อเป็นวัสดุสร้างเครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหาร (Food Processing Equipment)

ประเด็นที่ 2 ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมการหมุนเวียนน้ำมันทอดที่สามารถกรองสิ่งเจือปนจากกระบวนการทอด เพื่อคงคุณภาพน้ำมันทอดในการใช้ซ้ำ

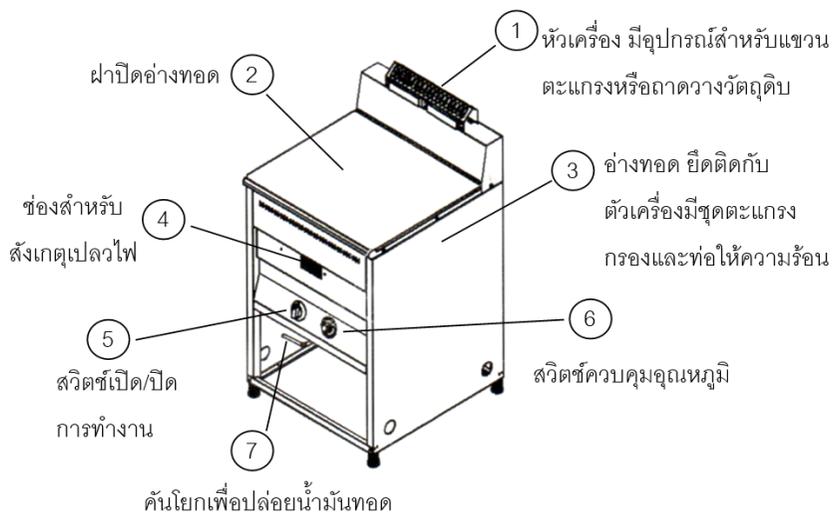
ประเด็นที่ 3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกำลังการผลิตโดยสามารถทอดไก่ได้ปริมาณที่สูงกว่าเดิม

2 - 3 เท่า

2. การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรและอุปกรณ์/การวิเคราะห์แบบ

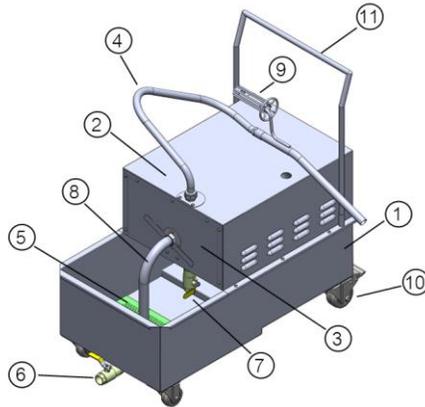
เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการครั้งนี้ ประกอบด้วย

2.1 เครื่องทอดแบบใช้แก๊ส มีขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) 63 x 70 x 95 เซนติเมตร ขนาดความจุน้ำมัน 23 ลิตร ควบคุมการทำงานด้วยตัวเทอร์โมสแตส (Thermostats) สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ระหว่าง 160 - 220 °C ตัวเครื่องผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ให้ความร้อนโดยแก๊สแรงดันต่ำ (LPG) และกระจายความร้อนด้วยระบบอุโมงค์ไฟฟ้าให้ความร้อนทั่วถึงเท่ากันหมด มีช่องถายน้ำมันด้านล่าง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แบบเครื่องทอดไก่

2.2 เครื่องกรองน้ำมันทอด ทำหน้าที่กรองน้ำมันทอดที่ใช้ทอดผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้ว โดยผ่านตระแกรงกรองและกระดาษกรองซึ่งติดตั้งอยู่ในอ่างกรองน้ำมัน น้ำมันจะถูกกรองผ่านกระดาษกรองและใช้มอเตอร์ปั๊มเพื่อดูดน้ำมันที่กรองแล้วผ่านท่อจ่ายน้ำมันเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เครื่องกรองน้ำมันทอด

จากภาพที่ 2 เครื่องกรองน้ำมันมีขนาด (กว้าง x ยาว) 44.5 x 79 เซนติเมตร ความสูงจากฐานล้อจนถึงด้ามจับสำหรับเข็น 82 เซนติเมตร ส่วนประกอบหลักของเครื่องกรองน้ำมัน ประกอบด้วย 1) ตัวถัง 2) ฝาครอบปั๊มมอเตอร์ 3) ปั๊มมอเตอร์ 4) สายปล่อยน้ำมันที่กรองแล้ว 5) ตะแกรงใส่กระดาษกรอง 6) วาล์วปล่อยน้ำมันกันล้น 7) วาล์วปล่อยน้ำมันค้ำท่อสายปล่อยน้ำมัน 8) ท่อดูดน้ำมันเข้าปั๊มมอเตอร์ 9) ด้ามจับสายปล่อยน้ำมัน 10) ชุดล้อ และ 11) ด้ามจับสำหรับเข็น

3. การพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) เป็นแผ่น Metal Sheet แบบ SUS304 ขึ้นรูปโดยการพับและการเจาะยึดด้วยสกรู ตัวโครงเครื่องทอดมีลักษณะแนวตั้ง ตัวอ่างทอดอยู่ด้านบน ภายในอ่างมีถาดตระแกรงกรองเพื่อดักเศษไก่และเศษแป้งระหว่างทอดอยู่ด้านล่าง โดยใต้ถาดตระแกรงจะมีท่อความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้จากแก๊สวางเรียงกันจำนวน 5 ท่อ ตัวท่อนี้มีการเจาะรูเพื่อช่วยเพิ่มความร้อนให้กับน้ำมันในเครื่องได้ทั่วถึงและทำความร้อนได้เร็วขึ้น มีการติดตั้งเทอร์โมสแตทเพื่อตรวจจับอุณหภูมิความร้อน พร้อมสวิทช์เปิดปิดแก๊ส การต่อท่อแก๊สจะต่อทางด้านล่างตัวเครื่องและใต้อ่างจะมีหัวคั่นโยกสำหรับปล่อยน้ำมันทอดที่ทอดแล้วออกมา

4. การติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ

ทำการติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในสถานประกอบการ ซึ่งปัจจุบันยังใช้อุปกรณ์แบบเดิมในการปฏิบัติงานเนื่องจากมีปริมาณความต้องการไก่ทอดอย่างต่อเนื่อง เบื้องต้นจึงใช้พื้นที่

ชั่วคราวเพื่อทำการติดตั้งและทดลองการทำงานจนเสร็จสมบูรณ์ตามกระบวนการแล้วจึงจัดวางในตำแหน่งที่เหมาะสมต่อไป ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ในสถานประกอบการ

5. การออกแบบกระบวนการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพ

จากกระบวนการทดสอบกับผู้ประกอบการ ตัวแปรที่สำคัญสำหรับการทดสอบด้วยเครื่องทอด ได้แก่ ความสะอาดของน้ำมันทอด, ปริมาณน้ำมันและน้ำหนักรักที่ใช้ทอดในแต่ละครั้ง อุณหภูมิในการทอด และการตกตะกอนของเศษแข็งและเศษไก่ในขณะทอด ส่วนเครื่องกรองน้ำมันเป็นการหาประสิทธิภาพโดยรวมในการกรอง โดยมีตัวแปรสำคัญ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการกรอง ปริมาณน้ำมันที่เติมในอ่างกรอง คุณภาพน้ำมันที่ผ่านการกรอง จำนวนรอบสูงสุดของน้ำมันที่ผ่านการกรอง และอุณหภูมิของน้ำมันที่ลดลงขณะผ่านการกรอง เป็นต้น ดังนั้นกระบวนการทดลองถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องทอด กับกระบวนการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกรองน้ำมันทอด

6. การทดสอบระบบและปรับปรุง

การทดสอบระบบเบื้องต้นกับเครื่องจักรทั้ง 2 ตัว พบว่า สามารถทำงานได้ปกติ โดยเครื่องทอดหลังจากติดตั้งชุดควบคุมการปล่อยแก๊สกับถังแก๊สแล้ว ทดลองจุดไฟเพื่อต้มน้ำทิ้งไว้ ผลปรากฏว่า อุณหภูมิน้ำสูงขึ้น สามารถปรับความแรงของไฟได้ และวาล์วสามารถเปิด-ปิดการปล่อยน้ำได้ ขณะที่เครื่องกรองน้ำมันทอดระบบการทำงานเป็นปกติ ทดลองโดยใช้น้ำเปล่า เครื่องกรองสามารถดูดน้ำและปล่อยผ่านท่อปล่อยน้ำมันได้ตามปกติ ปัญหาที่ต้องปรับปรุงในเบื้องต้น คือ การเชื่อมต่อท่อระหว่าง

เครื่องทอดกับเครื่องกรอง ซึ่งจำเป็นต้องใช้สายถักทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมที่ทนความร้อนของน้ำมันทอดขณะปฏิบัติงานได้

7. วิเคราะห์ผลประสิทธิภาพของเครื่องจักร

จากการทดสอบการวัดอุณหภูมิการทอดในกระทะแบบเดิมเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบทำการทดลองทั้งสิ้น 5 ครั้ง โดยวัดอุณหภูมิของน้ำมันในแต่ละช่วง ได้แก่ ก่อนทอดไก่ ระหว่างทอดไก่ ก่อนตักไก่ออก และหลังทอดไก่เสร็จแล้ว มีหน่วยวัดเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) พร้อมหาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของแต่ละช่วง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลอง

จากการทดสอบการวัดอุณหภูมิการทอดในกระทะแบบเดิมเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบทำการทดลองทั้งสิ้น 5 ครั้ง โดยวัดอุณหภูมิของน้ำมันในแต่ละช่วง ได้แก่ ก่อนทอดไก่, ระหว่างทอดไก่, ก่อนตักไก่ออก และหลังทอดไก่เสร็จแล้ว มีหน่วยวัดเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) พร้อมหาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของแต่ละช่วง ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อุณหภูมิการทอดไก่ในแต่ละช่วงของการทอดในกระทะแบบเดิม

การวัดอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	รอบที่					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1. อุณหภูมิน้ำมันก่อนทอดไก่	160.2	142.6	136.2	129.1	125.2	138.66
2. อุณหภูมิน้ำมันระหว่างทอดไก่	142.1	139.8	138.2	139.2	129	137.66
3. อุณหภูมิน้ำมันก่อนตักไก่ออก	139.4	138.1	137	138.3	128.5	136.26
4. อุณหภูมิน้ำมันหลังทอดไก่เสร็จแล้ว	128.5	127.3	129.6	129.3	126.7	128.28
	อุณหภูมิทอดเฉลี่ย					135.22

*หมายเหตุ อุณหภูมิเป็นหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

จากตารางที่ 1 พบว่าอุณหภูมิน้ำมันก่อนทอดไก่ในกระทะ มีอุณหภูมิเฉลี่ย 138.66°C อุณหภูมิน้ำมันระหว่างทอดไก่ มีอุณหภูมิเฉลี่ย 137.66°C อุณหภูมิน้ำมันก่อนตักไก่ออก มีอุณหภูมิเฉลี่ย 136.26°C และอุณหภูมิน้ำมันหลังทอดไก่เสร็จแล้ว มีอุณหภูมิเฉลี่ย 128.28°C และอุณหภูมิทอดเฉลี่ย 135.22°C

และจากการทดสอบการทอดไก่ในเครื่องทอดที่พัฒนา มีการวัดอุณหภูมิของน้ำมันทอดในแต่ละช่วงเช่นเดียวกับการทดลองทอดในกระทะ มีหน่วยวัดเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) พร้อมหาอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละช่วง เก็บข้อมูลทั้งหมด 10 รอบ โดยเมื่อครบรอบที่ 1-5 จะทำการกรองน้ำมัน 1 ครั้ง แล้วจึงทำการเก็บข้อมูลรอบที่ 6 - 10 พร้อมหาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของแต่ละช่วง ดังแสดงตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 อุณหภูมิการทอดไก่ในแต่ละช่วงของการทอดในเครื่องทอดที่พัฒนา รอบที่ 1 - 5

การวัดอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	รอบที่					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1. อุณหภูมิน้ำมันก่อนทอดไก่	210.2	202.6	196.3	199.7	203.0	202.36
2. อุณหภูมิน้ำมันระหว่างทอดไก่	204.6	201.7	195.1	201.3	207.2	201.98
3. อุณหภูมิน้ำมันก่อนตักไก่ออก	203.7	201.6	194.2	199.1	205.4	200.80
4. อุณหภูมิน้ำมันหลังทอดไก่เสร็จแล้ว	202.6	200.4	188.4	190.8	203.6	197.16
อุณหภูมิทอดเฉลี่ย						200.58

*หมายเหตุ อุณหภูมิเป็นหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

จากตารางที่ 2 พบว่าอุณหภูมิน้ำมันก่อนทอดไก่ในเครื่องทอดที่พัฒนา รอบที่ 1-5 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 202.36°C อุณหภูมิน้ำมันระหว่างทอดไก่ มีอุณหภูมิเฉลี่ย 201.98°C อุณหภูมิน้ำมันก่อนตักไก่ออก มีอุณหภูมิเฉลี่ย 200.80°C และอุณหภูมิน้ำมันหลังทอดไก่เสร็จแล้ว มีอุณหภูมิเฉลี่ย 197.16°C และอุณหภูมิทอดเฉลี่ย 200.58°C

ตารางที่ 3 อุณหภูมิการทอดไก่ในแต่ละช่วงของการทอดในเครื่องทอดที่พัฒนา รอบที่ 6 - 10

การวัดอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	รอบที่					ค่าเฉลี่ย
	6	7	8	9	10	
1. อุณหภูมิน้ำมันก่อนทอดไก่	202.3	200.7	198.8	199.4	197.1	199.66
2. อุณหภูมิน้ำมันระหว่างทอดไก่	201.6	199.1	197.7	199.1	196.8	198.86
3. อุณหภูมิน้ำมันก่อนตักไก่ออก	199.2	198.9	197.1	198.4	195.7	197.86
4. อุณหภูมิน้ำมันหลังทอดไก่เสร็จแล้ว	198.9	198.2	196.1	196.7	195.0	196.98
อุณหภูมิทอดเฉลี่ย						198.34

*หมายเหตุ อุณหภูมิเป็นหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

จากตารางที่ 3 พบว่าอุณหภูมิน้ำมันก่อนทอดไก่ในเครื่องทอด รอบที่ 6 - 10 มีอุณหภูมิเฉลี่ย 199.66 °C อุณหภูมิน้ำมันระหว่างทอดไก่ มีอุณหภูมิเฉลี่ย 198.86 °C อุณหภูมิน้ำมันก่อนตักไก่ออก มีอุณหภูมิเฉลี่ย 197.86 °C และอุณหภูมิน้ำมันหลังทอดไก่เสร็จแล้ว มีอุณหภูมิเฉลี่ย 196.98 °C และอุณหภูมิทอดเฉลี่ย 198.34 °C โดยค่าอุณหภูมิรวมจากตารางที่ 3 และ 4 หาค่าอุณหภูมิทอดเฉลี่ย 199.46 °C

ในรอบการทอดที่ 5 เมื่อตักไก่ที่ทอดเสร็จแล้วจะทำการถ่ายน้ำมันลงเครื่องกรองน้ำมันทอด เพื่อทำการกรองน้ำมัน ก่อนปล่อยกลับคืนสู่เครื่องทอดอีกครั้งเพื่อใช้น้ำมันทอดทอดไก่รอบที่ 6 - 10 ต่อไป และหลังรอบที่ 10 ทำการกรองน้ำมันอีกครั้งหนึ่ง ข้อมูลที่ทำการเก็บได้แก่ ปริมาณน้ำมันที่ใช้กรอง (ลิตร), อุณหภูมิน้ำมันก่อนกรอง (องศาเซลเซียส), เวลาที่ใช้ในการกรอง (นาทิจ), เวลาที่ใช้ในการเติมกลับ (นาทิจ) และอุณหภูมิน้ำมันหลังกรองแล้ว (องศาเซลเซียส) ดังแสดงตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการกรองน้ำมันของเครื่องกรองน้ำมัน

การทดลอง ที่	ปริมาณ น้ำมัน (ลิตร)	อุณหภูมิน้ำมัน ก่อนกรอง	เวลาที่ใช้ ในการกรอง (นาทิจ)	เวลาที่ใช้ ในการเติม กลับ (นาทิจ)	อุณหภูมิน้ำมัน ที่กรองแล้ว
1	24	202.3	2.4	3.6	193.4
2	14	195.0	2.1	3.4	184.7

หมายเหตุ: การทดลองที่ 1 (หลังการทอดรอบที่ 1 - 5), การทดลองที่ 2 (หลังการทอดรอบที่ 6 - 10)

*อุณหภูมิเป็นหน่วยองศาเซลเซียส (°C)

จากตารางที่ 4 พบว่า การทดลองครั้งที่ 1 เหลือปริมาณน้ำมัน 24 ลิตร อุณหภูมิน้ำมันก่อนกรอง 202.3 °C เวลาที่ใช้ในการกรอง 2.4 นาทิจ เวลาที่ใช้ในการเติมกลับ 3.6 นาทิจ อุณหภูมิน้ำมันที่กรองแล้ว 193.4 °C การทดลองครั้งที่ 2 เหลือปริมาณน้ำมัน 14 ลิตร อุณหภูมิน้ำมันก่อนกรอง 195.0 °C เวลาที่ใช้ในการกรอง 2.1 นาทิจ เวลาที่ใช้ในการเติมกลับ 3.4 นาทิจ อุณหภูมิน้ำมันที่กรองแล้ว 184.7 °C

นอกจากนี้ จากการสังเกตสภาพน้ำมันที่ถูกทอดด้วยตาเปล่าในแต่ละรอบและบันทึกข้อมูล ทั้งในแบบกระดาษเดิม และแบบเครื่องทอดและกรองน้ำมันที่พัฒนาขึ้น สามารถสรุปผลดังตารางที่ 5 และ 6

จากตารางที่ 5 พบว่า ลักษณะน้ำมันหลังการทอดแต่ละรอบในกระดาษแบบเดิม น้ำมันทอดจะเริ่มมีกากตะกอนเพิ่มมากขึ้นทุกครั้งที่ในแต่ละรอบการทอด รวมทั้งสีของน้ำมันที่เริ่มขุ่น บางส่วนมีการไหม้ของกากตะกอนแข็ง ต้องใช้กระชอนช้อนสิ่งสกปรกออก

จากตารางที่ 6 พบว่า ลักษณะน้ำมันหลังการทอดแต่ละรอบในเครื่องทอด น้ำมันทอดจะเริ่มมีกากตะกอนเพิ่มมากขึ้นทุกครั้งที่ในแต่ละรอบการทอด รวมทั้งสีของน้ำมันที่เริ่มขุ่น บางส่วนมีการไหม้ของกากตะกอนแป้ง แต่ในรอบที่ 5 และ 10 มีการกรองน้ำมันก่อนนำมาใช้ทอดใหม่ ทำให้น้ำมันทอดมีสีใสดีกว่าเดิม และไม่มีกากตะกอน

ตารางที่ 5 ลักษณะน้ำมันหลังการทอดแต่ละรอบในกระเพาะแบบเดิม

การทอดครั้งที่	ลักษณะน้ำมันหลังการทอด
1	น้ำมันจะมีสีใส มีกากตะกอนเล็กน้อย
2	น้ำมันเริ่มเปลี่ยนสี และมีกากตะกอนเพิ่มขึ้นจากครั้งแรกเล็กน้อย
3	น้ำมันเริ่มมีสีขุ่น เนื่องจากเกิดการไหม้ของกากตะกอน
4	น้ำมันมีสีขุ่นมากกว่าเดิม และมีกากตะกอนเพิ่มมากขึ้น
5	น้ำมันมีสีเหลืองที่เป็นสีของกากตะกอน ดังภาพประกอบ



อภิปรายผล

การพัฒนาเครื่องทอดไก่กึ่งอัตโนมัติด้วยระบบน้ำมันทอดหมุนเวียน ถูกออกแบบให้มีการทำงาน 2 ส่วน ได้แก่ เครื่องทอดไก่กึ่งอัตโนมัติ ทำหน้าที่บรรจุน้ำมันทอดและควบคุมอุณหภูมิน้ำมันทอดให้ได้ตามที่ต้องการผ่านตัวเทอร์โมสตัท (Thermostats) และระบบน้ำมันทอดหมุนเวียนด้วยเครื่องกรองน้ำมัน ซึ่งแตกต่างจากการทอดไก่แบบเดิมที่ใช้กระทะทอดขนาดเล็กจำนวน 2 ใบ ทำงานพร้อมกัน การควบคุมอุณหภูมิน้ำมันทอดจึงต้องอาศัยความชำนาญของแรงงาน

การพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพน้ำมันทอดหมุนเวียนโดยการกรองเศษเจี๊ยะปนผ่านเครื่องกรองน้ำมันทำได้ดีกว่าการทอดแบบเดิมที่ใช้เพียงกระชอนตักเศษกากเจี๊ยะปนที่ลอยอยู่บริเวณผิวน้ำมันทอด ขณะที่เครื่องกรองน้ำมันจะใช้กระดาษกรองซึ่งสามารถกรองเศษเจี๊ยะปนได้ละเอียดกว่า ขนาดความจุอ่างสามารถกักเก็บสิ่งเจี๊ยะปนที่กรองแล้วได้ปริมาณมากโดยไม่ต้องใช้ภาชนะอื่นมาเก็บแบบการทอดแบบเดิม

ปริมาณการทอดไก่แบบเดิมใช้ทอดในกระทะ 2 ใบ ทอดไก่ได้ครั้งละ 2 กิโลกรัม อุณหภูมิทอดเฉลี่ย 135.22 °C ใช้เวลาทอดเฉลี่ย 7.2 นาทีต่อรอบ หรือ 0.556 กิโลกรัมต่อนาที กำลังการผลิตอยู่ที่ 40 - 100 กิโลกรัมต่อวัน ใช้น้ำมันทอดประมาณ 14 - 35 ลิตร ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องที่พัฒนาพบว่า สามารถทอดไก่ได้ครั้ง 4 กิโลกรัม อุณหภูมิทอดเฉลี่ย 199.46 °C ใช้เวลาทอดเฉลี่ย 2.21 นาทีต่อรอบ หรือ 1.81 กิโลกรัมต่อนาที กำลังการผลิตอยู่ที่ 80 -300 กิโลกรัมต่อวัน ใช้น้ำมันทอดประมาณ 23 - 45 ลิตร เครื่องทอดที่พัฒนาจึงสามารถเพิ่มกำลังการผลิตกระบวนการทอดไก่ของสถานประกอบการได้จริง

ตารางที่ 6 ลักษณะน้ำมันทอดแบบเครื่องทอดและกรองน้ำมันที่พัฒนาขึ้น

ลำดับการทอด	ลักษณะน้ำมันก่อนกรอง	ลักษณะน้ำมันหลังการกรอง	หมายเหตุ
น้ำมันก่อนทอด		-	น้ำมันมีความใสปกติ
น้ำมันผ่านการทอดแล้ว 1 – 5 รอบ			- ก่อนกรอง น้ำมันมีสีเหลือง จากการผสมของกากตะกอนแป้งที่สะสมจำนวนมาก - หลังกรอง น้ำมันมีสีใส ไม่มีกากตะกอน
น้ำมันผ่านการทอดแล้ว 6 – 10 รอบ			- ก่อนกรอง น้ำมันมีสีเหลือง จากการผสมของกากตะกอนแป้งที่สะสมจำนวนมาก กากตะกอนเริ่มลอยตัวบนผิวหน้า - หลังกรอง น้ำมันเปลี่ยนสีจากเดิมเล็กน้อย ไม่มีกากตะกอน

สรุปผลและเสนอแนะ

สรุปผล

ตามวัตถุประสงค์ของโครงการ คณะผู้วิจัยสามารถดำเนินการบรรลุตามวัตถุประสงค์ครบทั้ง 3 ข้อ คือ เพื่อพัฒนาเครื่องทอดไก่กึ่งอัตโนมัติด้วยระบบน้ำมันทอดหมุนเวียน โดยมีหม้อทอดและเครื่องกรองน้ำมันทอดที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้จริง การพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพน้ำมันทอดหมุนเวียนโดยการกรองเศษเจือปน ในการทดสอบการใช้งานเครื่องกรองน้ำมันทอดสามารถกรองเศษเจือปนได้เป็นอย่างดี โดยเครื่องที่พัฒนาสามารถลดเวลาการทอดได้ 4.99 นาทีต่อรอบ คิดเป็นร้อยละ 69.31 หรือเพิ่มน้ำหนักไก่ในการทอดได้ 1.254 กิโลกรัมต่อนาที คิดเป็นร้อยละ 225.54 ดังนั้นเครื่องจักรที่พัฒนาสามารถเพิ่มกำลังผลิตรอบการทอดได้จริง โดยสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้มากกว่าเดิม 2 - 3 เท่า และลดค่าใช้จ่ายในการใช้วัสดุสิ้นเปลืองน้ำมันทอดหมุนเวียนได้ เครื่องจักรต้นแบบที่พัฒนาขึ้น สามารถพัฒนาปรับปรุงเพื่อจัดจำหน่ายให้แก่ผู้ประกอบการรายอื่น ๆ หรือผู้ประกอบการสามารถประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ของทอดประเภทอื่น ๆ ที่ต้องใช้กระบวนการทอดรูปแบบเดียวกันหรือคล้ายคลึงกัน ผลการดำเนินการสามารถตอบสนองเป้าหมายของโครงการได้

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต อาจจำเป็นต้องใช้ระยะเวลามากกว่า 1 ปี เพื่อการทดสอบและปรับปรุงให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตของผู้ประกอบการ บางครั้งอาจมีตัวแปรบางตัวที่นอกเหนือการควบคุมหรืออาจเกิดขึ้นในระหว่างการพัฒนา เช่น การปล่อยน้ำมันที่ทอดแล้วจากกันอ่างของเครื่องทอด ทำให้เศษแข็งที่สะสมอยู่ปริมาณมากเข้าไปอุดตันในท่อลำเลียงทำให้ระบบการหมุนเวียนน้ำมันทำได้ไม่สะดวก ต้องทำการล้างทำความสะอาดเป็นระยะ ๆ เป็นต้น

2. การทดลองเป็นการกรองเชิงกายภาพเพื่อกรองเศษเจือปนเท่านั้น อาจจำเป็นต้องมีการตรวจสอบปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ผ่านการกรองแล้วก่อนหมุนเวียนมาใช้อีก ผู้ประกอบการต้องพิจารณาและกำหนดจำนวนรอบการหมุนเวียนน้ำมันทอดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้น้ำมันทอดที่มีคุณภาพและปลอดภัยตามข้อกำหนด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ โครงการส่งเสริมและสนับสนุนบุคลากรด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการจัดการจากภาครัฐและสถาบันอุดมศึกษาไปปฏิบัติงานเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในภาคการผลิตและบริการ (Talent Mobility) จากสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สอวช.) ภายใต้บันทึกข้อตกลงความร่วมมือโครงการ Talent Mobility ระหว่าง สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สอวช.) โดยอุทยานฯ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ กับ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ และ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชาบูอินดี้ อุดรดิตถ์ ในการสนับสนุนวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จันทร์จิรา ตั้งสันต์ศน์กุล. (2554). การศึกษาปัจจัยและสภาวะการผลิตเพื่อพัฒนาระบบการทอดแบบ
ฝอย [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- นันทิรา หงส์ศรีสุวรรณ. (2558). อันตรายจากน้ำมันทอดซ้ำ. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร,
9(1), 163-175.
- วิลาวัลย์ ไตรจิตต์. (2563). การหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อทอดแคบหมูด้วยเครื่องทอดแบบของเหลวแยก
ชั้น [ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ศิรินภา มณีแดง. (2559). การจัดการน้ำมันทอดซ้ำของผู้จำหน่ายอาหารทอดในพื้นที่เทศบาลตำบลวังไผ่
อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต].
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สิริมา ชินสาร. (2551). การดูดซับน้ำมันในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา
, 14(2), 139.

เรือเก็บขยะบนผิวน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบควบคุม ด้วยสมาร์ทโฟน

Solar-powered Water's Surface Waste Cleaning Boat Controlled via Smartphone

พีรพงศ์ แสงคุณที, ธนากร อิมคุ้ม, รัชชานนท์ ทองโชติ, กฤษ ตราชู, ณรงค์ บุญเสนอ
และ ชัชชล เปรมชัยสวัสดิ์*

Peerapong Seangkunttee, Thanakorn Aimkhum, Ratchanon Thongchot, Krit Tashoo,
Narong Boonsaner and Shutchon Premchaisawatt*

เทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
Industrial Technology Program, Faculty of Industrial Education,
Rajamangala University of Technology Isan KhonKaen Campus

*Corresponding author. E-mail: shutchon.pr@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

ประเทศไทยติดอันดับ 6 ของประเทศที่ปล่อยขยะลงสู่ทะเลมากที่สุดและมากถึง 1 ล้านตันต่อปี ส่วนใหญ่เป็น ขวดน้ำพลาสติก ขวดแก้ว โฟม ซึ่งเกิดจากผลการท่องเที่ยวและกิจกรรมต่างๆ จากบุคคล คริวเรือน อุตสาหกรรม ซึ่งขยะเหล่านี้ ส่วนหนึ่งถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ลำคลอง แม่น้ำ และอีกส่วนหนึ่งถูกปล่อยลงสู่ทะเล ดังนั้น โครงการนี้ได้ให้ความสำคัญกับปัญหาดังกล่าว จึงทำการออกแบบเรือเก็บขยะสำหรับเก็บขยะที่ลอยบนผิวน้ำ ที่ใช้วิธีการควบคุมการใช้งานด้วยสมาร์ทโฟนผ่านระบบ WI-FI ความถี่ 2.4 GHZ ในการควบคุมการเคลื่อนที่ และใช้ระบบการขับเคลื่อนด้วยแรงดันน้ำแบบปั้มน้ำในการส่งกำลัง โดยพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อผ่านแบตเตอรี่เป็นพลังงานหลัก จากผลการทดลองเพื่อหาสมรรถนะเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับด้วยสมาร์ทโฟน ในการเก็บขยะ 3 ประเภทพบว่าสามารถเก็บขยะที่มีน้ำหนักเบาและลอยน้ำได้ดีกว่า ที่ปริมาณความเข้มแสงมากกว่า 60000 LUX (474 W/m²) ที่ใช้ในการประจุไฟฟ้า ส่งผลต่อระยะเวลาการทำงานในการเก็บขยะโดยตรง และเมื่อทำการทดลองหาความสามารถในการลากขยะพบว่า ความเร็วในการขับเคลื่อนมีแนวโน้มลดลงตามน้ำหนักของขยะ โดยผลจากการควบคุมเรือด้วยสมาร์ทโฟนผ่านระบบ WI-FI ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการบังคับการเคลื่อนที่ระยะ 0-60 m

คำสำคัญ: เรือเก็บขยะ การทำความสะอาดผิวน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ESP32 พุนยนต์

Abstract

Thailand ranks sixth in the list of countries that release the most waste into the sea and up to 1 million tons per year. Mostly plastic, water bottles, glass bottles, foam are resulting from tourism and activities from individuals, households, and industries. Some are released into water resources such as canals, rivers, and some are released into the sea. Therefore, this project has focused on this issue. The surface waste-collecting boat was designed to collect trash that floats on the water surface. The control method is done via smartphones through WI-FI frequency 2.4 GHz to control the movement and use a water pressure drive system with a water pump to transmit power. Most of the used energy is electrical energy from solar cells connected through batteries as the main power. Results of the experiment determine the performance of a smartphone-controlled solar garbage collector to collect 3 types of garbage. It was found that the boat could better able to collect lighter and floatable garbage. The light intensity greater than 60000 LUX (474 W/m²) is the optimal intensity to use to charge electricity which affects the duration of work in garbage collection directly. Another point is when the experiment was done, the ability to drag garbage depends on the weight of the garbage, and dragging speed is decreased when dragging more weight. Finally, the control range of the boat via a WI-FI system provides maximum efficiency in maneuvering at 0-60 m.

Keywords: garbage collecting boat, water's surface cleaning, solar energy, ESP32, robot

บทนำ

ในปัจจุบันสถานการณ์ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของทุกประเทศทั่วโลกที่กำลังได้รับผลกระทบในขณะนี้ ไม่ว่าจะเป็นมลพิษ การเกิดภัยธรรมชาติ สภาพแวดล้อมที่เสื่อมลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการพัฒนาประเทศตลอดจนการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็ว ประกอบกับความต้องการทางปัจจัยสี่เพื่อการอุปโภคและบริโภคในชีวิตประจำวัน ทำให้สิ่งของเหลือใช้เหล่านั้นมีปริมาณเพิ่มขึ้น และที่สำคัญของเหลือใช้บางชนิดนั้น ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เช่น ขวดพลาสติก ถุงพลาสติก ขยะมูลฝอยต่างๆ หากมีการทิ้งขยะลงน้ำหรือขอบฝั่ง เมื่อฝนตก ขยะจะไหลลงไปรวมกันในน้ำทำให้น้ำ

เสีย ยกตัวอย่างเช่น คลองน้ำเสีย และแหล่งน้ำตามสาธารณะ สาธารณีย์ สุวรรณศิลป์ (2555) กลายเป็นปัญหาที่จะต้องเก็บกวาดและทำความสะอาด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบและสร้างเรือเก็บขยะบนผิวน้ำที่มีความสามารถในการเก็บขยะ สามารถสร้างได้ง่ายและจัดการเรื่องพลังงานในเรื่องการทำงานได้ดี จึงต้องหาแนวทางหรืออุปกรณ์ช่วยในการเก็บขยะให้มีความสะดวกและความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน โดยศึกษาแนวทางจากเรือควบคุมอัตโนมัติ Dunbabin *et al.* (2009) ซึ่งเป็นเรือพลังงานแก้อาหาริตยและติดเซนเซอร์คอยวัดค่าต่างของเรือและน้ำบริเวณนั้น โดยการใช้ WiFi ในการบังคับเรือได้ แนวคิดมาจาก Gao & Fu (2020) เนื่องจากมีความง่ายในการจัดเตรียมอุปกรณ์และยังสามารถส่งข้อมูลมาจากเซนเซอร์ที่ติดบนเรือ เช่น งานของ Low *et al.* (2009) มายังสมาร์ตโฟนได้อีกด้วย แต่ข้อเสียคือระยะทางและความเสถียรของการสื่อสาร โดยใช้ ESP32 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล Arduino ที่มีโมดูล WiFi ในตัวใช้ในการสื่อสาร ซึ่ง Irawan & Fonda (2022) ได้ใช้ Arduino เป็นตัวประมวลผลในเรือเก็บขยะขนาดเล็กซึ่งจะคล้ายกับงานของ Raj *et al.* (2021) และจากงานวิจัยของ Sinha *et al.* (2014) พบว่าลักษณะฐานลอยน้ำ 2 ด้านมีความประสิทธิภาพในการลอยตัวที่ดีที่สุดเหมาะกับเรือลอยน้ำขนาดเล็ก

จากการที่ได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ช่วยในการเก็บขยะในน้ำ พบว่ามีการออกแบบเรือที่ช่วยในการเก็บขยะโดยควบคุมระยะไกลการศึกษาเรือเก็บขยะควบคุมแบบไร้สาย ประเภทเรือ เพชรสม และคณะ (2559) ระยะเวลาควบคุมเรือประมาณ 70 เมตรความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือประมาณ 25 เมตร/นาที เก็บขยะขึ้นจากน้ำได้ครั้งละไม่เกิน 10 กิโลกรัม มอเตอร์ทั้ง 3 ตัว ใช้งานใช้นานประมาณ 3-6 ชั่วโมง และ เรือเก็บขยะควบคุมระยะไกลของ เมล์ เมืองชนะ และทัศน์ แซ่เหลียง (2562) สามารถเคลื่อนที่ในภาวะไร้โหดด้วยความเร็ว 6.25 เมตร/นาที เรือต้นแบบสามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง 20 ชั่วโมงในการควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรลสามารถควบคุมได้ด้วยระยะ 50 m และภายในเวลา 1 ชั่วโมงสามารถเก็บขยะลอยน้ำได้ 3.12 kg นักศึกษาได้สังเกตเห็นปัญหาของการเก็บขยะแบบเดิม ที่มีความยุ่งยากในการใช้งานและยังมีปัญหาต่างๆ จึงได้หาข้อมูลแล้วพบว่าในต่างประเทศมีการสร้างเรือเก็บขยะ จากเครื่องต้นแบบเดิมจึงได้นำมาปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น จากเครื่องเดิมเป็นสายพานลำเลียงขยะ ซึ่งมีน้ำหนักที่มากและใช้เวลาในการเก็บ จึงมีการปรับปรุงและออกแบบใหม่ ซึ่งนำตาข่ายเข้าไปเก็บขยะในทันที และปัญหาจากแบบเดิมที่เก็บขยะไว้บนเรือ ทำให้น้ำหนักบนเรือมากเกินไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงและออกแบบเรือใหม่โดยอาศัยการลอยตัวของขยะโดยการใช้ตาข่ายลากขยะที่ลอยอยู่ในน้ำแทนการยกขึ้นเรือและเพิ่มพื้นที่จมน้ำเพื่อเพิ่มแรงลอยตัวมากขึ้น ทำให้ภาระในการรับน้ำหนักจากการขนขยะของเรื่อนั้นน้อยลงและเพิ่มประสิทธิภาพการลอยของเรือ ประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนของเรือมากขึ้นและยังมีระบบสัญญาณเตือนหรือเซ็นเซอร์ต่างๆไว้แจ้งเตือนขีดจำกัดความสามารถของตัวเครื่องได้

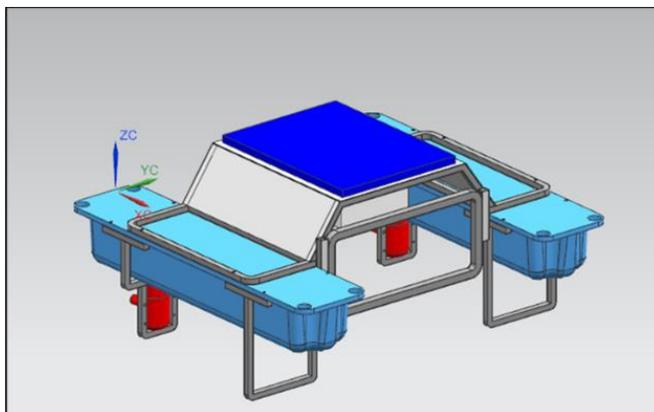
ดังนั้น จึงสร้างเรือเก็บขยะที่ใช้งานง่าย โดยออกแบบให้สามารถควบคุมได้ด้วยสมาร์ทโฟนซึ่งมีระบบสัญญาณเตือนหรือเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ไว้แจ้งเตือนขีดจำกัดความสามารถของตัวเครื่องได้และยังติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เป็นแหล่งพลังงานใช้ในระยะสั้นด้วยการทำงานของเรือ

วิธีดำเนินการวิจัย

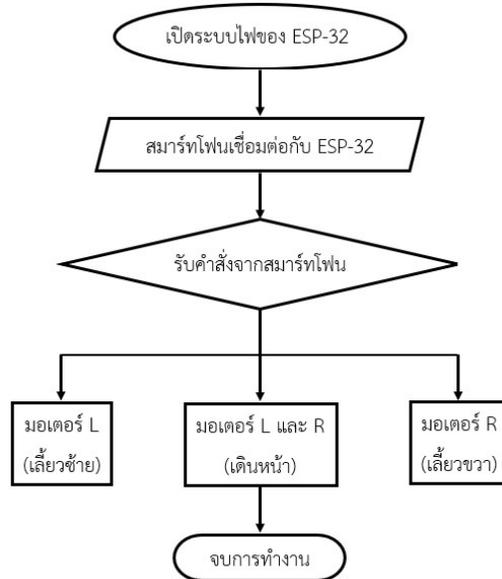
การดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือการออกแบบเรือและการทำงาน การใช้แหล่งพลังงานและการควบคุมด้วยสมาร์ทโฟน และการวัดผลของเรือ

ออกแบบระบบการทำงาน

การดำเนินการศึกษาข้อมูลและการทำงานของเรือเก็บขยะ จะทำการออกแบบให้มีชิ้นส่วนหลัก ๆ 6 ส่วน ได้แก่ โครงสร้างของเรือ โดยทำจากวัสดุเหล็กกล่องที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร ทุ่นลอยน้ำแบบมาตรฐานที่ทำวัสดุ PVC สามารถรับน้ำหนักได้ตัวละ 50 kg จำนวน 2 ทุ่น โครงเก็บขยะยึดติดกับตาข่าย มอเตอร์ปั๊มน้ำเป็นระบบขับเคลื่อนของเรือ ชุดควบคุมการทำงานของเรือ และแผงโซลาร์เซลล์เป็นพลังงานเสริมของเรือ และออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมีการนำสมาร์ตโฟนเป็นรีโมทควบคุมผ่านเครือข่ายไร้สาย (Wi-Fi) โดยการใช้บอร์ด ESP32 เพื่อรับคำสั่งจากสมาร์ตโฟนไปควบคุมมอเตอร์ให้เรือเคลื่อนที่ตามต้องการ ดังภาพที่ 1 และ ภาพที่ 2



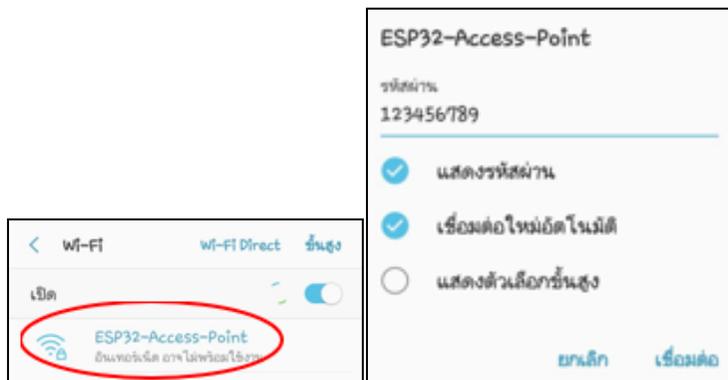
ภาพที่ 1 การจำลองชิ้นส่วนและโครงสร้างของเรือเก็บขยะบนผิวน้ำ



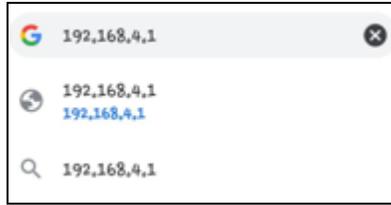
ภาพที่ 2 การเขียนผังงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการใช้งาน

- 1) เชื่อมต่อ wifi ที่ชื่อ ESP32-Access-Point มีรหัสผ่าน “123456789” ด้วยสมาร์ทโฟน ดังภาพที่ 3
- 2) หลังจากเชื่อมต่อแล้วเข้าเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้แอปพลิเคชัน Chrome บนสมาร์ทโฟน และพิมพ์เลข IP-ADDRESS “192.168.4.1” ดังภาพที่ 4 ก็จะสามารถควบคุมมอเตอร์ที่เรือได้ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 3 การเชื่อมต่อ WI-FI

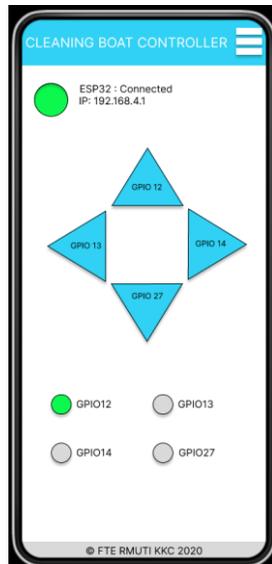


ภาพที่ 4 เข้าเว็บเซิร์ฟเวอร์จาก Browser

การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทุกที่ที่มีแสงอาทิตย์ และเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อมลพิษให้กับโลก ดังนั้นพลังงานแสงอาทิตย์จึงถูกพัฒนาให้สร้างเป็นกระแสไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์

แต่การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์มักมีข้อจำกัดเนื่องจากพระอาทิตย์มีเวลาขึ้นและตก โอกาสการใช้งานก็จะไม่เกิน 8 ชั่วโมงต่อวัน นอกจากนี้พลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถควบคุมได้แน่นอน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ มีฝนตก มีเมฆมาก ยังส่งผลต่อความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ อีกทั้งพื้นที่ต่างกันก็ยิ่งให้พลังงานแสงที่แตกต่างกันไปอีกด้วย



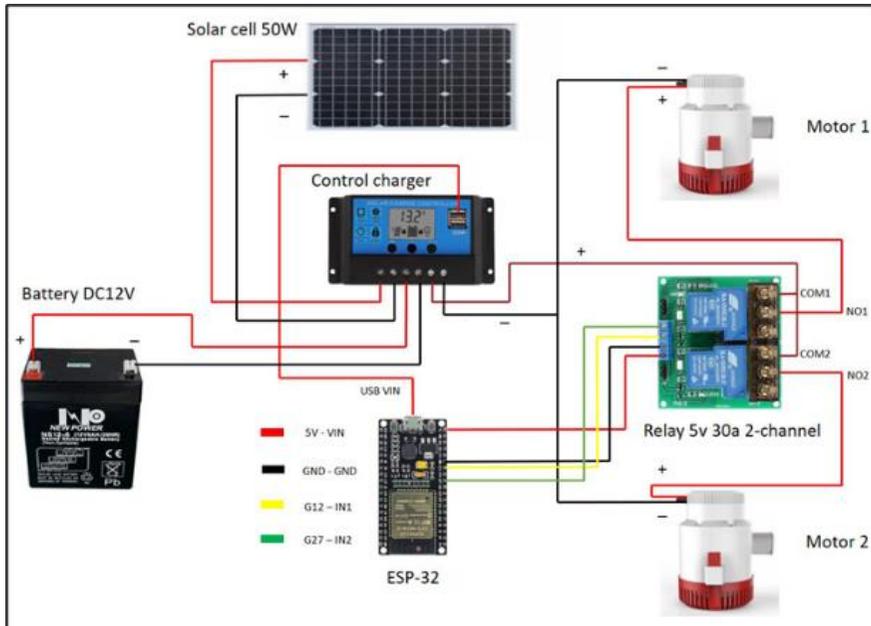
ภาพที่ 5 หน้าจอที่ควบคุมจากสมาร์ทโฟน

อย่างไรก็ตามการนำพลังงานแสงอาทิตย์ จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานสะอาด โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์นั้น จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเราสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ รวมทั้งสามารถเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานภายหลังได้ซึ่งมีความเหมาะสมกับเรือเก็บขยะ เพื่อที่จะนำเอาแหล่งพลังงานมาใช้ในการทำงานของเรือเก็บขยะได้โดยอ้างอิงจาก ชิชณพงศ์ รื่นภาคแดน และคณะ (2563)

การออกแบบเรือเก็บขยะควบคุมด้วยสมาร์ตโฟน

การออกแบบเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์บังคับด้วยสมาร์ตโฟน ญัฐชัย กัดโธสง และญัฐพงศ์ พลสม (2559) และจาก แนวทางการออกแบบของ Dunbabin *et al.* (2009) และ Sinha *et al.* (2014) ทางคณะผู้จัดทำได้มีการปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อกำหนดรูปแบบของเรือและได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบเพิ่มเติมโดยขั้นตอนการเขียนแบบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) กำหนดรูปแบบของเรือเก็บขยะที่ต้องการเข้ามายังตัวเรือโดยใช้วิธีการลากขยะเข้ามา กลไกการทำงานของเรือทำงานง่ายและไม่ซับซ้อนเกินไปและผู้ใช้สามารถใช้งานสะดวกและมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ ทางคณะผู้จัดทำได้ร่วมมือกับอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อกำหนดรูปแบบเรือที่ต้องการโดยคำนึงถึงข้อตกลงที่ตั้งไว้
- 2) ดำเนินการออกแบบและเขียนแบบเรือขึ้นตามรูปแบบที่กำหนดและตกลงไว้ จะทำการออกแบบให้มีชิ้นส่วนหลัก ๆ 6 ส่วน ได้แก่ โครงสร้างของเรือ โดยทำจากวัสดุเหล็กกล่องที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร ทุ่นลอยน้ำแบบมาตรฐานที่ทำวัสดุ PVC สามารถรับน้ำหนักได้ตัวละ 50 kg จำนวน 2 ทุ่น โครงเก็บขยะยึดติดกับตาข่าย มอเตอร์ปั้มน้ำเป็นระบบขับเคลื่อนของเรือ ชุดควบคุมการทำงานของเรือ และแผงโซลาร์เซลล์เป็นพลังงานเสริมของเรือ
- 3) การออกแบบของโครงสร้างและการออกแบบชิ้นส่วนของเรือ ได้รวบรวมข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาข้อมูลทั้งหมด ได้ออกแบบจำลองภาพที่ร่างด้วยมือและนำไปเขียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดการออกแบบชิ้นส่วนการทำงานของโครงสร้าง ออกแบบระบบควบคุม ออกแบบการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และชุดขับเคลื่อนเรือเก็บขยะให้ได้ตรงกันกับเป้าหมายที่คาดหวัง ดังภาพที่ 1 และ ภาพที่ 6



ภาพที่ 6 วงจรเรือเก็บขยะควบคุมด้วยสมาร์ทโฟน

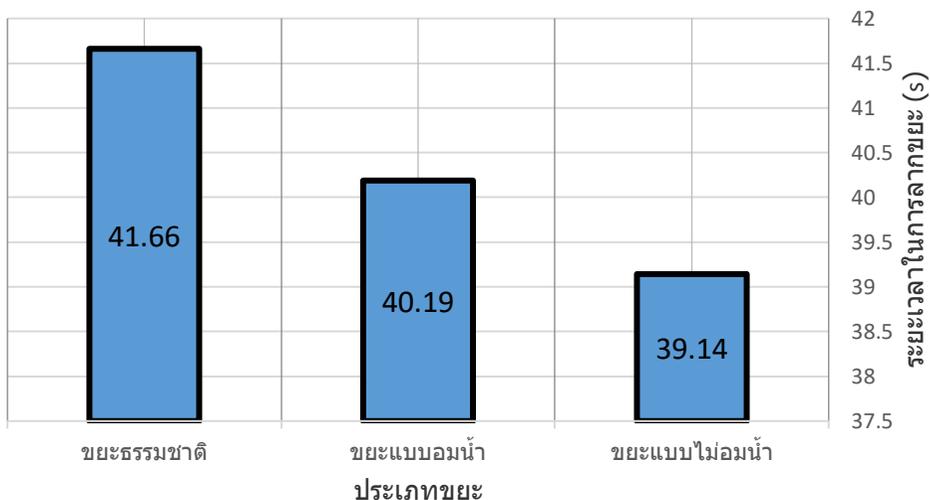
ขั้นตอนในการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลอง ทางคณะผู้จัดทำได้นำขั้นตอนมากำหนดการทดลอง ซึ่งมีการทดลอง ดังนี้ คือ ทำการทดลองการใช้งานเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์บังคับด้วยสมาร์ทโฟนตลอดทั้งหมด 5 ครั้ง ระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 16 – 20 เมษายน พ.ศ. 2564 เวลา 12.00 น. โดยจะทดลองเก็บขยะ 10 kg ใช้พื้นที่ในการเก็บ 5 x 10 m โดยจะวัดปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวัน แล้วนำผลการทดลองมาสรุปผล โดยจะเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บขยะแต่ละประเภท และเรื่องผลของความเข้มแสงต่อระยะเวลาที่สามารถทำให้เรือทำงานได้

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองเปรียบเทียบขยะแต่ละประเภทโดยการใช้เรือเก็บขยะลากขยะแต่ละประเภทในจำนวนน้ำหลักที่เท่ากัน 5 กิโลกรัม พบว่า ขยะประเภทไม่อมน้ำมีลักษณะไม่จมน้ำและมีน้ำหนักเบาทำให้เวลาลากขยะมีแรงถ่วงที่น้อยซึ่งเรือจะเคลื่อนที่ได้ดีกว่าประเภทอื่นโดยมีค่าเฉลี่ย 39.14 s ต่อมาขยะประเภทอมน้ำมีลักษณะขยะจมน้ำเป็นบางส่วนทำให้ส่วนที่จมน้ำสร้างแรงถ่วงจนเรือช้าลงอย่างเห็นได้ชัดโดยมีค่าเฉลี่ย 40.19 s และสุดท้ายขยะธรรมชาติมีลักษณะจมน้ำเป็นส่วนใหญ่และมีน้ำหนักมากซึ่งจะทำให้เรือมีแรงถ่วงที่มากและช้าที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ย 41.66 s ขยะแต่ละประเภทมีแรงเฉื่อยที่

แตกต่างกันเมื่ออยู่ในน้ำ จึงทำให้ส่งผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของเรือในการเก็บขยะ ดังภาพที่ 7 ฉะนั้นความเร็วของการทำงานของเรือขึ้นอยู่กับลักษณะของขยะที่เรือทำการเก็บ



ภาพที่ 7 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาในการลากขยะแต่ละประเภทในขนาดน้ำหนัก 5 กิโลกรัม

วัดปริมาณความเข้มแสงของเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์บังคับด้วยสมาร์ตโฟน

การทดลองแสดงปริมาณความเข้มแสงจากการใช้งานเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์บังคับด้วยสมาร์ตโฟนทั้งหมด 21 ครั้ง ณ วันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2564 ซึ่งมีระยะเวลาตั้งแต่ 7.00 – 17.00 น. โดยมีการทดลองทุกๆ 30 min จะเห็นได้ว่า ปริมาณความเข้มแสงในแต่ละระยะเวลาไม่เท่ากัน ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเรือเก็บขยะ โดยช่วงเวลาที่ปริมาณความเข้มแสงสูงจะสามารถใช้งานเรือเก็บขยะได้นานยิ่งขึ้น หากในช่วงเวลาที่ปริมาณความเข้มแสงน้อยระยะเวลาในการใช้งานจะลดลงตามปริมาณความเข้มแสงน้อยลง ดังภาพที่ 8 ฉะนั้นเวลาที่เหมาะสมในการทำงานของเรือในบริเวณทดลองคือ 10.00 น – 14.00 น.

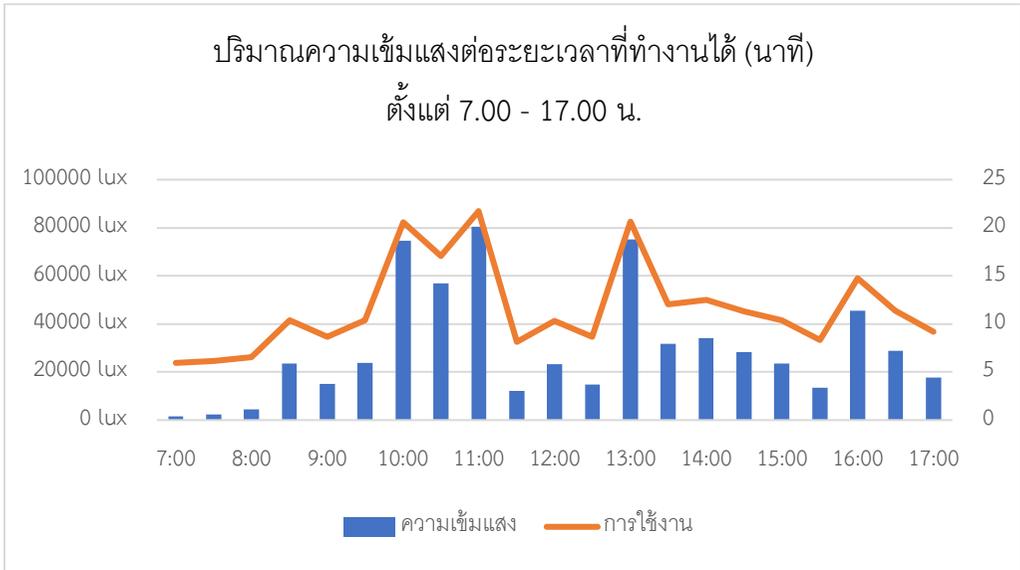
สมรรถนะในควบคุมเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์แบบควบคุมด้วยสมาร์ตโฟน

การทดลองสมรรถนะในควบคุมเรือเก็บขยะพลังงานแสงอาทิตย์แบบควบคุมด้วยสมาร์ตโฟน โดยจะทดลองควบคุมระยะจะเห็นได้ว่า ในช่วงระยะ 0 – 60 m สามารถใช้งานเรือเก็บขยะได้ปกติ ในช่วงระยะ 70 – 100 m สัญญาณเริ่มมีการไม่เสถียรและระยะ 100 m ขึ้นไปไม่สามารถใช้งานเรือเก็บขยะได้ ดังภาพที่ 9 และสาเหตุที่สัญญาณ wifi ขาดการเชื่อมต่อ เกิดขึ้นได้หลายปัจจัย เช่น

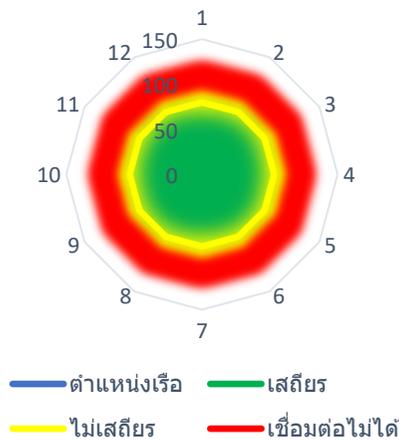
- 1) เกิดจาก wifi มีขีดจำกัดเรื่องการกระจายสัญญาณที่ไม่ไกลมาก ถ้าเทียบกับสัญญาณวิทยุ

2) สัญญาณ wifi ที่ใช้งานอยู่ มีความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นคลื่นความถี่ที่ใช้งานทั่วไป จึงเกิดคลื่นรบกวนจำนวนมาก ทำให้ในบางพื้นที่ไม่สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการควบคุม สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มกำลังขยายสัญญาณ

ฉะนั้นระยะทางที่เหมาะสมในการควบคุมเรือคือ ไม่เกิน 60 เมตรจากเรือ



ภาพที่ 8 การทดลองปริมาณความเข้มแสง



ภาพที่ 9 สมรรถนะในควบคุมเรือ

สรุปผลและเสนอแนะ

การทดลองทางคณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองการเก็บข้อมูล เพื่อทดลองเปรียบเทียบความเร็วในการลากขยะแต่ละประเภท ทดลองปริมาณความเข้มแสง ทดลองการเก็บประจุแบตเตอรี่ต่อการใช้งาน ทดลองการเก็บขยะที่สามารถเก็บได้ในแต่ละวัน ทดสอบระยะเวลาการควบคุมเรือและทดสอบปริมาณขยะที่เก็บได้

ผลการทดสอบเปรียบเทียบขยะแต่ละประเภท จะแบ่งขยะเป็น 3 ประเภทคือ ขยะแบบอมน้ำ ขยะแบบไม่อมน้ำ และขยะจากธรรมชาติ โดยการลากขยะจะใช้ระยะทาง 10 m และมีจำนวนขยะ 5 kg ในการเปรียบเทียบการลาก จะเห็นได้ว่า ขยะแต่ละประเภทมีผลต่อความเร็วของเรือและความเร็วในการเก็บขยะ เช่น ขยะแบบไม่อมน้ำมีน้ำหนักเบาเรือจะวิ่งได้เร็วเฉลี่ย 39.14 s ขยะแบบอมน้ำจะทำให้เรือเกิดแรงถ่วงเรือจะช้าลงเฉลี่ย 40.19 s และขยะจากธรรมชาติมีน้ำหนักมากทำให้เรือวิ่งได้ช้าที่สุดถ้าเทียบกับ ขยะทั้ง 3 ประเภท เฉลี่ยที่ 41.66 s

ผลการทดสอบปริมาณความเข้มแสง จะเห็นได้ว่าปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวันไม่เท่ากัน ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเรือเก็บขยะ โดยวันที่ปริมาณความเข้มแสงสูงสามารถใช้งานเรื่อนานขึ้น ขณะเดียวกันที่ความเข้มแสงน้อย เรือจะประสิทธิภาพลดลง ต่อมา การทดลองเก็บประจุของแบตเตอรี่ต่อการใช้งาน จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการทำงานของเรือเก็บขยะจะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวัน เช่น วันที่มีปริมาณความเข้มแสงที่ 7,332 lux สามารถใช้งานได้ 7 min ซึ่งแตกต่างกับวันที่มีปริมาณความเข้มแสงที่ 75,621 lux สามารถใช้งานได้ 22 min และการทดลองการเก็บขยะที่เก็บได้ในแต่ละวัน ซึ่งมีความแตกต่างกัน เช่น วันที่เรือประสิทธิภาพสูงจะสามารถเก็บขยะได้มากกว่าวันที่เรือประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากระยะเวลาการทำงานจะไม่เท่ากันตามที่ได้รับปริมาณความเข้มแสงในแต่ละวัน

ผลการทดสอบระยะเวลาการควบคุมเรือ จะเห็นได้ว่าช่วงระยะทาง 0 - 60 m สามารถใช้งานเรือเก็บขยะได้ปกติ ในช่วงระยะ 70 - 100 m สัญญาณเริ่มมีการไม่เสถียรและระยะ 100 m เป็นต้นไป ไม่สามารถใช้งานเรือเก็บขยะได้

โดยสรุปผู้วิจัยได้สร้างเรือเก็บขยะที่สามารถเก็บขยะที่ลอยอยู่บนผิวน้ำได้โดยความเร็วของการลากจูงขึ้นอยู่กับชนิดของขยะ ส่วนระยะเวลาการทำงานของเรือขึ้นอยู่กับพลังงานแรงอาทิตยว่ามากน้อยเพียงใดโดยสามารถเพิ่มเวลาได้สูงสุดถึง 22 นาที ซึ่งเพียงพอต่อการทำงานหนึ่งรอบ

ข้อเสนอแนะ

1. คลื่น wifi มีความไม่เสถียรเมื่ออยู่ใกล้กับน้ำ และในพื้นที่ที่มีสัญญาณรบกวนเยอะ ควรเลือกสัญญาณที่มีความเสถียรมากกว่า เช่น คลื่นวิทยุ หรือระบบดาวเทียม
2. ควรมีฟังก์ชันที่แสดงผลเรื่องแบตเตอรี่ ความเร็วของเรือ และเซนเซอร์แจ้งเตือนผ่านระบบควบคุมในสมาร์ตโฟน

3. ราคาในการจัดทำจะมีราคาค่อนข้างต่ำหากเปรียบเทียบกับกรนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาหลักแสนบาทในรุ่นที่มีขนาดใกล้เคียงกัน

เอกสารอ้างอิง

ชิษณุพงศ์ รื่นภาคแดน, จักรवाल จิตจง, จักรภัทร สุทธิโส, ภาชัย จูอนุวัฒนกุล, สำเรียง อินท่าไม้, และวันชัย เจียจันทร์ (2563). การออกแบบและติดตั้งโซล่าเซลล์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของอากาศยานไร้คนขับ. *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 43* (น.631-634).

<http://dspace.spu.ac.th/handle/123456789/7025>

ณัฐชัย กัดไธสง และณัฐพงศ์ พลสมย. (2559). การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อผ่านการสื่อสารไร้สาย. *การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ*, 2(1), 1-8.

ปิยนุช ใจแก้ว และสุธิดา ทีปรัชพันธ์. (2562). การพัฒนาเรือพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำ. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 14(2), 91-97.

ประภาภรณ์ เพชรสม, อิศระพงศ์ พูลสุข และประกาศิต ตันตือลงการ (2560), การศึกษาเรือเก็บขยะควบคุมแบบไร้สาย. *SNRU Journal of Science and Technology*, 8(3), 309-318.

เมล์ เมืองชนะ และทัศน์ แซ่เหลียง. (2562). เรือเก็บขยะควบคุมระยะไกล. *การประชุมวิชาการสำหรับนักศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 2* (น.114-120). มหาวิทยาลัยสวนสุนันทา.

สาริณีย์ สุวรรณสีลศักดิ์. (2555). ความคิดเห็นของประชาชนท้องถิ่นในการจัดการขยะมูลฝอย ชุมชนกรณีศึกษาตลาดน้ำอัมพวา จังหวัด สมุทรสงคราม. *วารสารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*, 23(3).1-9.

Dunbabin, M., Grinham, A., & Udy, J. (2009). An autonomous surface vehicle for water quality monitoring. *Australasian conference on robotics and automation (ACRA)*. Sydney, Australia.

Gao, X., & Fu, X. (2020). Miniature Water Surface Garbage Cleaning Robot. In 2020 International Conference on Computer Engineering and Application (ICCEA) (pp. 806-810). IEEE.

Irawan, Y., & Fonda, H. (2022). Garbage collecting ship robot using arduino uno microcontroller based on android smartphone.

Low, K.H., Podnar, G., Stancliff, S., Dolan, J.M., & Elfes, A. (2009). Robot boats as a mobile aquatic sensor network. In *Proc. IPSN-09 Workshop on Sensor Networks for Earth and Space Science Applications*.

- Raj, B.S., Murali, L., Vijayaparamesh, B., Kumar, J.S., & Pragadeesh, P. (2021). IoT based water surface cleaning and quality checking boat. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1937(1), 12-23. IOP Publishing.
- Sinha, A., Bhardwaj, P., Vaibhav, B., & Mohommad, N. (2014). Research and development of Ro-boat: an autonomous river cleaning robot. In *Intelligent Robots and Computer Vision XXXI: Algorithms and Techniques*, 9025, 195-202. SPIE.

การพัฒนาเสารับส่งสัญญาณแบบไร้สายจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น

Development of Wireless Transmission Towers from Local Waste Materials

ธนรัตน์ ยอดคำเนิน^{1*}, จตุรงค์ ธงชัย¹ และ พรนรินทร์ สายกลิ่น²
Thanirat Yoddamnern^{1*}, Jaturong Thongchai¹ and Ponnarin Saiklin²

¹โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

²โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

¹Computer Technology Program Faculty of Industrial Technology

Kamphaeng Phet Rajabhat University

²Information Technology Program Faculty of Science and Technology

Kamphaeng Phet Rajabhat University

*Corresponding author. E-mail: Thanirat@kpru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการพัฒนาเสารับส่งสัญญาณแบบไร้สายจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น จากวัสดุต่างชนิดกัน ที่มีลักษณะเป็นทรงโค้งพาราโบลา ที่สามารถหาได้ง่าย ต้นทุนต่ำ มีใช้สอยในบ้านเรือนที่ผลิตจากวัสดุ 5 ชนิดนี้ คือ อะลูมิเนียม สังกะสี สแตนเลส เหล็ก และกระดาษพอยล์ จากการกำหนดวัสดุจึงคัดเลือกวัสดุเหลือใช้ที่มีลักษณะเป็นรูปทรงพาราโบลา เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 29 เซนติเมตร ได้แก่ กะละมังอะลูมิเนียม กะละมังสังกะสี กระชอนสแตนเลส กระทะเหล็ก และโครงลวดท่อพอยล์ แล้วทำการหาจุดตกกระทบรวมสัญญาณทดสอบเพิ่มความเข้มของสัญญาณเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไวเลสแลนและทดสอบเพิ่มความเข้มของสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ผลปรากฏว่าวัสดุที่เพิ่มความเข้มของสัญญาณเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไวเลสแลนดีที่สุดที่ระยะทาง 140 เมตร คือ กะละมังอะลูมิเนียม มีค่าอัตราไหล 945.84 Kbps และมีค่าความไหล 184.69 Mbps ส่วนวัสดุที่เพิ่มความเข้มของสัญญาณโทรศัพท์มือถือดีที่สุด คือ กะละมังอะลูมิเนียม มีค่าสัญญาณเพิ่มขึ้นสูงสุด 16 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กระทะเหล็ก มีค่าสัญญาณเพิ่มขึ้นสูงสุด 14 เปอร์เซ็นต์ และ กระชอนสแตนเลส มีค่าสัญญาณเพิ่มขึ้นสูงสุด 12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าอย่างน้อยยิ่งสะท้อนสัญญาณไร้สายได้ดีกว่า

คำสำคัญ: เพิ่มความเข้มสัญญาณไร้สาย สะท้อนสัญญาณ ทรงพาราโบลา

Abstract

This research presents a method for developing a wireless transceiver from local waste materials. Different materials have a parabolic curve shape. Materials can be found easily at home and low cost. The transceiver made from 5 types of materials is aluminium, zinc, stainless steel, steel, and foil. The material was selected for a diameter of parabolic curve shape of about 29 cm. The wireless transceiver is made from aluminum basins, zinc basins, stainless colander, iron pan, and foil-wrapped wireframe. The finding for the point of signal impact and combine the signal, test the signal strength of wireless LAN network by computer and test the increase of mobile phone signal were investigated.

The results showed that the best material to increase the signal strength of the wireless LAN network by computer at 140 meters of distance was an aluminum basin with an upload at 945.84 Kbps and a download at 184.69 Mbps. The best material that increases mobile phone signal is an aluminum basin which have the highest signal increase of up to 16%, followed by a steel pan have the highest signal increase of up to 14%, and a stainless colander have the highest signal increase of up to 12% respectively. These results conform to the lower electrical resistance has better the wireless signal reflection.

Keywords: Increase the wireless signal intensity, Signal reflection, Parabola

บทนำ

ในยุคปัจจุบันการติดต่อสื่อสารกันบนระบบเครือข่าย เกิดขึ้นอย่างกว้างขวางทั่วโลก สังเกตได้จากอัตราการเติบโตของผู้ใช้งานเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กับการทำกิจกรรมที่หลากหลายในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ อาทิเช่น E-Government, E-Commerce, E-Market, E-banking, E-Education เป็นต้น เทคโนโลยีการสื่อสารบนระบบเครือข่ายสามารถแบ่งออกได้ 2 รูปแบบ คือ (1) การสื่อสารแบบผ่านสายสื่อสาร และ (2) การสื่อสารแบบเครือข่ายไร้สาย ซึ่งในปัจจุบันการสื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สาย ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น จะเห็นได้จากการออกแบบอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ ได้มีการออกแบบให้รองรับกับเทคโนโลยีไร้สาย สามารถสื่อสารข้อมูลถึงกันได้โดยปราศจากสายเชื่อมโยง โดยอาจกล่าวได้ว่าในอนาคตการสื่อสารผ่านสายสื่อสาร หรือระบบเครือข่ายแบบใช้สายสื่อสารจะถูกแทนที่ด้วยการสื่อสารแบบไร้สายหรือระบบ

เครือข่ายไร้สายอย่างแน่นนอน เนื่องจากการสื่อสารแบบไร้สาย นั้นให้ความคล่องตัวในการใช้งานสูง สะดวกสบาย และง่ายต่อการติดตั้ง

ในประเทศไทยนั้นก็มีการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายมานานกว่า 10 ปีแล้ว ซึ่งร้อยละ 50 นั้นเป็นการสื่อสารบนโทรศัพท์มือถือ อีกร้อยละ 30 คือการสื่อสารระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ และร้อยละ 20 ที่เหลือคือการใช้ระบบสื่อสารเฉพาะทาง เช่น การสื่อสารเพื่อการควบคุมระยะไกล, การสื่อสารการจัดเก็บข้อมูลระยะไกล, การสื่อสารอินเทอร์เน็ต เป็นต้น ซึ่งนโยบายของประเทศในตอนนี้สนับสนุนให้ลดการใช้วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยสิ้นเปลืองเพื่อลดภาวะโลกร้อน และในพื้นที่ชนบทนั้นยังไม่สามารถใช้อินเทอร์เน็ตได้ เนื่องจากการลงทุนที่ค่อนข้างสูงในการเดินสายสัญญาณในระยะทางที่ไกล จากแหล่งผู้ให้บริการสัญญาณอีกทั้งยังต้องลงทุนด้านการเดินสายกระจายสัญญาณภายในองค์กรอีก จึงทำให้โอกาสน้อยมากในการติดตั้งระบบ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อการเรียนรู้ในพื้นที่ดังกล่าว เกิดข้อจำกัดไม่ทันต่อเหตุการณ์

แต่ด้วยการสื่อสารแบบไร้สายมีข้อจำกัด คือ อุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สายมีความสามารถในการส่งสัญญาณได้ในระยะทางที่มีขีดจำกัด หากมีจุดบริการสัญญาณที่ไกลออกไปจะส่งผลให้ไม่สามารถรับสัญญาณไร้สายได้ เช่น พื้นที่ที่อยู่ห่างจากจุดให้บริการสัญญาณไร้สายเกินระยะที่ครอบคลุมสัญญาณ จะไม่สามารถรับสัญญาณได้ อย่างไรก็ตามวิธีการที่จะทำให้สามารถรับส่งสัญญาณไร้สายได้ไกลกว่าเดิมอยู่ 2 วิธี คือ (1) ติดตั้งอุปกรณ์รับส่งสัญญาณที่มีกำลังสูงกว่า (2) ใช้เสาอากาศ หรือตัวสะท้อนสัญญาณที่มีอัตราการขยายสัญญาณสูง ซึ่งทั้ง 2 วิธีต้องอาศัยต้นทุนสูง

จากงานวิจัยของ Yuan et al. (2006) และ Ogawa et al. (2005) ได้ศึกษาสมรรถนะของสายอากาศแถวลำดับแบบปรับลำคลื่นที่ใช้ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถลดสัญญาณหลายวิถีและลดการแทรกสอดช่องสัญญาณร่วม (co-channel interference) ได้หรือไม่ แต่ระบบที่ใช้มีความซับซ้อน อีกทั้งยังมีความสิ้นเปลืองในการสร้างอีกด้วยเนื่องจากใช้สายอากาศ 4 ต้น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาสมรรถนะของระบบสายอากาศสำหรับการใช้งานในโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้สายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่น เช่น งานวิจัยของ Braun et al. (2009) มีการใช้หลักการสวิตช์ลำคลื่นโดยใช้การรวมกันแบบไดเวอร์ซิตี (diversity combining) และได้ออกแบบสายอากาศที่โทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้สายอากาศ 2 ต้น ซึ่งประกอบด้วยสายอากาศแผ่ระนาบและสายอากาศโมโนโพล แต่ไม่สะดวกในการใช้งานเนื่องจากสายอากาศต้องสร้างบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังนั้นจึงทำให้เห็นได้ว่าหากต้องการเพิ่มความเข้มของสัญญาณเครือข่ายไร้สายจะไม่สามารถไปติดตั้งที่เสาส่งสถานีฐานได้และหากทำเสาอากาศเสริมที่ตัวรับหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็ยุ่งยากในการสร้างอีกทั้งใช้เสาหลายต้น

งานวิจัยนี้จะได้ศึกษาและทดลองหาเทคนิคแนวทางในการเพิ่มความเข้มของสัญญาณเครือข่ายไร้สาย โดยใช้วิธีการประดิษฐ์ตัวสะท้อนสัญญาณทรงโค้งพาราโบลา จากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใกล้เคียงกัน และมีต้นทุนต่ำราคาประหยัดที่ใช้งานง่ายและสามารถสร้างเองได้

ไม่ยุ่งยากซับซ้อน เพื่อนำมาใช้ในการเพิ่มความเข้มของสัญญาณ ทำให้ระยะทางการรับส่งสัญญาณไร้สายสามารถทำได้ไกลกว่าเดิม และอำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้งานสามารถรับส่งสัญญาณได้มากขึ้น แม้อยู่ห่างจากจุดให้บริการสัญญาณหรือสถานีฐาน

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการทดลองโดยใช้วัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นมาสร้างเป็นตัวสะท้อนสัญญาณเพื่อหาประสิทธิภาพว่าสามารถเพิ่มความเข้มของสัญญาณได้มากน้อยเพียงใดในแต่ละวัสดุที่แตกต่างกันในระบบการสื่อสารไร้สาย แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ การทดลองในส่วนที่ 1 จะเป็นการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของสัญญาณในระบบเครือข่ายไวเลสแลน และการทดลองในส่วนที่ 2 คือ การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของสัญญาณโทรศัพท์

1. วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง พบว่า วัสดุที่มีความสามารถสะท้อนสัญญาณได้ดีนั้นมีความสัมพันธ์กับความต้านทานไฟฟ้า คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดสร้างตัวสะท้อนสัญญาณจากวัสดุต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าน้อย และหาได้ง่ายในครัวเรือน คือ วัสดุที่มาจากอะลูมิเนียม สแตนเลส เหล็ก สังกะสี และกระดาษฟอยล์ โดยศึกษาข้อมูลค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุต่าง ๆ จากเว็บไซต์ <http://www.matweb.com/> ทำการคัดเลือกวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่ในครัวเรือน ซึ่งสรุปเป็นตารางคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุต่อความต้านทานไฟฟ้า

วัสดุ	ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์มต่อตารางเซนติเมตร)
อะลูมิเนียม	0.00000270
สแตนเลส	0.00000450 - 0.000145
เหล็ก	0.00000890
สังกะสี	0.000005916
กระดาษฟอยล์	0.00000300 - 0.00000590

จากการกำหนดวัสดุจึงคัดเลือกวัสดุเหลือใช้ให้มีลักษณะเป็นรูปทรงพาราโบลาที่มีความกว้างความลึกแล้วแต่วัสดุเหลือใช้ที่หามาได้ โดยแบ่งเป็น 5 วัสดุที่นำมาสร้างได้แก่ 1) อะลูมิเนียม วัสดุเหลือใช้ที่นำมาสร้างเป็นตัวทดลอง คือ กะละมังอะลูมิเนียม ที่ มีความลึก 14 เซนติเมตร และมีจุดตกกระทบ 3.75 เซนติเมตร 2) สังกะสี วัสดุเหลือใช้ที่นำมาสร้างเป็นตัวทดลอง คือ กะละมังสังกะสี ที่มีความลึก 12 เซนติเมตร และมีจุดตกกระทบ 4.38 เซนติเมตร 3) สแตนเลส วัสดุเหลือใช้ที่นำมาสร้างเป็นตัวทดลอง

คือ กระชอนทอดอาหารที่ทำจากสแตนเลส มีความลึก 7 เซนติเมตร และมีจุดตกกระทบ 7.51 เซนติเมตร 4) เหล็ก วัสดุเหลือใช้ที่นำมาสร้างเป็นตัวทดลอง คือ กระทะเหล็ก ที่มีความลึก 9 เซนติเมตร และมีจุดตกกระทบ 5.84 เซนติเมตร 5) กระดาษฟอยล์ วัสดุเหลือใช้นี้ได้ทำการตัดลดเป็นโครงให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 29 เซนติเมตร ห่อด้วยกระดาษฟอยล์ มีความลึก 9 เซนติเมตร และมีจุดตกกระทบ 5.84 เซนติเมตร จากนั้นนำสายยูเอสบีตัวเมียติดตั้งไว้ตามตำแหน่งที่ได้คำนวณจุดตกกระทบ เพื่อติดตั้งยูเอสบีไวเลสและเพื่อเพิ่มระยะสายให้ใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้นในกรณีต่อใช้งานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ จากนั้นสร้างเสาและฐานด้วยท่อพีวีซีทำให้สามารถวางตั้งอย่างมั่นคงไม่ให้ขยับไปมา และพร้อมใช้งาน



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

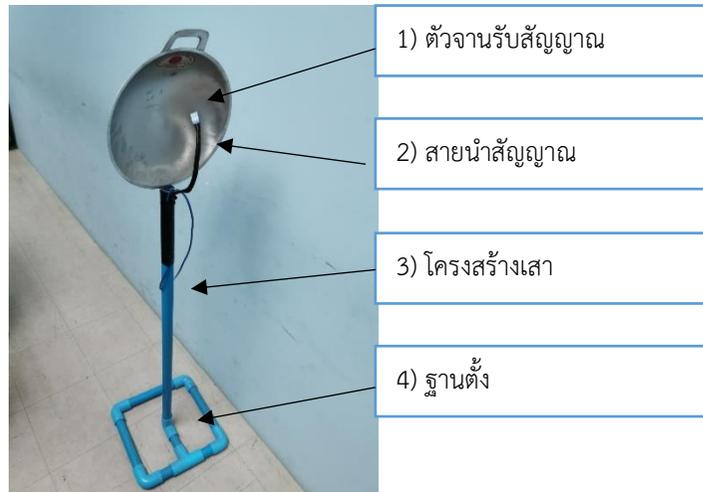
(จ)

ภาพที่ 1 วัสดุที่นำมาสร้างตัวสะท้อนสัญญาณ (ก) กระทะเหล็ก (ข) กะละมังอะลูมิเนียม

(ค) กระชอนสแตนเลส (ง) โครงลดท่อฟอยล์ (จ) กะละมังสังกะสี

โดยวัสดุดังกล่าวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกัน คือ 1) ตัวจานรับสัญญาณ ทำจากวัสดุ เหลือใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 14 นิ้ว หรือประมาณ 29 เซนติเมตร 2) สายนำสัญญาณ เป็นสายยูเอสบีความยาว 3 เมตร ปลายสายด้านหนึ่งไว้สำหรับต่อยูเอสบีไวเลส วางตำแหน่งตรงกึ่งกลาง จานรับสัญญาณที่ผ่านการคำนวณจุดตกกระทบแล้ว ส่วนปลายสายอีกด้านหนึ่งไว้สำหรับต่อเข้ากับ อุปกรณ์ของผู้ใช้งาน เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ หรือ โทรศัพท์มือถือ 3) โครงสร้างเสา ที่ทำด้วยท่อพีวีซีต่อกันเป็นขาตั้งและเสา ขนาดความสูง 1.5 เมตร และ 4) ฐานตั้ง ทำจากท่อพีวีซีต่อกันให้ได้เส้นผ่าน

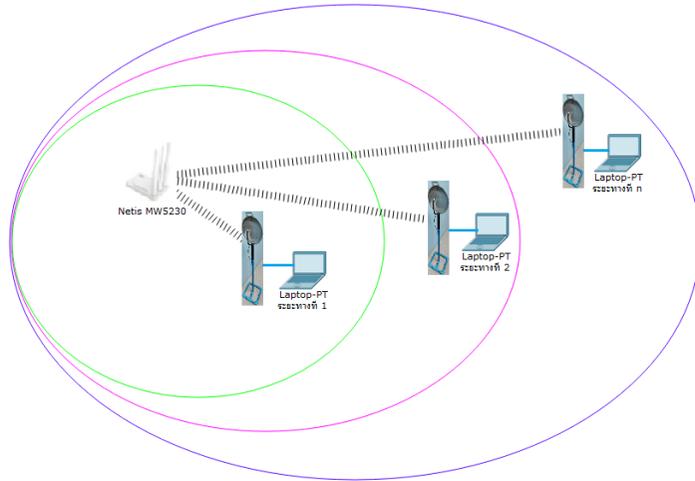
ศูนย์กลางประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อไม่ให้ล้มเมื่อรับน้ำหนักเสาและจานรับสัญญาณ ดังแสดงในภาพที่ 2



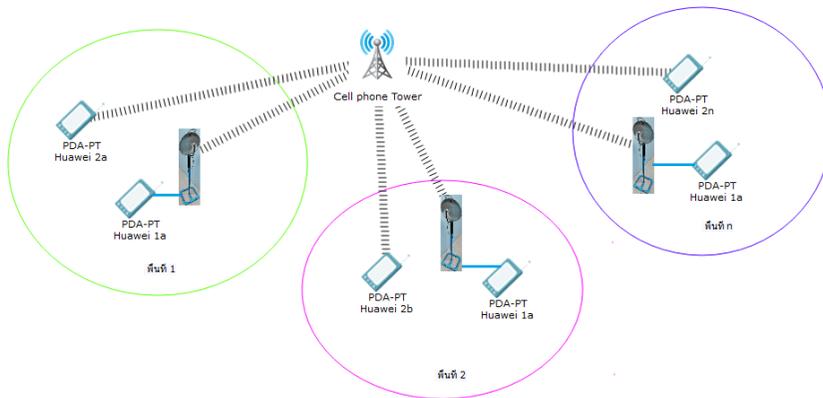
ภาพที่ 2 เสารับส่งสัญญาณแบบไร้สายจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น

2. การออกแบบการทดลอง

การทดสอบความเข้มของสัญญาณแบ่งออกแบบเป็น 2 ระบบ คือ 1) ระบบสัญญาณเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไวเลสแลน ทดสอบโดยเสาส่งเป็นตัวแอสเซสพอยต์รุ่น Netis MW5230 เป็นตัวกระจายสัญญาณจากต้นทาง ย่านความถี่ 2.4 GHz ความเร็วสูงสุดได้ถึง 300 Mbps ใช้โปรแกรม LAN Speed Test กำหนดขนาดของข้อมูล 20 MB สำหรับทดสอบความเร็วการอัปโหลดและ ดาวน์โหลดของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในวง LAN โดยใช้เสารับส่งสัญญาณจากวัสดุเหลือใช้ที่สร้างขึ้นทดสอบสัญญาณในลักษณะการเพิ่มระยะทางให้ห่างจากเสาส่งตามที่กำหนดเพื่อหาประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณเครือข่ายไวเลสแลน (WLAN) และอีกการทดสอบ คือ 2) ระบบสัญญาณโทรศัพท์ เป็นการใส่เสารับส่งสัญญาณที่สร้างขึ้นมาทดสอบว่าสามารถใช้เพิ่มความเข้มของสัญญาณให้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามพื้นที่ต่าง ๆ ที่กำหนดในลักษณะพื้นที่ที่มีสัญญาณอ่อนหรือพื้นที่อับสัญญาณ เพื่อหาประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (LTE)



ภาพที่ 3 รูปแบบการทดสอบระบบสัญญาณเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไวเลสแลน



ภาพที่ 4 รูปแบบการทดสอบระบบสัญญาณโทรศัพท์มือถือ

2.1 การหาจุดไฟกัสสะท้อนสัญญาณ

การออกแบบงานรับสัญญาณแบบพาราโบลาต้องหาระยะของจุดไฟกัสในการติดตั้งอุปกรณ์ ตัวรวมสัญญาณ(Feed Horn) ห่างจากจุดศูนย์กลางของจานอย่างน้อยเพียงได้นั้นมีผลต่ออัตรา การขยายสัญญาณของจาน ถ้าจานต้นจะมีอัตราการขยายสัญญาณสูงกว่าจานแบบลึก เนื่องจากตัวรวม สัญญาณสามารถรับคลื่นที่สะท้อนจากพื้นท้องของจานได้ทั้งหมด แต่ข้อเสียของการงานต้น คือ จานจะ สามารถรับสัญญาณรบกวนที่เกิดบนพื้นโลก ซึ่งอยู่ในย่านความถี่ที่ใช้งานเข้ามาด้วยสัญญาณที่รับได้จะ ถูกรวมเข้ากับสัญญาณรบกวน ทำให้ความแรงของสัญญาณที่ต้องการมีค่าลดลง

ในการรับสัญญาณนั้นเพื่อให้งานสะท้อนสัญญาณที่เราทำการออกแบบสามารถรับสัญญาณได้คุณภาพมากที่สุด จึงต้องทำการหาระยะโฟกัสที่เหมาะสมที่สุดซึ่งเราสามารถคำนวณหาระยะโฟกัสได้ตามสมการดังนี้

$$F = \frac{D^2}{16d} \quad (1)$$

โดยที่ F คือ ระยะโฟกัสของจานรับสัญญาณ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของจาน

d คือ ความลึกของจาน

จากสมการ (1) สามารถคำนวณหาจุดโฟกัสการสะท้อนได้จากตัวแปรที่มี ยกตัวอย่างเช่น โครงลวดท่อพอยล์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของจานเท่ากับ 14 นิ้ว หรือประมาณ 29 เซนติเมตร ความลึกของจานเท่ากับ 9 เซนติเมตร หาระยะโฟกัสของจานรับสัญญาณแทนค่าในสมการจะได้

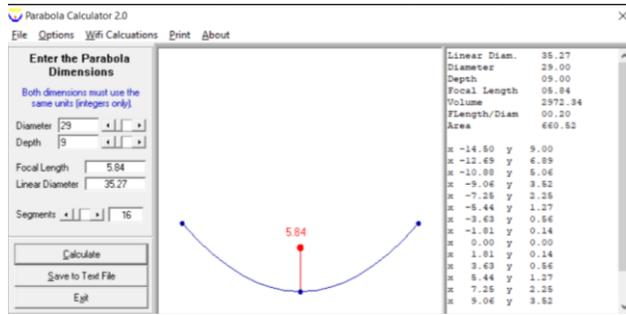
$$F = \frac{29^2}{16(9)} = \frac{841}{144} = 5.84cm \quad (2)$$

จากสมการ (2) ระยะโฟกัสของจานรับสัญญาณเท่ากับ 5.84 เซนติเมตรจากกันงาน หรือหาค่าได้จากโปรแกรม Parabola Calculator ช่วยในการคำนวณ ดังภาพที่ 5

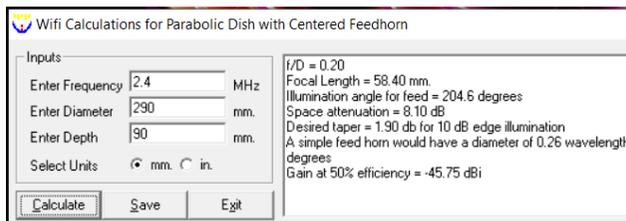
จากภาพที่ 5 เมื่อดำเนินการทำการคำนวณด้วยโปรแกรม Parabola Calculator แล้วสามารถดูรายละเอียดต่าง ๆ แบบละเอียดเพื่อช่วยในการหาประสิทธิภาพเบื้องต้นได้ เช่น ค่า f/d, Focus Length, Space attenuation, Gain at 50% efficiency เป็นต้น

2.2 การบังคับทิศทางตัวส่งและตัวรับให้ตรงกัน

การหันหน้าเสารับสัญญาณให้ตรงกับเสาส่งสัญญาณนั้น ต้องอาศัยการใช้งานเข็มทิศในกรณีนี้ทางผู้วิจัยได้ใช้แอปพลิเคชัน compass for google map ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่ใช้งานง่ายและแม่นยำในการทำให้เสาส่งและเสารับหันตรงกัน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 โปรแกรม Parabola Calculator (ก) ใส่ค่าพารามิเตอร์เส้นผ่านศูนย์กลางและความลึกของจาน (ข) รายละเอียด ประสิทธิภาพของจานวัสดุ



ภาพที่ 6 ณ จุดติดตั้งเสาส่งและล๊อคตำแหน่งที่หมายเลข 1

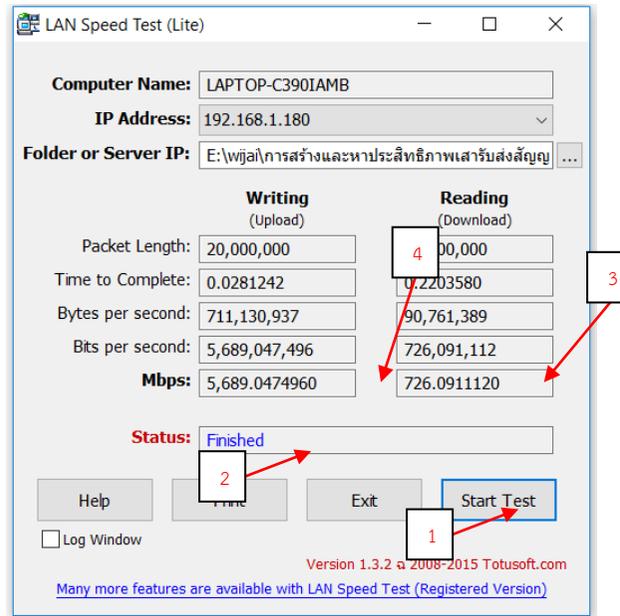


ภาพที่ 7 ณ จุดติดตั้งจานรับสัญญาณหันทิศทางไปยังเสาส่งที่ล๊อคไว้ ให้เส้นสีแดงทับกับเส้นสีเหลืองตามตำแหน่งหมายเลข 2

2.3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณ

2.3.1 การทดสอบระบบสัญญาณเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไวด์แลน ซอฟต์แวร์ที่ใช้จะเป็นการวัดค่าความเข้มของสัญญาณไร้สาย ด้วยโปรแกรมทดสอบความเร็วของระบบเครือข่ายแลน ซึ่งโปรแกรมนี้มีชื่อว่า โปรแกรม LAN Speed Test ใช้สำหรับทดสอบความเร็วของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในวง LAN โดยตัวโปรแกรมถูกออกแบบมาเพื่อวัดความเร็วของเครือข่ายทั้งแบบสายสัญญาณและไร้สาย โปรแกรมนี้จะแสดงชื่อคอมพิวเตอร์ พร้อมแสดง IP Address การใช้งานเพียงแค่กดปุ่ม Start Test ก็สามารถใช้งานได้ทันที มีปุ่มสั่ง Print Result สามารถสั่งให้ปริ้นเพื่อเก็บเป็นข้อมูลผลการทดสอบความเร็วได้อีกด้วย

จากภาพที่ 8 จะแสดงขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม LAN Speed Test ตั้งค่าขนาดของไฟล์ในการรับส่งข้อมูล เท่ากับ 20 MB จากนั้นเริ่มทำการทดสอบโดยคลิกที่เมนู Start Test ที่ลูกศรหมายเลข 1 และรอที่แถบสถานะ Status สิ้นสุดการทำงานหรือขึ้นมาว่า Finished ที่ลูกศรหมายเลข 2 แล้วทำการอ่านค่า Upload ที่ลูกศรหมายเลข 3 หรืออ่านค่า Download ที่ลูกศรหมายเลข 4



ภาพที่ 8 การใช้งานโปรแกรม LAN Speed Test

2.3.2 การทดสอบระบบสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ซอฟต์แวร์ที่ใช้จะเป็นแอปพลิเคชัน OpenSignal ในระบบ Android ลงในโทรศัพท์ยี่ห้อ Huawei รุ่น P30 pro จำนวน 2 เครื่อง ระบบเครือข่าย Dtac ในการทดสอบสัญญาณโทรศัพท์ ซึ่งแอปพลิเคชันนี้มีความสามารถหาความเข้มของสัญญาณ ทดสอบความเร็วอินเทอร์เน็ต ยังมีความสามารถทำให้ทราบว่าเชื่อมต่อกับเสาสัญญาณผู้ให้บริการเสาสื่อ (Cell phone tower) ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับเสาสัญญาณผู้ให้บริการเท่าไร

จากภาพที่ 9 แสดงการใช้งานแอปพลิเคชัน OpenSignal โดยหันทิศทางไปทางเสาผู้ให้บริการให้ลูกศรชี้ไปด้านบน หากใช้ตัวสะท้อนสัญญาณที่สร้างขึ้นให้หันหน้างานไปทางที่ลูกศรชี้ และถ้าต้องการให้ไกลขึ้นเพื่อเพิ่มความแรงของสัญญาณให้ทำการเดินทางไปทางทิศทางนั้น ๆ จะทำให้ระยะทางระหว่างเสาผู้ให้บริการกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ไกลกันมากขึ้น มีแสดงชื่อเครือข่ายผู้ให้บริการและความแรงของสัญญาณทางด้านบนซ้ายว่ามีระดับความแรงเท่าไรเป็นขีดสัญญาณ 5 ขีด อีกทั้งยังเก็บสถิติที่เคยทดสอบสัญญาณว่าพื้นที่ใดมีสัญญาณแรงมากน้อยเพียงใด

นอกจากนี้ยังมีวิธีการทดสอบสัญญาณแบบง่าย ๆ ด้วยแอปพลิเคชันจากโรงงานภายในตัวเครื่องโทรศัพท์ จะเป็นการแสดงค่าความแรงของสัญญาณซึ่งมีหน่วยเป็น dBm และหน่วย asu โดยค่าความแรงของสัญญาณมากค่า dBm จะติดลบน้อย แต่ถ้าค่าความแรงของสัญญาณต่ำค่า dBm จะติดลบมาก กล่าวคือ ระดับสัญญาณมาตรฐานที่สามารถใช้งานได้ยิ่งน้อยยิ่งดีที่ประมาณ -95 dBm

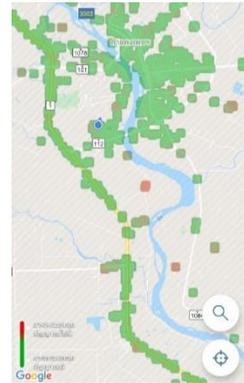
จะแสดงขีดสัญญาณจำนวน 5 ขีด แต่ถ้าหากต่ำกว่าแสดงว่าพื้นที่บริเวณนั้นสัญญาณอ่อน และถ้าต่ำกว่า -120 dBm จะไม่แสดงขีดสัญญาณ แสดงว่าพื้นที่บริเวณนั้นไม่มีสัญญาณ (Dead Zone) ส่วนในหน่วย asu เป็นการแปลงเลขในหน่วย dBm ไม่ให้ติดลบเพื่อความสะดวกในการแปลผล ยิ่งเลข asu มาก สัญญาณยิ่งแรงมากตามค่าตัวเลข



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 9 การใช้งานแอปพลิเคชัน OpenSignal (ก) แสดงเครือข่ายผู้ให้บริการ Dtac ทิศทางของเสาผู้ให้บริการ (ข) แสดงการเชื่อมต่อเสาผู้ให้บริการเสาไหนระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับเสาและเสาที่ให้บริการบริเวณใกล้เคียง (ค) แสดงความเข้มของสัญญาณตามพื้นที่ต่าง ๆ

จากภาพที่ 10 แสดงการใช้งานทดสอบความแรงของสัญญาณจากแอปพลิเคชันโรงงานที่ติดมาภายในเครื่องโทรศัพท์ จะเห็นว่ารายงานเครือข่ายผู้ให้บริการ ความแรงสัญญาณ ประเภทเครือข่ายมือถือ MMC,MNC ซึ่งในการทดสอบนั้นโทรศัพท์ที่นำมาทดสอบทั้ง 2 เครื่อง ต้องตรงกันทั้งหมดแตกต่างกันเพียงความแรงของสัญญาณในช่องหมายเลข 1 ที่ใช้อ่านความแรงของสัญญาณในแต่ละเครื่อง และให้สังเกตที่ช่องหมายเลข 2 ว่าเป็น 4G หรือ 4G+ ในโทรศัพท์ของทั้ง 2 เครื่องหรือไม่แม้จะเป็นสัญญาณจากเสาเดียวกันก็ตาม ซึ่ง 4G+ จะมีความแรงของสัญญาณมากกว่าแบบ 4G เพื่อความถูกต้องและแม่นยำของผลการทดสอบจึงต้องตรวจเช็คให้เรียบร้อยก่อนบันทึกผล

2.4 ขั้นตอนดำเนินการทดสอบ

ขั้นที่ 1 ศึกษาลักษณะของตัวสะท้อนสัญญาณเครือข่ายไร้สาย ทรงพาราโบลา

ขั้นที่ 2 ศึกษาและสืบทอดอุปกรณ์เหลือใช้ที่มีต้นทุนต่ำในครัวเรือนที่มีรูปทรงพาราโบลา

ขั้นที่ 3 ศึกษาวิธีการหาจุดรวมสัญญาณจากจุดตกกระทบรูปทรงพาราโบลาและวิธีการสร้าง

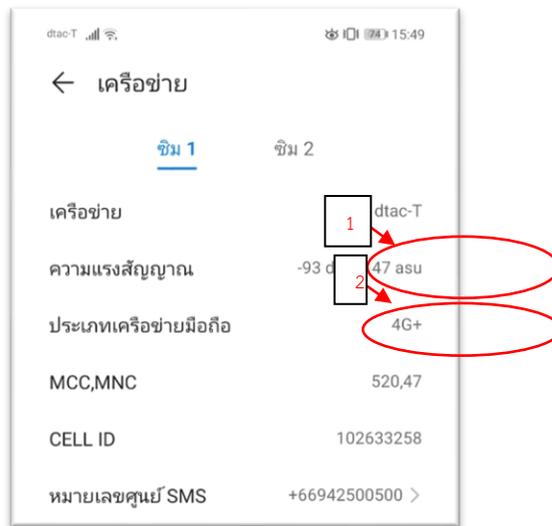
ขั้นที่ 4 ประดิษฐ์ตัวสะท้อนสัญญาณเครือข่ายไร้สายทรงพาราโบลาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันจากวัสดุต่างชนิดกัน ได้แก่ กระดาษเหล็ก กะละมังอะลูมิเนียม กระซอนสแตนเลส โครมลงท่อพอยล์ และกะละมังสังกะสี

ขั้นที่ 5 ทดลองหาความเข้มหรือความแรงของสัญญาณไวเลสแลน ต่อระยะทางการรับส่งสัญญาณที่ไกลขึ้นเป็นระยะ จากการใช้ตัวสะท้อนสัญญาณที่ประดิษฐ์ขึ้น

ขั้นที่ 6 เก็บผลการทดลองและสรุปเปรียบเทียบผลการทดลอง หาความแรงของสัญญาณไวเลสแลน ระหว่างการใช้ตัวสะท้อนที่มีวัสดุต่างชนิดกัน ได้แก่ ค่าอพโหลด และค่าดาวน์โหลด

ขั้นที่ 7 ทดสอบความแรงของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในพื้นที่ต่าง ๆ ระหว่างการใช้ตัวสะท้อนสัญญาณที่ประดิษฐ์ขึ้นกับไม่ใช้ตัวสะท้อนสัญญาณ เพื่อหาค่าประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น

ขั้นที่ 8 เก็บผลการทดสอบและสรุปเปรียบเทียบผลการทดสอบว่าวัสดุใดมีอัตราการขยายความแรงของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้มากที่สุด



ภาพที่ 10 การใช้งานแอปพลิเคชันจากโรงงานเพื่อทดสอบความแรงสัญญาณ



ภาพที่ 11 การทดลองหาความแรงของสัญญาณไวเลสแลน



(ก)

(ข)

(ค)



(ง)

ภาพที่ 12 การทดสอบความแรงของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ (ก) นำโทรศัพท์ทดสอบตรงจุดตก
กระทบ (ข) ใช้สายชาร์จเพื่อสะดวกในใช้งาน (ค) ใช้โทรศัพท์สองเครื่องรุ่นเดียวกันเครือข่าย
เดียวกัน (ง) การเปรียบเทียบค่าความแรงของสัญญาณ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

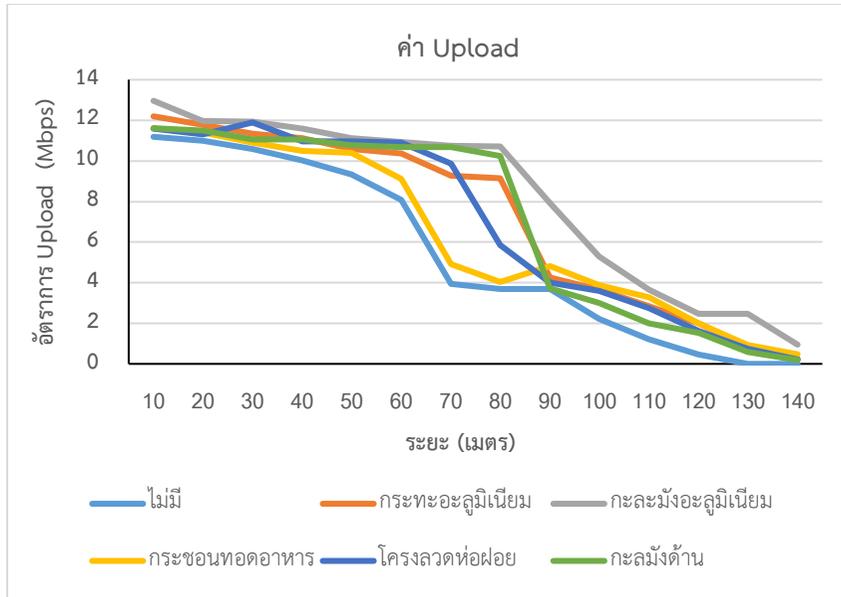
1. การทดสอบประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลระบบเครือข่ายไวเลสแลน

การส่งข้อมูล (Upload) คือ ความเร็วในการส่งข้อมูลต่อวินาที ยิ่งค่าตัวเลขมีค่ามากเท่าไร แปลว่าในแต่ละวินาที สามารถส่งข้อมูลได้มาก ยิ่งค่ามากยิ่งส่งเร็วนั่นเอง โดยสามารถอ่านค่าจาก โปรแกรม LAN Speed Test ได้จากช่อง Writing (Upload) มีหน่วยเป็น Mbps ซึ่งการอ่านค่าอัปโหลด นี้จะทำการทดสอบในแต่ละวัสดุตัวสะท้อนที่สร้างขึ้นตามระยะทางที่กำหนดโดยที่สามารถอ่านค่าต่าง ๆ และสรุปได้เป็นตารางดังต่อไปนี้

จากตารางที่ 2 สรุปได้ว่าในการใช้งานสถานะการทำงานปกติการส่งสัญญาณไวเลสที่ไม่ใช้วัสดุสะท้อนจะสามารถส่งสัญญาณได้ดีปกติอยู่ที่ระยะทางไม่เกิน 60 เมตร จะเห็นได้ว่าหากเกินระยะที่กล่าวมาจะสูญเสียประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณเป็นจำนวนมากเกินครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่เคยส่งได้ ซึ่งระยะ ยิ่งไกลขึ้นสัญญาณก็จะเบาลงตามระยะทาง และเมื่อทดลองใช้กับวัสดุสะท้อนที่นำมาสร้างตัวรับส่ง สัญญาณไวเลสระยะไกลจากวัสดุเหลือใช้ผลปรากฏว่าในระยะทาง 10 ถึง 140 เมตร สามารถส่ง สัญญาณได้ดีกว่าแบบไม่ใช้วัสดุสะท้อนในทุกวัสดุที่นำมาทดสอบ ซึ่งสรุปเป็นกราฟให้สามารถ เปรียบเทียบผลการทดลองได้ง่ายขึ้นดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าอัปโหลดของสัญญาณในระยะทาง 10 - 140 เมตร

ระยะ (เมตร)	Upload (Mbps)					
	ไม่มีวัสดุ	กระดาษเหล็ก	กะละมัง อะลูมิเนียม	กระชอน สแตนเลส	โครงลวดท่อ พอยล์	กะละมัง สังกะสี
10	11.186	12.195	12.962	11.609	11.600	11.609
20	11.010	11.774	11.959	11.405	11.309	11.504
30	10.578	11.337	11.948	10.885	11.895	11.062
40	10.012	11.123	11.597	10.492	10.968	11.052
50	9.339	10.573	11.124	10.408	10.969	10.787
60	8.064	10.369	10.940	9.117	10.887	10.673
70	3.926	9.258	10.742	4.906	9.852	10.666
80	3.701	9.147	10.726	4.024	5.856	10.249
90	3.696	4.252	7.925	4.810	4.000	3.716
100	2.206	3.657	5.290	3.862	3.597	2.987
110	1.226	2.837	3.655	3.296	2.754	2.005
120	0.462	1.987	2.458	1.988	1.621	1.532
130	0	0.845	2.458	0.942	0.745	0.571
140	0	0.247	0.945	0.472	0.217	0.187



ภาพที่ 13 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าอัปโหลดในแต่ละวัสดุทดสอบ

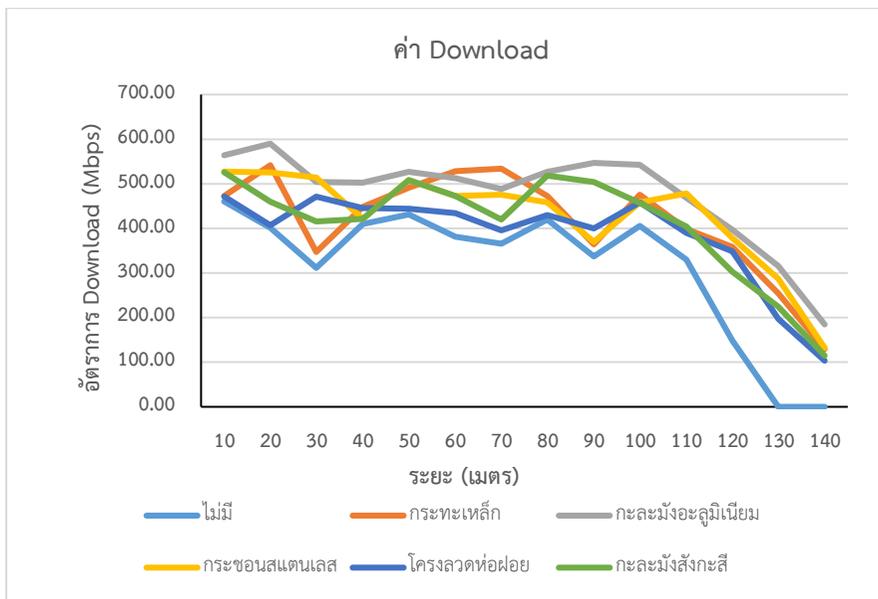
จากภาพที่ 13 เป็นกราฟแสดงค่าอัปโหลดในระยะทางระหว่าง 10 เมตร ถึง 140 เมตร พบว่าประสิทธิภาพการอัปโหลดข้อมูลในระยะทางไม่เกิน 40 เมตร จะมีอัตราการอัปโหลดเท่า ๆ กันไม่ว่าจะใช้ตัวสะท้อนสัญญาณหรือไม่ อยู่ที่ประมาณ 10,000 Kbps ถึง 12,000 Kbps ในช่วงระยะทางที่ 50 เมตร ถึง 140 เมตร เป็นช่วงระยะทางที่เห็นความแตกต่างชัดเจนของประสิทธิภาพการอัปโหลดของแต่ละวัสดุที่นำมาเป็นตัวสะท้อน ซึ่งหากพิจารณาที่ระยะทาง 140 เมตร จะเห็นได้ว่าวัสดุที่สะท้อนรวมสัญญาณได้ดีที่สุด คือ กระดาษอะลูมิเนียม มีค่าเท่ากับ 945.84 Kbps รองมาคือ กระดาษสังกะสี มีค่าเท่ากับ 472.75 Kbps และ กระดาษเหล็ก มีค่าเท่ากับ 247.54 Kbps ตามลำดับ

2. การทดสอบประสิทธิภาพในการรับข้อมูลระบบเครือข่ายไวเลสแลน

การรับข้อมูล (Download) คือ ความเร็วในการรับข้อมูลต่อวินาที ถ้าค่าดาวน์โหลดมีมาก แปลว่าสามารถรับข้อมูลได้ครั้งละมาก ๆ ยิ่งมากก็ยิ่งโหลดได้เร็ว โดยสามารถอ่านค่าจากโปรแกรม LAN Speed Test ได้จากช่อง Reading (Download) มีหน่วยเป็น Mbps ซึ่งสามารถสรุปได้เป็นตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ค่าดาวน์โหลดของสัญญาณในระยะทาง 10 - 140 เมตร

ระยะ (เมตร)	Download (Mbps)					
	ไม่มีวัสดุ	กระทะเหล็ก	กะละมังอะลูมิเนียม	กระชอนสแตนเลส	โครงลวดท่อพอยล์	กะละมังสังกะสี
10	460.40	472.37	564.26	527.39	471.47	525.78
20	400.98	541.61	589.87	526.06	407.31	459.27
30	310.98	347.79	503.44	514.25	470.73	415.39
40	410.43	447.84	502.33	421.27	445.06	420.88
50	430.90	491.07	526.34	507.69	443.42	507.90
60	380.98	527.74	512.48	472.83	433.60	473.12
70	366.04	533.62	488.58	475.81	396.10	419.17
80	420.14	472.99	526.31	458.54	430.13	518.67
90	337.36	364.25	547.47	369.45	400.23	504.46
100	406.23	475.79	542.12	458.89	458.55	457.12
110	330.12	398.23	468.77	478.56	389.78	403.67
120	148.85	358.89	397.23	378.98	348.67	302.98
130	0	254.47	315.15	287.39	197.71	224.21
140	0	129.34	184.69	132.37	103.42	114.71



ภาพที่ 14 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าดาวน์โหลดในแต่ละวัสดุทดสอบ

3. การทดสอบประสิทธิภาพความเข้มของสัญญาณในระบบสัญญาณโทรศัพท์

ในการทดสอบนี้ได้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มียี่ห้อเดียวกัน คือ Huawei P30 pro เครื่องชายเดียวกัน คือ Dtac และเก็บค่าการทดลองในช่วงเวลาหรือ time domain เดียวกัน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่มีผลแตกต่างกันในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เสาสัญญาณต้นทางต้องเหมือนกันที่ช่อง CELL ID ตัวเลขต้องตรงกันทั้ง 2 เครื่อง และทำการทดลองโดยเครื่องที่หนึ่งไม่ใช้วัสดุสะท้อนสัญญาณ ในส่วนของเครื่องที่สองใช้วัสดุสะท้อนสัญญาณเพื่อหาประสิทธิภาพว่ามีอัตราการขยายสัญญาณเพิ่มขึ้นกี่เปอร์เซ็นต์จากไม่ใช้วัสดุสะท้อนสัญญาณ

จากการทดลองได้บันทึกค่าและเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแรงของสัญญาณโทรศัพท์ตามจุดใช้งานต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ในพื้นที่เขตที่ผู้ให้บริการตั้งเสาสัญญาณเครือข่ายไว้ โดยการทดลองกับวัสดุทั้ง 5 ชนิด ๆ ละ 10 ครั้ง เปรียบเทียบกับไม่ใช้วัสดุสะท้อนสัญญาณ สามารถเขียนเป็นตารางเปรียบเทียบได้ดังนี้

ตารางที่ 4 ผลการทดลองความแรงของสัญญาณในระบบสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างไม่ใช้วัสดุกับกะละมังอะลูมิเนียม

ครั้งที่	ไม่มีวัสดุ		กะละมังอะลูมิเนียม		สัญญาณแรงขึ้น
	dBm	asu	dBm	asu	%
1	-94	46	-91	49	7
2	-99	41	-94	46	12
3	-100	40	-97	43	8
4	-89	51	-85	55	8
5	-103	37	-97	43	16
6	-105	35	-101	39	11
7	-105	35	-100	40	14
8	-95	45	-92	48	7
9	-92	48	-86	54	13
10	-88	52	-84	56	8

ตารางที่ 5 ผลการทดลองความแรงของสัญญาณในระบบสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างไม่ใช้วัสดุกับกระเบื้องเคลือบ

ครั้งที่	ไม่มีวัสดุ		กะละมังสังกะสี		สัญญาณแรงขึ้น %
	dBm	asu	dBm	asu	
1	-98	42	-97	43	2 (min)
2	-97	43	-93	47	9
3	-101	39	-99	41	5
4	-108	32	-105	35	9
5	-112	28	-108	32	14 (max)
6	-101	39	-99	41	5
7	-98	42	-96	44	5
8	-103	37	-102	38	3
9	-86	54	-84	56	4
10	-113	27	-111	29	7

ตารางที่ 6 ผลการทดลองความแรงของสัญญาณในระบบสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างไม่ใช้วัสดุกับกระชอนสแตนเลส

ครั้งที่	ไม่มีวัสดุ		กระชอนสแตนเลส		สัญญาณแรงขึ้น %
	dBm	asu	dBm	asu	
1	-96	44	-93	47	7
2	-109	31	-108	32	3
3	-90	50	-86	54	8
4	-87	53	-85	55	4
5	-108	32	-105	35	9
6	-88	52	-85	55	6
7	-107	33	-104	36	9
8	-90	50	-88	52	4
9	-107	33	-103	37	12 (max)
10	-87	53	-86	54	2 (min)

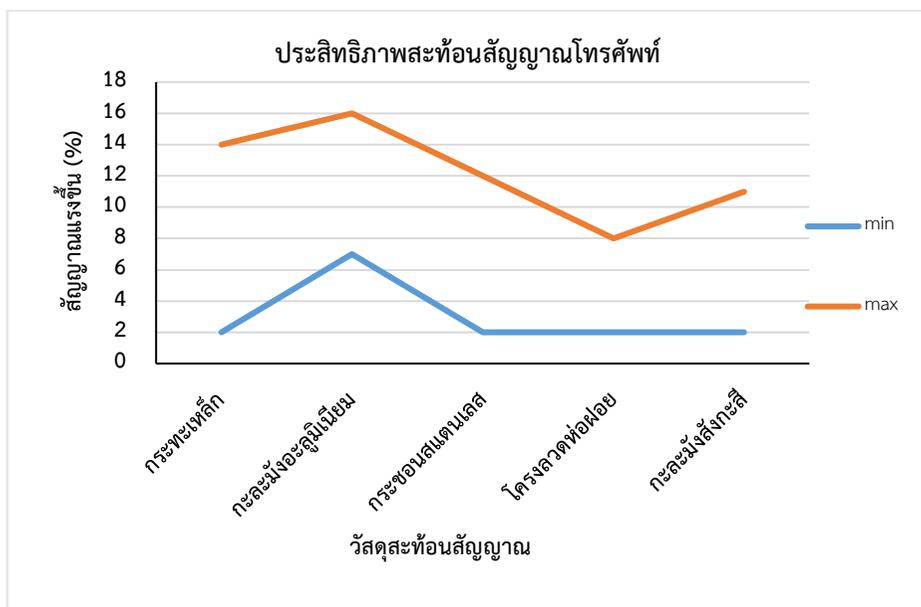
ตารางที่ 7 ผลการทดลองความแรงของสัญญาณในระบบสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างไม่ใช้วัสดุกับกะละมังสังกะสี

ครั้งที่	ไม่มีวัสดุ		กะละมังสังกะสี		สัญญาณแรงขึ้น
	dBm	asu	dBm	asu	
1	-92	48	-89	51	6
2	-91	49	-90	50	2 (min)
3	-91	49	-90	50	2
4	-113	27	-110	30	11 (max)
5	-94	46	-93	47	2
6	-105	35	-104	36	3
7	-106	34	-103	37	9
8	-104	36	-102	38	6
9	-110	30	-107	33	10
10	-94	46	-92	48	4

ตารางที่ 8 ผลการทดลองความแรงของสัญญาณในระบบสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างไม่ใช้วัสดุกับโครงลวดท่อพอยล์

ครั้งที่	ไม่มีวัสดุ		โครงลวดท่อพอยล์		สัญญาณแรงขึ้น
	dBm	asu	dBm	asu	
1	-101	39	-98	42	8 (max)
2	-110	30	-109	31	3
3	-113	27	-112	28	4
4	-88	52	-86	54	4
5	-101	39	-100	40	3
6	-88	52	-86	54	4
7	-89	51	-88	52	2 (min)
8	-101	39	-98	42	8
9	-114	26	-112	28	8
10	-93	47	-91	49	4

จากตารางที่ 4 ถึงตารางที่ 8 ผลการทดลองเห็นได้ว่าใช้วัสดุสะท้อนสัญญาณก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสัญญาณโทรศัพท์ได้ เหมือนกับสัญญาณของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไวเลสแลน จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแต่ละวัสดุสะท้อนสัญญาณ ผลปรากฏว่า วัสดุที่สะท้อนสัญญาณย่านการทำงานของเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สาย คือ กะละมังอะลูมิเนียม มีค่าสัญญาณเพิ่มขึ้นสูงสุด 16 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กระดาษเหล็ก มีค่าสัญญาณเพิ่มขึ้นสูงสุด 14 เปอร์เซ็นต์ และกระชอนสแตนเลส มีค่าสัญญาณเพิ่มขึ้นสูงสุด 12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 14 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพสะท้อนสัญญาณโทรศัพท์

จากภาพที่ 14 เป็นแสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพสะท้อนสัญญาณโทรศัพท์ จะเห็นได้ว่าค่าเพิ่มสัญญาณขึ้นต่ำจะเฉลี่ยเท่า ๆ กัน คือ ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยวัสดุที่มีอัตราการค่าเพิ่มสัญญาณสูงที่สุด คือ กะละมังอะลูมิเนียม

จากการคาดการณ์ไว้ว่าวัสดุที่มีอัตราการค่าเพิ่มสัญญาณตามลำดับสูงสุด คือ อะลูมิเนียม กระดาษพอยล์ สแตนเลส สังกะสี และเหล็ก ตามลำดับ แต่ผลปรากฏว่า ปัจจัยที่มีผลต่อผลการสะท้อนสัญญาณ ได้แก่ คุณภาพของวัสดุ พื้นผิวขรุขระ ความเรียบ ความเก่าใหม่ แม้กระทั่งความลึกของวัสดุ จึงทำให้คุณภาพไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ ยกตัวอย่างเช่น โครกลวดท่อพอยล์แม้จะเป็นแผ่นพอยล์ที่ทำจากอะลูมิเนียมแต่เพิ่มสัญญาณได้น้อยที่สุด ซึ่งน่าจะเกิดจากแผ่นอะลูมิเนียมคุณภาพต่ำและผิว

สะท้อนที่ขรุขระตอนห่อกับความหนาของแผ่นพอยล์ที่ส่งผลให้การสะท้อนสัญญาณไม่เป็นไปตามลำดับที่คาดการณ์ไว้

สรุปผลและเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสร้างและหาประสิทธิภาพเสารับส่งสัญญาณแบบไร้สายจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น ที่มีลักษณะทรงพาราโบลา ว่าสามารถใช้เพื่อเพิ่มความเข้มหรือความแรงของสัญญาณไร้สายได้ทั้งแบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไวเลสแลน และแบบสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่สามารถทำได้ง่าย ต้นทุนต่ำ มีใช้สอยในบ้านเรือน เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุที่นำมาสร้างอุปกรณ์สะท้อนสัญญาณไร้สายไว้ที่ 14 นิ้ว หรือประมาณ 29 เซนติเมตร เพื่อเป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพอัตราการเพิ่มสัญญาณไร้สายของวัสดุที่มีชนิดแตกต่างกัน แต่มีความลึกตื้นไม่เท่ากันแล้วแต่วัสดุเหลือใช้ที่นำมาได้ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานว่าตัวสะท้อนสัญญาณจากวัสดุที่มีคุณสมบัติความต้านทานไฟฟ้าน้อยจะสะท้อนสัญญาณไร้สายได้ดี โดยหาประสิทธิภาพเสารับส่งสัญญาณแบบไร้สายจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น แบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่ ๆ คือ (1) ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไวเลสแลน (2) ระบบสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

1. ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไวเลสแลน

ใช้โปรแกรม LAN Speed Test สำหรับทดสอบความเร็วในการอัปโหลดและดาวน์โหลดข้อมูล ตั้งค่าขนาดของไฟล์ในการรับส่งข้อมูล เท่ากับ 20 MB ระยะทางที่ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสัญญาณหรือมีผลกระทบน้อย แม้จะใช้หรือไม่ใช้ตัวสะท้อนสัญญาณก็ตามในการอัปโหลดข้อมูลในระยะทางไม่เกิน 40 เมตร จะมีอัตราการอัปโหลด อยู่ที่ประมาณ 10 Mbps ถึง 12 Mbps ส่วนประสิทธิภาพการดาวน์โหลดข้อมูลในระยะทางไม่เกิน 100 เมตร ค่าที่ได้จะอยู่ระหว่างค่า 400 Mbps ถึง 550 Mbps

ในส่วนของระยะทางที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสัญญาณเมื่อใช้ตัวสะท้อนสัญญาณมาทดลองในการอัปโหลดข้อมูลในช่วงระยะทางที่ 50 เมตร ถึง 140 เมตร และในการดาวน์โหลดข้อมูลในช่วงระยะทาง 100 เมตรขึ้นไป สัญญาณที่ได้จากการไม่ใช้วัสดุสะท้อนสัญญาณจะมีสัญญาณที่อ่อนลงมาก ๆ และไม่สามารถรับสัญญาณได้ที่ระยะทาง 130 เมตรขึ้นไป ผลปรากฏว่า ที่ระยะทาง 140 เมตร วัสดุที่เพิ่มค่าการอัปโหลดมากที่สุดคือ กะละมังอะลูมิเนียม มีค่าเท่ากับ 0.945 Kbps รองมาคือ กะละมังสังกะสี มีค่าเท่ากับ 0.472 Mbps และ กระทะเหล็ก มีค่าเท่ากับ 0.247 Mbps ตามลำดับ และ วัสดุที่เพิ่มค่าการดาวน์โหลดมากที่สุด คือ กะละมังอะลูมิเนียม มีค่าเท่ากับ 184.69 Mbps รองลงมา คือ กระชอนสแตนเลส มีค่าเท่ากับ 132.37 Mbps และ กระทะเหล็ก มีค่าเท่ากับ 129.34 Mbps ตามลำดับ

2. ระบบสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

ในการทดสอบระบบสัญญาณโทรศัพท์นี้ ทางผู้วิจัยได้กำหนดมาตรฐานการทดสอบโดยให้มีสิ่งที่จะต้องเหมือนกันและทดสอบเวลาเดียวกันเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำที่สุด ลดความคลาดเคลื่อนที่มีผลแตกต่างกันในช่วงเวลาที่ต่างกัน ได้แก่ (1) ใช้โทรศัพท์มือถือ 2 เครื่องที่มียี่ห้อเดียวกัน คือ Huawei P30 pro (2) ใช้เครือข่ายเดียวกัน คือ Dtac (3) เสาสัญญาณต้นทาง คือ ที่ช่อง CELL ID ตัวเลขต้องตรงกัน ทั้ง 2 เครื่อง (4) กดเริ่มทดสอบสัญญาณพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ผลปรากฏว่า วัสดุที่สะท้อนสัญญาณย่านการทำงานของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ คือ กะละมังอะลูมิเนียม มีค่าสัญญาณเพิ่มขึ้นสูงสุด 16 เฟอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กระทะเหล็ก มีค่าสัญญาณเพิ่มขึ้นสูงสุด 14 เฟอร์เซ็นต์ และกระชอนสแตนเลส มีค่าสัญญาณเพิ่มขึ้นสูงสุด 12 เฟอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาเสารับส่งสัญญาณแบบไร้สายจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นนั้นมีความจำเป็นต่อการใช้งานที่ต้องหันหน้างานรับสัญญาณไปทางเสาสัญญาณส่งทั้งมุมกวาดและมุมก้มเงย จากการทดลองนี้พบว่าเปรียบเสมือนการอัปเดตเสาอากาศให้กับอุปกรณ์รับสัญญาณ สังเกตได้ว่าสัญญาณขึ้นมาเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความแรงของสัญญาณ เช่น การปิดบังของตึกอาคารหรือต้นไม้ การใช้งานใกล้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่น ๆ หรืออุปกรณ์แบตเตอรี่ใกล้หมด เป็นต้น ดังนั้นหากต้องการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยควรผสมผสานเทคนิคหลาย ๆ รูปแบบในการพัฒนาเสาอากาศพร้อมกับการพัฒนางจรขยายสัญญาณหรือวงจรทวนสัญญาณเข้ามารวมด้วย

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาเสารับส่งสัญญาณแบบไร้สายจากวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ และโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่อำนวยความสะดวกและอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Agbaraji, E.C., Gloria, E.N., & Uzoma, O. (2014). Cellular Mobile Signal Propagation; Effects of EIRP and Antenna Gain, *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, 5(3), 172-177.
- Balanis, C.A. (2005). *Antenna theory and design* (Ed. 3). John Willey & sons New Jersey.
- Braun, C., Nilsson, M., & Murch R.D. (2009). Measurement of the Interference Rejection Capability of Smart Antennas on Mobile Telephones. *Vehicular Technology Conference, IEEE 49 th*, Vol.2, 1068 - 1072.

- Chitranshi, R., Mehrotra, R.K., & Pancoli, P. (2014). Analysis of Cell Tower Radiation RFSafety and Practical Realization of Compliance Distance, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(4), 1-6.
- Matweb.com. (2019). *Online Materials Information Resource*. Retrieved October 12, 2019, from <http://www.matweb.com/>
- Meteorological Satellite Center of JMA. (1978). *Himawari Real-Time Image*. Retrieved June 5, 2019, from http://ds.data.jma.go.jp/mscweb/data/himawari/sat_img.php?area=se1.
- Mymobilebooster.com. (2019). *Effects of Radiation from Mobile phone under weak signal Condition*, Retrieved November 22, 2019, from <http://mymobilebooster.com/effects-of-radiation/>.
- Naji, D.K. (2013). Compact Broadband CPW-fed Taper-shaped Monopole Antenna with L-slots for C-band Applications. *Int. J. Electromagn and Applications*, 3, 136-143.
- Naveenchandra, B., Lokesh, K.N., Usha, & Gangadhara Bhat, H. (2011). Signal Strength Measurements and Coverage Estimation of Mobile Communication Network Using IRS-IC Multispectral and CARTOSAT-1 Stereo Images, *Dimensions and Directions of Geospatial Industry. Geospatial Word Forum*. Hyderabad, India.
- Satellitedish.com. (1995). *2.4 Meter Prime Focus Az/El Mount Dish Antenna*. Retrieved October 19, 2019, from <http://www.satellitedish.com/page5.htm>.
- Telcoantennas.com. (2019). *Poor Mobile Network Coverage Explained - Weak Signa*, Retrieved November 24, 2019, from <https://www.telcoantennas.com.au/site/poor-mobile-network-coverage-explained-weak-signal>.
- Utayarat, S. (2006). *Research and Development of Processing Section Baseband Digital Signal of Communication System In Ground Stations for Small multipurpose Satellites*. Kasetsart University, Bangkok. (In Thai).
- Yuan, Q., Suguro, T., Chen, Q., Sawaya, K., Kudoh, E., & Adachi, F. (2006). Performance Study of W-CDMA Adaptive Array Antennas. *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2006 IEEE, 4573 - 4576.

ความยาวส่วนทำระเหยและสารทำงานสำหรับ
การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน
Evaporation Length and the Working Fluid for
Heat Transfer Heat Pipe

วสันต์ ปินะเต^{1*} และ ดวงกมล ดังโพนทอง²

Wasan Pinate^{1*} and Duangkamol Dangphonthong²

¹สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

²สาขาวิศวกรรมระบบอาคาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

¹Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University

²Program of Building Systems Engineering, Faculty of Engineering,
Rajabhat Maha Sarakham University

*Corresponding author. E-mail: kaapplied@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงขีดจำกัดของท่อความร้อน และศึกษาผลของความยาวส่วนทำระเหย และสารทำงานต่อการถ่ายเทความร้อน ในการศึกษาที่ใช้สาร R123 เอทานอล และน้ำ เป็นสารทำงาน ส่วนชุดท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบทำจากท่อคาปิลารีทองแดงที่มีขนาดดังต่อไปนี้ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.77 มิลลิเมตร ขนาดความยาวส่วนทำระเหย 5, 10 และ 15 เซนติเมตร อัตราการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมดจำนวนโค้งเลี้ยง 10 โค้งเลี้ยง มีการให้ความร้อนส่วนทำระเหยของท่อความร้อนโดยใช้แผ่นความร้อนในส่วนควบแน่นใช้น้ำเป็นแหล่งระบายความร้อน ทำการหุ้มฉนวนอย่างดีในส่วนกันความร้อนของท่อความร้อน เมื่อเริ่มทำการทดสอบ ทำการเพิ่มความร้อนในส่วนทำระเหย และควบคุมอุณหภูมิส่วนกันความร้อนไว้ที่ 60 องศาเซลเซียสวัดค่าอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำจวนกว่าอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยจะกระโดดซึ่งจุดที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยเกิดการกระโดดนั้นจะถือว่าเป็นสภาวะวิกฤติ

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า ความยาวส่วนทำระเหยมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนภายใต้สภาวะวิกฤติ เมื่อความยาวส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้นจาก 5 เซนติเมตรเป็น 10 และ 15 เซนติเมตร ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนวิกฤติจะลดลง และสารทำงานมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติเมื่อเปลี่ยนสารทำงานจาก R123 เป็น เอทานอล และน้ำ ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนวิกฤติจะลดลง

คำสำคัญ: ท่อความร้อน การถ่ายเทความร้อน ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ

Abstract

The aims of this research are to improve the limited of oscillating heat pipe (OHP) and study the effect of evaporation length and working fluid on heat transfer. In this study, R123, ethanol and water were used as the working fluids. A set of OHP was made from copper capillary tubes with the dimensions as followed; 1.77 mm inner diameter, 5, 10 and 15 cm of evaporation lengths. 50% total volume of working addition ratio and 10 turns were used. Heat was provided to the evaporator section heating plate. The adiabatic section was properly insulated. In the test operation, heat was supplied to the evaporator section and the temperature at the adiabatic section was controlled at 60°C. Flow rate and water temperature were continually measured until critical conditions were obtained.

From the results, it was concluded that the evaporation length had an effect on rate of heat transfer of oscillating heat pipe (OHP) under critical state. When the evaporator lengths increased from 5 cm to 10 and 15 cm, the critical heat transfer was decreased. The working fluids affected on heat transfer rate under critical conditions. Changing the R123 to ethanol and water resulted in the decreasing of critical heat transfer rate.

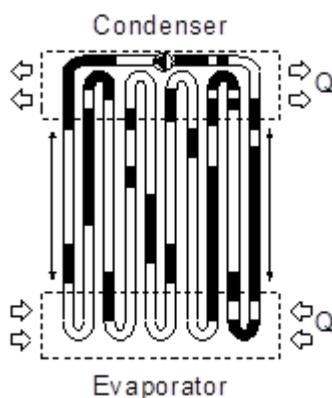
Keywords: heat pipe, heat transfer, closed-looped oscillating heat pipe

บทนำ

ท่อความร้อน คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก ทำงานโดยใช้หลักการส่งถ่ายความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงานภายในท่อซึ่งระเหยโดยการรับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนโดยการควบแน่น เนื่องจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำงานมีค่าสูงมาก จึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งโดยมีอุณหภูมิแตกต่างเล็กน้อย โดยทั่วไปแล้วท่อความร้อนจะประกอบด้วยส่วนทำระเหย (Evaporator section) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนชนิดธรรมดาที่สภาวะความร้อนสูงนั้น จะถูกจำกัดโดยแรงดันไอ (Vapor pressure) และขีดจำกัดที่เกี่ยวข้องกับค่าสมรรถนะของท่อความร้อน เช่น ขีดจำกัดคาปิลารี (Capillary limit) ซึ่งเกิดเมื่อวัสดุพรม (Wicks) ไม่สามารถนำเอาของเหลวที่เกิดจากการกลั่นตัวกลับมายังส่วนทำระเหยได้ ขีดจำกัดการ

พา (Entrainment limit) ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลที่สวนทางกัน (Counter current flow) ของไอจากส่วนทำระเหยกับของเหลวที่กลั่นตัวจากส่วนควบแน่นของท่อความร้อน และอีกปัญหาหนึ่งคือ การประยุกต์ใช้ท่อความร้อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กลงมากๆ โดยจะเห็นได้ชัดในการระบายความร้อนให้กับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์สื่อสารต่างๆ

จากปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้มีการพัฒนาสร้างท่อความร้อนชนิดใหม่ขึ้น คือ ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Akachi *et al.*, 1996) (Oscillating Heat Pipe, OHP) ดังแสดงในภาพที่ 1 OHP เป็นท่อความร้อนชนิดใหม่ที่มีการส่งถ่ายความร้อนที่แตกต่างจากท่อความร้อนแบบธรรมดา คือ จะส่งถ่ายความร้อนได้โดยการสั่นของก้อนไอ (vapor slug) โดยการสั่นจะเกิดขึ้นจากแรงขับของคลื่นแรงดันที่ไม่แน่นอนอย่างรุนแรง สาเหตุมาจากการเดือดแบบฟองและการควบแน่นของสารภายในท่อ คุณสมบัติที่สำคัญของท่อความร้อนแบบนี้คือ สามารถส่งถ่ายความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งได้อย่างรวดเร็ว อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยมีค่าสูงกว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของโลหะมาก ที่อุณหภูมิแหล่งรับและจ่ายแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำงานได้ในทุก ๆ ตำแหน่ง ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว ไม่ต้องใช้พลังงานเสริมในการใช้งาน สร้างง่ายและราคาถูก



ภาพที่ 1 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (OHP)
 ที่มา: (Akachi *et al.*, 1996)

ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งเช็ควาล์ว OHP ทำมาจากท่อคาปิลารีย์ยาว ๆ นำมาขดไปมาและเชื่อมให้เป็นวงตามภาพที่ 1 ในขดของท่อความร้อนนั้นจะติดตั้งเช็ควาล์วเอาไว้เพื่อคอยบังคับทิศทางการไหลของสารทำงานภายในท่อให้ไหลเวียนไปทางใดทางหนึ่งได้อย่างรวดเร็ว Akachi *et al.* (1996) และ Pipatpaiboon *et al.* (2005) ทำการวิจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อ

ความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับในสภาวะปกติ แต่ยังไม่มีการวิจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

ท่อนำความร้อนเทอร์ (heat pipe) เป็นอุปกรณ์ที่มีค่าการนำความร้อนที่สูงมาก โดย Gaugler R.S. เป็นคนแรกที่เสนอแนวคิดเกี่ยวกับท่อนำความร้อนในปี ค.ศ. 1942 แต่ผู้ที่ผลิตท่อนำความร้อนจนนำมาใช้งานได้จริงคือ Grover G.M. ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นในปี ค.ศ. 1960 ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา ท่อนำความร้อนก็เป็นที่รู้จักและได้รับการพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับ ท่อนำความร้อนเทอร์โมไซฟอนมักทำจากท่อโลหะ ท่อนำความร้อนได้ดี เช่น ทองแดง อลูมิเนียม เหล็ก และ Stainless Steel โดยมีฝาปิดทั้งสองข้าง ภายในบรรจุด้วยของไหลทำงานที่เหมาะสม เช่น น้ำ และสารทำความเย็น ท่อเทอร์โมไซฟอน (ภาพที่ 1) มีโครงสร้างที่สำคัญแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทำระเหย ส่วนอะเดียเบติก และส่วนควบแน่น การทำงานของท่อนำความร้อน เกิดขึ้นจากการได้รับความร้อนจากภายนอกที่ส่วนทำระเหยของไหลทำงานที่อยู่ในสภาวะของเหลวจะเดือด และเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ไอของของไหลทำงานจะพาความร้อนผ่านส่วนอะเดียเบติก (ขณะที่ผ่านส่วนอะเดียเบติกจะไม่มีกรับความร้อนหรือคายความร้อน) ระบายความร้อนออกที่ส่วนควบแน่น (Faghri, 1989)

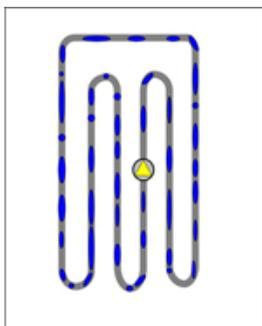
แล้วเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลว ไหลลงสู่ด้านล่าง ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นเพื่อให้ท่อความร้อนทำงานได้อย่างต่อเนื่อง จึงจำเป็นต้องจัดวางท่อนำความร้อนให้ส่วนทำระเหยอยู่ด้านบน และส่วนควบแน่นอยู่ด้านล่างบนเสมอ วิธีการส่งของเหลวจากส่วนควบแน่น กลับสู่ส่วนทำระเหย (สัมพันธ์ ฤทธิเดช, 2553) และท่อนำความร้อน สามารถถ่ายเทความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก และความแตกต่างของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ท่อนำความร้อนทำงานได้ ลักษณะเด่นอีกอย่างของท่อความร้อนคือ สร้างขึ้นได้ง่ายไม่ซับซ้อนและประหยัด แต่สามารถถ่ายเทความร้อนได้สูง ท่อนำความร้อนที่ได้รับการพัฒนามาใช้ประโยชน์ในลักษณะต่างๆ เช่น การลดความร้อนออกจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ การรักษาอุณหภูมิของยานอวกาศ ให้มีความสม่ำเสมอทุกจุด การนำความร้อนจากใต้ผิวโลกมาใช้ในการละลายหิมะ การระบายความร้อนออกจากเครื่องยนต์ และการนำความร้อนจากก๊าซที่ทิ้งนํากลับมาใช้ซ้ำได้อีก (Noie-Baghb *et al.*, 2000)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงขีดจำกัด ของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ และผลของควมยาวส่วนทำระเหยและสารทำงานที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน

1. หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่น (OHP) (Charoensawan *et al.*, 2000)

หลักการการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ มีลักษณะเป็นระบบปิด ประกอบด้วย ส่วนต่างๆดังนี้ ส่วนทำระเหย (L_e) ส่วนกั้นความร้อน (L_g) ส่วนควบแน่น (L_c) สามารถทำงานได้โดยเมื่อสารทำงานถูกบรรจุลงในท่อที่ทำมาจากท่อคาปิลารีซึ่งอยู่ในสภาวะของเหลวอิมตัวเกิดการเดือดแบบฟองและรวมตัวเป็นก้อนไอ (Vapor slug) โดยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและ

ลอยผ่านส่วนกันความร้อนไปส่วนควบแน่นซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ก้อนไอจะเกิดการควบแน่นและยุบตัวลงไปในที่สุด ดังนั้นสารทำงานที่เป็นก้อนไอจึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่อีกปลายด้านหนึ่งได้ ถ้าอุณหภูมิระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นมีค่าแตกต่างกันลักษณะการเคลื่อนตัวของก้อนไอ (Vapor slug) มีลักษณะการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวโดยตลอด เนื่องจากถูกบังคับทิศทางการไหลโดยวาล์วกันกลับ เป็นผลให้ก้อนไอสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นและความถี่ในการเคลื่อนที่ของก้อนไอจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นมีความถี่เพิ่มมากขึ้นทำให้สามารถรับและถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อความร้อนแบบสันชนิดอื่นๆ ความสามารถในการส่งถ่ายความร้อนของท่อความร้อนแบบสันวงรอบนั้น อาจขึ้นอยู่กับขนาดของท่อ ชนิดของท่อ ลักษณะการทำงาน ชนิดของสารอุณหภูมิของแหล่งรับความร้อน อุณหภูมิของส่วนระบายความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 2

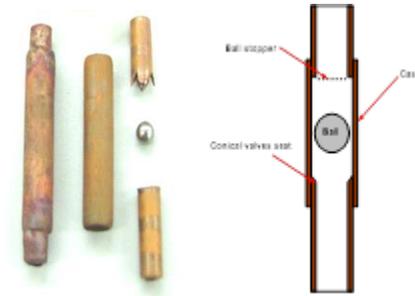


ภาพที่ 2 แสดงท่อความร้อนแบบสันวงรอบ

ที่มา: Charoensawan et al., 2000

2. วาล์วกันกลับ (Check Valves) (Pipatpaiboon et al., 2004)

วาล์วกันกลับทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของสารทำงานภายในท่อให้มีทิศทางการไหลไปในทิศทางเดียวกับวาล์วกันกลับทำจากท่อทองแดงประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนคือ ปลอกวาล์วกันกลับ (Case), Ball Stopper, Conical Valves Seat และ Ball ซึ่งมีลักษณะการทำงานคือ Ball ประกอบอยู่ภายในปลอกวาล์วกันกลับและปลอกวาล์วกันกลับถูกประกอบปิดที่ปลายทั้ง 2 ด้านด้วย Ball Stopper และ Conical Valves Seat โดย Ball Stopper ประกอบอยู่ที่ปลายส่วนด้านบนของปลอกวาล์วกันกลับทำหน้าที่หยุดการเคลื่อนที่ของ Ball และมีช่องว่างให้สารทำงานหรือฟองไอเคลื่อนที่ไหลผ่านได้และ Conical Valves Seat ประกอบที่ปลายด้านล่างของปลอกวาล์วกันกลับ มีลักษณะเป็นกรวยรองรับกับ Ball และทำหน้าที่ป้องกันการไหลย้อนกลับของสารทำงานดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วาล์วกันกลับ (Check valves)

ที่มา: Pipatpaiboon et al, 2004

3. ค่าความร้อนที่น้ำร้อนให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหย (Heat Sink)

คำนวณจากวิธี Calorimeter โดยการวัดค่าอุณหภูมิทั้งขาเข้าและขาออก จากนั้นนำมาคำนวณโดยที่ค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบ OHP หาได้จาก (Pipatpaiboon et al., 2004)

$$Q = \dot{m} c_p (T_{out} - T_{in})$$

โดยที่

Q = อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบ OHP

\dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s)

c_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำที่ความดันคงที่ (kJ/kg. °C)

$(T_{out} - T_{in})$ = อุณหภูมิของน้ำขาออก - อุณหภูมิของน้ำขาเข้าของส่วนควบแน่น

อัตราการไหลเชิงมวล หาได้จาก

$$\dot{m} = \rho VA$$

โดยที่

\dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m³)

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อที่ใช้ในการทดสอบวัดความเร็วน้ำ (m²)

V = อัตราความเร็วของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ (m/s)

4. สมมุติฐานการเกิดสภาวะวิกฤติของท่อความร้อน

เมื่อบรรจุสารทำงานเข้าไปภายในท่อความร้อน ซึ่งทำการดูดอากาศออกแล้วสารทำงานในท่อความร้อนจะทำการเรียงตัวอยู่ในลักษณะของก้อนของเหลว และฟองไอสลับกันโดยมีฟิล์มของเหลวเคลือบบางๆ ที่ผนังท่อโดยสมมุติฐานของการเกิดสภาวะวิกฤติของท่อความร้อนที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ คือ

4.1 เมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่ท่อความร้อน สารทำงานในท่อความร้อน ซึ่งอยู่ในรูปแบบฟองไอ และก้อนของเหลวจะเกิดการสั่นในแนวแกน

4.2 เมื่อให้ความร้อนแก่ท่อความร้อนเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ฟองไอจะมีความเร็วในแนวแกนสูงมาก โดยที่แนวแกนไอแต่ละฟองที่มีความเร็วในแนวแกนแตกต่างกัน จะเกิดการชนกันในบางครั้ง ฟองไอในส่วนทำระเหยอาจมีการรวมตัวกันเป็นฟองไอที่มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ยังคงเกิดการแยกออกจากกัน เนื่องจากแรงของความดันไอยังไม่สามารถเอาชนะแรงตึงผิวของฟองไอได้

4.3 เมื่อให้ความร้อนแก่ท่อความร้อนเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ แรงเนื่องจากความดันที่แตกต่างกันของฟองไอจะสูงขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงตึงผิวของฟองไอได้ ฟองไอจะรวมตัวกันเป็นฟองไอขนาดยาวจนเต็มส่วนทำระเหย ในกระบวนการนี้ฟองไอจะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปในแนวแกนได้อีกต่อไป แต่ยังคงมีฟิล์มของเหลวไหลลงมาเคลือบอยู่ที่ผิวของท่อความร้อน

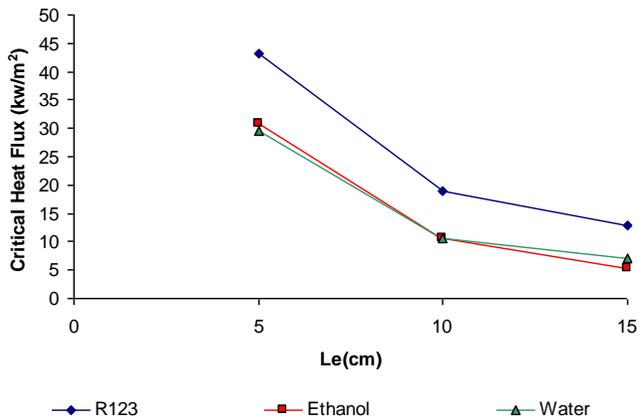
4.4 เมื่อให้ความร้อนแก่ท่อความร้อนเพิ่มขึ้นไปอีก ฟิล์มของเหลวจะเกิดการระเหยอย่างรวดเร็วและมีแรงดันไอสูง จนไอที่ระเหยนั้น มีความเร็วไอที่ผิวหน้าสูงพอที่จะไปต้านการไหลของเหลว ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การท่วม ในที่สุดฟิล์มของเหลวที่ยังค้างอยู่ในส่วนทำระเหย จะเกิดการระเหยไปจนหมดและท่อความร้อนเกิดการแห้ง

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบ OHP ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวแปรด้วยกันเช่น อัตราการเติมสารทำงาน มุมเอียง ชนิดของสารทำงาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ความยาวส่วนทำระเหย จำนวนโค้งเลี้ยว อุณหภูมิการทำงาน และ อัตราส่วนวาล์วกันกลับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะได้อธิบายถึงเฉพาะ ความยาวส่วนทำระเหย และชนิดของสารทำงานที่มีต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่ซีดจำกัด ของท่อความร้อนแบบ OHP ซึ่งอธิบายดังต่อไปนี้

1. ผลของความยาวส่วนทำระเหยที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ซีดจำกัด ของท่อความร้อนแบบ OHP

จากการกราฟพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อความยาวของส่วนทำระเหยเพิ่มขึ้น สำหรับ R123 จะมีอัตราการถ่ายเทความร้อน 45.40 kW 13.14 kW และ 6.29 kW เมื่อความยาวของส่วนทำระเหยมีขนาด 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร และ 15 เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับเอทานอลจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อน 34.74 kW 9.19 kW และ 5.60 kW ตามลำดับ เมื่อความยาวของส่วนทำระเหยมีขนาด 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร และ 15 เซนติเมตร และสำหรับน้ำจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อน 32.54 kW 9.61 kW และ 5.33 kW ตามลำดับ เมื่อความยาวของส่วนทำระเหยมีขนาด 5 เซนติเมตร 10 เซนติเมตร และ 15 เซนติเมตร ตามลำดับ

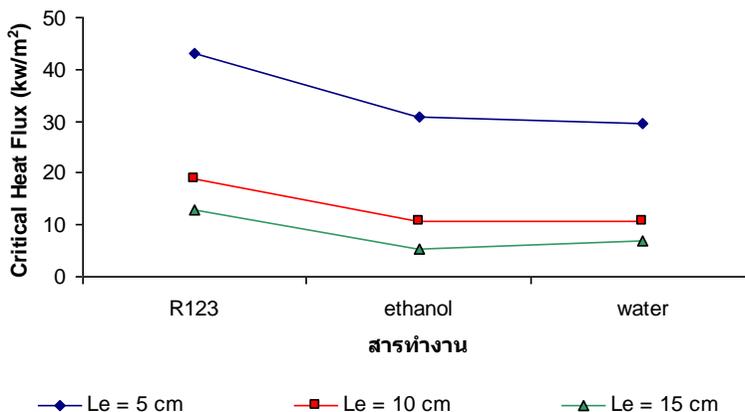


ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของความยาวส่วนทำระเหย และอัตราการถ่ายเทความร้อน

2. ผลของสารทำงานที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่ขีดจำกัด ของท่อความร้อนแบบ OHP

จากกราฟพบว่าปริมาณความร้อนที่ของสารทำงานกับความยาวของส่วนทำระเหยจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารทำงาน ซึ่งคุณสมบัติของสารทำงานจะแตกต่างกัน ดังนั้นสรุปได้ว่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงจะขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิของสารทำงานและค่าความร้อนแฝงที่ต่ำ และจุดเดือดที่ต่ำ ทำให้สารทำงานภายในท่อความร้อนเกิดการเดือดได้ดีส่งผลให้เกิดฟองไอที่มากตามและฟองไอที่เกิดขึ้นเองนี้เองจะเป็นตัวรับความร้อนจากส่วนทำระเหยไปถ่ายเทยังส่วนควบแน่น จากกราฟจะเห็นว่าที่ความยาวของส่วนทำระเหย 5 เซนติเมตร R123 จะมีการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติที่ดี 45.40 kW เอทานอลจะมีการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า R123 ซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติประมาณ 34.74 kW และน้ำจะมีการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าทั้งสองสารซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติประมาณ 32.54 kW สำหรับที่ความยาวของส่วนทำระเหย 10 เซนติเมตร R123 จะมีการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติที่ดี 19.00 kW น้ำจะมีการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า R123 ซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติประมาณ 11.00 kW และเอทานอลจะมีการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า R123 ซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติประมาณ 10.00 kW เนื่องจากความดันส่วนทำระเหยของน้ำมากกว่าเอทานอล โดยขึ้น อยู่กับอุณหภูมิของส่วนทำระเหยและจุดเดือดของสารทำงานแต่ละชนิดและที่ความยาวของส่วนทำระเหย 15 เซนติเมตร R123 จะมีการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติที่ดี 13.40 kW เอทานอลจะมีการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า R123 ซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติประมาณ 5.60 kW และน้ำจะมีการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าทั้งสองสารซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติประมาณ 5.33 kW เนื่องจากจุดเดือดของสารทำงานแต่ละชนิดแตกต่างกันทำให้มีอัตรา

การถ่ายเทความร้อนที่สภาวะวิกฤติที่แตกต่างกัน และถ้าสารทำงานต่างชนิดกันค่าความร้อนแฝงจะไม่เท่ากันทำให้มีการถ่ายเทความร้อนไม่เท่ากันฟองไอที่มากตามฟองไอที่เกิดขึ้นนี้เองจะเป็นตัวรับความร้อนจากส่วนทำระเหยไปถ่ายเทยังส่วนควบแน่น



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนของสารทำงานภายในท่อความร้อนกับความยาวส่วนทำระเหยของท่อความร้อน

สรุปผลและเสนอแนะ

1. ผลของความยาวส่วนทำระเหยต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่ขีดจำกัด ของท่อความร้อนแบบ OHP

ที่ความยาวรวมค่าหนึ่งๆ ขนาดความยาวของส่วนทำระเหย ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียง 90 องศาโดยความยาวของส่วนทำระเหย 5 เซนติเมตรจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด รองลงมาคือ 10 เซนติเมตร และ 15 เซนติเมตร ที่เป็นเช่นนี้เพราะยิ่งค่าความยาวของส่วนระเหยน้อยลงเท่าใด ระยะทางระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นก็จะน้อยลงเท่านั้น เป็นผลให้ก้อนไอที่ทำหน้าที่พาความร้อนจากส่วนทำระเหย สามารถเคลื่อนไปสู่ส่วนควบแน่นได้โดยง่าย เนื่องจากมีแรงเสียดทานน้อยลงจึงให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น

2. ผลของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ ขีดจำกัด ของท่อความร้อนแบบ OHP ของสารทำงานต่อความยาวส่วนทำระเหย ของท่อความร้อน ที่มีผลต่อขีดจำกัดสมรรถนะของท่อความร้อน OHP

เอทานอลจะมีการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า R123 ซึ่งค่าถ่ายเทความร้อนมาก และน้ำจะมีการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าสารทั้งสองสาร เนื่องจากจุดเดือดของสารทำงานมีจุดเดือดที่ต่างกัน

ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน และถ้าสารทำงานต่างชนิดกันค่าความร้อนแฝงจะไม่เท่ากันทำให้มีการถ่ายเทความร้อนไม่เท่ากัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการกลาง สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยและขอขอบคุณห้องวิจัยต่อความร้อน สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- สัมพันธ์ ฤทธิเดช. (2553). *เทคโนโลยีต่อความร้อน*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- Akachi, H., Polasek, F., & Stulc, P. (1996). Pulsating Heat Pipe. In *Proceeding of the 5 th International Heat Pipe Symposium* (pp. 208-217). Australia.
- Charoensawan, P., Terdtoon, P., Tantakom, P., Ingsuwan P., & Groll, M. (2000). Effect of Inclination Angles, Filling Ratios and Total Lengths on Heat Transfer Characteristic of a Closed-Loop Oscillating Heat Pipe. In *Proceedings of the 6th International Heat Pipe Symposium* (pp. 422-430). Thailand.
- Faghri, A., Chen, M.M., & Morgan, M. (1989). "Heat transfer in two phase closed conventional and concentric annular thermosiphon. *Jouranal of Heat Mass Transfer*, 111, 611-618.
- Noie-Baghban, S.H., & Majideian, G.R. (2000). Waste Heat Recovery using Heat Pipe Heat Exchanger for Heating for Hospital. *Applied Themal Engineering*, 20(14), 1271-1282.
- Pipatpaiboon, N., Rittidech, S., Sukna, P., & Suddee, T. (2004). Effect of Inclinations Angles and Number of Check Valves on Heat Transfer Characteristics of a Closed-Looped Oscillating Heat Pipe with Check Valves. In *Proceeding of the 1th International Seminar on Heat Pipes and Heat Recovery Systems* (pp. 83-86). Malaysia.

การศึกษาปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น
ปริมาณคลอโรฟิลล์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ
ของใบกัญชา (*Cannabis sativa* L.)

Study Amount of Organic Fertilizer on Growth, Chlorophyll
Content and Antioxidant Activity of Cannabis Leaves
(*Cannabis sativa* L.)

กษิด์เดช อ่อนศรี*, กัญตนา หลอดทองกลาง, เกศินี ศรีปฐมกุล และ อรพรรณ หัสรังค์
Kasideth Onsri*, Kantana Lodthonglang, Kesinee Sripathomkul
and Orapan Hussarang

คณะนวัตกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยรังสิต

Faculty of Agricultural Innovation, Rangsit University

*Corresponding author. E-mail: kasideth.o@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

กัญชาเป็นพืชสมุนไพรหนึ่งที่ได้รับการยอมรับทางการรักษาทั้งจากต่างประเทศและประเทศไทย เนื่องจากกัญชามีสารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อการรักษา และหนึ่งความสำคัญของกัญชาคือการผลิตต้านอนุมูลอิสระ โดยฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระนั้นมีความผันแปรไปตามปริมาณธาตุอาหารที่พืชได้รับการศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาถึงปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น ปริมาณคลอโรฟิลล์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในใบของกัญชา โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) ทำการเปรียบเทียบ 5 ปัจจัย ได้แก่ปุ๋ยเคมีปริมาณ 8 กรัมไนโตรเจนต่อต้น (Control) และปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณต่างกัน ได้แก่ 8, 16, 24 และ 32 กรัมไนโตรเจนต่อต้น จากผลการทดลองพบว่าการเจริญเติบโตทางลำต้นของกัญชามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการให้ปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณ 32 และ 24 กรัมไนโตรเจนต่อต้น และปุ๋ยเคมี 8 กรัมไนโตรเจนต่อต้น (Control) ทำให้ต้นกัญชามีการเจริญเติบโตทางลำต้นมากที่สุดไม่แตกต่างกัน แต่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบกัญชา ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระพบว่าความสามารถในการกวาดล้างอนุมูลอิสระได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปัจจัยที่มีการให้ปุ๋ยอินทรีย์ 8 กรัมไนโตรเจนต่อต้น มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น ๆ ที่

ความสามารถในการกวาดล้างอนุมูลอิสระสูงสุดเท่ากัน ดังนั้นหากพิจารณาการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในกรปลูก
กัญชา การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่ 24 กรัมไนโตรเจน/ต้น เป็นปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้

คำสำคัญ: กัญชา ปุ๋ยอินทรีย์ การเจริญเติบโต คลอโรฟิลล์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

Cannabis is an herb that is accepted for medical use in many countries and Thailand, because of its active ingredient. One benefit of cannabis is antioxidant activity. The antioxidant activity is varied by plant nutrition that cannabis is absorbed. This experiment aimed to study the amount of organic fertilizer on growth, chlorophyll content and antioxidant activity of cannabis leaves. It was designed by Completely Randomized Design (CRD) in 5 treatments such as 8 g N/plant of chemical fertilizer and different of organic fertilizer (8, 16, 24 and 32 g N/plant). The experiment showed that the growth of cannabis was significantly different. By applying organic fertilizer at 32 and 24 g N/plant and chemical fertilizer at 8 g N/plant (Control), the cannabis had the highest growth rate non-difference. However, there was no significantly different of chlorophyll content in cannabis leaves. The antioxidant activity showed that the free radical scavenging activity was significantly different. The factor of organic fertilizer 8 g N/plant showed the lowest antioxidant capacity compared to other factors at the same highest free radical scavenging capacity. Therefore, if considering the use of organic fertilizers in cannabis cultivation, organic fertilizer application at 24 g N/plant is the most suitable factor to use.

Keywords: Cannabis, Organic fertilizer, Growth, Chlorophyll, Antioxidant activity

บทนำ

กัญชา ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cannabis sativa* L. จัดเป็นพืชในวงศ์ Cannabaceae เป็นพืชล้มลุก มีอายุเพียงปีเดียวและเป็นพืชตั้งเดิมที่ขึ้นอยู่ในเขตอบอุ่นของทวีปเอเชียมีลักษณะใบแยกออกเป็นแฉก ลักษณะใบเป็นพินเลื่อย ลำต้นมีสีเขียวสูง 1-6 เมตร ดอกกัญชามี 2 ชนิด ได้แก่ชนิดที่มีดอกเพศผู้และเพศเมียอยู่ด้วยกันในต้นเดียวกัน และชนิดที่เพศผู้และเพศเมียแยกกันอยู่คนละต้น เมล็ดมีลักษณะเป็นรูปไข่ผิวเรียบ (ประภัสสร ทิพย์รัตน์, ม.ป.ป) กัญชามีสารสำคัญทางการแพทย์ที่อยู่ในกลุ่มแคนนาบินอยด์ (Cannabinoid) เช่น THC, CBD และ CBN (สุวรรณภา อรุณพงศ์ไพศาล และคณะ, 2562)

นอกจากสารสำคัญที่อยู่ในกลุ่มแคนนาบินอยด์ดังกล่าว กัญชายังมีสารต้านอนุมูลอิสระเช่นเดียวกับที่พบในพืชสมุนไพรทั่วไป

กัญชามีสรรพคุณในการรักษาและบรรเทาอาการของโรคได้หลากหลาย เช่น ใบของกัญชาสามารถบรรเทาอาการโรคหอบหืดเนื่องจากมีคุณสมบัติช่วยขยายหลอดลม ลดการหดตัวของหลอดลมได้ ตัวดอกสามารถบำบัดอาการของโรคมะเร็งเนื่องจากช่วยลดอาการคลื่นไส้อาเจียนในผู้ป่วยที่รับเคมีบำบัด และช่วยเพิ่มความอยากอาหาร (อารีญา กฤดาตระกูล, 2561) สำหรับสารสำคัญของกัญชาในกลุ่มแคนนาบินอยด์ ที่เป็นที่ทราบในการนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เช่น เตตราไฮโดรแคนนาบินอล (Delta-9-tetrahydrocannabinol ; Δ 9-THC) มีคุณสมบัติทำให้เคลิบเคลิ้มผ่อนคลายลดอาการวิตกกังวลและรู้สึกเป็นสุข แต่อาจมีอาการกระวนกระวาย เดินเซ หรือเห็นภาพหลอนหากใช้ในปริมาณที่เหมาะสม สำหรับสารแคนนาบิดิออล (Cannabidiol; CBD) มีฤทธิ์ช่วยลดอาการอักเสบและลดอาการปวดในระบบประสาท (สุวรรณา อรุณพงศ์ไพศาล และคณะ, 2562) และสารแคนนาบินอล (Cannabinol ; CBN) เป็นสารที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสาร Δ 9-THC ซึ่งสาร CBN มีฤทธิ์ช่วยให้นอนหลับได้ และสามารถใช้ร่วมกับสาร THC ส่งผลออกฤทธิ์ให้นอนหลับดีขึ้น จากผลของฤทธิ์ดังกล่าว จึงได้มีการนำมาใช้รักษาทางการแพทย์ นอกจากสารแคนนาบินอยด์ดังกล่าวแล้ว กัญชาซึ่งเป็นพืชชนิดหนึ่งที่ถือว่าเป็นพืชสมุนไพร (ผู้จัดการรายวัน 360, 2562) ซึ่งมักมีสารออกฤทธิ์ที่สามารถต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ได้ (Gruschow, 2020) จึงนิยมนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม (อเนก ทาลี และ บุญยกฤต รัตนพันธุ์, 2560) ทั้งนี้สารต้านอนุมูลอิสระจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระโดยเป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระกลายเป็นสารที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย (วิไลวรรณ แทนธานี, 2550)

ในการปลูกพืชทั่วไปมักมีการเพิ่มปริมาณของธาตุอาหารให้กับต้น เพื่อการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้ปุ๋ยเคมีเนื่องจากพืชสามารถดูดและเจริญเติบโตได้รวดเร็ว แต่การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องทำให้โครงสร้างของดินมีปัญหา ปุ๋ยเคมีกลุ่มของปุ๋ยไนโตรเจนกลุ่มแอมโมเนียม เช่น แอมโมเนียซัลเฟต และ ยูเรีย เมื่อใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ดินเป็นกรด (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, 2564) ซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช ด้วยเหตุนี้ปัจจุบันจึงมีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น จากงานวิจัยของ Sereme et al. (2016) ที่ทำการศึกษาลักษณะของปุ๋ยอินทรีย์ (Organic fertilizer) และปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาติ (Mineral fertilizer) ต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกรวมในมะเขือเทศพันธุ์ Mongal F1 พบว่าทั้งการให้ปุ๋ยอินทรีย์และเคมีมีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผลมะเขือเทศที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับไม่ใส่ปุ๋ย และเมื่อนำมาเปรียบเทียบระหว่างชนิดของปุ๋ยจะพบว่า การให้ปุ๋ยอินทรีย์มีผลทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในมะเขือเทศดีกว่าการให้ปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องจากในปุ๋ยอินทรีย์นั้นนอกจากมีปริมาณธาตุอาหารหลักยังมีความหลากหลายทางด้านธาตุอาหารรองร่วมด้วย และการศึกษาของ

Upadhyaya *et al.* (2011) ที่ได้ทดลองปลูกฟ้าทะลายโจรด้วยระบบอินทรีย์ โดยใช้ปุ๋ยมูลวัว ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยมูลไส้เดือน โดยไม่ผสมปุ๋ยเคมีหรือธาตุอาหารอื่นเพิ่มเติม พบว่าปุ๋ยมูลวัวทำให้ฟ้าทะลายโจรมีปริมาณสารฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด รองลงมาคือปุ๋ยหมัก และปุ๋ยมูลไส้เดือน ตามลำดับ และยังพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารฟีนอลิกรวมกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของฟ้าทะลายโจรที่ปลูกปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ด้วยว่าเมื่อปริมาณสารฟีนอลรวมมากขึ้นทำให้การกำจัดสารอนุมูลอิสระ มีศักยภาพมากขึ้น

จากงานวิจัยดังกล่าว การเลือกใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ควรศึกษาเนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุและเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเลือกปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนเป็นปุ๋ยหลักในการทำวิจัยซึ่งปัจจุบันสามารถทำได้เองหรือหาซื้อได้ง่าย ทำการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนที่จะมีผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในใบของกัญชา

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมต้นพันธุ์สำหรับการทดลอง

ต้นกัญชาในการทดลองเป็นต้นพันธุ์กัญชาจากการเพาะเมล็ดพันธุ์ RSU001 ที่ผลิตจากสถานีวิจัยกัญชาทางการแพทย์ของมหาวิทยาลัยรังสิต คณะวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยรังสิต ที่คลุมด้วยตาข่ายพรางแสง 50% หลังจากเมล็ดตงอกจากการเพาะเมล็ด ทำการอนุบาลต้นกล้าให้มีอายุ 2 เดือน ก่อนนำลงปลูกในกระถางขนาด 20 นิ้ว โดยใช้วัสดุปลูกเป็นขุยมะพร้าวผสมขี้เถ้าแกลบ ในอัตราส่วน 2 : 2 ทำการให้น้ำปริมาณ 500-1500 มิลลิลิตรต่อวัน โดยจัดการศัตรูพืชโดยการพ่นน้ำส้มควันไม้ ทุกสัปดาห์

การวิเคราะห์ธาตุอาหารปุ๋ยอินทรีย์ก่อนการทดลอง

ปุ๋ยอินทรีย์ที่เลือกใช้คือปุ๋ยหมักมูลไส้เดือน พบว่ามีปริมาณของธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) เท่ากับ 1.35 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (P) เท่ากับ 1.71 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (K) เท่ากับ 0.637 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าหากต้องการให้ปริมาณไนโตรเจนแก่ต้นพืชที่ 8, 16, 24 และ 32 กรัมไนโตรเจนต่อต้น (g N/ต้น) จะต้องให้ปุ๋ยอินทรีย์แก่ต้นกัญชาที่ปริมาณ 590, 1,180, 1,771 และ 2,361 กรัมต่อต้นตามลำดับ

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) ประกอบไปด้วย 5 สิ่งทดลอง ได้แก่ ปุ๋ยเคมี 8 กรัมไนโตรเจนต่อต้น (g N.; Control) และปุ๋ยอินทรีย์ที่ปริมาณไนโตรเจนต่างกัน ได้แก่ 8, 16, 24 และ 32 กรัมไนโตรเจนต่อต้น (g N.; Tr1, Tr2, Tr3, Tr4 ตามลำดับ) สิ่งทดลองละ 10 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น โดยทำการให้ปุ๋ยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลจากการบันทึกการเจริญเติบโต และข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจะนำมาทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Duncan's multiple range test

การบันทึกข้อมูล

ทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้นทุกสัปดาห์ ได้แก่ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และเมื่อต้นกัญชามีอายุครบ 2 เดือนจึงทำการเก็บตัวอย่างใบเพื่อนำไปวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ (Predner *et al.*, 2008)

การสกัดตัวอย่างพืช

นำตัวอย่างพืชมาสกัดด้วยเอทานอลในอัตราส่วน 1:1 (น้ำหนัก/ปริมาตร) เขย่าตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องและเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นจึงนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 รอบ/วินาที จากนั้นจึงนำส่วนใสไปทำการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม

การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม โดยดัดแปลงตามวิธีการของ Rakesh (2009) โดยนำสารสกัดไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 470, 644 และ 649 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์รวม ดังสมการ

$$\text{Chlorophyll A} = (13.36 \times A_{664}) - (5.19 \times A_{649}) \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll B} = (27.43 \times A_{649}) - (8.12 \times A_{664}) \quad (2)$$

$$\text{Total Chlorophyll} = \text{Chlorophyll A} + \text{Chlorophyll B} \quad (3)$$

A_{649} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ 649 นาโนเมตร

A_{664} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดที่ 664 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ดัดแปลงตามวิธีการของ Predner *et al.* (2008) โดยเจือจางสารละลายใบกัญชาที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยเอทานอล (Ethanol) จากนั้นนำสารสกัดปริมาตร 0.5 มิลลิลิตรผสมกับสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ผสมสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 20 นาที นำสารสกัดที่เตรียมได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณเปอร์เซ็นต์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยสมการ

$$\text{ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ} = [(A_{517\text{blank}} - A_{517\text{sample}}) / A_{517\text{blank}}] \times 100 \quad (4)$$

$A_{517\text{blank}}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร DPPH ที่มีความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

$A_{517\text{sample}}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดผสมกับสาร DPPH ที่มีความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตของกัญชา

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกัญชาต่อปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยอินทรีย์พบว่า การเจริญเติบโตของต้นกัญชาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น โดยต้นกัญชาที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ 32 (Tr4) และ 24 (Tr3) กรัมไนโตรเจน/ต้น และต้นควบคุมที่มีการให้ปุ๋ยเคมี 8 กรัมไนโตรเจน/ต้น (Control) มีการเจริญเติบโตมากที่สุดไม่แตกต่างกัน มีความสูงของต้น 56.18, 49.00 และ 48.40 เซนติเมตร ตามลำดับ ความกว้างทรงพุ่ม 51.78, 50.50 และ 51.50 เซนติเมตร ตามลำดับ และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 0.55 0.55 และ 0.58 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนต้นกัญชาที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ 16 (Tr2) และ 8 (Tr1) กรัมไนโตรเจน/ต้น พบว่ามีความกว้างทรงพุ่มและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นน้อยที่สุดไม่แตกต่างกัน แต่การให้ปุ๋ยอินทรีย์ 16 กรัมไนโตรเจน/ต้น (Tr2) ทำให้ต้นกัญชามีความสูงมากกว่าการปุ๋ยอินทรีย์ 8 กรัมไนโตรเจน/ต้น (Tr1) จากแนวโน้มการเจริญเติบโตจะเห็นว่า การให้ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วนของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตของต้นกัญชาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเทียบต้นกัญชาที่ได้รับปุ๋ยเคมี 8 กรัมไนโตรเจน/ต้น (Control) กับปุ๋ยอินทรีย์ 8 กรัมไนโตรเจน/ต้น (Tr1) ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนที่เท่ากันนั้น พบว่าต้นกัญชาที่ได้รับปุ๋ยเคมีมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของพัชร์เพ็ญ ภูมิพันธ์ และคณะ (2559) พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีให้กับข้าวพันธุ์สุวรรณบุรี 1 ทำให้มีการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตมากกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เมื่ออัตราส่วนของธาตุไนโตรเจนของปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยเคมีเป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคมีก็เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว พืชจึงสามารถดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีได้ทันทีในขณะที่ อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์จะเป็นไปอย่างช้า ๆ เนื่องจากธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในรูปโมเลกุลที่ใหญ่กว่า เช่น สารประกอบประเภทโปรตีน เป็นต้น ดังนั้นพืชจะไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดินก่อนจึงจะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้ (Choi *et al.*, 2003) ทำให้อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในปุ๋ยอินทรีย์เกิดขึ้นช้ากว่าปุ๋ยเคมี (อำนาจ สุวรรณฤทธิ์, 2548)

ผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบกล้วย

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ ทั้งคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์รวมพบว่า ต้นกล้วยที่ได้รับปุ๋ยในทุกรวมวิธีนั้นทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์รวม มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณสัดส่วนไนโตรเจนที่ให้กับต้นกล้วยในแต่ละกรรมวิธีนั้นยังไม่แตกต่างกันจนทำให้ต้นกล้วยมีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน แต่หากพิจารณาจากตารางที่ 2 พบว่าต้นกล้วยที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณไนโตรเจนที่ต่างกัน โดยสัดส่วนไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นทำให้ต้นกล้วยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างโมเลกุลคลอโรฟิลล์ ใบจึงมีสีเขียวเข้ม ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงสูงขึ้น (Bobadi & Van Damme, 2003) ซึ่งส่งผลต่อการสะสมอาหารของพืชทำให้ต้นกล้วยเจริญเติบโตขึ้นด้วย แต่เมื่อเปรียบเทียบชนิดของปุ๋ยเคมีกับปุ๋ยอินทรีย์ ที่มีสัดส่วนของไนโตรเจนที่เท่ากัน พบว่าต้นกล้วยที่ได้รับปุ๋ยเคมีนั้นแสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มากกว่าซึ่งเป็นผลจากประสิทธิภาพของการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช (Choi *et al.*, 2003; อานาจ สุวรรณฤทธิ์, 2548) ที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อการเจริญเติบโตของกล้วย

ผลของปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแสดงเป็นค่า EC50 ในหน่วยกรัมต่อลิตร โดยค่าที่มีจำนวนน้อยแสดงถึงความสามารถกวาดล้างอนุมูลอิสระที่ดีกว่า ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าต้นกล้วยที่ได้รับปุ๋ยในแต่ละกรรมวิธีมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นกล้วยที่ได้รับปุ๋ยเคมี (Control) ปุ๋ยอินทรีย์ 16, 24 และ 32 กรัมไนโตรเจน/ต้น (Tr2, Tr3 และ Tr4) มีความสามารถในการกวาดล้างอนุมูลอิสระมากที่สุดไม่แตกต่างกัน โดยมีค่า EC50 เท่ากับ 2.99, 3.50, 2.76, 2.87 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และต้นกล้วยที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ 8 กรัมไนโตรเจน/ต้น (Tr1) มีความสามารถในการกวาดล้างอนุมูลอิสระต่ำที่สุด โดยมีค่า EC50 เท่ากับ 6.01 กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ahmad *et al.* (2022) ที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนทำให้ข้าวฟ่างมีกิจกรรมของ Superoxide dismutase (SOD) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีความสามารถในการต่อต้านอนุมูลอิสระ รวมทั้งเอนไซม์ catalase (CAT) และเอนไซม์ peroxidase (POD) เพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่ไม่เพียงพอหรือมากเกินไปทำให้พืชเกิดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Yañez-Mansilla *et al.*, 2015) เกิดกระบวนการผลิต Reactive oxygen species (ROS) และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นในพืช (Kong *et al.*, 2017)

ตารางที่ 1 Effect of organic fertilizers on growth of *Cannabis sativa* L.

Treatment	Height (cm.)	Width (cm.)	Stem (cm.)
Control	48.40 ± 4.41 ab	51.50 ± 3.09 a	0.58 ± 0.05 a
Tr1	34.68 ± 7.89 c	34.33 ± 7.22 b	0.45 ± 0.06 b
Tr2	37.48 ± 5.50 bc	30.68 ± 6.43 b	0.45 ± 0.06 b
Tr3	49.00 ± 7.37 ab	50.70 ± 4.34 a	0.55 ± 0.06 a
Tr4	56.18 ± 14.34 a	51.78 ± 6.75 a	0.55 ± 0.06 a
F-test	**	**	**
C.V.(%)	19.67	31.78	11.92

** = Statistically significant difference at $P > 0.05$

Control = 8 g N/plant of chemical fertilizer, Tr1 = 8 g N/plant of organic fertilizer, Tr2 = 16 g N/plant of organic fertilizer, Tr3 = 24 g N/plant of organic fertilizer, Tr4 = 32 g N/plant of organic fertilizer

ตารางที่ 2 Effect of organic fertilizer on Chlorophyll a, Chlorophyll b and Total chlorophyll

Treatment	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll
Control	2.41 ± 0.79	0.79 ± 0.31	3.20 ± 1.10
Tr1	1.63 ± 0.07	0.52 ± 0.01	2.14 ± 0.07
Tr2	1.85 ± 0.35	0.66 ± 0.16	2.51 ± 0.50
Tr3	1.75 ± 0.73	0.63 ± 0.22	2.37 ± 0.96
Tr4	2.01 ± 0.29	0.67 ± 0.10	2.68 ± 0.38
F-test	n.s.	n.s.	n.s.
C.V.(%)	15.66	14.77	15.47

n.s. = No significant difference at $P > 0.05$

Control = 8 g N/plant of chemical fertilizer, Tr1 = 8 g N/plant of organic fertilizer, Tr2 = 16 g N/plant of organic fertilizer, Tr3 = 24 g N/plant of organic fertilizer, Tr4 = 32 g N/plant of organic fertilizer

ตารางที่ 3 Effect of organic fertilizer on Antioxidant activity

Treatment	EC50 (g/l)
Control	2.99 ± 0.65 a
Tr1	6.01 ± 2.32 b
Tr2	3.50 ± 0.82 a
Tr3	2.76 ± 0.29 a
Tr4	2.87 ± 0.56 a
F-test	**
C.V.(%)	37.58

** = Statistically significant difference at P>0.05

Control = 8 g N/plant of chemical fertilizer, Tr1 = 8 g N/plant of organic fertilizer, Tr2 = 16 g N/plant of organic fertilizer, Tr3 = 24 g N/plant of organic fertilizer, Tr4 = 32 g N/plant of organic fertilizer

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 24 กรัมไนโตรเจน/ต้น เป็นปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้ในการปลูกกล้วยา แม้ว่าผลการทดลองจะไม่แตกต่างกันระหว่างกรรมวิธีควบคุมซึ่งเป็นการให้ปุ๋ยเคมี 8 กรัมไนโตรเจน/ต้น และการให้ปุ๋ยอินทรีย์ 24 และ 32 กรัมไนโตรเจน/ต้น ทั้งการเจริญเติบโตและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะต้องใช้อัตราส่วนของไนโตรเจนที่มากกว่าปุ๋ยเคมีในการกระตุ้นการเจริญเติบโตและการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ แต่คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์จะมีส่วนปรับปรุงโครงสร้างดินที่ใช้ปลูกกล้วยาให้มีความร่วนซุย ซึ่งถือว่าเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกล้วยาในวัสดุปลูกหรือปลูกซ้ำในพื้นที่เดิมเป็นเวลานาน

เอกสารอ้างอิง

ประภัสสร ทิพย์รัตน์. (ม.ป.ป). *พืชกล้วยา*. ความรู้ทั่วไปและการตรวจสอบสารสำคัญ.

<https://www.oncb.go.th/>

ผู้จัดการรายวัน 360. (2562). *ครั้งแรกของการวิจัย ว.เกสซ์ ม.รังสิต ค้นพบ CBN จากกล้วยา*

<https://dSPACE.rmutk.ac.th/>

พัทตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์, สมชาย ชดตระการ, วรภัทร ลัดคนทิงวงศ์, ชวินทร์ ปลื้มเจริญ, ภริญา ชมพูผิว, และ อรประภา เทพ ศิลปวิสุทธิ์. (2559). การเปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ คุณภาพสูงต่อคุณภาพข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 753-765.

- พัชรีย์ สิริตรระกูลศักดิ์ และสกุลกานต์ สิมลา. (2559). อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นชมพูจันทร์. *แก่นเกษตร*, 43(1), 870-874.
- วิไลวรรณ แทนธานี. (2550). *การใช้สารต้านอนุมูลอิสระจากรำข้าวเหนียวเก่า (Oryza sativa L.) เพื่อยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน และเพิ่มสมรรถภาพการผลิตลูกสุกรหลังหย่านม* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สรสิทธิ์ วัชรโยธาน. (2564). ‘ปุ๋ยเคมี’ ทำให้ดินเสีย...ดินเป็นกรด จริงหรือไม่?!.
<https://www.technologychaoban.com/>
- สุวรรณา อรุณพงศ์ไพศาล และคณะ. (2562). *การใช้สารสกัดกัญชาสำหรับผู้ป่วยที่มีปัญหาสุขภาพจิต*.
<https://tmc.or.th/pdf/fact/C02-141062.pdf>
- อนงก ทาลี และ บุญยกฤต รัตน์พันธุ์. (2560). การศึกษาประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระจากพืชผักสมุนไพรพื้นบ้าน 15 ชนิด. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*, 40(1), 283-293.
- อารีญา กฤดาตระกูล. (2561). *การศึกษาการใช้พืชกัญชาทางด้านการแพทย์ของสหพันธรัฐรัสเซียและประเทศไทย* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อำนาจ สุวรรณฤทธิ. (2548). *ปุ๋ยกับการเกษตร และสิ่งแวดล้อม*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 156 น.
- Ahmad, I., Zhu, G., Zhou, G., Song, X., Hussein Ibrahim, M.E., & Ibrahim Salih, E.G. (2022). Effect of N on Growth, Antioxidant Capacity, and Chlorophyll Content of Sorghum. *Agronomy*, 12(2), 501.
- Bobadi, S., & Van Damme, P. (2003). Effect of nitrogen application on flowering and yield of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Communications in agricultural and applied biological sciences*, 68(1), 5-13.
- Choi, W.J., Ro, H.M., & Hobbie, E. A. (2003). Patterns of natural ^{15}N in soils and plants from chemically and organically fertilized uplands. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(11), 1493-1500.
- Gruschow, A. (2020). *A Comparison of Antioxidant Potential, Total Phenolic Content, and Cannabidiol (CBD) Content of Cannabis Infused Hemp, MCT and Olive Oils* [Master's thesis]. Montclair State University.
- Kong, L., Xie, Y., Hu, L., Si, J., & Wang, Z. (2017). Excessive nitrogen application dampens antioxidant capacity and grain filling in wheat as revealed by metabolic and physiological analyses. *Scientific Reports*, 7(1), 1-14.

- Predner, D., Hsieh, P.Ch., Lai, P.Y., & Charles, A.L. (2008). Evaluation of drying methods on antioxidant activity, total phenolic and total carotenoid contents of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) var. Tainong73. *Journal of International Cooperation*, 3(2), 73-86.
- Sereme, A., Dabire, C., Koala, M., Somda, M.K., & Traor, A.S. (2016). Influence of Organic and Mineral Fertilizers on the Antioxidants and Total Phenolic Compounds Level in Tomato (*Solanum lycopersicum*) Var. Mongal F1. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4(4), 414-420.
- Upadhyaya, S., Mahanta, J.J., & Saikia, L.R. (2011). Antioxidant activity, phenol and flavonoid content of a medicinal herb *Andrographis paniculata* (Burm. F.) needs grown using different organic manures. *Journal of Pharmacy Research*, 4(3), 614-616.
- Yañez-Mansilla, E., Cartes, P., Reyes-Díaz, M., Ribera-Fonseca, A., Rengel, Z., & Alberdi, M. (2015). Leaf nitrogen thresholds ensuring high antioxidant features of *Vaccinium corymbosum* cultivars. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(3), 574-586.

อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส

ต่อการเจริญเติบโตของกัญชา

Effects of Nitrogen Potassium and Phosphorus Fertilizers on Growth of Cannabis

กษิด์เดช อ่อนศรี*, กัญตนา หลอดทองกลาง, เกศินี ศรีปฐมกุล และ อรพรรณ หัสรังค์

Kasideth Onsri*, Kantana Lodthonglang, Kesinee Sripathomkul

and Orapan Hussarang

คณะนวัตกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยรังสิต

Faculty of Agricultural Innovation, Rangsit University

*Corresponding author. E-mail: kasideth.o@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

กัญชา (*Cannabis sativa* L.) เป็นส่วนประกอบในตำรับยาแผนไทยจำนวนมากแต่เนื่องจากถูกกำหนดให้เป็นพืชเสพติด ประเภทที่ 5 ในพระราชบัญญัติยาเสพติดให้โทษ พ.ศ. 2522 จึงขาดการนำมาใช้เป็นยามาเป็นระยะเวลาานาน ซึ่งตั้งแต่วันที่ 19 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 เป็นต้นมา ประเทศไทยได้มีการอนุญาตให้นำกัญชามาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์โดยกรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือกจึงมีการปลูกกัญชาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ ซึ่งธาตุอาหารพืชเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชทั่วไปจึงเป็นที่มาของการศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจน โพแทสเซียม และ ฟอสฟอรัส ต่อการเจริญเติบโตของกัญชา โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) แบ่งออกเป็น จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 8 ซ้ำ โดยในแต่ละกรรมวิธีทำการให้สูตรปุ๋ยเคมีที่แตกต่างกัน 5 สูตร ได้แก่ T1 (16-16-32) T2 (16-32-16) T3 (32-16-32) T4 (16-16-16) และ T5 (32-16-16) ทำการให้สัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยให้ปริมาณเท่ากันทุกสูตร (156 กรัมต่อต้น) สัปดาห์แรกให้ปริมาณ 2 กรัม และเพิ่มปริมาณการให้ปุ๋ยสัปดาห์ละ 2 กรัม กระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต จากการติดตามการเจริญเติบโต พบว่า T1 (16-16-32) มีค่าการเจริญเติบโตที่ดีกว่าสูตรอื่น โดยมีค่าความสูง ขนาดลำต้น และความกว้างใบสูงสุด คือ 147.50 1.19 และ 11.82 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ความยาวใบ และความเขียวของใบสูงสุดเป็นผลจากการให้ปุ๋ยเคมีสูตร T4 และ T5 จากผลการทดลอง จึงแสดงให้เห็นว่าสูตรปุ๋ยที่แตกต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถ

นำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเลือกใช้สูตรปุ๋ยเพื่อความเหมาะสมต่อการปลูกเลี้ยงต้นกัญชาต่อไป

คำสำคัญ: กัญชา สูตรปุ๋ย การเจริญเติบโต

Abstract

Cannabis (*Cannabis sativa* L.) is an ingredient in many Thai traditional medicines. Because it was designated as a Category 5 narcotic plant in the Narcotic Drugs Act of 1979, it had not been used as a medicine for a long time. Since February 19, 2019, Thailand had allowed the use of cannabis for medical purposes. The Department of Thai Traditional and Alternative Medicine had grown cannabis for medicinal purposes. Plant nutrition is an important factor in cannabis growth. Therefore, this experiment was interested in studying the effect of nitrogen, potassium and phosphorus fertilizers on the growth of cannabis. The experiment was designed in completely randomly (Completely Randomized Design) for five factors and four replications in each. The five factors consisted of T1 (16-16-32), T2 (16-32-16), T3 (32-16-32), T4 (16-16-16) and T5 (32-16-16). Every factor was treated in equal amount every week (156 g/plant). The first week applied for two grams. It increased amount for two grams every week until harvesting. Growth monitoring showed that T1 (16-16-32) had better growth than other factors. The height, stem size and leaf width were 147.50, 1.19 and 11.82 cm, respectively. The best leaf length and greenness were T4 and T5. The results showed that different fertilizers had different effects on growth. This information can be used as a basis for selecting fertilizer formulas to be appropriate for growing cannabis plants, while the leaf length the best leaf greenness resulted from T4 and T5 fertilization. The results showed that different fertilizer formulations had different effects on growth. This information can be used as a basis for selecting fertilizer formulas to be suitable for growing cannabis.

Keywords: Cannabis, Fertilizer formula, Growth

บทนำ

พืชกัญชาเป็นพืชในวงศ์ Cannabaceae ต้นกำเนิดอยู่แถบเอเชียกลาง และมีการกระจายพันธุ์ปลูกในหลายส่วนของโลก โดยทั่วไปเรียกพืชกัญชาว่า Cannabis, Marijuana และ Ganja โดยกัญชามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cannabis sativa* L. ในอดีตมีการใช้กัญชาเป็นยารักษาโรคและอาการไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ เช่น ในประเทศจีนใช้สำหรับแก้อาการอ่อนเพลีย มาลาเรีย ใช้ส่วนเมล็ดรักษาอาการผิวหนังอักเสบ อีลิปต์ใช้บรรเทาอาการปวด และอาการหงุดหงิด ประเทศอังกฤษใช้แก้ปวด ลดการอักเสบ แก้อาการคลื่นไส้ อาเจียน ส่วนในประเทศไทยพบว่ากัญชาเป็นส่วนผสมที่ใช้ในตำรับยาหลายตำรับ เช่น ยาแก้นอนไม่หลับ ยาทำลายพระสุเมรุ (Abel, 1980; O'Shaughnessy, 1843; Sripanidkulchai, 2019) ซึ่งในกัญชามีสารสำคัญที่ใช้ทางการแพทย์ คือ สารทีเอชซี (delta-9-tetra cannabinol, THC) ซึ่งมีฤทธิ์กระตุ้นประสาท ใช้เป็นยาแก้ปวด ลดการอักเสบ และซีบีดี (cannabidiol, CBD) ที่ไม่มีฤทธิ์ระงับประสาท ใช้ในการลดความวิตกกังวล ด้านการชัก (Sripanidkulchai, 2019) Duangdamrong (2022) รายงานว่าการแพทย์แผนตะวันตกใช้กัญชาเป็นยาบรรเทาอาการกล้ามเนื้อหดเกร็ง อาการไม่พึงประสงค์ในผู้ป่วยโรคปลอกประสาทอักเสบ อาการชัก อาการปวดเรื้อรังจากโรคมะเร็ง เป็นต้น ซึ่งส่วนหลัก ๆ ที่ผลิตสารดังกล่าว ได้แก่ ใบ และตาดอก (ElSohly *et al.*, 2017) สำหรับประเทศไทยนั้นถือได้ว่ามีสภาพอากาศที่เหมาะสมสามารถเป็นแหล่งปลูกและพัฒนาสายพันธุ์กัญชา (Thongsuk, 2020)

พืชในสกุลกัญชามีการเจริญเติบโต 2 ระยะได้แก่ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นกับใบ และระยะการเจริญเติบโตทางส่วนขยายพันธุ์ ซึ่งการเจริญเติบโตทางลำต้นที่ดี ควรได้รับปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดิน เพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืชโดยการนำปุ๋ยมาใช้โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อชดเชยธาตุอาหารในดินที่หายไปกับการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกจากพื้นที่ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในปริมาณมากและการปรับปริมาณการใช้เพื่อให้เกิดความสมดุลของแต่ละธาตุ ดังนั้น แนวทางที่ดีและเหมาะสมสำหรับการใช้ที่ดินผลิตพืชเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดบนรากฐานที่ยั่งยืนควรมีการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ ร่วมกับการจัดการที่ถูกต้องเหมาะสมประหยัดและมีประสิทธิภาพ (ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และประทีป วีระพัฒน์นิรันดร์, 2558) สำหรับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ในการดูแลกัญชาช่วงเพาะกล้า ช่วงทำใบ และช่วงทำตาดอก โดยระยะเพาะกล้า และทำใบ (Seedling vegetative) จำเป็นต้องควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ 24-25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) 60-70% ชั่วโมงการรับแสง 20-22 ชม. ต่อวัน เมื่อเข้าสู่ระยะทำตาดอก (Flowering) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ที่ 40-50% และอุณหภูมิควรอยู่ที่ 22-24 องศาเซลเซียส พร้อมกระตุ้นการเกิดดอกด้วยจำนวนชั่วโมงการได้รับแสง 12 ชั่วโมงต่อวัน ส่วนของการให้น้ำขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและวัสดุปลูก สำหรับธาตุอาหารซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักได้แก่ ไนโตรเจน (Nitrogen, N) ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P) และโพแทสเซียม (Potassium, K) สำคัญต่อกัญชาในแต่ละระยะการเจริญเติบโตตั้งแต่ต้นพืชทั่วไป โดยระยะทำใบ (Vegetative) และช่วงแรกเริ่มระยะการทำ

ดอก (Early flowering stage) ต้นกัญชามีความต้องการปริมาณไนโตรเจนที่มาก เพราะเป็นส่วนสำคัญในการเจริญเติบโต แต่ช่วงทำดอก (Flowering) กัญชาต้องการไนโตรเจนที่ต่ำกว่า ร่วมกับปริมาณฟอสฟอรัสที่สูงขึ้น และธาตุอาหารรองต่าง ๆ ที่จำเป็นของดอกกัญชาจนถึงระยะการเก็บเกี่ยว (กรมวิชาการเกษตร, 2564) มีการศึกษาผลของการให้ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของพืช ตัวอย่างเช่น ปัทมาวดี คุณวัลลี และ เทวี มณีรัตน์ (2564) ทดสอบการให้ปุ๋ยในพริกหยวกพบว่า การให้ปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตพริกหยวกสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการให้มูลหอนมอดราข้าวสาลีซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ เจนจิรา ชุมภูคำ และคณะ (2561) ศึกษาผลของปุ๋ยเคมี และปุ๋ยเคมีร่วมกับมูลค่างควาต่อผลผลิตและคุณภาพผลผลิตเบอร์รี่พันธุ์เชียงใหม่ 60 พบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 เหมาะสำหรับการผลิตหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 มากที่สุดทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยมีผลต่อการให้ผลผลิต จึงเป็นที่มาของการทดลองครั้งนี้เพื่อต้องการทำการศึกษาถึงปริมาณธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของกัญชา และนำมาใช้เป็นแนวทางในการปลูกกัญชาต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมการทดลอง

ต้นกัญชาในการทดลองเป็นต้นพันธุ์กัญชาจากการเพาะเมล็ดพันธุ์ RSU001 ที่ผลิตจากสถานีวิจัยกัญชาทางการแพทย์ของมหาวิทยาลัยรังสิต คณะนวัตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยรังสิตที่คลุมด้วยตาข่ายพรแสง 50% หลังจากเมล็ดงอกจากการเพาะเมล็ดทำการอนุบาลต้นกล้าให้มีอายุ 1 เดือน ก่อนย้ายลงปลูกในกระถางขนาด 20 นิ้ว โดยใช้วัสดุปลูกเป็นขุยมะพร้าวผสมซีเถ้าแกลบในอัตราส่วน 2 : 1 โดยปริมาตร มีการให้น้ำปริมาณ 500 มิลลิลิตรต่อวัน และมีการจัดการศัตรูพืชโดยการพ่นน้ำส้มควันไม้ทุกสัปดาห์

2. การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 8 ซ้ำ รวมเป็นจำนวน 40 ต้น สำหรับในงานทดลอง โดยในแต่ละปัจจัยทำการให้สูตรปุ๋ยที่แตกต่างกัน มีธาตุไนโตรเจนฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ปริมาณธาตุอาหารพืชที่แตกต่างกัน 5 สูตร ต่อการเจริญเติบโตของกัญชา ได้แก่ T1 (16-16-32) T2 (16-32-16) T3 (32-16-32) T4 (16-16-16) และ T5 (32-16-16) ทำการใส่ปุ๋ยสัปดาห์ละครั้งโดยใส่ปริมาณ 2 กรัมในสัปดาห์แรก และทำการเพิ่มปริมาณการให้ปุ๋ยครั้งละ 2 กรัม กระทั่งครบระยะเวลาการให้จำนวน 12 สัปดาห์ ซึ่งเมื่อครบ 12 สัปดาห์ พืชแต่ละต้นจะได้รับปุ๋ยทั้งหมดในปริมาณ 156 กรัมต่อต้น

3. การบันทึกข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตสัปดาห์ละ 1 ครั้ง รวมเป็นจำนวน 12 ครั้ง ตลอดระยะเวลาการทดลอง 3 เดือน ได้แก่ การวัดความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดลำต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ และความเขียวของใบ (SPAD)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (One-Way ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกรรมวิธีทดลอง (Treatment) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95%

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาติดตามการเจริญเติบโตตามกรรมวิธีที่ได้วางแผนพบว่าใช้ปุ๋ย N P K แต่ละสูตรที่แตกต่างกัน เป็นตัวกำหนดค่า ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดลำต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ และความเขียวใบ (SPAD) ซึ่งผลการวิจัยพบว่า การใช้ปุ๋ย N P K ในแต่ละอัตราส่วนที่ต่างกันจะเห็นได้ว่า สูตรปุ๋ย T1 (16-16-32) ให้ค่าทางความสูงเฉลี่ยมากที่สุด คือ 147.50 ซม. โดยที่การใช้อัตราส่วน T2 (16-32-16) ให้ค่าความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยมากที่สุด คือ 47.50 ซม. ในขณะที่การใช้อัตราส่วน T3 (32-16-32) ให้ค่าทางด้านขนาดลำต้นเฉลี่ยมากที่สุด 1.19 ซม. และด้านความกว้างใบที่ใช้อัตราส่วน T3 (32-16-32) ให้ค่าความกว้างของใบ 11.82 ซม. ในขณะที่สูตรปุ๋ย T4 (16-16-16) ให้ค่าทางด้านความยาวใบเฉลี่ยมากที่สุด คือ 12.68 ซม. และสูตรปุ๋ย T5 (32-16-16) ให้ค่าทางด้านความเขียวใบเฉลี่ยมากที่สุดคือ 10.13 แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบทางสถิติของแต่ละค่าการเจริญเติบโต พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสิริพร พูลเต็ม และคณะ (2560) ที่ทำการศึกษาลงผลของอัตราและชนิดปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวจาปอนิกา พบว่าการใช้ปุ๋ยในอัตราส่วนของ N P K ที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว แต่มีผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิตที่ต่างกัน ซึ่งจากแนวโน้มผลการทดลองพบว่าสูตรปุ๋ย T1 หรือการให้ปุ๋ยที่สัดส่วนของโพแทสเซียมสูงมีค่าการเจริญเติบโตสูงสุด ซึ่งธาตุอาหารชนิดนี้สามารถเคลื่อนย้ายภายในพืชได้ง่าย และมักเคลื่อนที่ไปยังเนื้อเยื่อเจริญที่มีผลต่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้โพแทสเซียมยังช่วยส่งเสริมกระบวนการการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ช่วยให้พืชทนทาน รวมทั้งส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตที่ดีขึ้น (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน และคณะ, 2527)

การใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนที่ต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดลำต้นความกว้างใบ ความยาวใบ และความเขียวของใบ โดยมีการบันทึกผลทุกสัปดาห์เป็นจำนวน 12 สัปดาห์ หลังจากเริ่มมีการให้ทริทเมนด์ พบว่า ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดลำต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ และความเขียวของใบมีค่าแนวโน้มการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นในทุก ๆ สัปดาห์ (ตารางที่

1) เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญในโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ซึ่งช่วยส่งเสริมการสังเคราะห์แสงจึงทำให้มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง (ยงยุทธ โอสดสภา, 2546) การเจริญเติบโตทางด้านความสูงของกัญชาโดยสัปดาห์ที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความแตกต่างอย่างชัดเจนในสัปดาห์ที่ 3 ต่อเนื่องไปจนถึงสัปดาห์ที่ 12 (ตารางที่ 2) การเจริญเติบโตทางด้านความกว้างทรงพุ่มพบว่าตลอดระยะเวลาการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตทางด้านความกว้างทรงพุ่มมีแนวโน้มใกล้เคียงกันอย่างต่อเนื่อง แต่จะมีสัปดาห์ที่ 1, 5, 10 และ 11 ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) การเจริญเติบโตทางด้านขนาดลำต้น พบว่า ตลอดระยะเวลาการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตทางด้านขนาดลำต้นมีแนวโน้มใกล้เคียงกันอย่างต่อเนื่อง แต่จะมีสัปดาห์ที่ 1, 2 และ 4 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) การเจริญเติบโตทางด้านความกว้างใบ พบว่า ตลอดระยะเวลาการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตทางด้านความกว้างใบมีแนวโน้มที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ สัปดาห์ที่ 2, 4, 7, 8, 9 และ 11 (ตารางที่ 5) การเจริญเติบโตทางด้านความยาวใบ พบว่า ตลอดระยะเวลาการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตทางด้านความยาวใบมีแนวโน้มใกล้เคียงกันอย่างต่อเนื่อง แต่จะมีสัปดาห์ที่ 2 ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สัปดาห์ที่ 9 และ 11 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) ความเขียวใบ ความเขียวใบรายงานเป็นค่า SPAD เมื่อบันทึกข้อมูลทุกสัปดาห์หลังจากที่มีการให้ปุ๋ย พบว่า ค่าความเขียวใบในทุกกรรมวิธี แสดงค่าความเขียวใบแปรผันตามอายุการเจริญเติบโต

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตทางด้านความสูง (ซม.) ของกัญชาหลังจากที่มีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกันในช่วงระยะเวลา 12 สัปดาห์

Treatment	Weeks											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T1 (16-16-32)	26.19± 3.92	35.75± 3.93 ^{a1/}	43.81± 5.82	50.94± 8.86	66.71± 11.26	76.31± 15.06	102.71± 11.23	113.5± 19.66	126.75± 22.75	139.13± 26.08	148.63± 28.88	147.50± 27.08
T2 (16-32-16)	22.88± 3.49	29.81± 5.54 ^{ab}	36.50± 7.03	45.44± 9.21	62.40± 7.54	70.34± 9.09	89.00± 14.76	99.88± 21.63	110.88± 26.74	122.50± 31.73	122.13± 41.00	138.13± 33.16
T3 (32-16-32)	25.20± 2.79	32.58± 3.56 ^a	42.50± 6.33	44.36± 11.14	61.35± 17.82	68.45± 18.90	94.00± 19.46	114.38± 20.49	118.88± 13.22	133.50± 8.40	142.75± 12.49	133.88± 16.37
T4 (16-16-16)	22.19± 4.15	31.19± 3.33 ^a	34.69± 7.62	44.63± 8.57	57.76± 8.32	63.00± 11.60	86.13± 11.12	101.75± 2.14	110.13± 16.97	124.13± 20.09	129.25± 26.98	127.75± 26.30
T5 (32-16-16)	22.21± 3.62	23.88± 4.43 ^b	34.93± 5.65	44.13± 6.62	57.93± 8.79	66.64± 9.21	92.75± 10.70	95.75± 21.50	101.38± 19.87	106.88± 23.79	114.00± 22.91	110.13± 21.46
F-test	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	14.91	14.46	18.05	34.87	18.71	19.12	14.46	19.05	18.24	19.20	20.10	19.88

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตทางด้านความกว้างทรงพุ่ม (ซม.) ของกัญชาหลังจากที่มีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 12 สัปดาห์

Treatment	Weeks											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T1 (16-16-32)	23.56± 0.50 ^{a1/}	27.38± 3.53	39.31± 7.34	53.94± 10.67	54.50± 7.55 ^a	48.56± 16.40	47.71± 16.64	34.25± 12.56	41.13± 12.92	40.33± 15.81 ^{bc}	41.75± 11.65 ^{ab}	41.50± 10.74
T2 (16-32-16)	22.56± 2.41 ^{ab}	24.81± 3.28	38.06± 4.99	47.94± 9.61	55.57± 4.78 ^a	47.35± 12.86	43.43± 12.40	42.38± 15.23	44.38± 16.04	34.75± 11.61 ^c	47.00± 15.60 ^{ab}	41.88± 10.16
T3 (32-16-32)	24.86± 3.61 ^a	24.63± 8.24	38.43± 7.19	43.93± 8.26	46.36± 11.56 ^{ab}	47.38± 11.67	42.00± 10.04	37.50± 9.64	39.63± 8.53	40.13± 7.57 ^{abc}	51.38± 6.65 ^a	45.13± 8.64
T4 (16-16-16)	24.81± 3.17 ^a	24.94± 8.53	34.00± 7.26	42.69± 10.33	40.99± 10.42 ^b	40.10± 12.85	56.00± 8.30	42.50± 6.55	41.25± 12.28	51.50± 10.95 ^a	52.13± 9.76 ^a	47.50± 8.57
T5 (32-16-16)	20.07± 4.31 ^b	20.69± 5.08	30.00± 9.04	36.75± 10.70	45.83± 9.49 ^{ab}	32.86± 11.63	38.50± 6.30	37.75± 13.69	48.63± 13.60	49.50± 16.52 ^{ab}	36.88± 10.01 ^b	45.50± 8.80
F-test	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns
C.V. (%)	12.69	25.76	21.35	23.06	20.01	30.30	26.28	31.44	29.54	29.66	24.97	21.53

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตทางด้านขนาดลำต้น (มม.) ของกัญชาหลังจากที่มีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 12 สัปดาห์

Treatment	Weeks											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T1 (16-16-32)	2.02± 0.48 ^{a1/}	4.21± 0.50 ^a	3.79± 0.46	5.69± 0.84 ^a	6.71± 1.11 ^a	6.99± 1.39	8.95± 1.96	9.55± 2.71	10.12± 3.37	10.33± 2.81	11.77± 3.69	11.94± 3.86
T2 (16-32-16)	1.68± 0.45 ^{ab}	3.75± 0.50 ^a	4.05± 0.59	4.92± 1.22 ^{ab}	6.22± 0.41 ^{ab}	6.14± 1.00	7.16± 1.68	8.25± 2.14	8.66± 2.55	9.56± 2.61	9.51± 2.75	10.13± 3.15
T3 (32-16-32)	1.10± 0.14 ^b	2.83± 0.53 ^b	3.82± 0.66	4.67± 0.73 ^{ab}	5.40± 1.33 ^{ab}	5.98± 1.27	7.87± 1.38	9.42± 1.69	10.10± 1.56	10.73± 1.79	10.56± 1.75	10.84± 1.25
T4 (16-16-16)	1.91± 0.48 ^{ab}	4.00± 0.67 ^a	3.44± 0.63	4.03± 0.80 ^b	4.95± 1.68 ^b	6.48± 1.46	7.53± 0.93	9.50± 1.94	10.71± 2.64	9.45± 1.45	11.02± 2.53	11.27± 1.91
T5 (32-16-16)	1.66± 0.52 ^{ab}	3.67± 0.56 ^a	3.14± 0.41	4.01± 0.79 ^b	5.04± 1.05 ^b	6.11± 0.81	7.52± 0.86	8.27± 1.84	7.55± 1.66	8.14± 1.81	9.82± 2.42	10.06± 1.94
F-test	**	**	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	24.86	15.08	15.45	17.67	21.54	19.06	17.64	24.17	27.03	23.15	25.54	24.70

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตทางด้านความกว้างใบ (ซม.) ของกัญชาหลังจากที่มีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 12 สัปดาห์

Treatment	Weeks											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T1 (16-16-32)	7.19± 1.44	7.69± 1.33 ^{b1/}	8.77± 1.63	11.36± 2.5 ^a	14.28± 3.98	10.40± 1.84	13.24± 1.4 ^{ab}	10.96± 2.98 ^{ab}	11.42± 3.49 ^b	13.23± 3.74	11.54± 3.72 ^{ab}	11.50± 4.30
T2 (16-32-16)	7.90± 1.52	7.00± 0.53 ^b	10.02± 3.42	11.08± 1.8 ^a	13.83± 1.50	13.25± 3.51	15.86± 1.82 ^a	14.48± 2.74 ^a	14.50± 3.13 ^a	12.79± 2.70	14.64± 3.23 ^a	10.12± 3.05
T3 (32-16-32)	7.22± 0.94	9.06± 1.24 ^a	9.40± 1.67	12.25± 2.6 ^a	12.70± 3.03	13.23± 3.13	13.21± 2.64 ^b	12.88± 2.95 ^{ab}	13.50± 1.62 ^{ab}	12.92± 1.84	13.63± 2.85 ^a	11.82± 2.51
T4 (16-16-16)	6.71± 1.57	7.75± 1.56 ^b	8.06± 1.70	9.46± 1.38 ^{ab}	10.86± 2.19	9.83± 3.39	13.46± 2.22 ^{ab}	9.92± 3.45 ^{ab}	13.29± 3.75 ^{ab}	11.65± 3.89	11.68± 1.59 ^{ab}	9.40± 2.34
T5 (32-16-16)	5.97± 1.71	6.76± 1.35 ^b	8.02± 1.61	8.77± 1.45 ^b	10.71± 2.97	10.42± 1.76	11.92± 2.71 ^b	8.67± 1.45 ^b	10.31± 1.88 ^b	9.64± 2.34	8.71± 1.65 ^b	7.56± 1.34
F-test	ns	*	ns	*	ns	ns	*	**	*	ns	**	ns
C.V. (%)	20.72	14.11	17.88	18.55	23.71	24.84	17.02	22.43	22.02	26.04	23.86	30.12

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5 การเจริญเติบโตทางด้านความยาวใบ (ซม.) ของกัญชาหลังจากที่มีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 12 สัปดาห์

Treatment	Weeks											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T1 (16-16-32)	7.58± 1.07	6.67± 0.62 ^{b1/}	7.67± 1.31	9.42± 1.18	11.94± 2.11	11.92± 2.13	13.62± 2.21	13.67± 2.15	12.23± 1.45 ^{bc}	13.26± 2.41	12.67± 2.04 ^{ab}	10.97± 2.83
T2 (16-32-16)	7.52± 1.31	7.04± 0.80 ^{ab}	8.33± 0.58	10.50± 1.68	12.76± 1.30	13.81± 0.91	14.24± 1.83	14.37± 1.51	14.26± 1.67 ^a	13.83± 2.20	14.19± 2.33 ^a	12.27± 2.31
T3 (32-16-32)	7.26± 0.89	8.38± 0.83 ^a	8.95± 1.62	11.43± 2.39	11.81± 3.40	12.90± 1.79	13.67± 2.14	13.78± 2.07	14.04± 1.76 ^{ab}	14.12± 2.14	14.27± 2.82 ^a	12.59± 1.90
T4 (16-16-16)	7.08± 1.40	6.58± 1.16 ^b	7.71± 1.15	9.75 ± 1.80	12.14± 2.01	13.07± 2.84	13.86± 2.16	14.01± 1.73	14.25± 2.09 ^{abc}	13.40± 2.42	13.23± 2.17 ^{ab}	12.68± 1.77
T5 (32-16-16)	6.20± 1.51	6.07± 0.92 ^b	7.71± 1.28	9.79 ± 1.42	11.75± 1.90	11.21± 1.55	13.21± 1.98	12.53± 2.13	11.21± 2.54 ^c	11.19± 1.64	10.29± 1.72 ^c	11.55± 1.76
F-test	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns
C.V. (%)	17.14	13.11	15.02	15.4	19.08	16.19	15.03	14.10	14.08	16.56	18.33	18.41

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6 ความเสียหาย (SPAD) ของกัญชาหลังจากที่มีการให้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 12 สัปดาห์

Treatment	Weeks											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T1 (16-16-32)	49.80± 2.47	19.97± 4.38	13.76± 3.83	9.33± 1.11	44.84± 2.99	8.08± 1.84	20.47± 2.84 ^{b1/}	24.11± 3.34	7.95± 1.74 ^b	23.00± 1.63 ^a	18.55± 2.30 ^b	7.45± 1.15 ^c
T2 (16-32-16)	48.94± 4.35	21.84± 2.55	17.05± 1.16	9.91± 0.89	46.85± 2.77	9.23± 1.08	20.51± 4.13 ^b	28.92± 3.01	9.01± 1.86 ^b	18.72± 5.38 ^a	19.81± 4.18 ^b	8.52± 0.87 ^{bc}
T3 (32-16-32)	54.61± 5.91	17.95± 3.67	16.03± 1.01	10.25± 0.88	44.47± 6.43	9.08± 1.48	42.21± 14.80 ^a	26.47± 2.90	9.33± 1.86 ^b	12.09± 2.11 ^b	22.33± 1.25 ^{ab}	8.71± 1.10 ^{ab}
T4 (16-16-16)	54.04± 5.63	19.53± 3.21	17.26± 1.24	44.13± 3.11	44.13± 3.11	9.11± 1.49	43.68± 7.36 ^a	27.44± 1.95	8.41± 0.70 ^b	11.94± 0.80 ^b	22.62± 0.97 ^{ab}	7.97± 1.32 ^{bc}
T5 (32-16-16)	52.44± 8.37	20.15± 6.74	16.58± 2.34	9.98± 1.04	46.86± 2.88	9.71± 0.52	22.84± 1.64 ^b	27.07± 5.56	29.89± 14.6 ^a	12.41± 1.78 ^b	23.68± 4.37 ^a	10.13± 1.08 ^a
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	**	**	**
C.V. (%)	11.85	20.48	14.61	9.86	8.83	14.95	17.43	13.65	36.04	17.65	12.38	11.25

หมายเหตุ ^{1/} ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าทางสถิติ

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการติดตามการเจริญเติบโตพบว่าปุ๋ยสูตร T1 (16-16-32) มีค่าการเจริญเติบโตที่ดีกว่าสูตรอื่น โดยมีค่าความสูง ขนาดลำต้น และความกว้างใบสูงที่สุด คือ 147.50 ,1.19 และ 11.82 เซนติเมตรตามลำดับ ในขณะที่ความยาวใบ และความเขียวของใบสูงที่สุดเป็นผลจากการให้ปุ๋ยสูตร T4 และ T5 โดย T4 ให้ค่าความยาวใบดีที่สุด คือ 12.68 ซม. และ T5 ให้ค่าความเขียวของใบดีที่สุด คือ 10.13 จากผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นว่าสูตรปุ๋ยที่แตกต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตที่ต่างกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเลือกใช้สูตรปุ๋ยเพื่อความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกกัญชาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร (2564). *คู่มือสำหรับเกษตรกร การผลิตพืชสกุลกัญชา (Cannabis sativa L.) เพื่อประโยชน์ทางการแพทย์และอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร. สืบค้นจาก <https://www.doa.go.th/th/?p=30917>
- เจนจิรา ชุมภูคำ, อัครพล ศรีวิชัย และ อารยา อาจเจริญ เทียนหอม. (2561). ผลของสูตรปุ๋ยต่อผลผลิตและคุณภาพผลของมะล-เบอร์รี่พันธุ์เชียงใหม่ 60. *Thai Journal of Science and Technology*, 7(3), 231-238. <https://doi.org/10.14456/tjst.2018.26>
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และประทีป วีระพัฒนนิรันดร์. (2558). *คู่มือสำหรับการเกษตรยุคใหม่: ธรรมชาติของดินและปุ๋ย* (พิมพ์ครั้งที่ 12). สำนักพิมพ์สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ประภาพร คำกลาง, ศิรินันท์ ศรีสมรส, อภิขญา ถนอมอัมรินทร์, และภานุวัฒน์ เหมจันทิก. (2559). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้ปุ๋ยของเกษตรกรอำเภอหนองบุญมากจังหวัดนครราชสีมา. *วารสารการบริหารและการจัดการปุ๋ย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา*, 9(2), 19-28.
- ปัทมาวดี คุณวัลลี และ เทวี มณีรัตน์. (2564). เปรียบเทียบการใส่มูลหอนอนมอดรำข้าวสาลี และ ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริกหยวกพันธุ์คัด-ม.อ. *วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 16(1), 47-56.
- ยงยุทธ โอสถสกา. (2546). *ธาตุอาหารพืช*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ:
- สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, สุวพันธ์ รัตนะรัต และดารี ถาวรมาศ. (2527). *ความอุดมสมบูรณ์ของดิน*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิริพร พูลเต็ม, สมิตตา แสนจำหน่าย, คณิงนิจ เจียวพ่วง, นงภัทร ไชยชนะ และทิวา พาโคกทม. (2560). ผลของอัตราและชนิดปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวจากปอเนิกา. *วารสารแก่นเกษตร*, 14(1), 61-70.

- Abel, E.L. (1980). *Marijuana the first twelve thousand years* Plenum Press. *New York, New York, USA.*
- Duangdamrong, J., Jamparngernthaweesri, K., Sathiyos, Y., Poopong, S., Lumlerdkij, N., & Akarasereenont, P. (2022). หลักฐานเชิงประจักษ์ของการใช้กัญชา ทางการแพทย์และการเปรียบเทียบกับข้อบ่งใช้ตำรับยาสมุนไพรตามองค์ความรู้การแพทย์แผนไทยกับการแพทย์แผนตะวันตกที่มีหลักฐานเชิงประจักษ์. *Siriraj Medical Bulletin*, *15*(3), 155-163.
- ElSohly, M.A., Radwan, M.M., Gul, W., Chandra, S., & Galal, A. (2017). Phytochemistry of *Cannabis sativa* L. *Phytocannabinoids*, 1-36.
- O'Shaughnessy, W.B. (1843). On the preparations of the Indian hemp, or Gunjah: *Cannabis indica* their effects on the animal system in health, and their utility in the treatment of tetanus and other convulsive diseases. *Provincial Medical Journal and Retrospect of the Medical Sciences*, *5*(123), 363.
- Sripanidkulchai, B. (2019). การใช้กัญชาเพื่อประโยชน์ทางการแพทย์. *Isan Journal of Pharmaceutical Sciences, IJPS (Isan J Pharm Sci)*, *15*(4), 1-26.
- Thongsuk, W. (2020). กัญชากับการศึกษาเกษตร. *Journal of Industrial Education*, *19*(1), 144-154.

ผลของการออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตที่มีต่อสมรรถภาพทางกายและ
การทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรัง
ระยะที่ 3 : การศึกษานำร่อง

Effects of the Life – Build – Line Exercise on Physical
Performance and Cardiovascular Function in Chronic Kidney
Disease Stage 3 Patients: A Pilot Study

คนรัตน์ เตโพเชซ¹, คุรุศาสตร์ คนหาญ², สุมน ตั้งสุนทรวิวัฒน์³ และ นิชานันท์ ปัญญาเอก^{4*}
Kanarat Defossez¹, Kurusart Konharn², Sumon Tungsuntornvivat³
and Nichanun Panyaek^{4*}

¹วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²ภาควิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ศูนย์โรคหัวใจ โรงพยาบาลศูนย์อุดรธานี จังหวัดอุดรธานี

⁴ภาควิชาเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹Exercise and Sport Sciences, Graduate school, Khon Kaen University

²Department of Physical Therapy, Associated Medical Sciences, Khon Kaen University

³Heart center, Udon Thani Hospital, Udon Thani

⁴Department of Rehabilitation Medicine, Medicine, Khon Kaen University

*Corresponding author. E-mail: pnicha@kku.ac.th

บทคัดย่อ

ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3 มีสาเหตุหนึ่งมาจากไตเสื่อมตามอายุ พฤติกรรม และขาดการออกกำลังกาย ส่งผลให้ร่างกายเกิดการสะสมของมวลไขมันและสมรรถภาพร่างกายที่ลดลง การศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลต่อการทำงานของหัวใจและกล้ามเนื้อต้นขาของกลุ่มการออกกำลังกายด้วยอุปกรณ์สายสร้างชีวิตเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มกายบริหารในผู้ป่วยที่ล้างไตทางช่องท้อง ผู้วิจัยจึงนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษานี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตกับกายบริหารเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ต่อสมรรถภาพทางกายและการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3 การวิจัยครั้งนี้เป็นรูปแบบการสุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบ (RCT) กลุ่มตัวอย่าง 8 คน โดยผู้ป่วยโรคไตระยะที่ 3 มีค่า eGFR 30-59 มล./นาที/1.73 ม² มีอายุ 40-65 ปี ถูกแบ่งกลุ่มเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ได้รับการฝึกออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตและ

กลุ่มกายบริหาร ออกกำลังกายเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ทดสอบผลข้อมูลโดยสถิติ Wilcoxon Signed Ranks Test และ Mann-Whitney U Test

ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตมีอายุเฉลี่ย 58.75 ปี (eGFR 52.4 มล./นาที/1.73 ม²) และกลุ่มกายบริหารมีอายุเฉลี่ย 61.75 ปี (eGFR 54.05 มล./นาที/1.73 ม²) หลังการออกกำลังกาย 6 สัปดาห์ พบว่าความอ่อนตัวเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่ออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตเมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มกับกลุ่มกายบริหาร ($p < 0.05$) จึงสรุปได้ว่าการออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางกายด้านความอ่อนตัวในกลุ่มเมื่อเปรียบเทียบกับการกายบริหารในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3

คำสำคัญ: การออกกำลังกายที่มีแรงต้าน กายบริหาร ความอ่อนตัว ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรัง

Abstract

Patients with chronic kidney disease stage 3 are one of the causes of kidney deterioration with age, behavior, and lack of exercise. Movement of body is reduced, effect to the accumulation of fat mass and reduced physical performance. A previous study found that effect of cardiovascular function and thigh muscle strength in exercise with the life – build – line (LBL) had a greater than the calisthenic exercise group in patients on peritoneal dialysis. Therefore, the researcher applied it in this study. The objective was to compare the effect of LBL exercise training and calisthenic exercise on physical fitness and cardiovascular function in chronic kidney disease stage 3 patients. The research design was the Randomized Controlled Trial (RCT). The 8 subjects aged 40-65 years. Chronic kidney disease stage 3 patients have eGFR 30-59 mL/min/1.73m². They were divided into 2 groups, which were LBL exercise training and calisthenic exercise performed the exercise for 6 weeks, testing by using Wilcoxon Signed Ranks Test and Mann-Whitney U Test statistic.

Results show that: the LBL exercise group had a mean age of 58.75 years (eGFR 52.4 mL/min/1.73m²) and the exercise group had a mean age of 61.75 years (eGFR 54.05 mL/min/1.73m²). After exercise for 6 weeks showed that flexibility was increased in the LBL exercise group when comparing with calisthenic exercise ($p < 0.05$).

It was concluded that the 6 weeks LBL exercise improves flexibility when compared with calisthenic exercise in patients with chronic kidney disease stage 3.

Keywords: Resistance exercise, Calisthenic exercise, Flexibility, Chronic kidney disease patients

บทนำ

ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังในทั่วโลกเพิ่มมากถึง 697.5 ล้านรายและพบว่าผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังมีอัตราการเสียชีวิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 41.5 (Global Burden of Disease (GBD) Chronic Kidney Disease Collaboration 1990-2017) ส่วนในประเทศไทยป่วยเป็นโรคไตเรื้อรังสูงถึง 8 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 17 ของประชากรซึ่งสูงติดอันดับ 3 ในอาเซียน และมีแนวโน้มความชุกของโรคนี้เพิ่มขึ้นทุกปี (สุวรรณา สุรวาทกุล, 2562) ในประเทศไทยพบว่าจำนวนผู้ป่วยสะสมมากที่สุดอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี มีความชุกของจำนวนผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3 สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกระยะ โดยมีสาเหตุของการเกิดโรคส่วนใหญ่เกิดจากโรคเบาหวาน ความดันโลหิต และส่งผลให้เกิดพฤติกรรมทางกายลดลง อีกทั้งยังมีอีกสาเหตุที่น่าสนใจคือการเกิดโรคจากพฤติกรรมความรู้ด้านสุขภาพในเรื่องการรับประทานอาหาร การใช้อย่างไม่สมเหตุสมผลตามแผนการรักษาและการขาดออกกำลังกายเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคไตเรื้อรัง (Sutheeraprasert & Kankarn, 2018) โดยปกติไตของคนเสื่อมไปตามอายุที่เพิ่มมากขึ้น สาเหตุที่ทำให้มีผลต่อการทำงานของไตเป็นไปตามอายุนั้นการทำงานของไตหรืออัตราการกรองของเสียจะลดลงประมาณในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 1 ต่อปี อีกทั้งเมื่อร่างกายมีการเคลื่อนไหวที่ลดลงหรือพฤติกรรมเนือยนิ่ง ส่งผลให้ร่างกายเกิดการสะสมของมวลไขมันที่มากขึ้นทั้งร่างกายและไขมันในเลือด

จากการศึกษาเกี่ยวกับการออกกำลังกายในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรัง พบว่าการออกกำลังกายที่มีระยะเวลาตั้งแต่ 2 เดือนขึ้นไปในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังช่วยเพิ่มสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของร่างกาย การทำงานของกล้ามเนื้อ ระบบการทำงานของหัวใจและการไหลเวียนเลือด และพบความสัมพันธ์ที่ดีขึ้นของสุขภาพและคุณภาพชีวิต (Heiwe & Jacobson, 2014) การออกกำลังกายเป็นประจำจึงนำไปสู่ความสามารถในการออกกำลังกายที่เพิ่มขึ้นและลดความเสี่ยงของอัตราการเสียชีวิต (Booth, 2000; Dickinson, 2006; Stewart, 2006) การออกกำลังกายช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและกระดูกและข้อต่อในผู้ที่เป็โรคไตเรื้อรังและสามารถช่วยในการเพิ่มการทรงตัวและช่วยเพิ่มระดับกิจกรรมทางกายหรือการออกกำลังกายของผู้ป่วย การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการบำบัดด้วยการออกกำลังกายในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังที่ไม่ฟอกไต พบว่าค่าอัตราการกรองของไตเพิ่มขึ้น ความดันโลหิตและดัชนีมวลกายลดลงและการออกกำลังกายในระยะสั้นช่วยลดระดับไขมันไตรกลีเซอไรด์ในเลือดได้ด้วย

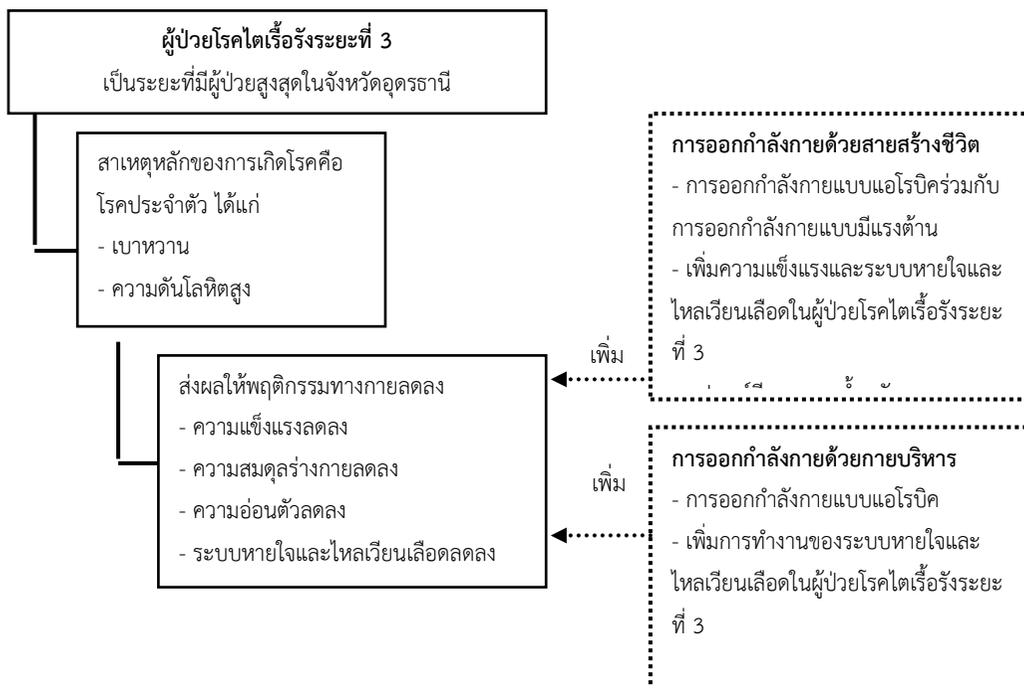
(Zhang, 2019) และช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด ช่วยปรับสมดุลการทำงานของร่างกาย รวมทั้งสามารถป้องกันการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร (Sharlene, 2014) ช่วยลดความเสี่ยงของระบบหัวใจและหลอดเลือดที่ส่งผลต่อความดันโลหิต

งานวิจัยก่อนหน้านี้หลายงานที่ยังมีผลขัดแย้งในเรื่องของค่า อัตราการกรองของไตที่พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลง (Kiuchi, 2017; Baia, 2014; Toyama, 2010) และไม่เปลี่ยนแปลงอัตราการกรองของไต (Leehey, 2016; Howden, 2015; Headley, 2012) หลังจากการฝึกออกกำลังกาย แต่มีการศึกษาที่น่าสนใจคือการศึกษาของ Kiuchi (2017) ที่ออกกำลังกายด้วยความหนักระดับปานกลาง 150 นาที/สัปดาห์ และเพิ่มความหนักขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 300 นาที/สัปดาห์ สิ่งนี้จึงเป็นจุดที่น่าสนใจนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือทางผู้วิจัยทำการฝึก 150 นาที/สัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ซึ่งเป็นการออกกำลังกายในระดับความหนักต่ำถึงปานกลางโดยยึดหลักความก้าวหน้าทีละน้อยๆ เพิ่มความหนักขึ้นเรื่อย ๆ (60-75 % ของอัตราการเต้นของหัวใจ) โดยการใช้อุปกรณ์ออกกำลังกายสายสร้างชีวิตที่เป็นอุปกรณ์ประดิษฐ์ใหม่ เคยใช้ในผู้ป่วยไตวายระยะสุดท้าย ขณะล้างไตทางช่องท้อง มีลักษณะเป็นกระบองทำจากท่อพีวีซี 2 ท่อน และเชื่อมติดกันด้วยสายยางที่มีความยืดหยุ่นซึ่งทำให้เกิดแรงต้าน ขณะที่ออกกำลังกาย (ภาพที่ 1) ช่วยให้เกิดการสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด และการออกกำลังกายแบบกายบริหารที่เป็นลักษณะของการยืดเหยียดกล้ามเนื้อร่วมกับการออกกำลังกายแบบการใช้ออกซิเจน (Aerobic exercise)

การศึกษาในมนุษย์ในปี 2017 ในกลุ่มเพศหญิงสุขภาพดีที่มีพฤติกรรมเนือยนิ่ง เพื่อหาระดับความหนักของการออกกำลังกาย โดยออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตเป็นเวลา 30 นาที ในขณะที่ออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตนั้นมีค่าเฉลี่ยของการใช้ออกซิเจน คือ 10.3 ± 1.10 มล./กก./นาที และค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนสูงสุดคือ 23.75 ± 1.58 มล./กก./นาที เท่ากับระดับความหนักเฉลี่ยของการออกกำลังกายอยู่ที่ 43.5% ของการใช้ออกซิเจนสูงสุด และมีระดับของความเหนื่อยเฉลี่ยคือ 12 (Panyaek, 2017) จากรายงานฉบับสมบูรณ์ในปี 2017 เรื่อง “ผลของการออกกำลังกายด้วยอุปกรณ์ออกกำลังกายที่ประดิษฐ์ใหม่ต่อคุณภาพการล้างไต การทำงานของหัวใจและหลอดเลือด ระบบเมตาบอลิซึม และคุณภาพชีวิต ในผู้ป่วยที่ล้างไตทางช่องท้อง” ซึ่งผลพบว่า การออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตขณะที่น้ำยาไหลออก และไหลเข้านั้น ช่วยขับของเสียออกมาได้มากขึ้นในผู้ป่วยที่ล้างไตทางช่องท้อง และยังสามารถช่วยในการไหลเวียนเลือดเพิ่มขึ้นและส่งผลให้การทำงานของ ระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้น การออกกำลังกายด้วยอุปกรณ์สายสร้างชีวิตแบบระยะยาว (12 สัปดาห์) นั้นมีผลต่อการทำงานของหัวใจ การเพิ่มกำลังกล้ามเนื้อต้นขาเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มกายบริหารแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และการออกกำลังกายด้วยกายบริหารนั้น สามารถลดเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการออกกำลังกายทั้ง 2 แบบ มีผลต่อการเพิ่มการทำงานของหัวใจ ผู้วิจัยจึงได้นำเอา

ประโยชน์จากการออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตนี้ มาประยุกต์ใช้ในกลุ่มผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3 โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลระยะยาวของการฝึกออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตกับกายบริหารเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ต่อสมรรถภาพทางกาย (ความแข็งแรง ความอ่อนตัว การทรงตัว) และระบบหายใจและไหลเวียนเลือด (การทดสอบเดิน 6 นาที) ในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3

กรอบแนวคิดการวิจัย



วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการวิจัย การวิจัยครั้งนี้เป็นรูปแบบการสุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบ (Randomized Controlled Trial: RCT) แบ่งอาสาสมัครเข้ากลุ่มโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสุ่มเลือกเข้ากลุ่ม โปรแกรมจะทำการสุ่มหมายเลขตามลำดับการลงนามยินยอมเข้าร่วมโครงการของอาสาสมัครโดยกำหนดให้สุ่มแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มสายสร้างชีวิต และกลุ่มกายบริหาร

กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยทุกคนถูกวินิจฉัยจากแพทย์ว่าเป็นผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3 ในจังหวัดอุดรธานี ผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3 สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกระยะ สาเหตุหลักจากโรคเบาหวาน ความดันโลหิต ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมทางกายลดลงและขาดการออกกำลังกาย ทำให้ผู้ป่วยมีสมรรถภาพทางกายที่ลดลง กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยมีอายุ 40-65 ปีอาสาสมัครถูกแบ่งกลุ่มเป็น

2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ได้ฝึกการออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตและกลุ่มกายบริหารโดยอาสาสมัครจะต้องลงนามยินยอมเข้าร่วมโครงการ การวิจัยในครั้งนี้ได้ผ่านคณะกรรมการจริยธรรมในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยยึดหลักเกณฑ์ตามคำประกาศเฮลซิงกิ (The 1964 Declaration of Helsinki: HE642197)

ขั้นตอนการทำวิจัย

วิธีเก็บข้อมูล แพทย์หรือเจ้าหน้าที่ดูแลผู้ป่วยโรคไตดำเนินการขออนุญาตการเข้าถึงข้อมูลเวชระเบียน และลงนามโดยผู้ป่วยจะลงนามยินยอมให้เข้าถึงข้อมูลเพื่อคัดกรองผู้ป่วยโรคไตระยะที่ 3 (มีค่า eGFR 30-59 มล./นาที/1.73 ม²) จากนั้นผู้วิจัยได้อธิบายขั้นตอนและกระบวนการวิจัยให้ผู้ป่วยได้รับทราบและลงนามยินยอมเข้าร่วมโครงการ ผู้วิจัยได้ทำการนัดหมายอาสาสมัครเพื่อเข้าสู่การคัดกรอง โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเข้าสู่โครงการ คือ มีคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ หรือได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่าสามารถออกกำลังกายได้ และเป็นผู้ป่วยที่ไม่ได้ออกกำลังกายประจำสม่ำเสมอ (น้อยกว่า 3 วัน/สัปดาห์) เกณฑ์การคัดออกคือผู้ที่มีอาการปวดอย่างรุนแรงของกล้ามเนื้อ มีความผิดปกติของระบบประสาทอัตโนมัติ มีประวัติเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดและภาวะติดเชื้ เมื่อผ่านการคัดกรองแล้วอาสาสมัครจะถูกนัดมาทำการทดสอบสมรรถภาพร่างกาย 2 ครั้ง คือก่อนการฝึกออกกำลังกายและหลังการฝึกออกกำลังกาย 6 สัปดาห์ ตามลำดับโดยวัดค่าสัญญาณชีพ การทดสอบสมรรถภาพทางกาย โดยเริ่มจากการทดสอบความอ่อนตัว การทดสอบการทรงตัว ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนและขา และทดสอบการเดิน 6 นาที

การทดสอบสมรรถภาพทางกาย 1.การทดสอบความอ่อนตัว โดยให้อาสาสมัครนั่งตัวตรงบนพื้น เขยียดขาตรงไปข้างหน้าให้เข้าตึง เขยียดเข่าจากนั้นให้อาสาสมัครค่อยๆ ก้มลำตัวไปข้างหน้าพร้อมกับเขยียดแขนที่มีมือคว่ำซ้อนทับกันไปวางไว้บนกล่องวัดความอ่อนตัว 2.การทดสอบการทรงตัว โดยให้อาสาสมัครยืน นำแขนทั้งสองข้างกอดอก ยกขาขึ้นด้านหน้า 1 ข้าง พยายามทรงตัวให้นิ่งและนานจับเวลาในการยืนขาเดียวแล้วทดสอบกับขาอีกข้างหนึ่ง ในท่าสลิ้มตาและหลับตา 3.ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนและมือ โดยให้อาสาสมัครยืนตัวตรง เขยียดแขนทั้งสองข้างไว้ข้างลำตัวในท่าคว่ำมือ กางแขนข้างที่จะทดสอบออกประมาณ 15 องศา โดยให้ข้อศอกตึง ใช้มือออกแรงบีบให้แรงที่สุด และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา โดยให้อาสาสมัครยืนตัวตรงบนเครื่องวัดกำลังขา จากนั้นย่อเข่าลงไม่เกินปลายเท้า หลังและลำตัวตรง ใช้ขาออกแรงดันเครื่องให้แรงที่สุด 4.การทดสอบการเดิน 6 นาที เป็นการตรวจประเมินระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด (ATS/ACCP, 2003) โดยให้อาสาสมัครเดินให้เร็วเท่าที่ทำได้ ทดสอบเดิน 6 นาที มีขั้นตอนที่สำคัญ คือ ให้อาสาสมัครเดินเป็นเส้นตรงให้ได้ระยะทางมากที่สุดในระยะเวลา 6 นาที เริ่มการทดสอบจะเดินบนทางเดินที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง ยาว 15 เมตร และวางกรวยจราจรที่จุดกลับตัว เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบเดิน 6 นาที จะให้อาสาสมัครพักจนกระทั่งร่างกายกลับสู่สภาพปกติ โดยอาสาสมัคร

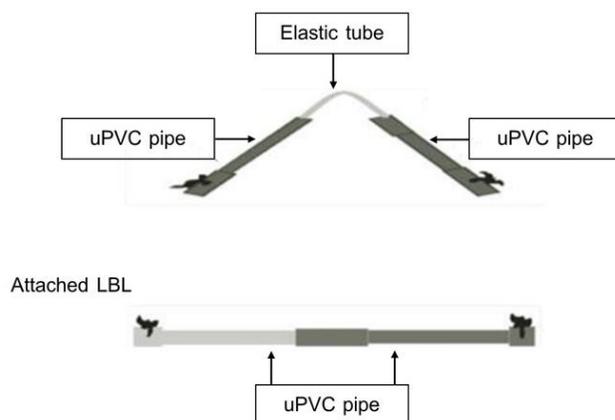
จะได้รับการตรวจอัตราการเต้นของหัวใจ ความอึดตัวของออกซิเจนในเลือดและความดันโลหิตทันทีหลังเดินครบและ 15 นาที หลังการทดสอบ

อุปกรณ์และรูปแบบการออกกำลังกาย

อุปกรณ์ออกกำลังกายสายสร้างชีวิต หรือ Life – Build – line; LBL เป็นอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ใหม่ที่ ใช้ทดลองในผู้ป่วยไตวายระยะสุดท้าย ขณะล้างไตทางช่องท้อง (CAPD) ช่วยให้สามารถขับของเสียออกจากร่างกายขณะล้างไตดีขึ้น(Panyaek, 2017) อนุสิทธิบัตรเลขที่ 7829 ซึ่งได้แรงบันดาลใจจากคาราชาวจีนชื่อ บรูซ ลี (Bruce Lee) ที่มีร่างกายแข็งแรง และความเชี่ยวชาญด้านศิลปะการต่อสู้แบบจีน โดยเฉพาะกังฟู (Kung-fu) และอุปกรณ์กระบองสองท่อนมีโซ่เหล็กเชื่อม สายสร้างชีวิตเป็นอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ใหม่ที่ประยุกต์จากอุปกรณ์ของบรูซ ลี จากกระบองเป็นท่อพีวีซี 2 ท่อน และเชื่อมติดกันด้วยสายยางที่มีความยืดหยุ่นซึ่งทำให้เกิดแรงต้านขณะที่ออกกำลังกาย (ภาพที่ 1) ช่วยให้เกิดการสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด อุปกรณ์ออกกำลังกายนี้สามารถพกพาไปออกกำลังกายในสถานที่ไหนก็ได้ มีความสะดวกและราคาถูก

การออกกำลังกายด้วยการใช้อุปกรณ์สายสร้างชีวิต ประกอบด้วยท่าออกกำลังกาย 17 ท่า (ภาพที่ 4) ซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่มีแรงต้านร่วมกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิคต่อเนื่องเป็นเวลา 50 นาที ประกอบไปด้วย การอบอุ่นร่างกาย 10 นาที การฝึกออกกำลังกาย 30 นาที และการคลายอุ่นร่างกาย 10 นาที และกลุ่มการออกกำลังกายแบบกายบริหาร ประกอบด้วย 17 ท่า ที่เป็นท่าที่เหมือนกับสายสร้างชีวิตแต่ไม่มีอุปกรณ์ โดยการออกกำลังกายนั้นจะเพิ่มความหนักขึ้นในทุก 2 สัปดาห์ เริ่มจากระดับ 60% 70% และ 75% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด

การวิเคราะห์ข้อมูล การวิจัยในครั้งนี้มีอาสาสมัครทั้งหมด 8 คน แสดงข้อมูลพื้นฐานของอาสาสมัครด้วยการทดสอบสถิติพรรณนา (descriptive statistic) ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปหาค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ในค่าแสดงข้อมูลพื้นฐานของอาสาสมัครและนำเสนอค่ามัธยฐาน (median) และค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ (IQR) การทดสอบค่าก่อนและหลังการออกกำลังกาย 6 สัปดาห์ (โดยใช้สถิติ Wilcoxon Signed Ranks Test) และเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตและกลุ่มกายบริหาร (โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test) โดยใช้ IBM SPSS Statistic V.26 กำหนดค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$)

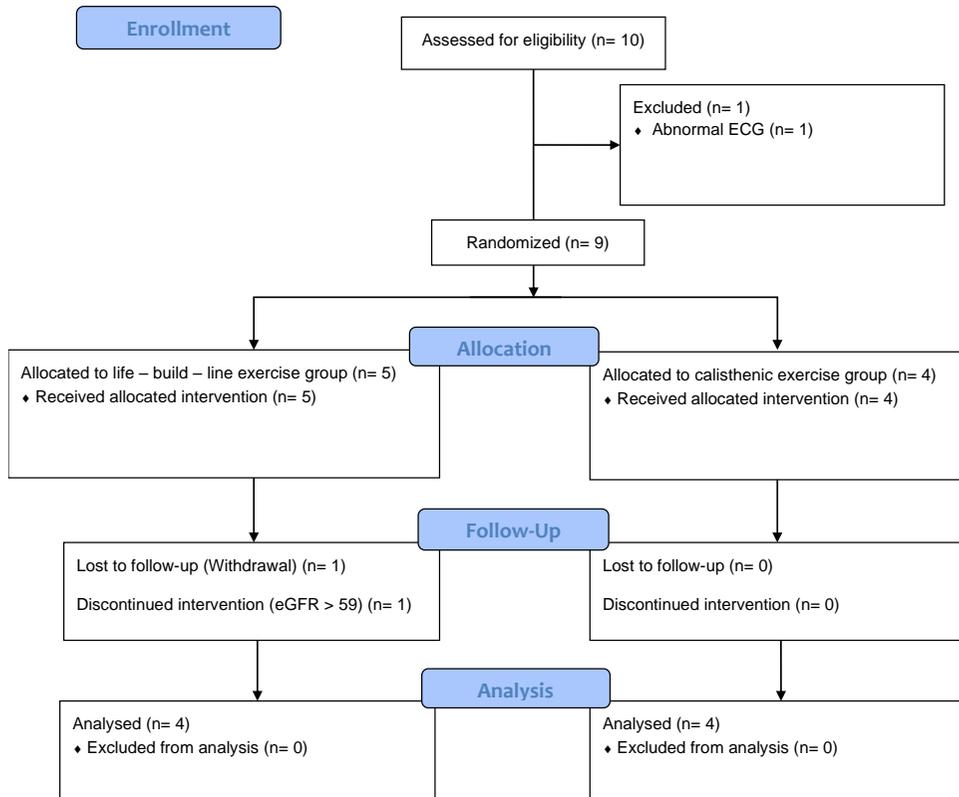


ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของสายสร้างชีวิต

หมายเหตุ: ส่วนประกอบของสายสร้างชีวิต จาก “Exercise intensity and substrate utilization in healthy sedentary females using the Life-Build-Line device” โดย Panyaek, N. *J Med Assoc Thai*, 2017;100 :318-25.



ภาพที่ 2 อุปกรณ์สายสร้างชีวิต



ภาพที่ 3 The CONSORT Flow Diagram (Moher, 2001)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

อาสาสมัครในการวิจัยในครั้งนี้เป็นเพศชาย 3 คน และเพศหญิง 5 คนโดยถูกสุ่มเข้ากลุ่มออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตมีอายุเฉลี่ย 58.75 ปี ค่าเฉลี่ย eGFR 52.4 มล./นาที/1.73 ม² และกลุ่มกายบริหารมีอายุเฉลี่ย 61.75 ปี ค่าเฉลี่ย eGFR 54.05 มล./นาที/1.73 ม² โดยตัวแปรเพศ อายุ และค่า eGFR ที่เป็นข้อมูลพื้นฐานของทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และนำเสนอข้อมูลพื้นฐานก่อนดำเนินการฝึกออกกำลังกายดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลพื้นฐานของอาสาสมัคร

เพศ (ชาย/หญิง)	กลุ่มสายสร้างชีวิต (n=4)		กลุ่มกายบริหาร (n=4)	
	1/3		2/2	
	mean	SD	mean	SD
อายุ (ปี)	58.75	3.95	61.75	2.75
ค่า eGFR (มล./นาที่/1.73 ม ²)	52.4	4.54	54.05	4.13
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที่)	79.25	8.48	76.25	11.38
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มม.ปรอท)	126.13	17.80	114.50	15.29
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มม.ปรอท)	72.25	13.20	64.50	14.55
ออกซิเจนในเลือด (%)	98.38	0.92	98.00	1.15
น้ำหนัก (กก.)	67.50	11.21	59.75	10.63
ส่วนสูง (ม.)	1.60	0.05	1.61	0.06
ดัชนีมวลกาย (กก./ม ²)	26.36	4.58	23.05	4.24

จากตารางที่ 2 นำเสนอผลภายในกลุ่มออกกำลังกายทั้ง 2 รูปแบบ เปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 6 สัปดาห์ โดยผลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในตัวแปรความอ่อนตัว การทรงตัว ความแข็งแรงของแขนและขา และระยะทางในการทดสอบเดิน 6 นาที และจากตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มของการออกกำลังกาย ก่อนและหลังการออกกำลังกาย 6 สัปดาห์ ผลพบว่ากลุ่มที่ออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตเปรียบเทียบกับกลุ่มกับกลุ่มกายบริหาร ในตัวแปรความอ่อนตัวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.05$) แต่ตัวแปรการทรงตัว ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนและขา และการทำงานของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดโดยใช้วิธีการวัดจากการทดสอบเดินเร็ว 6 นาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การออกกำลังกาย 6 สัปดาห์แบบมีแรงต้านช่วยให้ความอ่อนตัวของร่างกายเพิ่มขึ้นในกลุ่มผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3 การอ่อนตัวที่เพิ่มขึ้นนี้อาจเป็นเพราะการยืดและหดตัวของกล้ามเนื้อ เอ็นกล้ามเนื้อและข้อต่อในท่าออกกำลังกายที่อาสาสมัครออกแรงดึงสายสร้างชีวิตซึ่งการออกแรงดึงในหลายทิศทางไม่ว่าจะเป็นการยืดแบบอยู่นิ่ง (Static) การยืดแบบเคลื่อนไหว (Dynamic) และ การยืดแบบเคลื่อนไหว (Isometric) ตามคำแนะนำการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความอ่อนตัวในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรัง

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้สูงอายุ ควรออกกำลังกายมากกว่า 2 วันต่อสัปดาห์หรือมากกว่า 10 นาทีต่อวัน (Nelson, 2012) ซึ่งโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายของการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับวิธีการตามคำแนะนำนี้ นอกจากนี้แล้วมีการศึกษาการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่บ้าน (Home-based exercise) ที่ความหนักระดับปานกลางในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3-4 ช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ในอาสาสมัครที่อายุเฉลี่ย 55.9 ปี (Danilo, 2015) และการออกกำลังกายด้วยการทำกิจกรรมทางกายในท่าการออกกำลังกายแบบการยืดแบบเคลื่อนไหว การยืดแบบอยู่นิ่งและการยืดแบบเคลื่อนไหวซึ่งเป็นการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านของร่างกายในระยะเวลา 12 สัปดาห์ช่วยเพิ่มความอ่อนตัว (หลัง) ในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 2-4 ที่มีอายุเฉลี่ย 46.2 ปี (Bilal, 2021) อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่าการออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตในระยะเวลา 6 สัปดาห์นี้อาจไม่เพียงพอให้ร่างกายเพิ่มการทรงตัวและเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของฮาวเดน (Howden, 2015) ในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3-5 ที่ไม่มีการฟอกล้างไต หลังจากการออกกำลังกายที่บ้านในรูปแบบของการออกกำลังกายแบบมีแรงต้าน 8 สัปดาห์ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

ในทางตรงกันข้ามมีการศึกษาการฝึกออกกำลังกายแบบเพิ่มความก้าวหน้าแบบมีแรงต้าน ในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะ 3b-4 เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ซึ่งพบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อยืดขาเพิ่มขึ้น (Watson et al., 2015) ยิ่งไปกว่านั้นมีการศึกษาการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านร่วมกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในระยะเวลา 3 4 10 และ 12 เดือน ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ (Rossi, 2014; Hiraki, 2017; Hellberg, 2019) การทรงตัวเกิดจากความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัวแต่ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบการเพิ่มขึ้นของกล้ามเนื้อร่างกายด้วยเหตุนี้จึงไม่พบการเปลี่ยนแปลงของการทรงตัวในอาสาสมัครทั้ง 2 กลุ่ม เช่นเดียวกับการทดสอบเดิน 6 นาที ซึ่งเป็นการทดสอบที่ประเมินภาพรวมของระบบหายใจและไหลเวียนเลือดรวมทั้งระบบกล้ามเนื้อ ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความเปลี่ยนแปลงของระยะทางที่อาสาสมัครทำได้หลังการออกกำลังกาย 6 สัปดาห์ การศึกษาก่อนหน้าด้วยการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่บ้านที่ความหนักระดับปานกลางในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3-4 เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ช่วยเพิ่มระยะทางเดินทดสอบ 6 นาที ในอาสาสมัครที่อายุเฉลี่ย 55.9 ปี (Danilo, 2015) และการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านเป็นเวลา 12 สัปดาห์ในกลุ่มผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3-4 ช่วยเพิ่มระยะทางในการทดสอบเดิน 6 นาที (Rossi, 2014) ยิ่งไปกว่านั้นในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะ 3b-4 เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ความสามารถในการใช้ออกซิเจนของร่างกายและระบบหายใจและไหลเวียนเลือด การทำงานของหัวใจ ปอด และหลอดเลือดเพิ่มขึ้น (Watson, 2015)

การออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตเป็นเวลา 6 สัปดาห์เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มกายบริหารเพียงพอที่จะเพิ่มความอ่อนตัวของกล้ามเนื้อ แต่ความแข็งแรง การทรงตัว และการเพิ่มระบบหายใจและไหลเวียนเลือดให้ดีขึ้นระยะเวลาอาจยังไม่เพียงพอ จึงควรฝึกการออกกำลังกายนี้เป็นระยะเวลาที่มากขึ้น

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลสมรรถภาพทางกาย (ความอ่อนตัว การทรงตัว และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ) และการทดสอบเดิน 6 นาที ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 6 สัปดาห์ ภายในออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตและกลุ่มกายบริหาร

ตัวแปร	กลุ่มสายสร้างชีวิต				P value	กลุ่มกายบริหาร				P value
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก 6 สัปดาห์			ก่อนการฝึก		หลังการฝึก 6 สัปดาห์		
	median	IQR	median	IQR		median	IQR	median	IQR	
ความอ่อนตัว (ซม)	12.85	7.45	18.30	1.97	0.14	8.20	25.23	8.75	27.70	0.18
การทรงตัว (วินาที)										
ขาขวา สීමຕາ	27.00	15.75	29.00	4.25	0.18	30.00	13.50	18.00	24.75	0.18
ขาซ้าย สීමຕາ	27.50	11.75	24.50	7.75	0.65	16.00	26.50	18.50	26.00	0.29
ขาขวา ຫລັບຕາ	12.50	8.25	13.00	18.75	0.85	13.50	26.75	4.50	6.00	0.46
ขาซ้าย ຫລັບຕາ	9.00	8.25	7.50	6.25	0.72	3.00	23.00	4.00	4.75	1.00
ความแข็งแรงของมือ (กก.)										
แรงบีบมือขวา	21.80	11.48	23.20	12.13	0.14	28.10	14.67	26.95	15.33	1.00
แรงบีบมือซ้าย	20.45	9.23	22.65	6.98	0.07	29.40	18.93	30.45	17.90	0.20
ความแข็งแรงของขา (กก.)	52.00	13.75	46.50	7.75	0.10	70.00	57.88	55.50	46.00	0.14
ระยะทางเดิน 6 นาที (ม.)	359.50	65.25	372.50	49.00	0.47	350.00	91.00	384.50	120.00	0.47

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลสมรรถภาพทางกาย (ความอ่อนตัว การทรงตัว และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ) และการทดสอบเดิน 6 นาที ก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 6 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตและกลุ่มกายบริหาร

ตัวแปร	ก่อนการฝึก				P value	หลังการฝึก 6 สัปดาห์				P value
	กลุ่มสายสร้างชีวิต		กลุ่มกายบริหาร			กลุ่มสายสร้างชีวิต		กลุ่มกายบริหาร		
	median	IQR	median	IQR		median	IQR	median	IQR	
ความอ่อนตัว (ซม)	12.85	7.45	8.20	25.23	0.08	18.30	1.97	8.75	27.70	0.02
การทรงตัว (วินาที)										
ขาขวา สීමຕາ	27.00	15.75	30.00	13.50	0.51	29.00	4.25	18.00	24.75	0.54
ขาซ้าย สීමຕາ	27.50	11.75	16.00	26.50	0.24	24.50	7.75	18.50	26.00	0.77
ขาขวา ຫລັບຕາ	12.50	8.25	13.50	26.75	1.00	13.00	18.75	4.50	6.00	0.06
ขาซ้าย ຫລັບຕາ	9.00	8.25	3.00	23.00	0.31	7.50	6.25	4.00	4.75	0.11
ความแข็งแรงของมือ (กก.)										
แรงบีบมือขวา	21.80	11.48	28.10	14.67	0.25	23.20	12.13	26.95	15.33	0.39
แรงบีบมือซ้าย	20.45	9.23	29.40	18.93	0.15	22.65	6.98	30.45	17.90	0.25
ความแข็งแรงของขา (กก.)	52.00	13.75	70.00	57.88	0.66	46.50	7.75	55.50	46.00	0.66
ระยะทางเดิน 6 นาที (ม.)	359.50	65.25	350.00	91.00	0.46	372.50	49.00	384.50	120.00	0.66



ภาพที่ 4 การออกกำลังกายด้วยการใช้อุปกรณ์สายสร้างชีวิต

สรุปผลและเสนอแนะ

การออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางด้านความอ่อนตัวเมื่อเปรียบเทียบกับกายบริหารในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3 แต่ความแข็งแรง การทรงตัว และการเพิ่มระบบหายใจและไหลเวียนเลือดไม่เปลี่ยนแปลงหลังการฝึกออกกำลังกาย 6 สัปดาห์ การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษานำร่องโดยผู้วิจัยกำลังศึกษาผลการออกกำลังกายด้วยสายสร้างชีวิตและกายบริหารในผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 3 เป็นเวลา 12 สัปดาห์ต่อไปเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ป่วยต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษานำร่อง จึงมีกลุ่มอาสาสมัครค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตามผู้วิจัยกำลังศึกษาและเก็บข้อมูลต่อเนื่องและคัดกรองอาสาสมัครเพิ่มจนครบตามขนาดตัวอย่างที่กำหนดไว้

2. รูปแบบของการวิจัยในครั้งนี้เป็นรูปแบบการสุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบ ที่ได้ทำการสุ่มอาสาสมัครเข้ากลุ่มโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผู้วิจัยจึงไม่สามารถควบคุมอายุ เพศ และดัชนีมวลกายของอาสาสมัครในแต่ละกลุ่ม อย่างไรก็ตามอาสาสมัครทุกคนที่ผ่านเข้าร่วมวิจัยเป็นผู้ที่ผ่านเกณฑ์การคัดเข้า และในอนาคตผู้วิจัยจะเลือกวิธีแบ่งกลุ่มของอาสาสมัครที่เหมาะสมเพื่อให้อาสาสมัครมีลักษณะที่เหมือนกันมากที่สุดต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาสาสมัครทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการเข้าร่วมโครงการวิจัยในครั้งนี้ อย่างดียิ่งและขอขอบพระคุณที่มีวิจัย คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำจนเสร็จสิ้นกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

สุวรรณมา สุรวาทกุล. (2563). การพัฒนารูปแบบการดูแลผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะที่ 4 อัมเอนาตุน.

วารสารวิชาการสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดมหาสารคาม, 4, 129-143

ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. (2003). *Am J Respir Crit Care Med*, 167, 211-77.

Bilal, A. (2021). Effect of physical activity and vitamin D compared with vitamin D alone on muscle strength, back flexibility and aerobic activity in patients with chronic kidney disease: A comparative study from Pakistan. *Asia Pac J Clin Nutr*, 30(4), 566-572.

Baia, L.C. (2015). Phosphate and FGF-23 homeostasis after kidney transplantation. *Nat Rev Nephrol*, 11(11), 656-66.

Booth, F.W., Gordon, S.E., & Carlson, C.J. (2000). Waging war on modern chronic diseases: primary prevention through exercise biology. *J Appl Physiol*, 88, 774–787.

- Danilo, T.A. (2015). Impact of home-based aerobic exercise on the physical capacity of overweight patients with chronic kidney disease. *Int Urol Nephrol*, 47(2), 359-367.
- Dickinson, H.O., Mason, J.M., & Nicolson, D.J. (2006). Lifestyle interventions to reduce raised blood pressure: a systematic review of randomized controlled trials. *J Hypertens*, 24, 215-233.
- Global burden of disease chronic kidney disease collaboration. (2020). Global, regional, and national burden of chronic kidney disease, 1990-2017: a systematic analysis for the global burden of disease study 2017. *Lancet*, 29, 709-733.
- Headley, S. (2012). Exercise training improves HR responses and $\dot{V}O_2$ peak in predialysis kidney patients. *Med Sci Sports Exerc*, 44(12), 2392-9.
- Heiwe, S., & Jacobson, S.H. (2014). Exercise training in adults with CKD: A systematic review and meta-analysis. *Am J Kidney Dis*, 64, 383-93.
- Hellberg, M., Höglund, P., Svensson, P., & Clyne, N. (2019). Randomized controlled trial of exercise in CKD the RENEXC study. *Kidney Int Rep*, 4, 963-976.
- Hiraki, K., Shibagaki, Y., & Izawa, K.P. (2017). Effects of home-based exercise on pre-dialysis chronic kidney disease patients: a random-ized pilot and feasibility trial. *BMC Nephrol*, 18, 1-7.
- Howden, E.J., Coombes, J.S., & Isbel, N.M. (2015). The role of exercise training in the management of chronic kidney disease. *Curr Opin Nephrol Hypertens*, 24, 480-487.
- Kiuchi, M.G. (2017). Renal sympathetic denervation guided by renal nerve stimulation to treat ventricular arrhythmia in CKD patients with ICD. *Oncotarget*, 8(23), 37296-37307.
- Leehey, D.J. (2016). Structured Exercise in Obese Diabetic Patients with Chronic Kidney Disease: A Randomized Controlled Trial. *Am J Nephrol*, 44(1), 54-62.
- Moher, D. Schulz, K.F., & Altman, D.G. (2001). The CONSORT statement: revised recommendations for improving the quality of reports of parallel-group randomized trials. *Ann Intern Med*, 134, 657-62.

- Panyaek, N., Sirivong, D., Konharn, K., Tunkamnerdthai, O., Aneknun, P., & Leelayuwat, N. (2017). Exercise intensity and substrate utilization in healthy sedentary females using the Life-Build-Line device. *J Med Assoc Thai*, 100, 318-25.
- Rossi, A.P., Burris, D.D., Lucas, F.L., Crocker, G.A., & Wasserman, J.C. (2014). Effects of a renal rehabilitation exercise program in patients with CKD: a randomized, controlled trial. *Clin J Am Soc Nephrol*, 9, 2052–2058.
- Sharlene, A.G., Pelagia, K., & Thomas, H.M. (2015). Effect of exercise training on estimated GFR, vascular health, and cardiorespiratory fitness in patients with CKD: a pilot randomized controlled trial. *Am J Kidney Dis*, 65, 425-34.
- Stewart, K.J. (2002). Exercise training and the cardiovascular consequences of type 2 diabetes and hypertension: plausible mechanisms for improving cardiovascular health. *JAMA*, 288, 1622–1631.
- Sutheeraprasert, P., & Kankarn, W. (2018). The effectiveness of encourage family and village health volunteers participation program to delayed the progression of chronic kidney disease in urban area of Khon Kaen province. *Journal of Nursing and Health Care*, 36(4), 42-51.
- Toyama, K. (2010). exercise therapy correlates with improving renal function through modifying lipid metabolism in patients with cardiovascular disease and chronic kidney disease. *J Cardiol*, 56(2), 142-6.
- Watson, E.L. (2015). Progressive resistance exercise training in CKD: A feasibility study. *Am J Kidney Dis*, 66(2), 249-57.
- Zhang, L. (2019). Exercise therapy improves eGFR, and reduces blood pressure and BMI in nondialysis CKD patients: evidence from a meta-analysis. *BMC Nephrology*, 20, 398.

ข้อเสนอแนะการส่งบทความเพื่อตีพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้จัดทำวารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ ส่งเสริมความร่วมมือ การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ด้านวิชาการ และการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี โดยรับบทความวิจัยจากผู้นิพนธ์ทุกหน่วยงานทั้งภายในและภายนอก มหาวิทยาลัย

หลักเกณฑ์การตีพิมพ์

1. วารสาร วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม รับตีพิมพ์บทความทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารอื่นมาก่อน และไม่ส่งตีพิมพ์ซ้ำซ้อนในวารสารหลายฉบับในช่วงเวลาเดียวกัน
2. บทความที่ส่งเพื่อตีพิมพ์ต้องผ่านเกณฑ์การพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) จำนวน 2 ท่าน/บทความ จากจำนวนผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความทั้งหมด 3 ท่าน ทั้งนี้ผู้ทรงคุณวุฒิจะไม่สามารถทราบข้อมูลของผู้ส่งบทความ ผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ (Double-blind peer review)
3. กองบรรณาธิการ ขอสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาและตีพิมพ์บทความทุกเรื่อง รวมทั้งการแก้ไขตัวอักษรและคำสะกดต่างๆ ตามที่เห็นสมควร ในกรณีจำเป็นจะส่งต้นฉบับเดิมหรือแก้ไขแล้วกลับคืนให้ผู้เขียนเพื่อขอความเห็นชอบอีกครั้ง
4. กองบรรณาธิการ ขอสงวนสิทธิ์ในการปฏิเสธการลงตีพิมพ์ หากผู้เขียนไม่ดำเนินการแก้ไขบทความตามข้อเสนอแนะของผู้ประเมินคุณภาพบทความ

การส่งต้นฉบับ

ส่งต้นฉบับตามรูปแบบการเตรียมบทความที่วารสารกำหนด ด้วยไฟล์ Microsoft Word
มายังกองบรรณาธิการ

ความรับผิดชอบ

ข้อความและบทความในวารสารเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่มีส่วน
รับผิดชอบในเนื้อหา แต่อย่างไร

ข้อเสนอแนะการเตรียมต้นฉบับ

การเตรียมต้นฉบับ

ขนาดกระดาษ B5 ระยะห่างจากขอบซ้ายและขวา ขอบบนและล่าง 2.54 เซนติเมตร การจัด
คอลัมน์ ให้จัดเป็น 1 คอลัมน์ และต้องพิมพ์โดยไม่เว้นบรรทัด เว้นแต่เมื่อจะขึ้นหัวข้อใหม่ให้เว้นบรรทัด
1 บรรทัด และต้องพิมพ์ให้เต็มคอลัมน์ก่อนที่จะขึ้นคอลัมน์ใหม่หรือหน้าใหม่ ตัวอักษรแบบ TH
SarabunPSK และให้ใช้ตัวหนาสำหรับชื่อเรื่อง (ขนาด 18) และหัวข้อ (ขนาด 14) ความยาวบทความ
จำนวนหน้าไม่เกิน 15 หน้า

1. **ชื่อเรื่อง** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การพิมพ์ชื่อเรื่องให้วางตำแหน่งกลางกระดาษแบบคอลัมน์เดียวเริ่มจากชื่อเรื่องภาษาไทย ขึ้นบรรทัดใหม่เป็นชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 18 point พิมพ์ตัวหนา จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

2. **ชื่อผู้เขียนบทความและคณะ** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่ต้องใส่คำนำหน้า ตำแหน่งทางวิชาการของผู้เขียน ใช้หมายเลขแบบตัวยกกำกับชื่อหน่วยงานสังกัด ขนาดตัวอักษร 14 point ขนาด 14 point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

3. **สังกัดของผู้เขียน** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ พร้อมระบุอีเมลล์ ขนาดตัวอักษร 12 point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

4. **บทคัดย่อ** มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ คำว่า “บทคัดย่อ” และ “Abstract” พิมพ์ตัวหนา ขนาดตัวอักษร 16 point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ ส่วนเนื้อหาบทคัดย่อ ขนาดตัวอักษร 14 point ความยาวไม่เกิน 300 คำ และคำสำคัญไม่เกิน 5 คำ

5. **เนื้อหา** ประกอบด้วยหัวข้อหลักดังนี้ บทนำ วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัยและอภิปรายผล สรุปผลและเสนอแนะ กิตติกรรมประกาศ(ถ้ามี) เอกสารอ้างอิง หัวข้อพิมพ์ตัวหนา ขนาดตัวอักษร 16 point จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ ส่วนเนื้อหาข้อความแต่ละย่อหน้า กำหนดขนาดตัวอักษร 14 point ข้อความแต่ละย่อหน้าให้กระจายแบบไทย บรรทัดแรกแต่ละย่อหน้าให้เยื้องมาทางขวา 1.27 เซนติเมตร

5.1 บทนำ กล่าวถึงความสำคัญของปัญหาที่ศึกษา วัตถุประสงค์ และรวมถึงการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง

5.2 วิธีดำเนินการวิจัย อธิบายวิธีการวิจัย เครื่องมือ ประชากร กลุ่มตัวอย่าง วิธีเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล ควรเสนอรูปแบบและแสดงขั้นตอนอย่างกระชับและชัดเจน อาจใช้แผนภาพ หรือแผนผังเพื่อแสดงขั้นตอนการวิจัยได้ โดยรายละเอียดของภาพจะต้องสามารถมองเห็นได้ชัดเจน

5.3 ผลการวิจัยและอภิปรายผล ผลการวิจัยจากการวิเคราะห์ข้อมูลสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัย โดยนำเสนอเป็นลำดับสอดคล้องกับที่อธิบายไว้ในส่วนวิธีดำเนินการวิจัย ควรมีการแปลและอภิปรายผลอย่างมีหลักการ นำเสนอผลการวิจัยโดยการอ้างอิงทฤษฎีหรือสอดคล้องกับผลวิจัยอื่น เพื่อนำมาสนับสนุนหรือเห็นแย้งที่สมเหตุผล อาจมีการเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยในทำนองเดียวกันที่เผยแพร่มาก่อน

5.4 สรุปผลและเสนอแนะ สรุปประเด็นหลักของผลวิจัย ชี้ให้เห็นว่าประเด็นปัญหาสามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการที่ได้ศึกษามาด้วยวิธีหรือกรอบแนวคิดที่นำเสนอ ให้ข้อเสนอแนะที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์และให้แนวทางสำหรับการศึกษาวิจัยต่อไป

5.5 กิตติกรรมประกาศ อาจมีหรือไม่ก็ได้ เป็นข้อความแสดงความขอบคุณแก่ผู้ที่ช่วยเหลือให้ งานวิจัยลุล่วงไปด้วยดี

6. การอ้างอิงเอกสาร ผู้ส่งบทความจะต้องเขียนอ้างอิงเอกสารที่มาของข้อมูล โดยใช้ระบบนาม-ปี (Name-Year System) ตามแบบ APA 7th edition และการอ้างอิงในบทความทุกรายการจะต้องระบุในเอกสารอ้างอิงท้ายบทความด้วย

6.1 การเขียนอ้างอิงภายในเนื้อหา

ผู้แต่ง 1 คน

ภาษาไทย ชื่อ/สกุล/(ปี) หรือ (ชื่อ/สกุล,ปี)

ภาษาอังกฤษ สกุล/(ปี) หรือ (สกุล,ปี)

ผู้แต่ง 2 คน

ภาษาไทย ชื่อ/สกุลและ/ชื่อ/สกุล/(ปี) หรือ (ชื่อ/สกุลและ/ชื่อ/สกุล,ปี)

ภาษาอังกฤษ สกุล/and/สกุล/(ปี) หรือ (สกุล/&/สกุล,ปี)

ผู้แต่ง 3 คน ขึ้นไป

ภาษาไทย ชื่อ/สกุลและคณะ/(ปี) หรือ (ชื่อ/สกุลและคณะ,ปี)

ภาษาอังกฤษ สกุล/et/al./(ปี) หรือ (สกุล/et/al.,ปี)

6.2 การอ้างอิงท้ายบทความ

1) หนังสือ

ผู้แต่ง 1 คน

ภาษาไทย ชื่อ/สกุล./(ปีพิมพ์)./ชื่อเรื่อง/(พิมพ์ครั้งที่)./สำนักพิมพ์.

ภาษาอังกฤษ สกุล,/อักษรย่อชื่อ./(ปีพิมพ์)./ชื่อเรื่อง/(พิมพ์ครั้งที่)./สำนักพิมพ์.

ผู้แต่ง 2 คน

ภาษาไทย ชื่อ/สกุลและชื่อ/สกุล./(ปีพิมพ์)./ชื่อเรื่อง/(พิมพ์ครั้งที่)./สำนักพิมพ์.

ภาษาอังกฤษ สกุล,/อักษรย่อชื่อ./&/สกุล,/อักษรย่อชื่อ./(ปีพิมพ์)./ชื่อเรื่อง/(พิมพ์ครั้งที่).
สำนักพิมพ์.

ผู้แต่ง 3-20 คน ให้ใส่ชื่อทุกคน

2) บทความในวารสารแบบรูปเล่ม/อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่มีเลข DOI

ภาษาไทย ชื่อ/สกุล./(ปีพิมพ์)./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่(เลขของฉบับที่)./เลขหน้า.

ภาษาอังกฤษ สกุล,/อักษรย่อชื่อ./(ปีพิมพ์)./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่(เลขของฉบับที่)./
เลขหน้า.

3) บทความในวารสารแบบรูปเล่ม/อิเล็กทรอนิกส์ที่มีเลข DOI

ภาษาไทย ชื่อ/สกุล./(ปีพิมพ์)./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่(เลขของฉบับที่)./
เลขหน้า./https://doi.org/เลขdoi

ภาษาอังกฤษ สกุล,/อักษรย่อชื่อ./(ปีพิมพ์)./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่(เลขของฉบับที่),/เลขหน้า./https://doi.org/เลขdoi

4) วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต

วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตที่ไม่ได้ตีพิมพ์

ภาษาไทย ชื่อ/สกุล./(ปีที่เผยแพร่)./ชื่อวิทยานิพนธ์/[ระดับวิทยานิพนธ์]./ชื่อมหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ สกุล,/อักษรย่อชื่อ./(ปีที่เผยแพร่)./ชื่อวิทยานิพนธ์/[Unpublished doctoral dissertation or Unpublished master's thesis]./ชื่อมหาวิทยาลัย

5) วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตจากเว็บไซต์ (ไม่อยู่ในฐานข้อมูลเชิงพหุอักษร)

ภาษาไทย ชื่อ/สกุล./(ปีที่เผยแพร่)./ชื่อวิทยานิพนธ์/[ระดับวิทยานิพนธ์]./ชื่อเว็บไซต์./URL

ภาษาอังกฤษ สกุล,/อักษรย่อชื่อ./(ปีที่เผยแพร่)./ชื่อวิทยานิพนธ์/[Doctoral dissertation or Master's thesis]./ชื่อเว็บไซต์./URL

6) รายงานการประชุมเชิงวิชาการ (Proceeding)

ในรูปแบบรูปเล่มหนังสือ

ภาษาไทย ชื่อ/สกุล./(ปี)./ชื่อบทความ./ใน/ชื่อบรรณาธิการ/(บ.ก.),/ชื่อหัวข้องานประชุม./ชื่อการประชุม/(น./เลขหน้า)./ฐานข้อมูล.

ภาษาอังกฤษ สกุล,/อักษรย่อชื่อ./(ปี)./ชื่อเรื่อง./In/ชื่อบรรณาธิการ/(Ed. หรือ Eds.),/ชื่อหัวข้องานประชุม./ชื่อการประชุม/(pp./เลขหน้า)./ฐานข้อมูล

กรณีมีเลข DOI หรือ URL ให้เติมต่อท้ายจากฐานข้อมูล

ในรูปแบบวารสาร

ภาษาไทย ชื่อ/สกุล./(ปี)./ชื่อเรื่อง./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่(เลขของฉบับที่),เลขหน้า.

ภาษาอังกฤษ สกุล,/อักษรย่อชื่อ./(ปี)./ชื่อเรื่อง./ชื่อวารสาร./เลขของปีที่(เลขของฉบับที่),เลขหน้า.

7) เว็บไซต์

ภาษาไทย ชื่อ/สกุลผู้เขียน./(ปี,/วัน/เดือนที่เผยแพร่)./ชื่อบทความ./ชื่อเว็บไซต์./URL

ภาษาอังกฤษ สกุล,/อักษรย่อชื่อผู้เขียน./(ปี, เดือน/วันที่เผยแพร่)./ชื่อบทความ./ชื่อเว็บไซต์./URL

6.3 การจัดเรียงรายการอ้างอิง

1) การเรียงตามลำดับตัวอักษร

ภาษาไทย ใช้หลักการเดียวกับการเรียงคำในพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน โดยเรียงตามรูปพยัญชนะ ก-ฮ ส่วนคำที่ขึ้นต้นด้วยพยัญชนะเดียวกันให้เรียงตามรูปสระ

ภาษาอังกฤษ ใช้หลักการเดียวกับการเรียงคำใน Dictionary โดยเรียง A-Z

2) การเรียงลำดับงานหลายงานที่มีชื่อผู้แต่งคนแรกเป็นชื่อคนเดียวกัน

- (1) ถ้าชื่อผู้แต่งทุกคนเหมือนกัน ให้จัดเรียงตามปีที่พิมพ์
- (2) ถ้าชื่อผู้แต่งที่แตกต่างกัน ให้จัดเรียงตามงานที่มีชื่อผู้แต่งคนเดียวมาก่อน งานที่มีชื่อผู้แต่งอื่นร่วม
- (3) ถ้าชื่อผู้แต่งคนแรกเป็นคนเดียวกันและชื่อผู้แต่งคนที่สอง หรือคนที่สามต่างกัน ให้จัดเรียง

ตามลำดับอักษรตัวแรกของชื่อสกุลของผู้แต่งคนที่สอง และคนที่สามตามลำดับ

- (4) ถ้าชื่อผู้แต่ง คนแรกมีชื่อ สกุล เหมือนกัน ให้จัดเรียงตามลำดับอักษรย่อชื่อต้นและชื่อกลางของชื่อผู้แต่งคนแรก



JSET-RMU
Journal of Science Engineering and Technology

<https://jset.rmu.ac.th>