



วารสารวิชาการ ชายนีเทคโนโลยี

มรท.ภูเก็ต

ISSN 2822 - 1044 (Online)
ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566



PKRU
SciTech
JOURNAL



วารสารวิชาการชาชนเทคโนโลยี มรภ.ภูเก็ต
ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตา รัตนบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ นัยวิกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ศาสตราจารย์ ดร.ศุภมิตร จิตตะยโสธร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-
ลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ วัฒนเสถ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี อีสระไกรศีล

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.วรัญญา ศรีเดช

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.อัมพรพรรณ ชีรานุกร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ชฎานิศ ลือวานิช

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

รองศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา วงศ์ชนะบุญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

รองศาสตราจารย์ ดร.สุสติ พรผล

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์รังสรรค์ พลสมัค

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต



บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต (PKRU SciTech Journal) ฉบับนี้ได้รับรวบรวมบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ผ่านการพิจารณาอย่างเข้มข้นจากผู้ทรงคุณวุฒิบทความละ 3 ท่าน จำนวน 7 บทความ ประกอบไปด้วย บทความทางด้าน IoT 2 บทความ เป็นงานวิจัยที่พัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะสำหรับฟาร์มโคนม และทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ถูกพัฒนาขึ้น อีกงานวิจัยหนึ่งเป็นการพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองขีดความสามารถเบรกเกอร์และควบคุมโหลดบนสมาร์ตโฟนแบบเรียลไทม์เพื่อจัดการพลังงานในบ้านด้วยเทคโนโลยีไอโอทีโดยมีการประยุกต์ใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชันบลิงค์ ส่วนอีก 5 บทความเป็นงานวิจัยทางด้านคณิตศาสตร์ ด้านเคมี เกี่ยวกับการหาปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์รวมรวมถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากใบหว่าหิน ด้านอาหารที่ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งต่อคุณภาพของผัสดก ด้านสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของพื้นที่ระบบนิเวศเกษตรทุเรียน และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาระบบตรวจจับและนับโลหะสำหรับใช้ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์บนสายการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์เพื่อนำไปใช้กับอุตสาหกรรม

วารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากทั้งผู้ประเมินบทความ (peer review) และผู้เขียนบทความในการแก้ไขจนสำเร็จด้วยดี กองบรรณาธิการใคร่ขอเชิญชวนท่านผู้สนใจส่งบทความมาตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต โดยสามารถส่งต้นฉบับตามคำแนะนำในหน้าเว็บไซต์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/pkrusciotech> เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้สู่สังคมอันจะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านและผู้สนใจต่อไป

สารบัญ

ระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหย้าอัจฉริยะสำหรับฟาร์มโคเนื้อ	1
วาสนา วงศ์ษา และ ศรัณญา ตรีเทศ	
การพัฒนาระบบตรวจจับและนับโลหะในท่อส่งวัตถุดิบอาหารสัตว์แบบแนวตั้ง	12
กรณีศึกษา : ท่อส่งเมล็ดข้าวโพด	
บุญธง วสุรีย์ และ ปิยะมาศ ไชนอก	
เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองความสามารถเบรกเกอร์	23
และควบคุมโหลดเพื่อการจัดการพลังงานในบ้านด้วยเทคโนโลยีไอโอที	
ชัยสิทธิ์ วันน้อย, วรชัย ศรีเมือง, วาสนา วงศ์ษา และ นฤมล วันน้อย	
เอกลักษณ์บางประการของลำดับคล้ายสมดุลงและลำดับคล้ายสมดุลง-ลูคัสโดยวิธีเมทริกซ์	37
สานิตย์ ฤทธิเดช, อีรพล บัวทอง และ ศิริฉัตร ทิพย์ศรี	
การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวเจ้าแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด	49
ต่อคุณภาพของแผ่นโกล์โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสม	
ทัพพสาร ใจแก้ว, รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม, สุนทร สอนกิจดี และ ณัฐพร สุบรรณมณี	
การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของพื้นที่ระบบนิเวศเกษตรทุเรียนพื้นบ้านคลองแสง	61
และยางพารา อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี	
พงศกร หวันตะ และ วิชรี รวยรื่น	
ปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากใบหว่าหิน	74
อุไรวรรณ เพ็ชรกุล, จิตติกร พรหมบรรจง, อวยพร วงศ์กุล, ไพลิน บุญลิปตานนท์, เพ็ญอ อียา,	
กนกวรรณ ขวัญยืน และ เกวลี ชัยชาญ	

ระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะสำหรับฟาร์มโคเนื้อ

The Smart Control System of Cattle Barn and Grass Irrigation for Beef Cattle Farm

วาสนา วงศ์ษา¹ และ ศรีญญา ตรีทศ^{2*}
Wassana Wongsas¹ & Saranya Tritose^{2*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

²สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

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

²Information Technology, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University

Submitted 03/10/2022 ; Revised 17/11/2022 ; Accepted 24/12/2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะสำหรับฟาร์มโคเนื้อและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมประยุกต์แอนดรอยด์สำหรับส่งงานชุดอุปกรณ์ผ่านสมาร์ทโฟน การออกแบบระบบแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) ระบบควบคุมโรงเรือนโคเนื้อประกอบด้วย NodeMCU esp8266 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์รุ่น AM2302 วัดค่าและส่งข้อมูลไปยังคลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อแสดงกราฟแบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายไร้สาย 4G และควบคุมการทำงานของเครื่องฟั่นละอองหมอกและพัดลมเพื่อช่วยลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน และ 2) ระบบควบคุมการให้น้ำแปลงปลูกหญ้าเนเปียร์แคระโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินรุ่น X-SM01 อ่านข้อมูลไปประมวลผลด้วย NodeMCU esp8266 เพื่อควบคุมรีเลย์สั่งงานเปิด ปิดปั๊มน้ำและโซลินอยด์วาล์ว โดยทดสอบประสิทธิภาพในโรงเรือนของวิสาหกิจชุมชนผู้เลี้ยงโคเนื้อตำบลนายม จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่าสามารถบันทึกข้อมูลสถิติอุณหภูมิและความชื้นได้แบบอัตโนมัติ เมื่อทดสอบทำการฟั่นละอองหมอกเป็นเวลา 3 นาที ค่าอุณหภูมิโรงเรือนลดลงเฉลี่ย 0.39 °C และความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.47 %RH ระบบควบคุมการให้น้ำแปลงหญ้าอัตโนมัติสามารถทำงานได้ถูกต้องทุกโหมดควบคุม สามารถส่งข้อความแจ้งเตือนสถานะการทำงานไปยังโปรแกรมประยุกต์ไลน์ของผู้ใช้งานได้

คำสำคัญ: ไมโครคอนโทรลเลอร์ แอปพลิเคชันแอนดรอยด์ ระบบควบคุมโรงเรือนโคเนื้ออัตโนมัติ

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: Saranya.w@pcru.ac.th

Abstract

The objective of this research is to develop the smart control system of cattle barn and grass irrigation for beef cattle farm and evaluate the system's operational efficiency. The authors have developed an Android application for controlling cattle barn and grass irrigation to operate the kits through smartphones. The design of the control circuit is divided into two parts: The cattle barn control circuit consists of a NodeMCU ESP8266 connected to a temperature and humidity sensor that measures and transmits data to the cloud server to display real-time graphs over a 4G wireless internet network, and controls spraying and a fan for reduce temperature in the cattle barn. Part 2: The Napier grass irrigation control circuit uses the NodeMCU esp8266, the soil moisture sensor X-SM01 connects the relay to activate the pump and solenoid valve. The system was set up for testing in the cattle barns of Community Enterprises of Nayom Subdistrict Beef Cattle Breeders, Phetchabun. It can automatically record temperature and humidity statistics. It was found that when the automatic fogging test was conducted for 3 minutes, the temperature in the cattle barn decreased by an average of 0.39 °C and the humidity increased by an average of 2.47 %RH. The automatic grass irrigation control system can operate correctly in all control modes. Messages about the system status can be sent to the application LINE.

Keywords: microcontroller, Android application, automatic beef cattle control system

บทนำ

สภาพภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงนั้นได้ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยทั้งการเกษตรกรรม ระบบนิเวศ ด้านทรัพยากร และด้านปศุสัตว์ โดยเฉพาะการเลี้ยงโคเนื้อในฤดูร้อนนั้นส่งผลโดยตรงต่อสภาวะความเครียดของโคเนื้อในฟาร์ม จากการอาศัยในโรงเรือนที่สภาพอากาศร้อนทำให้โคเนื้อที่มีอุณหภูมิของร่างกายสูงขึ้นจนสูญเสียสมดุล [1] ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของโคเนื้อได้ ปัจจุบันเกษตรกรที่เลี้ยงโคเนื้อในจังหวัดเพชรบูรณ์ได้ประสบปัญหาด้านความร้อนในโรงเรือนโดยเกษตรกรวิสาหกิจชุมชนผู้เลี้ยงโคเนื้อ ตำบลนายนม จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้ทำการปรับปรุงโรงเรือนยกหลังคาสองชั้นแต่ยังประสบปัญหาอุณหภูมิในโรงเรือนที่สูงขึ้นมากในช่วงฤดูร้อน ส่งผลให้โคกินอาหารได้น้อยลงและชะลอการเจริญเติบโต ในการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติในโรงเรือนปศุสัตว์ [2] ได้กล่าวถึงวิธีหนึ่งในการแก้ไขปัญหาระยะสั้นในสภาพโรงเรือนเดิมของเกษตรกรสามารถทำได้โดยการปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้เข้ากับตัวโคเนื้อโดยการใช้พัดลม เครื่องพ่นละอองน้ำ หรือใช้สายยางฉีดพ่นน้ำในช่วงที่อากาศร้อน โดยมีเป้าหมายเพื่อลดระดับอุณหภูมิแวดล้อมและบรรเทาปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อให้เกิดสภาวะเครียดจากความร้อน เมื่อมีค่าระดับความเครียดของโคภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (THI) 72 ขึ้นไป [3] การศึกษาเกี่ยวกับการลดความร้อนด้วยการทำงานของระบบการพ่นละอองน้ำขนาดเล็กร่วมกับพัดลม (fogging and fan) ในการลดผลกระทบจากสภาวะเครียดของสัตว์ในช่วงฤดูร้อนโดย Boonsanit et al. (2011) [4] พบว่าสามารถลดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนได้และระดับของ THI ลงได้เมื่อเทียบกับโรงเรือนที่ไม่ได้ใช้ และจากงานวิจัยของนภาพร และคณะ [5] ได้สรุปปัญหาและอุปสรรคของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อทั้งการเลี้ยงแบบเชิงคอกที่มีต้นทุนอาหารชั้นราคาแพง และพืชอาหารสัตว์ไม่เพียงพอ ส่วนในโคเนื้อแบบปล่อยฝูงคือแหล่งแพร่กระจายโรคมีจำกัด และขาดแคลนแหล่งน้ำในฤดูแล้ง จึงควรมีการบริหารจัดการระบบให้น้ำแปลงหญ้าเลี้ยงสัตว์อย่างเหมาะสมเพื่อให้สามารถผลิตหญ้าเนเปียร์และพืชอาหารสัตว์คุณภาพดีมีโปรตีนสูงสำหรับเลี้ยงโคเนื้อและช่วยเกษตรกรในการลดต้นทุนด้านอาหารสัตว์ได้ [6]

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาและนำนวัตกรรมด้านอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะเข้ามาควบคุมการทำงานได้แบบอัตโนมัติในบริเวณโรงเรือนเลี้ยงโคเนื้อ รวมถึงควบคุมการให้น้ำบริเวณแปลงหญ้าอาหารสัตว์ โดยพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะสำหรับฟาร์มโคเนื้อซึ่งประกอบด้วย เซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ อุปกรณ์ควบคุมชุดพ่นละอองหมอกและพัดลมเพื่อช่วยลดความร้อนของโรงเรือน ส่วนของชุดควบคุมการให้น้ำแปลงหญ้าเนเปียร์ใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินรุ่น X-SM01 อ่านข้อมูลไปประมวลผลด้วย NodeMCU esp8266 และพัฒนาโปรแกรมประยุกต์แอนดรอยด์เป็นส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ผ่านสมาร์ตโฟน ระบบที่สร้างขึ้นนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อช่วยลดอุณหภูมิภายในบริเวณโรงเรือน มีการจัดการระบบให้น้ำแปลงหญ้าอาหารสัตว์ การใช้เทคโนโลยีระบบอัตโนมัติในฟาร์มโคเนื้อจะสามารถลดปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงาน ช่วยอำนวยความสะดวกและลดเวลาการทำงานของเกษตรกรผู้เลี้ยงโคเนื้อได้

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะสำหรับฟาร์มโคเนื้อและทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะสำหรับฟาร์มโคเนื้อ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูล ลงพื้นที่ และสัมภาษณ์เพื่อระบุความต้องการของระบบดังนี้ เกษตรกรผู้ใช้งานมีความต้องการลดสภาวะความร้อนภายในโรงเรือนโคนเนื้อแบบเดิมที่มีอยู่ด้วยการติดตั้งระบบพ่นละอองหมอกได้หลังคาโรงเรือนและการควบคุมในการรดน้ำแปลงหญ้าพืชอาหารสัตว์ที่สามารถทำงานได้แบบอัตโนมัติ

2. การวิเคราะห์ความต้องการของระบบ

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และกำหนดความต้องการ โดยระบุขอบเขตของการพัฒนาระบบดังนี้

2.1 สามารถแสดงผลค่าอุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และสามารถควบคุมการเปิด-ปิดการทำงานของชุดอุปกรณ์ระบบควบคุมโรงเรือนเลี้ยงโคนเนื้อ ได้แก่ บั้มพ่นหมอก และพัดลมในโรงเรือน

2.2 สามารถแสดงผลค่าความชื้นในดิน และสามารถควบคุมการเปิด-ปิดการทำงานของชุดอุปกรณ์ระบบควบคุมการให้น้ำแปลงหญ้าเนเปียร์แคะซึ่งประกอบด้วย โซลินอยด์วาล์วที่เชื่อมต่อยังปั้มน้ำกับระบบให้น้ำน้อยโดยให้น้ำผ่านท่อจ่ายหยด หรือ มินิสปริงเกลอร์

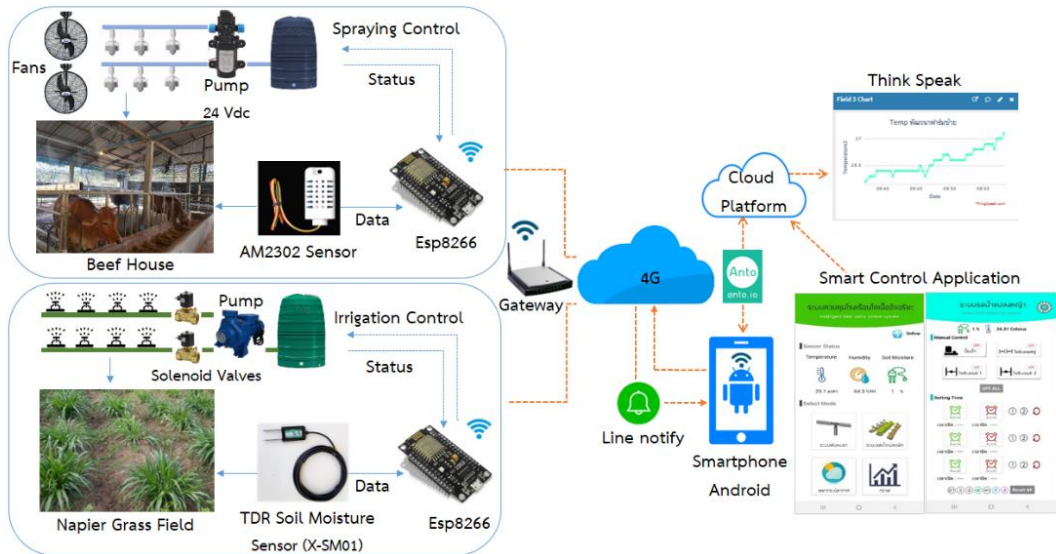
2.3 สามารถควบคุมการทำงานผ่านโปรแกรมประยุกต์แอนดรอยด์แบบควบคุมด้วยมือและแบบอัตโนมัติ

3. การออกแบบระบบ

3.1 ระบบควบคุมโรงเรือนโคนเนื้อ ประกอบด้วย NodeMCU esp8266 เชื่อมต่อกับโมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์รุ่น AM2302 ในการวัดค่าและส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายเคลื่อนที่ (4G) เพื่อส่งงานรีเลย์ซึ่งต่อไปยังพัดลมและบั้มพ่นหมอกซึ่งเป็นปั้มน้ำขนาด 24 V_{DC} แรงดัน 9 บาร์ต่อเข้ากับชุดหัวพ่นหมอกขนาด 0.6 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างหัวพ่นหมอก 1 เมตร ที่บริเวณหลักคานใต้หลังคาโรงเรือนสูงจากพื้นประมาณ 3 เมตร โดยทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ AM2302 ทั้งบริเวณภายในและภายนอกบริเวณพ่นหมอก ส่งบันทึกข้อมูลไปยังคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ Think speak เพื่อแสดงกราฟแบบเรียลไทม์ ส่วนนี้มีการทำงาน 3 โหมด คือ โหมด 1 การควบคุมด้วยมือ โดยการสั่งเปิด-ปิดบั้มพ่นหมอกและพัดลมที่ติดตั้งบริเวณโรงเรือนผ่านการกดปุ่ม On-Off แบบ Toggle Button โหมด 2 การควบคุมแบบตั้งเวลา โดยผู้ใช้งานกำหนดเวลาเพื่อตั้งเวลาสำหรับเปิด-ปิดการทำงานของระบบสามารถตั้งค่าได้ 5 ชุดของช่วงเวลาและการตั้งเวลาอย่างง่ายแบบ 5, 10, 15 และ 20 นาที เมื่อครบเวลาพัดลมจะทำงานต่ออีกเป็นเวลา 10 นาที และ โหมด 3 การควบคุมแบบตั้งค่าอุณหภูมิ โดยให้ผู้ใช้งานกำหนดตั้งค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด และมีปุ่ม Reset เพื่อยกเลิกการตั้งค่าในทุกโหมดการทำงาน

3.2 ระบบควบคุมการให้น้ำแปลงหญ้าเนเปียร์แคะ ประกอบด้วย NodeMCU esp8266 เชื่อมต่อกับโมดูลวัดความชื้นในดิน (TDR soil moisture sensors) รุ่น X-SM01 เชื่อมต่อไปยังรีเลย์เพื่อสั่งงานเปิดปิดปั้มน้ำและโซลินอยด์วาล์วมีการทำงาน 3 โหมด คือ โหมด 1 ระบบแบบควบคุมด้วยมือ โดยการสั่งเปิดหรือปิดปั้มน้ำ และโซลินอยด์วาล์วจำนวน 2 โซน ผ่านการกดปุ่ม On-Off แบบ Toggle Button เพื่อทำการเปิด-ปิดการทำงานของปั้มน้ำและโซลินอยด์วาล์ว โหมด 2 ควบคุมระบบแบบตั้งเวลา โดยให้ผู้ใช้งานตั้งค่าช่วงเวลาเพื่อกำหนดเวลาสำหรับเปิด-ปิดการทำงานของระบบสามารถระบุได้ 3 ช่วงเวลา โดยสั่งงานควบคุมโซลินอยด์วาล์วได้จำนวน 2 โซน และมีปุ่มรีเซ็ตสำหรับยกเลิกการตั้งเวลาทำงาน และการตั้งค่าการทำงานแบบทำซ้ำให้ผู้ใช้งานกำหนดตามแต่ละวันในสัปดาห์ โดยสามารถระบุวันทำงานได้ตั้งแต่วันจันทร์ ถึง วันอาทิตย์ และปุ่ม Reset All เพื่อยกเลิกการตั้งเวลาทำงานของระบบน้ำทั้งหมด และโหมด 3 ควบคุมแบบตั้งค่าความชื้นในดิน โดยผู้ใช้ทำ

การตั้งค่าความชื้นในดินสูงสุด (max) และต่ำสุด (min) เมื่อผู้ใช้งานบันทึกการตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว ป้อนน้ำและโซลินอยด์วาล์วจะทำงานตามที่ทำการตั้งค่าไว้ (ภาพที่ 1)

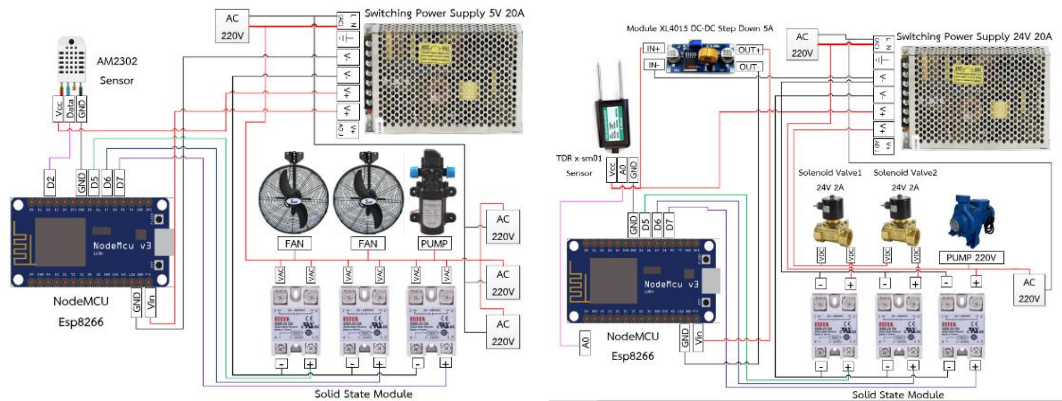


ภาพที่ 1 การออกแบบระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะสำหรับฟาร์มโคนม

3.3 การออกแบบวงจรการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ของระบบ

วงจรระบบควบคุมโรงเรือนเลี้ยงโคนมประกอบด้วยบอร์ด NodeMCU esp8266 เซ็นเซอร์ AM2302 ป้อนน้ำกระแสตรงขนาด 24 V_{DC} แรงดัน 9 บาร์ ทำหน้าที่ในการผลิตละอองหมอกสำหรับเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและลดอุณหภูมิบริเวณโรงเรือน และพัดลม ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 โวลต์ 20 แอมป์ ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟให้ชุดอุปกรณ์

วงจรระบบควบคุมการให้น้ำแปลงหญ้าเนเปียร์ประกอบด้วยบอร์ด NodeMCU esp8266 โมดูลวัดความชื้นในดิน (TDR soil moisture sensors) เชื่อมต่อไปยังรีเลย์เพื่อสั่งงานเปิดปิดปั๊มน้ำที่ใช้ทดลองเป็นปั๊มน้ำขนาด 370 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220 V_{AC} ทำหน้าที่ในการดูดน้ำจากถังพักน้ำเพื่อส่งเข้าสู่ระบบท่อน้ำหยด และโซลินอยด์วาล์วขนาด 24 V_{DC} ทำหน้าที่เป็นวาล์วไฟฟ้าต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ เพื่อจ่ายกระแสไฟให้ชุดอุปกรณ์ การออกแบบวงจรแสดงดังภาพที่ 2

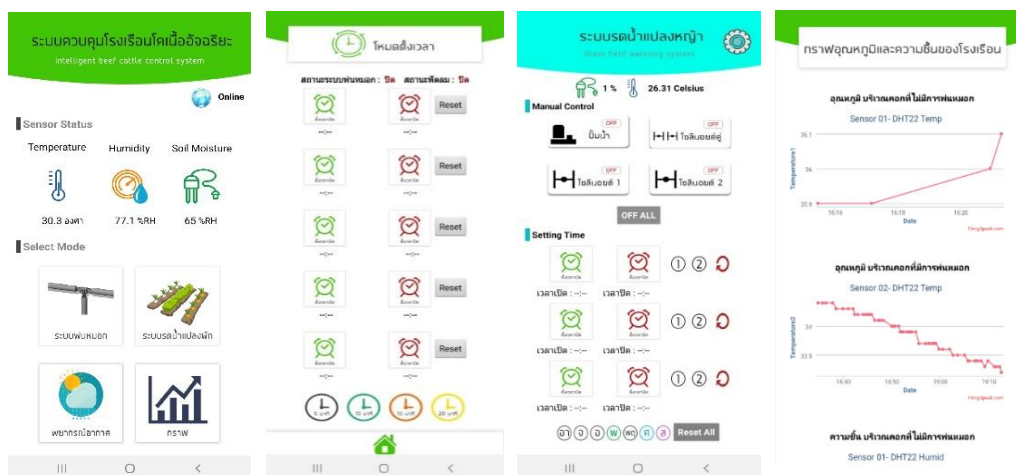


ภาพที่ 2 วงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบ

3.4 การพัฒนาชุดอุปกรณ์และโปรแกรมประยุกต์

3.4.1 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ลงในกล่องควบคุมแบบกันน้ำและมีช่องเอาต์พุตสำหรับต่ออุปกรณ์ที่ต้องการใช้งานแบบ power socket โดยสามารถนำปั๊มพ่นหมอก พัดลมโรงเรือน และปั๊มน้ำมาต่อเข้ากับ power socket ส่วนใต้กล่องควบคุมเพื่อใช้งานได้โดยสะดวก

3.4.2 การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะ โปรแกรมประยุกต์แอนดรอยด์ ที่พัฒนาขึ้นนี้ ได้ออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานด้วยโปรแกรม MIT App Inventor2 และเชื่อมต่อไปยังเซิร์ฟเวอร์ Anto ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มสื่อกลางในการส่งงานชุดอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU esp8266 กับเซ็นเซอร์ผ่านการสื่อสารไร้สายแบบ 4G สามารถแสดงผลค่าจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของโรงเรือน และความชื้นในดินของแปลงหญ้าแบบเรียลไทม์บน Thing Speak (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 โปรแกรมประยุกต์ระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะ

ระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะสำหรับฟาร์มโคนเนื้อ

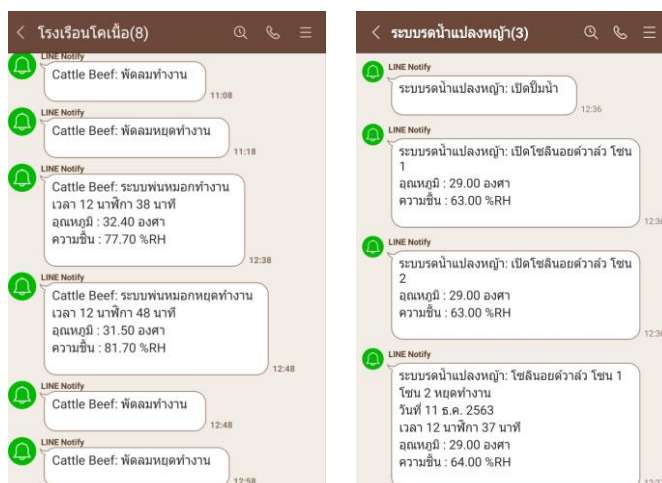
3.5 การทดสอบการใช้งานระบบ

ผู้วิจัยได้ทดสอบการทำงานของโปรแกรมประยุกต์และระบบควบคุม โดยทดสอบตามฟังก์ชันการทำงานทั้ง 2 ระบบในทุกโหมดการทำงาน ทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องของระบบให้ใช้งานได้ถูกต้องครบถ้วนทุกฟังก์ชัน หลังจากนั้นนำไปติดตั้งทดสอบการใช้งานบริเวณโรงเรือนเลี้ยงโคเนื้อของวิสาหกิจชุมชนผู้เลี้ยงโคเนื้อตำบลนายม อำเภอมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ระบบควบคุมโรงเรือนและโปรแกรมประยุกต์

เมื่อมีการใช้งานระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะสำหรับฟาร์มโคเนื้อ โดยการใช้งานผ่านโปรแกรมประยุกต์บนสมาร์ตโฟน ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนสถานะการทำงานของอุปกรณ์ไปยังโปรแกรมประยุกต์ไลน์ของผู้ใช้งานผ่าน Messaging API ของ line notify [7] (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การส่งข้อความแจ้งเตือนสถานะการทำงานของระบบไปยังโปรแกรมประยุกต์ไลน์ของผู้ใช้

3.6 การเก็บรวบรวมข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้

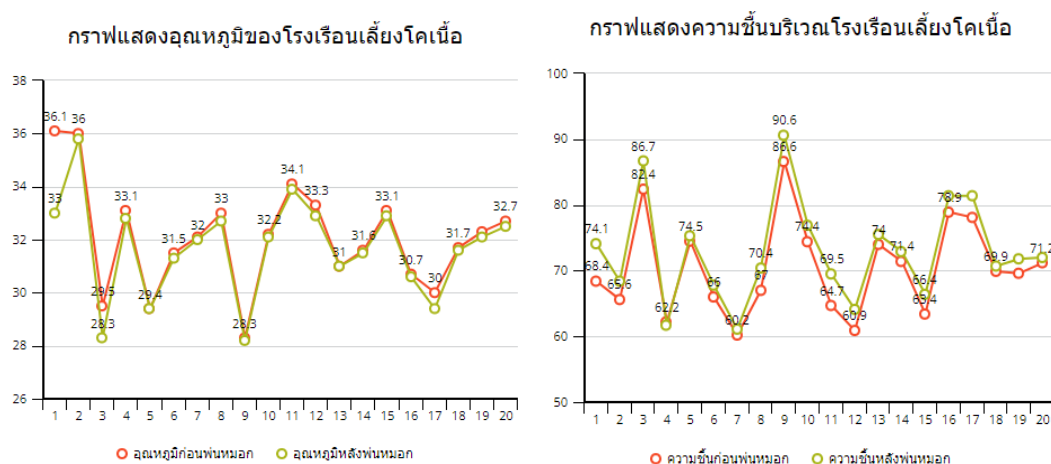
3.6.1 การบันทึกสถิติค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือน โดยมีการส่งค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ไปยังคลาวด์เซิร์ฟเวอร์แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติในการหาค่าเฉลี่ย

3.6.2 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมแบบอัตโนมัติและบันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนก่อนและหลังการพ่นหมอกเป็นเวลา 3 นาที โดยอ่านค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ เพื่อหาความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนด้วยกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Paired Samples T-Test

ผลการวิจัย

1. ผลการทดลองติดตั้งใช้งานชุดอุปกรณ์บริเวณโรงเรือนเลี้ยงโคเนื้อของวิสาหกิจชุมชนผู้เลี้ยงโคเนื้อตำบลนายม อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ บันทึกสถิติค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและค่าเฉลี่ยความชื้นในแต่ละวันของโรงเรือนเลี้ยงโคเนื้อโดยเก็บข้อมูล 15 วัน พบว่ามีค่าอุณหภูมิสูงสุดของโรงเรือนภายนอกบริเวณพ่นหมอก ภายในบริเวณพ่นหมอกที่ศตวันออก และภายในบริเวณพ่นหมอกที่ศตวันตก คือ 35.50 °C, 35.60 °C และ 34.90 °C ตามลำดับ ภายนอกบริเวณพ่นหมอกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ 29.54 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 85.38 %RH ภายในบริเวณพ่นหมอกที่ศตวันออกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ 28.51 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 82.73 %RH และภายในบริเวณพ่นหมอกที่ศตวันตกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ 27.85 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 87.02 %RH

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมโรงเรือนโคเนื้อ โดยกำหนดโหมดการทำงานแบบตั้งเวลา 3 นาที จำนวน 20 ครั้ง และเนื่องจากเป็นโรงเรือนระบบเปิดจึงใช้แสงนพรางแสงล้อมรอบบริเวณทดสอบเพื่อป้องกันลม โดยทดสอบใช้งานช่วงเวลาทำการของฟาร์มโคเนื้อ 11.00 - 16.00 น. บันทึกค่าสถิติการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบริเวณพ่นหมอกลดลงเฉลี่ย 0.39 °C และค่าความชื้นเปลี่ยนแปลงโดยเพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ย 2.47 %RH ค่าอุณหภูมิก่อนและหลังการพ่นหมอกแสดงดังนี้ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือนโคเนื้อก่อน-หลังการทดสอบพ่นละอองหมอก 3 นาที

ตารางที่ 1 Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation
อุณหภูมิของโรงเรือน	ก่อนพ่นหมอก	32.09 °C	20	2.01
	หลังพ่นหมอก	31.70 °C	20	1.86
ความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเรือน	ก่อนพ่นหมอก	70.47 %RH	20	7.21
	หลังพ่นหมอก	72.94 %RH	20	7.72

ตารางที่ 2 Paired Samples T-Test

Paired Differences							
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	t	df	Sig. (2-tailed)	Sig. (1-tailed)
อุณหภูมิ	-0.39	0.69	0.15	-2.4899	19	1.0000	1.0000
ความชื้นสัมพัทธ์	2.47	1.56	0.35	7.0783	19	0.0000	0.0000

จากตารางในการวิเคราะห์ Paired Samples t-test พบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิโรงเรือนก่อนการพ่นหมอก 32.09 °C และหลังการพ่นหมอก 31.70 °C และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโรงเรือนก่อนและหลังการพ่นหมอก 3 นาที พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโรงเรือนหลังการพ่นหมอกไม่แตกต่างจากก่อนพ่นหมอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ก่อนการพ่นหมอก 70.47 %RH และหลังการพ่นหมอก 72.94 %RH และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ก่อนและหลังการพ่นหมอก 3 นาที พบว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนหลังการพ่นหมอกสูงกว่าก่อนการพ่นหมอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมการให้น้ำแปลงหญ้าอัตโนมัติ ได้แก่ การทดสอบสั่งงานในโหมดควบคุมด้วยมือ การทดสอบการทำงานในโหมดตั้งเวลาตามที่ผู้ใช้กำหนดวันและเวลา และการทดสอบการทำงานในโหมดตั้งค่าความชื้น จากการทดสอบทั้ง 3 โหมดควบคุม ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง เมื่อทำการวางระบบน้ำและเริ่มปลูกหญ้าเนเปียร์แควที่ระยะการปลูก 100x100 เซนติเมตร แล้วให้น้ำบริเวณแปลงหญ้าโดยการตั้งเวลารดน้ำแบบอัตโนมัติเมื่อหญ้าอายุครบ 45 วัน ทำการตัดหญ้าสดนำไปชั่งได้น้ำหนักได้ผลผลิตโดยเฉลี่ย 1,495 กิโลกรัมต่อ 1 ไร่

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้สร้างต้นแบบเทคโนโลยีด้วยการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ไอโอทีมาใช้งานด้านปศุสัตว์สำหรับระบบควบคุมเพื่อใช้ในฟาร์มเลี้ยงโคเนื้อ มีการบันทึกข้อมูลจากเซ็นเซอร์และแสดงผลผ่านคลาวด์เซิร์ฟเวอร์และสั่งงานผ่านโปรแกรมประยุกต์แอนดรอยด์บนสมาร์ตโฟนได้ออกแบบให้มีการทำงานร่วมกันระหว่างระบบพ่นหมอกและพัดลมเพื่อช่วยในการระเหยของละอองหมอกและนำพาการระบายความร้อนในโรงเรือนโคเนื้อได้ดังที่ Tresoldi et al. [8] กล่าวถึงระยะเวลาในการพ่นละอองน้ำ 1 ครั้ง ไม่ควรน้อยกว่า 3 นาทีและเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนโดยติดตั้งพัดลมเป่าอากาศเพื่อเพิ่มความเร็วของลมที่พัดผ่านตัวโค การบันทึกสถิติค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโรงเรือนโคเนื้อแบบเปิด พบว่าภายในบริเวณพ่นหมอกมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณที่ไม่ได้ติดตั้งระบบพ่นหมอกสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิษณุ และคณะ [9] ผลการเปรียบเทียบสภาพแวดล้อมภายใน

โรงเรือนไก่ไข่ที่ใช้การควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนอัตโนมัติจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิโรงเรือนหลังทำการฟั่นละอองหมอกลดลงเฉลี่ยเพียง 0.39°C เมื่อทำการทดสอบเวลา 3 นาที เนื่องจากโรงเรือนโคเนื้อเป็นระบบเปิดจึงไม่สามารถลดอุณหภูมิได้มีประสิทธิภาพเท่าโรงเรือนแบบปิด ปัจจัยหนึ่งมาจากอากาศภายนอกที่ร้อนจะไหลผ่านเข้ามาในโรงเรือนพัดพาอากาศเย็นบริเวณที่ทำการฟั่นหมอกออกไป [9] ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนหลังการฟั่นหมอกสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีความสอดคล้องกับ Fournel et al. [10] ซึ่งกล่าวว่าในโรงเรือนโคนมที่ใช้เทคโนโลยีฟั่นหมอกจะมีความเย็นมากกว่าในขณะที่ยังมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 8-50 %RH โดยรวมแล้วสามารถลดค่า THI ลงได้ 1-5 ทำให้อุณหภูมิทางทวารหนักและอัตราการหายใจของโคลดลงได้ ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยลดปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงาน อำนวยความสะดวกและลดเวลาการทำงานของเกษตรกร สามารถผลิตหญ้าสดเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนหญ้าอาหารสัตว์ในหน้าแล้ง และช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายจากการซื้ออาหารสัตว์ได้ นอกจากนี้การประยุกต์ใช้ฟาร์มอัจฉริยะกับการปศุสัตว์เพื่อผลักดันและช่วยให้เกษตรกรสามารถตอบสนองความต้องการด้านผลิตอาหารเข้าสู่ตลาดต่อไป [11]

สรุปผลการวิจัย

การสร้างและพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะสำหรับฟาร์มโคเนื้อประกอบด้วย 2 ระบบการทำงานหลัก คือ ระบบควบคุมโรงเรือนเลี้ยงโคเนื้อและระบบควบคุมการให้น้ำแปลงหญ้าอัตโนมัติ สามารถควบคุมชุดอุปกรณ์ผ่านโปรแกรมประยุกต์แอนดรอยด์เชื่อมต่อแสดงผลข้อมูลผ่านเครือข่ายการสื่อสารไร้สาย (4G) สามารถเก็บข้อมูลสถิติอุณหภูมิและความชื้นของโรงเรือนเลี้ยงโคเนื้อบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ โดยผลทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมโรงเรือนและการให้น้ำแปลงหญ้าอัจฉริยะสำหรับฟาร์มโคเนื้อทุกโหมดควบคุมมีการทำงานถูกต้องครบถ้วนเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ระบบสามารถแจ้งเตือนสถานะการทำงาน วัน เวลา ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและความชื้นในดินผ่านโปรแกรมประยุกต์ไลน์ ภายในโรงเรือนโคเนื้อแบบเปิดบริเวณที่ติดตั้งระบบควบคุมโรงเรือนเพื่อฟั่นละอองหมอกมีค่าสถิติอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าบริเวณภายนอก เมื่อทดสอบทำการฟั่นละอองหมอกเป็นเวลา 3 นาที พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลดลงเฉลี่ย 0.39°C และค่าเฉลี่ยของความชื้นเพิ่มขึ้น $2.47\% \text{RH}$

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนทุนวิจัยนี้จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว.) ภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์การวิจัยและพัฒนานวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทศนีย์ อภิชาติสร่างกูร. (2545). ผลของความเครียดจากสภาพอากาศร้อนต่อประสิทธิภาพระบบสืบพันธุ์ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง. *วารสารเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 18(2), 148-156.
- [2] ประภาส เจริญ. (2546). *การพัฒนาโรงเรือนควบคุมอัตโนมัติในโรงเรือนปศุสัตว์*. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] ณัฏฐิณี ตีกุล, และสุวิทย์ ประชุม. (2563). ผลกระทบจากรูปแบบโรงเรือนและสภาพแวดล้อมต่อความสบายของโคในฟาร์มรายย่อยในจังหวัดเชียงใหม่. *วารสารเกษตรพระวรุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 16(2), 293-306.

- [4] Boonsanita, D., Chanpongsangb, S., & Chaiyabutr, N. (2011). Effects of supplemental recombinant bovine somatotropin and mist-fan cooling on the renal tubular handling of sodium in different stages of lactation in crossbred Holstein cattle. *Research in Veterinary Science*, 93(1), 417-426.
- [5] นภาพร เวชกามา ชีระรัตน์ ชินแสน, และวันทนี พลวิเศษ. (2560). การผลิตและการจัดการโคเนื้อแบบซังคอกและแบบปล่อยฝูงของเกษตรกร อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม. *วารสารแก่นเกษตร*, 45(ฉบับพิเศษ1), 1476-1482.
- [6] กรมปศุสัตว์. (2545). หล้าเนเปียร์. กองอาหารสัตว์. [ออนไลน์], สืบค้นจาก http://nutrition.dld.go.th/Nutrition_Knowledge/information1/39.pdf (10 กรกฎาคม 2563).
- [7] LINE Corporation. (2562). Messaging API. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://developers.line.biz/en/services/messaging-api/> (10 มีนาคม 2563).
- [8] Tresoldi, G., Schutz, K. E., & Tucker, C. B. (2018). Cooling cows with sprinklers: Spray duration affects physiological responses to Heat Load. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4412-4423.
- [9] วิษณุ ช้างเนียม, และวิชา สันทวีวรกุล. (2562). เพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการฟาร์มไก่ไข่ด้วยการใช้แอปพลิเคชันระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนด้วยระบบฟuzzy logic. *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, 5(2), 77-88.
- [10] Fournel, S., Ouellet, V., & Charbonneau, É. (2017). Practices for Alleviating Heat Stress of Dairy Cows in Humid Continental Climates: A Literature Review. *Animals: an open access journal from MDPI*, 7(5), 37.
- [11] Sadiku, M. N. O., Ashaolu, T. J., Ajayi-Majebi, A., & Musa, S. M. (2020). Smart Farming. *International Journal of Scientific Advances*, 1(3), 133-134.

การพัฒนาระบบตรวจจับและนับโลหะในท่อส่งวัตถุดิบอาหารสัตว์แบบแนวตั้ง
กรณีศึกษา: ท่อส่งเมล็ดข้าวโพด

A Development of a Metal Detection and Counting System in Vertical Raw
Material Pipelines
Case Study: Corn Seed Pipeline

บุญธง วสุรีย์¹ และ ปิยะมาศ ไชนน็อก^{2*}
Boonthong Wasuri¹ & Piyamas Chainok^{2*}

¹สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²สาขาวิชาสหวิทยาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

¹Industrial Art Department, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University.

²Interdisciplinary Studies Department, Faculty of Science and Technology,
Pathumwan Institute of Technology.

Submitted 12/10/2022 ; Revised 27/11/2022 ; Accepted 24/12/2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ กรณีศึกษา การแก้ปัญหาและพัฒนาระบบตรวจจับ และนับโลหะ สำหรับใช้ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์บนสายการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์ของบริษัท วังมะนาวเกษตรภัณฑ์ จำกัด จังหวัดราชบุรี โดยพัฒนาให้สามารถตรวจจับโลหะ นับจำนวนโลหะเข้าออก แสดงจำนวนโลหะในระบบ ควบคุมผ่านส่วนต่อประสานคนกับเครื่อง (Human Machine Interface) บจอสัมผัส และตัวควบคุมตรรกะแบบโปรแกรมได้ (Programmable Logic Control: PLC) เพื่อให้สามารถควบคุมร่วมกับระบบเดิมของโรงงาน ผลการทดลองใช้ระบบตรวจวัดโลหะในท่อส่งวัตถุดิบอาหารสัตว์ พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนับโลหะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 1.65, 2.90, 4.10, 7.20, 7.95, 10.00 และ 12.90 มิลลิเมตร ได้แม่นยำคิดเป็น 100% และพบว่า ประสิทธิภาพด้านอัตราในการไหลของวัตถุดิบ มีค่า 66.22 % ประสิทธิภาพด้านการผลิตต่อวัน มีค่า 50% และมีประสิทธิภาพในการตรวจจับโลหะ 100% โดยมีประสิทธิภาพโดยรวม คือ 58.11% ซึ่งระบบตรวจจับและนับโลหะที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ใช้กระบวนการตรวจจับโลหะได้

คำสำคัญ: ระบบตรวจจับและนับโลหะ พีแอลซี ท่อส่งวัตถุดิบอาหารสัตว์

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: bpiyamas@gmail.com

Abstract

This research is applied research, reported the case study of problem solving and development of metal detection and counting system for product quality control in the company's feed raw material production line of Wang Manao Kasetphan Co. Ltd. in Ratchaburi Province. The system was capable of detecting metal, counted the amount of metal entering and leaving the production lines, and displayed the amount of metal in the control system via touch screen HMI (human machine interface) and PLC (programmable logic control). It could be controlled together with the original factory system. The experimental results of using the metal detection system in the raw material lines showed that the developed system can count metals with diameter of 1.65, 2.90, 4.10, 7.20, 7.95, 10.00, and 12.90 mm with 100% accuracy. The efficiency of raw material flow was 66.22%, the daily production efficiency was 50%, and the metal detection efficiency was 100%. The overall efficiency was 58.11%. Therefore, this metal detection and counting system developed in this study could also be used in other industries for metal detection.

Keywords: metal detection system, PLC, feed raw material pipeline

บทนำ

วัตถุดิบสำหรับการแปรรูปอาหารมีโอกาสปนเปื้อนสิ่งสกปรกและสิ่งแปลกปลอมได้มาก เนื่องจากแหล่งผลิตวัตถุดิบ [1] พื้นที่ที่จัดเก็บวัตถุดิบซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่กว้างและเปิดโล่ง วัตถุดิบบางชนิดอาจได้จากแหล่งธรรมชาติ เช่น แหล่งน้ำธรรมชาติ ทะเล ป่าไม้ ภูเขา นอกจากนี้ขั้นตอนในการผลิตและการจัดหาวัตถุดิบเพื่อนำมาแปรรูปอาหารมีหลายขั้นตอน มีผู้ที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก ตั้งแต่การเพาะปลูก การเพาะเลี้ยง การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว การรับซื้อ การรวบรวม การขนส่ง จนถึงโรงงานแปรรูป ทำให้มีโอกาสปนเปื้อนได้ทุกขั้นตอน [2] สิ่งปนเปื้อนที่มากับวัตถุดิบอาจเป็นได้ทั้งการปนเปื้อนทางกายภาพ เช่น สิ่งแปลกปลอมเป็นชิ้นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ได้แก่ ดิน หิน เศษพืช แก้ว เศษโลหะ แมลง การปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ และการปนเปื้อนทางเคมี ได้แก่ สารเคมีที่มีอยู่ในธรรมชาติ สารเคมีเพื่อกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ย ฮอร์โมน ทำให้วัตถุดิบอยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้แปรรูป และนำอันตรายมาสู่ผู้บริโภค งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการปนเปื้อนของชิ้นส่วนโลหะในกระบวนการผลิต เนื่องจากชิ้นส่วนโลหะแปลกปลอมเหล่านั้นอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องจักรหรือส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพ และถูกส่งกลับคืน ทำให้เกิดความเสียหายในด้านต้นทุนการผลิต [3]

ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องตรวจจับโลหะในการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมประเภทโลหะในสินค้าและวัตถุดิบ กระบวนการตรวจสอบนี้ยังมีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการควบคุมอันตราย ณ จุดควบคุมวิกฤต (critical control point: CCP) ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้ระบบการวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมในการผลิตอาหาร (hazard analysis critical control point: HACCP) การตรวจจับชิ้นส่วนโลหะแปลกปลอมในอุตสาหกรรมจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่ออุตสาหกรรมหลายประเภท โดยส่วนใหญ่การตรวจจับโลหะใช้หลักการการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากขดลวดตรวจจับโลหะ เมื่อชิ้นส่วนโลหะเข้ามาใกล้ขดลวดโลหะจะทำปฏิกิริยากับสนามแม่เหล็กของขดลวดทำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไป แล้วนำผลการเปลี่ยนแปลงมาประมวลผลการตรวจจับโลหะ [4] ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตตามข้อจำกัดด้านพื้นที่การใช้งานและลักษณะการติดตั้งระบบตรวจจับโลหะ

จากการลงสำรวจพื้นที่ของ บริษัทวังมะนาวเกษตรภัณฑ์ จำกัด จังหวัดราชบุรี พบว่าบริษัทฯ มีปัญหาด้านการตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนในวัตถุดิบจำพวกเมล็ดข้าวโพดที่จะจัดจำหน่ายให้กับบริษัทผลิตอาหารสัตว์ ซึ่งถ้าบริษัทลูกค้าสุ่มตรวจแล้วพบสิ่งปนเปื้อน บริษัทลูกค้าจะส่งสินค้ากลับคืนบริษัทฯ ทั้งหมด ซึ่งจะทำให้บริษัทฯ เสียหายอย่างมาก ดังนั้นบริษัทฯ จึงต้องการพัฒนาระบบหรือเครื่องตรวจจับสิ่งปลอมปนในวัตถุดิบเพื่อแก้ไขปัญหาในเรื่องการตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนในวัตถุดิบก่อนการจัดจำหน่าย

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงนำเสนอการวิจัยและพัฒนาระบบตรวจจับและนับโลหะในกระบวนการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์ กรณีศึกษา สายการผลิตเมล็ดข้าวโพดปน บริษัทวังมะนาวเกษตรภัณฑ์ จำกัด จังหวัดราชบุรี โดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางด้านไฟฟ้าในการสร้างควมถี่ [5] และพัฒนางจรประมวลผลภายในใช้พลังงานต่ำสามารถใช้งานกับแหล่งจ่ายพลังงานขนาดเล็กได้ [6] มีความเสถียรในการใช้งาน โดยนำมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาการตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนในวัตถุดิบจำพวกเมล็ดข้าวโพด ในขั้นตอนตั้งต้นของการผลิตก่อนที่จะจัดจำหน่ายให้กับบริษัทผลิตอาหารสัตว์ได้อย่างมีคุณภาพตามมาตรฐานของการส่งออกของวัตถุดิบเชิงพาณิชย์

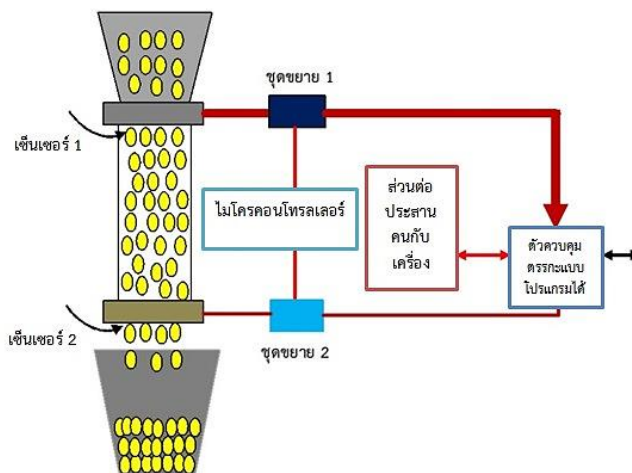
วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับและนับโลหะสำหรับใช้ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์บนสายการผลิต
2. เพื่อประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับและนับโลหะสำหรับใช้ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์บนสายการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์

วิธีการดำเนินงานวิจัย

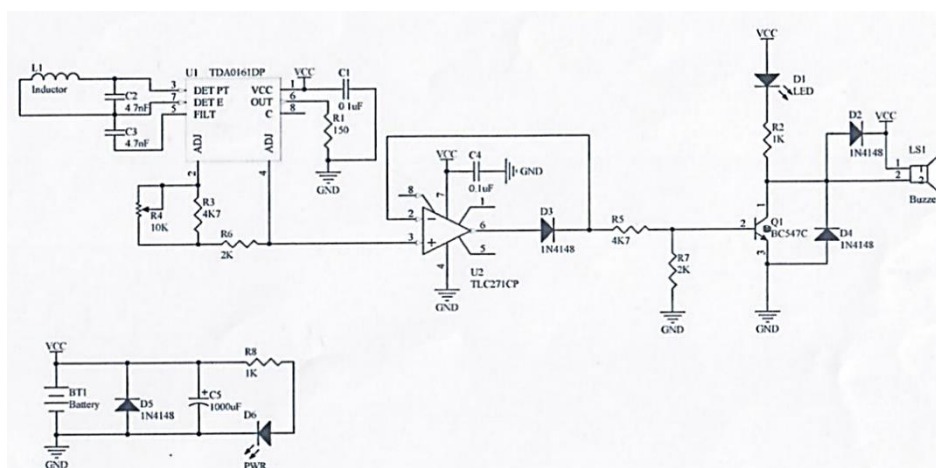
การออกแบบระบบตรวจวัดโลหะ

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบระบบตรวจวัดโลหะเพื่อให้สามารถตรวจจับโลหะ นับจำนวนโลหะที่เข้าและออกระบบ แสดงจำนวนโลหะในระบบควบคุมผ่านส่วนต่อประสานคนกับเครื่องแบบจอสัมผัส (HMI) และตัวควบคุมตรรกะแบบโปรแกรมได้ (PLC) [7] เพื่อให้สามารถควบคุมร่วมกับระบบเดิมของโรงงานได้ โดยมีรายละเอียดผังการทำงานประกอบแบบ ดังภาพที่ 1

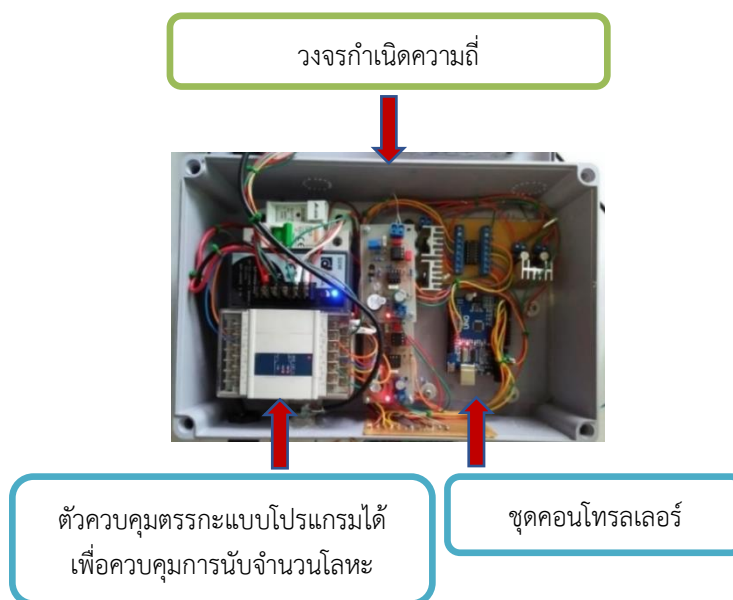


ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของต้นแบบระบบตรวจจับและนับโลหะ

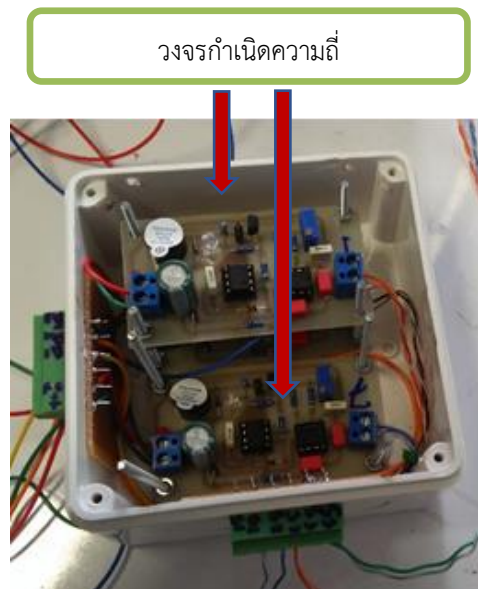
หลักการทำงานของชุดตรวจจับโลหะประกอบด้วยเซ็นเซอร์ 2 ตัว คือ เซ็นเซอร์ 1 และ เซ็นเซอร์ 2 ที่ทำงานโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ภายในเซ็นเซอร์จะมีขดลวดที่ทำหน้าที่ปล่อยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง ขดลวดจะได้รับสัญญาณไฟฟ้าจากวงจรกำเนิดความถี่ในภาพที่ 2 เพื่อตรวจจับโลหะที่เคลื่อนที่ผ่านเข้ามา เมื่อโลหะอยู่ในระยะที่เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับได้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดการหน่วง และวงจรขยายจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเพื่อส่งไปยังชุดคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล และส่งสัญญาณให้ตัวควบคุมตรรกะแบบโปรแกรมได้ เพื่อตรวจนับต่อไป รายละเอียดของชุดตรวจจับโลหะ แสดงดังภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 2 วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่

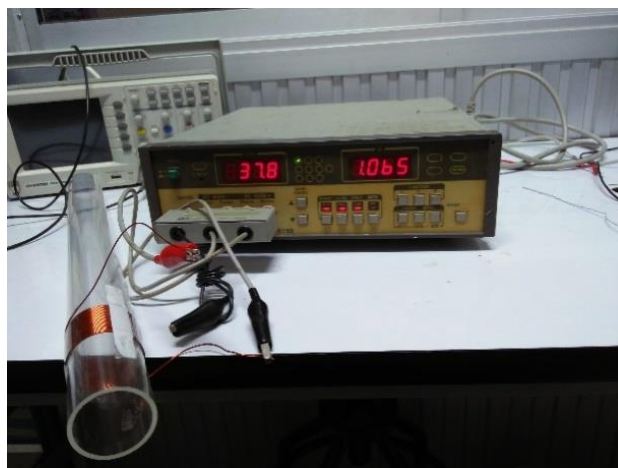


ภาพที่ 3 ชุดตรวจจับโลหะชุดที่ 1



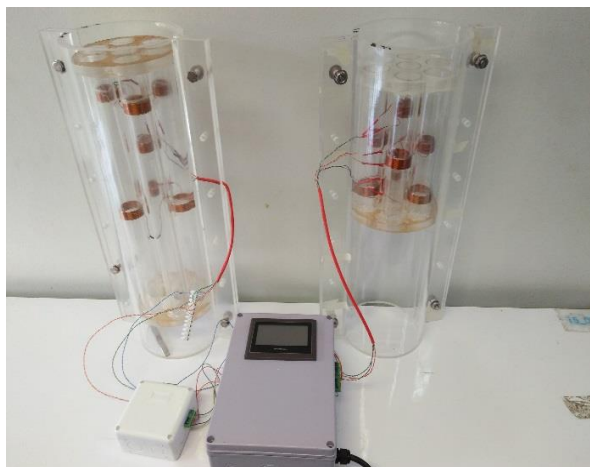
ภาพที่ 4 ชุดตรวจจับโลหะชุดที่ 2

ผู้วิจัยได้พัฒนาเซ็นเซอร์ตรวจจับโลหะ โดยเลือกขนาดของขดลวดที่จะทำเป็นตัวเซ็นเซอร์ และทดสอบค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า ดังภาพที่ 5



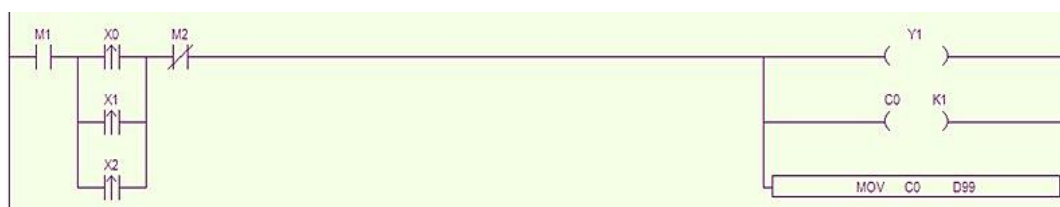
ภาพที่ 5 การทดสอบเซ็นเซอร์จับโลหะ

ผู้วิจัยได้นำชุดตรวจจับโลหะทั้ง 2 ชุด เชื่อมต่อกับตัวอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจจับโลหะที่ทำจากขดลวด และนำไปประกอบเข้ากับวงจรควบคุมการทำงาน ดังภาพที่ 6

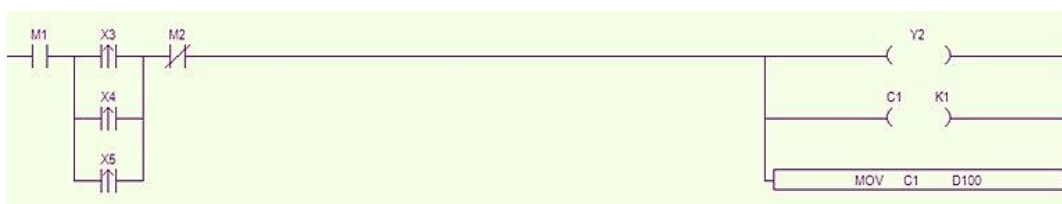


ภาพที่ 6 การประกอบชุดตรวจจับโลหะ อุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจจับโลหะกับวงจรควบคุมชุดตรวจจับโลหะ

เนื่องจากบริษัทฯ ได้พัฒนาการควบคุมการผลิตเป็นระบบอุตสาหกรรมที่ใช้คอมพิวเตอร์และตัวควบคุมตรรกะแบบโปรแกรมได้เป็นหลัก ดังนั้น เพื่อให้ข้อมูลจากการตรวจจับและนับโลหะสามารถเชื่อมต่อกับโรงงานได้ ระบบที่พัฒนาขึ้นต้องสามารถเชื่อมต่อกับระบบของโรงงานตามมาตรฐานของอุปกรณ์ในโรงงาน เพื่อให้สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลและส่งข้อมูลให้กับหน่วยควบคุมกลางของโรงงานได้ตามมาตรฐานระดับโรงงาน ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมตัวควบคุมตรรกะแบบโปรแกรมได้เพื่อตรวจนับโลหะ โดยตัวควบคุมตรรกะแบบโปรแกรมได้จะรับสัญญาณไฟฟ้ามาจากคอนโทรลเลอร์ และนับโลหะที่เซ็นเซอร์ตรวจจับได้ รายละเอียดดังภาพที่ 7 และ 8



ภาพที่ 7 โปรแกรมตัวควบคุมตรรกะแบบโปรแกรมได้ นับโลหะตัวที่ 1



ภาพที่ 8 โปรแกรมตัวควบคุมตรรกะแบบโปรแกรมได้ นับโลหะตัวที่ 2

การติดตั้งระบบตรวจจับและนับโลหะกับระบบของบริษัท

ผู้วิจัยได้ติดตั้งระบบตรวจจับและนับโลหะสำหรับใช้ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์บนสายการผลิตในภาคสนาม ดังภาพที่ 9 โดยติดตั้งระบบตรวจจับและนับโลหะสำหรับใช้ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์บนสายการผลิตในพื้นที่ส่วนที่ใช้ในการทดสอบของบริษัทฯ และเดินระบบไฟฟ้าของวงจรตรวจจับและนับโลหะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของบริษัทฯ จากนั้นนำตัวอุปกรณ์ตรวจจับโลหะไปติดตั้งเชื่อมต่อกับตัวไซโลของบริษัทฯ เมื่อประกอบระบบเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบโดยนำตัวอย่างเมล็ดข้าวโพดจากบริษัทฯ จำนวน 5 กิโลกรัม มาผสมกับโลหะขนาดต่าง ๆ ได้แก่ 1.65, 2.90, 4.10, 10.00, 7.20, 7.95 และ 12.90 มิลลิเมตร ขนาดละ 20 ชิ้น ซึ่งโลหะขนาดอื่น ๆ นอกเหนือจากนี้นั้นไม่พบในสายพานการผลิตของบริษัทฯ ทำการทดสอบทั้งหมด 20 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ใส่โลหะจำนวน 1 ชิ้น และในครั้งต่อไปจะเพิ่มจำนวนโลหะครั้งละ 1 ชิ้น จนครบ 20 ชิ้น (ทดสอบ 20 ครั้ง) โดยเทเมล็ดข้าวโพดที่มีโลหะผสมลงตามแนวดิ่ง ซึ่งได้ออกแบบไว้ตามพื้นที่ติดตั้งจริงของบริษัทฯ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจจับโดยรวม



ภาพที่ 9 การติดตั้งระบบตรวจวัดโลหะกับไซโลของบริษัท

ผลการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดโลหะ

ผู้วิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจจับและนับโลหะ โดยใส่โลหะขนาดต่าง ๆ ผสมลงในเมล็ดข้าวโพด ผลการทดสอบพบว่า เซ็นเซอร์ตรวจจับสามารถตรวจจับโลหะที่ปนมากับเมล็ดข้าวโพดได้อย่างแม่นยำ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดโลหะ

ขนาดโลหะ (mm)	จำนวนโลหะที่ทดสอบ (ครั้ง)	จำนวนโลหะที่นับและตรวจจับได้ (ชิ้น)	ค่าความผิดพลาด (%)
1.65	20	20	0
2.90	20	20	0
4.10	20	20	0
7.20	20	20	0
7.95	20	20	0
10.00	20	20	0
12.90	20	20	0

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจจับและนับโลหะในภาคสนาม โดยใช้เมล็ดข้าวโพดจำนวน 700 กิโลกรัม พร้อมกับโลหะจำนวน 8 ชิ้น พบว่าระบบตรวจจับและนับโลหะสามารถจับโลหะแปลกปลอมได้ทั้ง 8 ชิ้น การทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบตรวจจับและนับโลหะบนสายการผลิตจริง ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของระบบตรวจจับและนับโลหะบนสายการผลิต

การประเมิน	ระบบเดิม	ระบบตรวจจับ	ค่าความแตกต่าง	ประสิทธิภาพ (%)
อัตราในการไหลของวัตถุดิบ (นาที)	10.30	30.50	20.20	66.22
ปริมาณวัตถุดิบต่อวัน (กิโลกรัม)	7,000	3,500	3,500	50
ปริมาณสิ่งปลอมปนในวัตถุดิบ (ชิ้น)	-	8	8.0	100

จากตารางที่ 2 พบว่า ระบบตรวจจับที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพด้านอัตราการไหลของวัตถุดิบดีขึ้นกว่าระบบเดิม คิดเป็น 66.22% ส่วนประสิทธิภาพด้านปริมาณวัตถุดิบต่อวันนั้น ระบบตรวจจับที่พัฒนาขึ้นทำงานได้ช้าลง 50% เนื่องจากท่อของระบบตรวจจับและนับโลหะมีความกว้างน้อยกว่าขนาดของท่อโซโล ทำให้ปริมาณเมล็ดข้าวโพดไหลผ่านได้น้อยลง และมีประสิทธิภาพในการตรวจจับโลหะคิดเป็น 100% เนื่องจากสามารถตรวจจับโลหะที่ปนมากับเมล็ดข้าวโพดได้ทุกชิ้น เมื่อเทียบกับระบบเดิมของบริษัทที่ไม่มีระบบตรวจจับโลหะโดยมีประสิทธิภาพโดยรวม คือ 58.11% ซึ่งบริษัทฯ มีความพอใจในประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดโลหะที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยครั้งนี้

อภิปรายผลการวิจัย

เนื่องจากระบบงานเดิมของบริษัทวังมะนาวเกษตรภัณฑ์ ไม่มีการตรวจจับโลหะในกระบวนการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์ในขั้นตอนตั้งต้นของการผลิต ทำให้เกิดปัญหาและสร้างความเสียหายทางการผลิตคิดเป็นมูลค่าสูง งานวิจัยนี้จึงพัฒนาระบบตรวจจับโลหะโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และใช้ขดลวดทำหน้าที่ปล่อยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง ผลการทดลองพบว่าขดลวดของระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับโลหะที่เคลื่อนที่ผ่านเข้ามาได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [5, 6] ที่ได้พัฒนาเครื่องตรวจจับ

โลหะชนิดมือถือ แต่เครื่องตรวจจับโลหะที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยก่อนหน้านี้ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบสายพานการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้ งานวิจัยนี้จึงนำระบบตรวจจับและนับโลหะที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบการทำงานของระบบ พบว่าระบบตรวจจับโลหะที่พัฒนาขึ้นช่วยให้ตรวจสอบสิ่งปลอมปนในผลิตวัตถุดิบได้ ส่งผลให้เกิดความปลอดภัยในอาหารสัตว์ และลดความเสียหายของเครื่องจักรในการผลิต และเมื่อนำระบบตรวจจับและนับโลหะไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์บนสายการผลิตวัตถุดิบอาหารสัตว์แบบแนวตั้งของบริษัทวังมะนาวเกษตรภัณฑ์ทำให้ปัญหาโลหะแปลกปลอมในวัตถุดิบอาหารสัตว์ของบริษัทฯ หดไป เนื่องจากระบบตรวจจับและนับโลหะที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับโลหะแปลกปลอมได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตเครื่องตรวจจับโลหะและนับโลหะในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในประเทศเป็นหลัก จึงทำให้มีราคาถูกกว่าการนำเข้าและติดตั้งเครื่องตรวจจับโลหะจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงถึง 160,000 บาท ทำให้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงในสายการผลิตของบริษัทได้ในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

ระบบตรวจจับและนับโลหะในท่อส่งวัตถุดิบอาหารสัตว์แบบแนวตั้ง ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับและนับโลหะขนาดต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำคิดเป็น 100% ส่วนโลหะขนาดอื่น ๆ จะไม่พบในสายพานการผลิต และประสิทธิภาพด้านอัตราในการไหลของวัตถุดิบมีค่า 66.22% ประสิทธิภาพด้านการผลิตต่อวัน มีค่า 50% และมีประสิทธิภาพในการตรวจจับโลหะ 100% โดยมีประสิทธิภาพโดยรวม คือ 58.11% ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่ใช้ในกระบวนการตรวจจับโลหะ รวมถึงการประยุกต์ให้ระบบสามารถตรวจจับวัตถุอื่น ๆ เช่น อโลหะ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณบริษัทวังมะนาวเกษตรภัณฑ์ จำกัด ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ในการสนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติ เกื้อสกุล. (2557). การพัฒนาเครื่องตรวจจับและคัดแยกโลหะปลอมปนสำหรับอาหารทะเล. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์*, 13(1), 50-67.
- [2] กันตถณ พริ้วไธสง. (2557). เครื่องคัดแยกวัตถุดิบอัตโนมัติตามสายพานลำเลียง. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก*, 7(1), 88-96.
- [3] พรเทพ ธงไชย, และประวิทย์ ดวงบรรเทา. (2556). ระบบตรวจจับและนับโลหะแบบหลายตัวตรวจจับ. *ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์*. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [4] สุทัศน์ แขกระจำง. (2553). วงจรเปิด/ปิดพัลส์และการโปรแกรมสำหรับตรวจจับผลตอบสนองเชิงเวลาของกระแสไฟฟ้าในขดลวดที่เกิดจากโลหะโดยใช้การเหนี่ยวนำด้วยพัลส์. *วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- [5] อนุชา แก้วพูลสุข, และรัชณู กัดมัน. (2553). เครื่องตรวจจับโลหะชนิดมือถือโดยใช้หลักการ Beat Frequency Oscillator. *NU Science Journal*, 7(1), 152-164.

- [6] อนุชา แก้วพูลสุข. (2554). วงจรตรรกะแบบพื้นฐานในการสร้างตัวตรวจวัดผลต่างความถี่ของสัญญาณสำหรับเครื่องตรวจจับโลหะแบบออสซิลเลเตอร์ความถี่บีตส์. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 21(1), 41-51.
- [7] ปิยะวัฒน์ ศรีธรรม, ณัฐพงศ์ บุษงา, วีระชัย บุญเพิ่ม, และสนอง ดีสม. (2564). เครื่องคัดแยกวัสดุอัตโนมัติในสายพานลำเลียงควบคุมด้วยระบบพีแอลซี. *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, 7(1), 49-59.

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองความสามารถเบรกเกอร์และควบคุมโหลด เพื่อการจัดการพลังงานในบ้านด้วยเทคโนโลยีไอโอที

A Smart Power Meter with Breaker Capacity Monitoring and Load Control System for Home Energy Management with IoT Technology

ชัยสิทธิ์ วันน้อย¹ วรชัย ศรีเมือง¹ วาสนา วงศ์ษา² และ นฤมล วันน้อย^{3*}

Chaisit Wannoi¹, Worachai Srimuang¹, Wassana Wongsas², and Narumon Wannoi^{3*}

¹สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

²สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

³สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

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

²Department of Computer Engineering, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University

³Department of Industrial Electrical Technology, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University

Submitted 26/12/2022 ; Revised 17/02/2023 ; Accepted 8/3/2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองขีดความสามารถเบรกเกอร์และควบคุมโหลดบนสมาร์ตโฟนแบบเรียลไทม์เพื่อการจัดการพลังงานในบ้านด้วยเทคโนโลยีไอโอที โดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชันบลิงค์ ในส่วนระบบควบคุมโหลดได้ออกแบบสำหรับโหลดไฟฟ้าชนิด 1 เฟส สำหรับระบบเฝ้ามองได้ออกแบบให้สามารถติดตามค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า และเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์ภายใต้การพิจารณาค่าแอมป์ทริปของเบรกเกอร์ นอกจากนี้หาค่าเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์นี้เพิ่มขึ้นถึงค่าที่ตั้งไว้ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชันไลน์เพื่อการจัดการพลังงานในบ้านให้เหมาะสมอีกทั้งสามารถนำข้อมูลไปคำนวณเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์เพื่อการจัดการพลังงานในอนาคต

คำสำคัญ: เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ ระบบควบคุมโหลด การจัดการพลังงาน ไอโอที

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: narumon.wan@pcru.ac.th

Abstract

This research presented a development of a smart power meter with real-time breaker capacity monitoring and load control system on mobile phones for home energy management with IoT technology by applying it to use with the blynk application. The load control system was designed for single-phase loads. The monitoring system was designed to monitor the electrical voltage, electrical current, electrical power, and the percentage load of the breaker while taking the breaker's amp trip value into account. If the percentage load of the breaker increased to the set value, the system will send an alarm message to the user via a line application for proper power management in the home. Moreover, the data can also be used to calculate the power and percentage load of the breaker for future energy management.

Keywords: smart power meter, load control system, energy management, IoT

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0 ซึ่งมีการนำเทคโนโลยีด้านระบบสารสนเทศและไอโอทีมาใช้ในการพัฒนาและส่งเสริมด้านอุตสาหกรรมอย่างค่อนข้างมาก [1-3] แม้กระทั่งในบ้านเรือนก็มีการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรือไอโอที (internet of things technology, IoT) มาประยุกต์ใช้งานค่อนข้างมากเช่นเดียวกัน [4-6] ประกอบกับปัจจุบันประเทศไทยกำลังเข้าสู่ยุคสังคมผู้สูงอายุหรือผู้สูงอายุ ซึ่งพบว่าการดำเนินชีวิตปกติของกลุ่มผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะมีผู้คอยช่วยเหลือและแบ่งเบาภาระ เนื่องด้วยสภาพร่างกายที่ไม่ค่อยแข็งแรงจึงต้องพึ่งพาบุตรหลานในการทำงานต่าง ๆ เช่น การเปิด-ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้า โดยเฉพาะระบบส่องสว่าง เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านเรือนเหล่านี้ส่วนใหญ่ยังไม่มีระบบควบคุมระยะไกลหรือระบบควบคุมไร้สายแบบที่มีในโทรทัศน์ หรือเครื่องปรับอากาศ อีกทั้งผู้สูงอายุบางกลุ่มอาจต้องอยู่บ้านตามลำพังในช่วงเวลาที่บุตรหลานต้องออกไปทำงานหรือเรียนหนังสือ จึงไม่มีผู้ช่วยเหลือดูแล ซึ่งเป็นสังคมแวดล้อมหรือตัวอย่างที่พบเห็นอยู่บ่อยครั้ง

ทีมผู้วิจัยเล็งเห็นปัญหาและตั้งคำถามว่าจะมีวิธีการอย่างไรที่จะช่วยแบ่งเบาภาระ สร้างความสะดวกในการดำเนินชีวิต และยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุได้ ซึ่งไม่ใช่เฉพาะความสะดวกสบายในการควบคุมหลอดไฟฟ้าเท่านั้น แต่รวมถึงวิธีการที่จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้ไฟฟ้าที่สามารถพัฒนาไปสู่การบริหารจัดการพลังงานได้ รวมถึงเพื่อนำไปใช้ในการจัดการด้านการประหยัดพลังงานไฟฟ้าอีกทางหนึ่งด้วย โดยระบบที่ออกแบบจะต้องสามารถเข้าถึงและใช้งานได้ง่าย จากการศึกษาพบว่ามีการออกแบบระบบควบคุมหลอดสำหรับสมาร์ตโฮมโดยใช้เทคโนโลยีไอโอที [7] ซึ่งประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC1768 เป็นตัวประมวลผล ซึ่งการออกแบบนั้นได้ออกแบบให้สามารถสั่งการควบคุมหลอดผ่านเว็บเพจ (web page) และมีการออกแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีไอโอที [8] ซึ่งได้ออกแบบให้ทำงานร่วมกับบราสเบอร์รี่พาย (raspberry pi) โดยการแสดงผลและแสดงผ่านหน้าเว็บเพจ ซึ่งสามารถแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าได้ อีกทั้งยังพบว่าได้มีการออกแบบระบบควบคุมและตรวจสอบสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (circuit breaker) [9] ว่าอยู่ในสถานะปิดวงจรหรือเปิดวงจรโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC1768 เพื่อการตรวจสอบใช้สำหรับการตั้งค่าหรือรีเซ็ตเบรกเกอร์ เพื่อลดเวลาการค้นหาและแก้ไขจุดบกพร่องของระบบไฟฟ้าให้เหลือน้อยที่สุดและใช้สำหรับปรับปรุงวิธีการบำรุงรักษาของเบรกเกอร์ เพิ่มอายุการใช้งาน และความน่าเชื่อถือของเบรกเกอร์โดยจะแสดงผลบนหน้าจอบอร์ดคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมการควบคุมหลอดสำหรับระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน [10] โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นตัวประมวลผลและใช้เซนเซอร์ ADE7758 ในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยการควบคุมจะติดตามและควบคุมผ่านหน้าเว็บเพจ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะโดยเพิ่มระบบเฝ้ามองขีดความสามารถเบรกเกอร์และระบบควบคุมหลอดสำหรับใช้ในการจัดการพลังงานในบ้านด้วยเทคโนโลยีไอโอที และช่วยอำนวยความสะดวกโดยการควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน [11, 12] งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้งานบนแอปพลิเคชันบลิงค์ (blynk) ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่มีการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับสมาร์ตโฮมร่วมกับเทคโนโลยีไอโอทีในการควบคุมหลอด [13] และในงานวิจัยนี้ได้นำมาใช้ในการออกแบบควบคุมการเปิด-ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และนำไปใช้สำหรับออกแบบระบบเฝ้ามองการเปลี่ยนแปลงระบบไฟฟ้าในบ้านเรือน ซึ่งประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ และออกแบบให้มีระบบเฝ้ามองขีดความสามารถของเบรกเกอร์เพื่อตรวจสอบความสามารถคงเหลือของเบรกเกอร์ในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดเพื่อนำข้อมูลไปบริหารจัดการพลังงานในบ้านให้เหมาะสม ซึ่งขีดความสามารถการทำงานของ

เบรกเกอร์ในงานวิจัยนี้พิจารณาจากค่าแอมป์ทริป (amp trip) ของเบรกเกอร์ ซึ่งเป็นค่าขีดจำกัดการทำงานของเบรกเกอร์โดยพิจารณาจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเบรกเกอร์ นอกจากนี้ด้วยคุณสมบัติการทำงาน of เครื่องที่สามารถตรวจวัดและแสดงผลได้แบบเรียลไทม์ หากค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเบรกเกอร์ดังกล่าวเพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าขีดความสามารถของเบรกเกอร์ ระบบก็จะแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชันไลน์ [14-15] เพื่อใช้ในการบริหารจัดการโหลดได้อย่างทันท่วงทีก่อนที่เบรกเกอร์นั้นทริป (automatic off) ด้วยฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเอง อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังได้เสนอการพยากรณ์ความต้องการโหลดเพื่อใช้ในการจัดการพลังงานในบ้าน

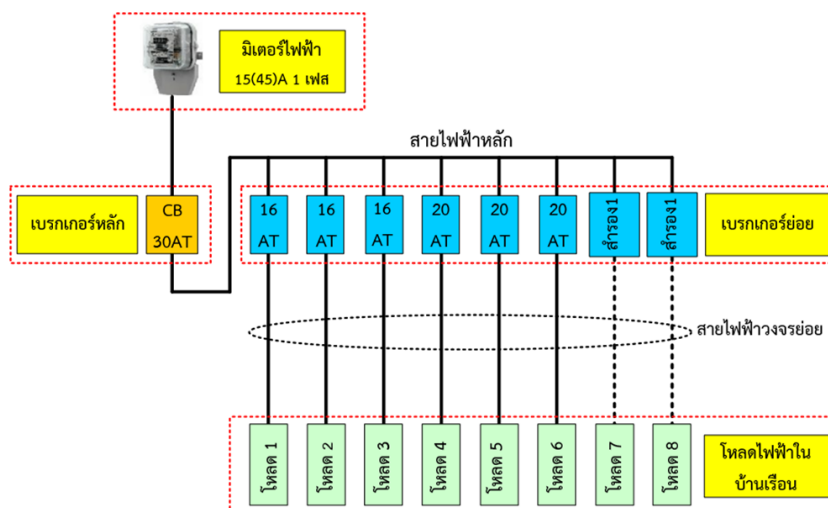
วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองขีดความสามารถเบรกเกอร์และควบคุมโหลดในบ้านด้วยเทคโนโลยีไอโอที
2. เพื่อประยุกต์ใช้ในการจัดการพลังงานและสร้างความปลอดภัยด้านไฟฟ้าในบ้านเรือน

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบระบบการทำงานของระบบ

การพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองขีดความสามารถของเบรกเกอร์และควบคุมโหลดในบ้านด้วยเทคโนโลยีไอโอที เริ่มจากการศึกษารูปแบบวงจรหรือระบบไฟฟ้าบ้านเรือนซึ่งโดยทั่วไปรูปแบบวงจรไฟฟ้าสำหรับบ้านเรือนแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 รูปแบบระบบไฟฟ้าบ้านเรือนทั่วไป

จากภาพที่ 1 รูปแบบวงจรระบบไฟฟ้าบ้านเรือนทั่วไปเป็นระบบไฟฟ้า 1 เฟส (phase) ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 220 Vac วงจรไฟฟ้าบ้านเรือนทั่วไปนั้นหลังจากมิเตอร์วัดปริมาณไฟฟ้าจะติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันหลัก (main circuit breaker: MCB) 1 อุปกรณ์ หลังจากผ่านอุปกรณ์ป้องกันหลักระบบไฟฟ้าจะถูกกระจายจ่าย

ไปยังโหลดย่อยต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละโหลดย่อยนั้นจะมีอุปกรณ์ป้องกันย่อย (sub-circuit breaker) เพื่อป้องกันไฟฟ้าเกินเฉพาะระบบย่อยนั้น ๆ เพื่อตัดแยกวงจรหากเกิดการใช้พลังงานเกินพิกัดหรือเกิดการลัดวงจรก่อนเพื่อไม่ให้อุปกรณ์ป้องกันหลักทริปหรือตัดแยกวงจรหลักซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการใช้ไฟฟ้าทั้งระบบ การทำงานของอุปกรณ์ป้องกันหรือเบรกเกอร์จะมีค่าพิกัดกระแสอยู่ 3 พิกัดคือ

1) พิกัดการทนกระแสลัดวงจรสูงสุด (interrupting capacitive: IC)

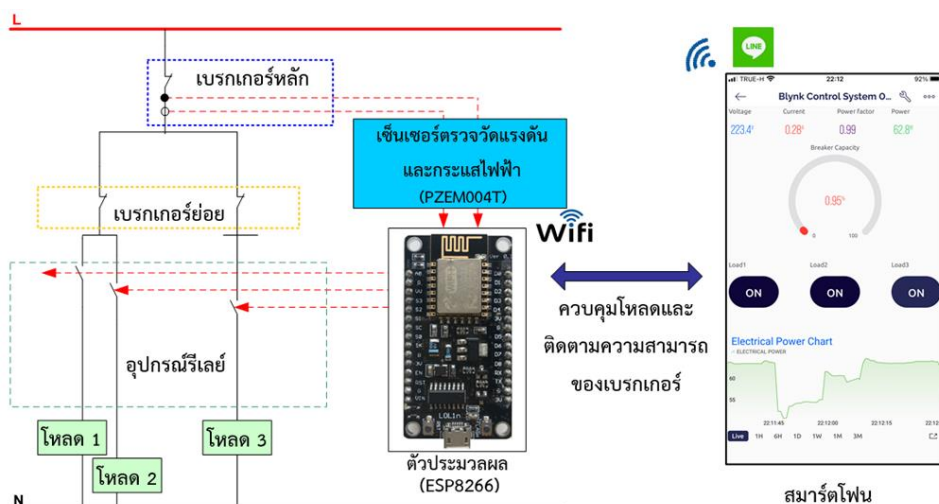
2) พิกัดขนาดกระแสที่ใช้งาน (amp trip: AT) ซึ่งค่านี้จะเป็นตัวบอกให้ทราบว่าเบรกเกอร์ตัวนั้นสามารถทนต่อกระแสในภาวะปกติได้สูงสุดเท่าใด โดยค่าพิกัดของกระแสของเบรกเกอร์จะแสดงไว้ที่ป้ายของ Name Plate หรือที่ด้ามคันโยกของตัวเบรกเกอร์นั้น

3) พิกัดกระแสโครง (amp frame: AF)

การหาค่าเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์เมื่อพิจารณาค่าพิกัดขนาดกระแสที่ใช้งานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\text{เปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์} = \frac{\text{ค่ากระแสไฟฟ้าจริงที่ไหลผ่านเบรกเกอร์}}{\text{ค่าพิกัดขนาดกระแสที่ใช้งานของเบรกเกอร์}} \times 100 \quad (1)$$

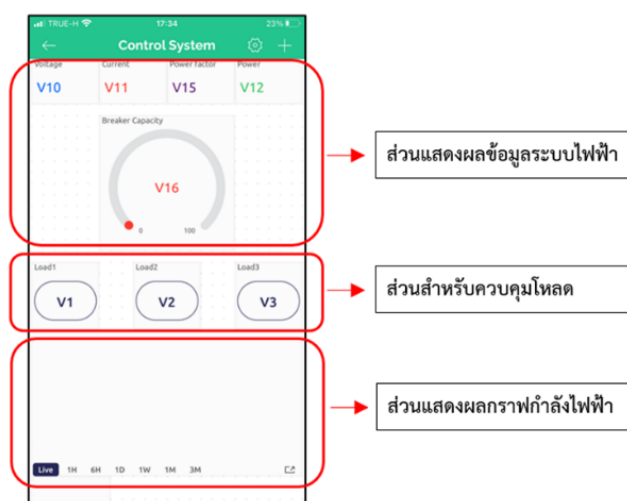
โดยในการออกแบบของเครื่องต้นแบบนี้ได้ออกแบบให้สามารถควบคุมการทำงานโหลดไฟฟ้าได้ 3 โหลด และสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงระบบไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หลักการทำงานและตรวจวัดของต้นแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ

ภาพที่ 2 แสดงการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบ และค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์หลัก โดยวงจรการทำงานระบบควบคุมโหลดไฟฟ้าระยะไกลและเฝ้ามองขีดความสามารถของเซอร์กิตเบรกเกอร์ออกแบบให้ทำงานแบบเรียลไทม์โดยแสดงผลและควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน การทำงานในการตรวจวัดระบบไฟฟ้าของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะต้นแบบได้ออกแบบสำหรับควบคุมโหลดไฟฟ้า 1 เฟส ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำสำหรับบ้านเรือน โดยใช้รีเลย์ ขนาด 10A 220AC เป็นชุดขับโหลด ซึ่งโหลดที่ควบคุมจะอยู่

ภายใต้เซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย 2 ชุด ซึ่งทั้ง 3 โหลดนี้จะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ส่งผ่านมาจากเบรกเกอร์หลัก (main circuit breaker: MCB) และในส่วนของชุดเฝ้ามองขีดความสามารถของเบรกเกอร์หลักในงานวิจัยนี้ได้ ออกแบบระบบแจ้งเตือนหากขีดความสามารถของเบรกเกอร์หลักเพิ่มขึ้นถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าพิกัดเบรกเกอร์จะมีการส่งข้อความเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ซึ่งค่าพิกัดในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงถึงค่าแอมป์ทรีปของเบรกเกอร์ซึ่งมีค่า 30A และการออกแบบการแสดงผลบนหน้าจอสมาร์ตโฟนแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งมีรูปแบบหน้าจอสมาตโฟนประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนแสดงผลข้อมูลระบบไฟฟ้าพื้นฐาน ประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และระดับภาระโหลดของเบรกเกอร์ ส่วนปุ่มคำสั่ง ON-OFF เพื่อใช้ในการควบคุม โหลด และส่วนกราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าซึ่งทั้งสามส่วนนี้สามารถควบคุมและแสดงผลได้แบบเรียลไทม์ ในการออกแบบระบบควบคุมโหลดไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไอโอที โดยใช้อุปกรณ์ Node MCU /ESP8266 ซึ่งสามารถเชื่อมต่อและสั่งการการทำงานผ่านระบบไวไฟ (wi-fi) โดยใช้แอปพลิเคชันบลูธในการออกแบบระบบควบคุมโหลดและเฝ้ามองผ่านสมาร์ตโฟน ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมโหลดไฟฟ้า และเฝ้ามองความสามารถของเซอร์กิตเบรกเกอร์ผ่านสมาร์ตโฟนได้ตลอดเวลาแบบเรียลไทม์ทุกครั้งที่สมาร์ตโฟนเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต งานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ PZEM-004T Module ในการตรวจวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 3 หน้าจอระบบควบคุมและแสดงผลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าบนสมาร์ตโฟน

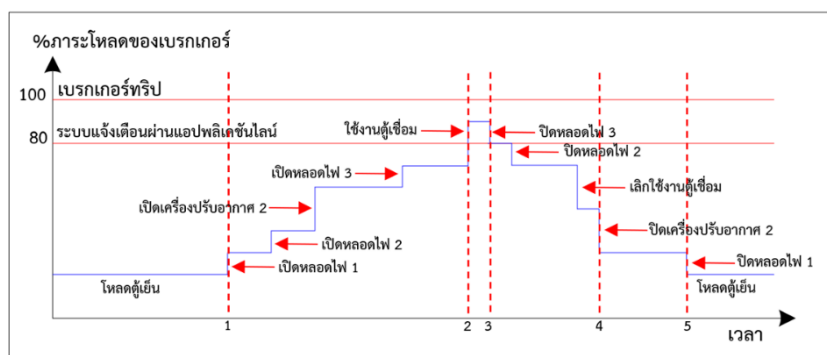
การประเมินประสิทธิภาพเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ

ในการประเมินประสิทธิภาพเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าต้นแบบในงานวิจัยนี้พิจารณาความแม่นยำในการอ่านค่า ซึ่งได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าที่ใช้คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าโดยทดสอบและเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน โดยใช้มัลติมิเตอร์ UNI-T รุ่น UT33C+ และเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ามาตรฐานโดยใช้มัลติมิเตอร์ LuZino รุ่น 7000728 เพื่อใช้ในการหาค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดสำหรับค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า โดยเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

(2)

รูปแบบการจัดการด้านพลังงาน

ผลงานโดยพิจารณาความสามารถของเบรกเกอร์นั้นแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การพิจารณาความสามารถของเบรกเกอร์และการประยุกต์ใช้เพื่อจัดการด้านพลังงาน

จากภาพที่ 4 การพิจารณาความสามารถของเบรกเกอร์และการประยุกต์ใช้เพื่อจัดการด้านพลังงาน โดยกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าจากการใช้งานโหลดประเภทต่าง ๆ ในบ้านเรือน สำหรับ การ ฝึามองความสามารถของเบรกเกอร์นั้นระบบออกแบบให้มีการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลทว กรแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึงระดับ 80 เปอร์เซนต์ของความสามารถของเบรกเกอร์ซึ่งพิจารณาจากค่าแอมป์ทริป เพื่อ แจ้งให้ทราบว่ากระแสโหลดในบ้านตอนนั้นสูงและหากเพิ่มขึ้นถึงระดับ 100 เปอร์เซนต์จะทำให้เบรกเกอร์ทริป และทำให้เกิดไฟฟ้าดับในบ้านเรือน โดยภาพที่ 4 เป็นตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงโหลดพื้นฐานในบ้าน โดย บ้านเรือนทั่วไปจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับตู้เย็นอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นโหลดฐานในบ้าน โดยจะมีการใช้ ปริมาณกระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วงค่าหนึ่งซึ่งเป็นสภาวะปกติของการใช้พลังงานในบ้าน จากนั้นที่ตำแหน่งจุดหนึ่ง (1) เริ่มมีการใช้โหลดเพิ่มโดยการเปิดหลอดไฟฟ้าที่ 1 เปิดหลอดไฟฟ้าที่ 2 เปิดเครื่องปรับอากาศ และเปิดหลอด ไฟฟ้าที่ 3 ทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมาเป็นลำดับตามปริมาณโหลดที่ใช้ แต่ในช่วงที่จุด (2) มีการใช้ตู้เชื่อมจาก งานซ่อมแซมในบ้านทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเกิน 80 เปอร์เซนต์ของพิกัดเบรกเกอร์ ระบบตรวจจับก็จะส่ง ข้อความเตือนไปยังผู้ดูแลระบบเพื่อจัดการบริหารพลังงานภายในบ้าน เช่น ที่จุด (3) ปิดหลอดไฟที่ 3 และ หลอดไฟที่ 2 เพื่อลดปริมาณกระแสไฟฟ้าลง ซึ่งผู้ดูแลสามารถฝึามองการเปลี่ยนแปลงได้แบบเรียลไทม์ หลังจากงานเชื่อมเสร็จและผู้ดูแลปิดเครื่องปรับอากาศที่จุดที่ (4) เพื่อต้องการออกไปนอกบ้าน แต่ตรวจสอบการ ใช้พลังงานพบว่ากระแสไฟฟ้ายังสูงกว่าในสภาวะปกติ จึงทำการตรวจสอบพบว่ายังไม่ได้ปิดหลอดไฟที่ 1 และ ที่จุด (5) ปิดหลอดไฟที่ 1 ก่อนออกไปนอกบ้าน จากแผนภาพเป็นการประยุกต์ใช้งานด้านการประหยัดพลังงาน

ในบ้านเรือน และการพยากรณ์ปริมาณความต้องการโหลดเพื่อวางแผนจัดการด้านพลังงานและประเมินความสามารถของเบรกเกอร์นั้นใช้วิธีค่ากำลังสองที่น้อยที่สุด (least squares) สำหรับสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น ดังสมการที่ 3

$$Y_j = a_0 + b_0 X_j \quad (3)$$

เมื่อ

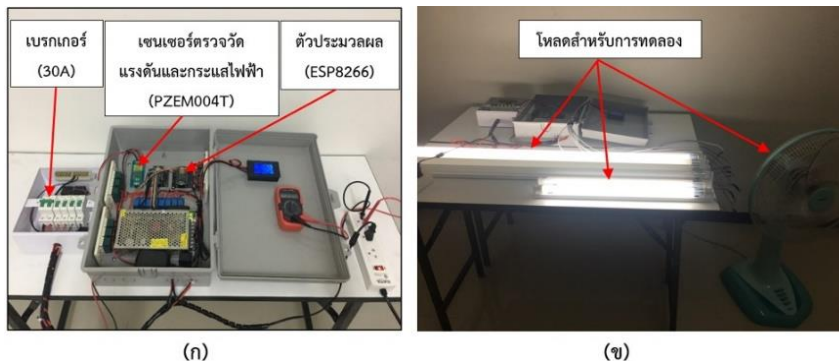
$$a_0 = \bar{Y} - b_0 \bar{X} \quad (4)$$

$$b_0 = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n(\bar{X})^2} \quad (5)$$

โดยที่ Y_j คือ ตัวแปรตามหรือค่าพยากรณ์, X_j คือ ตัวแปรอิสระ, a_0 คือ ค่าคงที่หรือจุดตัดบนแกน y , b_0 คือ ค่าความชัน (slope), X คือ ชุดข้อมูลของ X , Y คือ ชุดข้อมูลของ Y , n คือ จำนวนของชุดข้อมูลทั้งหมด $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยชุดข้อมูลของ X , $\bar{Y}$ คือ ค่าเฉลี่ยชุดข้อมูลของ Y

ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนากระบวนการควบคุมไฟฟ้าสำหรับบ้านอัจฉริยะโดยการควบคุมและแสดงผลบนสมาร์ตโฟน ซึ่งประกอบด้วยผลการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพในการตรวจวัด ผลการทดสอบการสั่งการควบคุมโหลดบนสมาร์ตโฟน และผลการทดสอบการแจ้งเตือนหากเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์เกินพิกัด โดยเครื่องต้นแบบแสดงดังภาพที่ 5 (ก) และการทดสอบการควบคุมโหลดแสดงดังภาพที่ 5 (ข)



ภาพที่ 5 (ก) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองความสามารถเบรกเกอร์และควบคุมโหลด และ (ข) การทดสอบการสั่งการควบคุมโหลด

ผลการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพในการตรวจวัด

ผลการทดสอบการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดในการอ่านค่าและแสดงผล โดยเปรียบเทียบกับเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ผ่านมาตรฐานซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ามัลติมิเตอร์ UNI-T รุ่น UT33C+ และเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน มัลติมิเตอร์ LuZino รุ่น 7000728 โดยผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลทดสอบการอ่านค่าเครื่องวัดบนหน้าจอสมาร์ตโฟน

ปริมาณโหลด (W)	ค่าที่อ่านได้ จากมัลติมิเตอร์		ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด กำลังไฟฟ้าต้นแบบ		ค่าความผิดพลาด (%)	
	V	I	V	I	V	I
20	223	0.09	222	0.09	-0.45	0
40	222	0.18	220	0.18	-0.90	0
76	223	0.34	222	0.35	-0.45	2.94
112	224	0.49	223	0.50	-0.45	2.04
177	223	0.79	223	0.80	0	1.27
ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด ($\bar{X}$)					-0.45	1.25
ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$)					0.32	1.29

หมายเหตุ: V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) และ I คือ ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

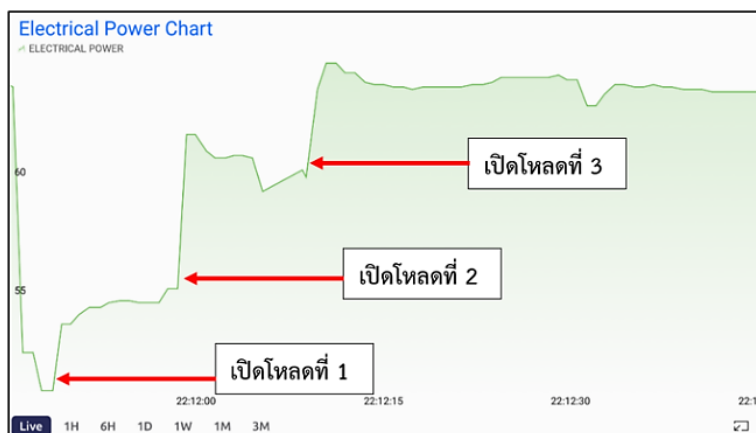
จากตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดในการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ผลการทดสอบได้เพิ่มปริมาณโหลดโดยได้กำหนดไว้ 5 ระดับ พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของเครื่องต้นแบบในการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ -0.45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องวัดต้นแบบจะต่ำกว่าเครื่องวัดมาตรฐานโดยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.32 และสำหรับเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของเครื่องต้นแบบในการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องวัดต้นแบบนี้จะอ่านได้สูงกว่าเครื่องวัดมาตรฐานโดยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.29

ผลการทดสอบการสั่งการควบคุมโหลดและติดตามกำลังไฟฟ้าผ่านสมาร์ตโฟน

ผลการทดสอบการสั่งการควบคุมโหลดโดยเครื่องต้นแบบนี้ ออกแบบปุ่มสั่งการควบคุมการทำงาน ของโหลดไว้ 3 ช่อง และเบรกเกอร์หลักในการทดสอบนั้นมีค่าแอมป์ทริปอยู่ที่ 30 A ระดับแรงดัน 220 Vac โดย ส่วนประกอบต่าง ๆ บนหน้าจอสมาร์ตโฟน นั้นสามารถแสดงดังภาพที่ 6 และจากการทดสอบการทำงานในการสั่งการ เปิด-ปิด โหลดผ่านทางหน้าจอสมาร์ตโฟน ทั้ง 3 ปุ่ม นั้นสามารถทำงานได้ดี ซึ่งดูได้จากการเปลี่ยนแปลงของระดับกำลังไฟฟ้าในภาพที่ 7 ที่พบว่าระบบสามารถแสดงผลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ ตามการสั่งการในการควบคุมโหลดไฟฟ้าซึ่งการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้านี้ทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับภาพที่ 4 ดังนั้นหากมีการใช้พลังงานไฟฟ้าใกล้พิกัดกระแสแอมป์ทริปของเบรกเกอร์ผู้ดูแลระบบก็สามารถสั่งการปลดโหลดเพื่อป้องกันไม่ให้เบรกเกอร์ได้รับภาระโหลดเกินด้วยระบบสามารถติดตามกำลังไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ จึงทำให้ทราบถึงปริมาณกำลังไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบกับลักษณะรูปแบบการใช้พลังงานในสภาพปกติว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณเท่าใด หากพบว่าไม่ได้ปิดโหลดก็สามารถสั่งปิดโหลดผ่านสมาร์ตโฟนได้โดยตรงเพื่อประหยัดพลังงานตามหลักการจัดการด้านพลังงานโดยพิจารณาความสามารถของเบรกเกอร์ที่ได้อธิบายข้างต้น



ภาพที่ 6 หน้าจอเฝ้ามองระบบไฟฟ้าและระบบควบคุมโหลดบนสมาร์ทโฟน



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าตามภาระโหลดที่เพิ่มขึ้น

ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ใช้และปริมาณเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์แสดงในตารางที่ 2 พบว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองสามารถนำมาสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อใช้พยากรณ์ปริมาณกำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์ได้

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของโหลด (W) ที่ใช้และปริมาณเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์

โหลด	1	2	3	4	5
กำลังไฟฟ้า (X)	19.98	39.60	77.70	111.50	178.40
เปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์ (Y)	0.30	0.60	1.17	1.67	2.67

จากข้อมูลในตารางที่ 2 สามารถคำนวณและสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นได้โดยใช้สมการที่ 3, 4 และ 5 สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้แสดงดังสมการที่ 6 พบว่าค่าคงที่ a_0 หรือจุดตัดบนแกน y มีค่าน้อยมากซึ่งสามารถละทิ้งได้ ดังนั้นจะได้สมการถดถอยเชิงเส้นใหม่ดังสมการที่ 7

$$Y_j = 0.0056 + 0.015X_j \quad (6)$$

$$Y_j = 0.015X_j \quad (7)$$

โดยที่ X_j คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้า, Y_j คือ เปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์

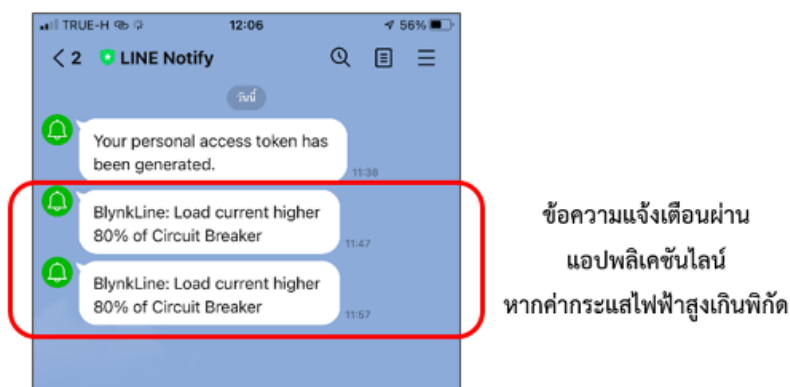
จากสมการที่ 7 เมื่อนำไปพยากรณ์เพื่อใช้วางแผนจัดการพลังงานไฟฟ้าในบ้านเรือนได้ผลการพยากรณ์ดังตารางที่ 3 โดยพบว่าหากโหลดเพิ่มขึ้น 400 W ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์จะอยู่ที่ 6 เปอร์เซ็นต์ และหากเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์เพิ่มขึ้นเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโหลดจะอยู่ที่ 5,333.33 W และที่ค่าพิกัด 100 เปอร์เซ็นต์ ค่าปริมาณโหลดจะอยู่ที่ 6,666.66 W

ตารางที่ 3 การพยากรณ์กำลังไฟฟ้าของโหลด (W) และปริมาณเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์

โหลด	6	7	8	9	10
กำลังไฟฟ้า (W)	200	300	400	5,333.33	6,666.66
เปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์ (%)	3	4.50	6	80	100

ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดในการส่งข้อความแจ้งเตือน

ผลการทดสอบการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ในกรณีกระแสโหลดสูงเกิน 80 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดแอมป์ทรีของเบรกเกอร์ ซึ่งในการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง พบว่าระบบแจ้งเตือนทั้ง 10 ครั้ง คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ โดยตัวอย่างข้อความการแจ้งเตือนแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตัวอย่างข้อความการแจ้งเตือนบนสมาร์ทโฟน ผ่านแอปพลิเคชันไลน์

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะต้นแบบนี้ออกแบบให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้านซึ่งได้ออกแบบไว้สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส บนสมาร์ทโฟน ด้วยเทคโนโลยีไอโอที ซึ่งประยุกต์ใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชันบลิงค์ ซึ่งประกอบด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า และเปอร์เซ็นต์ภาระโหลดของเบรกเกอร์ ซึ่งเมื่อศึกษาการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ พบว่าการวิจัยเพื่อออกแบบระบบควบคุมโหลดสำหรับสมาร์ทโฮมโดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีซึ่งได้ประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC1768 เป็นตัวประมวลผล และยังได้ออกแบบให้สามารถส่งการควบคุมโหลดผ่านเว็บเพจ [7] แต่ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU /ESP8266 เป็นตัวประมวลผลและได้ออกแบบให้สามารถควบคุมโหลดบนมือถือได้โดยการประยุกต์ใช้งานบนแอปพลิเคชันบลิงค์ นอกจากนี้มีการศึกษาการออกแบบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะโดยใช้เทคโนโลยีไอโอที ซึ่งได้ออกแบบให้ทำงานร่วมกับราสเบอร์รี่พาย (raspberry pi) โดยการแสดงผลและแสดงผ่านหน้าเว็บเพจ ซึ่งประกอบด้วยค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า [8] แต่สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้สามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์บนมือถือได้โดยประยุกต์ใช้งานบนแอปพลิเคชันบลิงค์เช่นเดียวกัน ซึ่งค่าที่แสดงผลนั้นประกอบไปด้วยค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า และเปอร์เซ็นต์ภาระโหลดของเบรกเกอร์ มีงานวิจัยที่ศึกษาการออกแบบระบบควบคุมและตรวจสอบสถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (circuit breaker) ว่าอยู่ในสถานะปิดวงจรหรือเปิดวงจรโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ LPC1768 ในการตรวจสอบและใช้สำหรับการตั้งค่าหรือรีเซ็ตเบรกเกอร์ เพื่อลดเวลาการค้นหาและแก้ไขจุดบกพร่องของระบบไฟฟ้าให้เหลือน้อยที่สุดและใช้สำหรับปรับปรุงวิธีการบำรุงรักษาของเบรกเกอร์ เพิ่มอายุการใช้งาน และความน่าเชื่อถือของเบรกเกอร์ โดยจะแสดงผลบนหน้าจอสัมผัส [9] แต่ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้สามารถติดตามภาระโหลดของเบรกเกอร์แบบเรียลไทม์โดยพิจารณาจากค่าพิกัดแอมป์ทริปของเบรกเกอร์ เพื่อชี้ให้เห็นถึงภาระโหลดของเบรกเกอร์และความสามารถคงเหลือของเบรกเกอร์ในการรองรับโหลดก่อนที่จะเบรกเกอร์นั้นจะทริป โดยในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้มีระบบแจ้งเตือนหากกรณีค่าเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์นั้นเพิ่มขึ้นมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าขีดจำกัดแอมป์ทริปของเบรกเกอร์ ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ไปยังผู้ใช้งานเพื่อบริหารจัดการโหลดให้เหมาะสม โดยสามารถควบคุมโหลดผ่านสมาร์ทโฟนได้โดยตรงเพื่อปลดโหลดที่ไม่สำคัญในการป้องกัน

ไม่ให้เบรกเกอร์ได้รับการโหลดเกิน นอกจากนี้ยังพบว่ามีการวิจัยการออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมการควบคุมโหลดสำหรับระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นตัวประมวลผลและใช้เซนเซอร์ ADE7758 ในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยการควบคุมจะติดตามและควบคุมผ่านหน้าเว็บเพจ [10] แต่งานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ซึ่งมีฟังก์ชันการทำงานพื้นฐานเหมือนกับ ESP32 แต่จะมีราคาที่ถูกกว่า โดยได้ออกแบบให้ทำงานร่วมกับเซนเซอร์ PZEM-004T Module ในการตรวจวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า โดยเฉพาะชุดตรวจวัดกระแสของ PZEM004T นั้นจะมีชุดตรวจจับกระแสไฟฟ้าแบบคล้องสาย (current clamp module) ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน

ในการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพิจารณาจากค่าความผิดพลาดโดยการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดที่ได้รับมาตรฐาน โดยผลการทดสอบพบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดในการตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจะอยู่ที่ -0.45 เปอร์เซ็นต์และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.32 และสำหรับ เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดในการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.25 เปอร์เซ็นต์และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.29 ซึ่งค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการเชื่อมต่อและใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อที่ไม่ได้มาตรฐานทำให้มีความต้านทานแฝงในระบบทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัด สำหรับระบบติดตามการเปลี่ยนแปลงระบบไฟฟ้านั้นพบว่าระบบสามารถติดตามค่ากำลังไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ซึ่งจะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าและปริมาณการใช้พลังงานในสภาวะปกติหากพบว่ามีการใช้พลังงานที่ผิดปกติก็สามารถตรวจสอบและควบคุมโหลดผ่านสมาร์ตโฟน ได้โดยตรงเพื่อการประหยัดพลังงานในบ้านเรือน และข้อมูลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์สามารถนำไปพยากรณ์ปริมาณโหลดและเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์ได้เพื่อนำไปประยุกต์ในวางแผนการจัดการพลังงานและการป้องกันเพื่อสร้างความปลอดภัยในการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านเรือนต่อไปในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้พัฒนาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะพร้อมระบบเฝ้ามองขีดความสามารถเบรกเกอร์และควบคุมโหลดบนสมาร์ตโฟนแบบเรียลไทม์ด้วยเทคโนโลยีไอโอทีรวมถึงระบบแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับแอปพลิเคชันบลูทูธ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการพลังงานในบ้าน และสามารถนำข้อมูลจากการพยากรณ์ค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดและค่าเปอร์เซ็นต์โหลดของเบรกเกอร์ไปใช้วางแผนป้องกันการได้รับการโหลดเกินของเบรกเกอร์และใช้ในการวางแผนเพื่อออกแบบขนาดของเบรกเกอร์ให้เหมาะสมกับการใช้โหลดในบ้านเรือนต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษานี้ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก พัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ช่วยสนับสนุนห้องปฏิบัติการ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้คำปรึกษาพร้อมแนะนำในการทำงานวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Georgios, L., Kerstin, S., & Theofylaktos, A. (2019). Internet of things in the context of industry 4.0: An overview. *International Journal of Entrepreneurial Knowledge*, 7, 4-20.
- [2] Akseer, A. M., Gustavo, V. H., Anshul, A., & Joseph, W. (2022). Key challenges and emerging technologies in industrial IoT architectures: A review. *Sensors*, 22, 1-31.
- [3] Abdellah, C., Alfred, Z., Rainer, S., & Yoshimasa, M. (2021). Theory and practice of implementing a successful enterprise IoT strategy in the industry 4.0 Era. *Procedia Computer Science*, 192, 4609-4618.
- [4] Leo, W., Santoso, Resmana, L., & Kevin, T. (2018). Smart home system using internet of things. *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, 16, 60-65.
- [5] Zaied, S., Ahmad, A., & Tri, K. P. (2019). Internet of things (IoT) of smart home: privacy and security. *International Journal of Computer Applications*, 182, 3-8.
- [6] Priyanka, T. (2019). A Review on implementation of IOT in smart home technologies, *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6, 161-167.
- [7] Tejaswi, P., & Venkatapathi, P. (2020). IOT based smart home with load control. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 8, 876-881.
- [8] Arati, K., & Kulkarni, V. S. (2016). IOT based smart power metering. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 6, 411-415.
- [9] Bhagwan, K., Durvankur, S., Dhananjay, B. & Bhushan, K. (2017). Internet of thing (I.O.T) base controlling & monitoring of circuit breaker. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4, 668-673.
- [10] Omar, M., Adolfo, R., Pedro, R., Alexis, A., Alejandro, S., & Fernando, L. (2022). Design and development of an IoT smart meter with load control for home energy management systems. *Sensors*, 22, 1-24.
- [11] Hussein, A. J., Hussein, A., Ahmed, A. W., & Malak, E. A. (2021). Mobile Based IoT Solution for Helping Visual Impairment Users. *Advances in Internet of Things*, 11, 141-152.
- [12] Giovanni, R., Paolo, D., & Filippo, C. (2017). Smartphone-based food diagnostic technologies: A Review. *Sensors*, 17, 1-22.
- [13] Lakshmi, M. J., Sameen, C. S., Maneesha D., Dharani, G., & Mubeena, K. F. (2022). Smart home using blynk app based on IOT. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 10, 341-345.
- [14] Weerathum, C., & Somchat, S. (2022). Applications of energy monitoring using the IoT. *SNRU Journal of Science and Technology*, 14, 1-9.
- [15] Narumon, W., & Chaisit, W. (2022). A real-time prototype of a water level monitor and wide area early flood warning. *SNRU Journal of Science and Technology*, 14, 19-24.

เอกลักษณ์บางประการของลำดับคล้ายสมดุและลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัสโดยวิธีเมทริกซ์

On Some Identities of Balancing-Like and Lucas-Balancing-Like Sequences

by the Matrix Method

ซานิตย ฤทธิเดช* ธีรพล บัวทอง และ ศิรฉัตร ทิพย์ศรี
Sanit Ritthidej*, Theerapon Buatong, & Sirachat Tipsri

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000
Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla 90000

Submitted 30/03/2023 ; Revised 15/05/2023 ; Accepted 18/05/2023

บทคัดย่อ

ลำดับคล้ายสมดุ และลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส ได้ถูกนิยามในรูป $\left\{\frac{\sigma_k}{2}\right\}$ และ $\{N_k\}$ สำหรับทุกจำนวนเต็มบวก k โดยที่ N_k และ σ_k เป็นผลเฉลยของสมการเพลล์ $N^2 - 12\sigma^2 = 1$ และลำดับทั้งสอง กำหนดโดยความสัมพันธ์เวียนเกิดเชิงเส้น $L_{n+1} = 4L_n - L_{n-1}$ และ $M_{n+1} = 4M_n - M_{n-1}$ สำหรับจำนวนเต็มบวก n โดยมีเงื่อนไขค่าเริ่มต้น $L_0 = 0$, $L_1 = 1$ และ $M_0 = 1$, $M_1 = 2$ ตามลำดับ สำหรับงานวิจัยนี้ได้นิยามเมทริกซ์ Q_L และ Q_M เพื่อใช้สำหรับสร้างสูตรปิด และใช้เมทริกซ์เหล่านี้สร้างเอกลักษณ์ต่าง ๆ ของลำดับคล้ายสมดุ และลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส

คำสำคัญ: ลำดับคล้ายสมดุ ลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส วิธีเมทริกซ์

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: sanit.ri@skru.ac.th

Abstract

Balancing-like and Lucas-balancing-like sequences are defined by $\left\{\frac{\sigma_k}{2}\right\}$ and $\{N_k\}$ for the positive integer k , where N_k and σ_k are solutions of Pell's equation $N^2 - 12\sigma^2 = 1$. These sequences are determined as linear recurrence relations $L_{n+1} = 4L_n - L_{n-1}$ and $M_{n+1} = 4M_n - M_{n-1}$ with initial conditions $L_0 = 0$, $L_1 = 1$ and $M_0 = 1$, $M_1 = 2$ for the positive integer n , respectively. In this paper, some identities of balancing-like and Lucas-balancing-like sequences are obtained by using Binet's formulas, which are formulated by matrices Q_L and Q_M .

Keywords: balancing-like sequence, Lucas-balancing-like sequence, matrix method

บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ลำดับที่นิยามโดยความสัมพันธ์เวียนเกิดของจำนวนเต็มบวก ได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง และที่รู้จักกันดี ได้แก่ ลำดับฟีโบนัชชี $\{F_n\}$ นิยามโดยความสัมพันธ์เวียนเกิด $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$ เมื่อ $n \geq 2$ โดยมีเงื่อนไขค่าเริ่มต้น $F_0 = 0$ และ $F_1 = 1$ อีกลำดับที่คล้ายกัน คือ ลำดับลูคัส $\{L_n\}$ นิยามโดยความสัมพันธ์เวียนเกิด $L_n = L_{n-1} + L_{n-2}$ เมื่อ $n \geq 2$ โดยมีเงื่อนไขค่าเริ่มต้น $L_0 = 2$ และ $L_1 = 1$ แต่ละพจน์ของลำดับฟีโบนัชชี และลำดับลูคัส เรียกว่า จำนวนฟีโบนัชชี และจำนวนลูคัสตามลำดับ

Behera และ Panda [1] ได้นิยามเกี่ยวกับจำนวนสมดุล (balancing number) สำหรับ $n \in \mathbb{Z}^+$ เรียก n ว่า จำนวนสมดุล ถ้า n สอดคล้องกับสมการ

$$1 + 2 + \cdots + (n-1) = (n+1) + (n+2) + \cdots + (n+r)$$

สำหรับบาง $r \in \mathbb{Z}^+$ และเรียก r ว่า ตัวทำให้สมดุล (balancer) ที่สมนัยกับจำนวนสมดุล n และได้กำหนดจำนวนสมดุล ในรูปความสัมพันธ์เวียนเกิด ดังนี้

$$B_{n+1} = 6B_n - B_{n-1} \quad (*)$$

โดยมีเงื่อนไขค่าเริ่มต้นเป็น $B_0 = 0$ และ $B_1 = 1$ และ B_n เป็นพจน์ที่ n ของจำนวนสมดุล

Panda [2] ได้นิยามจำนวนสมดุล-ลูคัส ในรูปสมการ $C_n = \sqrt{8n^2 + 1}$ โดยที่ n เป็นจำนวนสมดุล และสอดคล้องกับความสัมพันธ์เวียนเกิด คือ

$$C_{n+1} = 6C_n - C_{n-1} \quad (**)$$

สำหรับจำนวนเต็มบวก n โดยมีเงื่อนไขค่าเริ่มต้นเป็น $C_0 = 1$ และ $C_1 = 3$

Ray [3] ได้นำความสัมพันธ์เวียนเกิดจากสมการ (**) นิยามให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ Q_C และหาเอกลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง โดยที่เมทริกซ์ Q_C เขียนอยู่ในรูป

$$Q_B = \begin{pmatrix} 6 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Ray [4] ได้นำความสัมพันธ์เวียนเกิดจากสมการ (**) มานิยามให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ Q_C และหาเอกลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง โดยที่เมทริกซ์ Q_C เขียนอยู่ในรูป

$$Q_C = \begin{pmatrix} 17 & -3 \\ 3 & -1 \end{pmatrix}$$

Panda และ Panda [5] ได้แนะนำเกี่ยวกับลำดับคล้ายสมดุลและลำดับคล้ายสมดุล-ลูคัส ในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน N_k และ σ_k ซึ่งเป็นผลเฉลยของสมการ $N^2 - 12\sigma^2 = 1$ ที่มีค่าเป็นจำนวนเต็ม และได้แสดงลำดับคล้ายสมดุล และลำดับคล้ายสมดุล-ลูคัส ซึ่งได้ให้ $\{L_n\}_{n=1}^\infty$ เป็นสัญลักษณ์ของลำดับคล้ายสมดุลที่สอดคล้องกับความสัมพันธ์เวียนเกิด คือ

$$L_{n+1} = 4L_n - L_{n-1} \quad (1)$$

สำหรับจำนวนเต็มบวก n โดยมีเงื่อนไขค่าเริ่มต้นเป็น $L_0 = 0$ และ $L_1 = 1$

เอกลักษณ์บางประการของลำดับคล้ายสมดุลและลำดับคล้ายสมดุล-ลูคัสโดยวิธีเมทริกซ์

ให้ $\{M_n\}_{n=1}^{\infty}$ เป็นสัญลักษณ์ของลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส ที่สอดคล้องกับความสัมพันธ์เวียนเกิด

$$M_{n+1} = 4M_n - M_{n-1} \quad (2)$$

สำหรับจำนวนเต็มบวก n โดยมีเงื่อนไขค่าเริ่มต้นเป็น $M_0 = 1$ และ $M_1 = 2$

เพอร์มาแนนท์ (permanent) ของเมทริกซ์ $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ ซึ่งเป็นเมทริกซ์จัตุรัสขนาด n ซึ่งนิยามโดย

$$\text{per}(A) = \sum_{\sigma \in S_n} \prod_{i=1}^n a_{i\sigma(i)}$$

โดยที่ S_n เป็นกลุ่มสมมาตรของการเรียงสับเปลี่ยนของ $\{1, 2, \dots, n\}$ และสามารถดูตัวอย่างใน [6]

จากความสัมพันธ์เวียนเกิดของลำดับคล้ายสมดุและลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส จะได้ลำดับดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงค่าของ L_n และ M_n สำหรับจำนวนเต็มตั้งแต่ 0 ถึง 8

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8
L_n	0	1	4	15	56	209	780	2991	10864
M_n	1	2	7	26	97	362	1351	5042	18817

วัตถุประสงค์

เพื่อนำลำดับคล้ายสมดุ และลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส มาประยุกต์เป็นทฤษฎีบทใหม่ โดยวิธี เมทริกซ์

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทำวิจัยนี้จะนำความสัมพันธ์จากสมการ (1) และ (2) มากำหนดให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ Q_L และ Q_M เพื่อใช้ในการหาเอกลักษณ์ต่าง ๆ ของลำดับคล้ายสมดุและลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส โดยวิธี เมทริกซ์ ดังนี้

- 1) หาเอกลักษณ์ของลำดับคล้ายสมดุ ที่อยู่ในรูปเมทริกซ์ Q_L ขนาด 2×2 ซึ่งกำหนดโดย

$$Q_L = \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

- 2) หาเอกลักษณ์ของลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส ที่อยู่ในรูปเมทริกซ์ Q_M ขนาด 2×2 ซึ่งกำหนดโดย

$$Q_M = \begin{pmatrix} 7 & -2 \\ 2 & -1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

ผลการวิจัย

ผลของการวิจัยถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ เอกลักษณ์บางประการของลำดับคล้ายสมดุ โดยวิธี เมทริกซ์ ในส่วนแรก และเอกลักษณ์บางประการของลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส โดยวิธีเมทริกซ์ ในส่วนที่สอง

เอกลักษณ์บางประการของลำดับคล้ายสมดุ โดยวิธีเมทริกซ์

ทฤษฎีบท 1 สำหรับจำนวนเต็มบวก n จะได้ว่า $Q_L \begin{pmatrix} L_n \\ L_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_{n+1} \\ L_n \end{pmatrix}$

พิสูจน์ ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก จากสมการ (3) จะได้

$$\begin{aligned} Q_L \begin{pmatrix} L_n \\ L_{n-1} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L_n \\ L_{n-1} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} L_{n+1} \\ L_n \end{pmatrix} \end{aligned}$$

ทฤษฎีบท 2 ให้ Q_L เป็นเมทริกซ์ของลำดับคล้ายสมดุ และสำหรับจำนวนเต็มบวก n จะได้ว่า

$$Q_L^n = \begin{pmatrix} L_{n+1} & -L_n \\ L_n & -L_{n-1} \end{pmatrix}$$

พิสูจน์ สังเกตว่า $Q_L = \begin{pmatrix} L_2 & -L_1 \\ L_1 & -L_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ ดังนั้น ทฤษฎีบทนี้เป็นจริงสำหรับ $n = 1$

สมมติให้ $Q_L^k = \begin{pmatrix} L_{k+1} & -L_k \\ L_k & -L_{k-1} \end{pmatrix}$ เป็นจริง สำหรับ $n = k$

พิจารณา

$$\begin{aligned} Q_L^{k+1} &= Q_L^k Q_L \\ &= \begin{pmatrix} L_{k+1} & -L_k \\ L_k & -L_{k-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 4L_{k+1} - L_k & -L_{k+1} \\ 4L_k - L_{k-1} & -L_k \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} L_{k+2} & -L_{k+1} \\ L_{k+1} & -L_k \end{pmatrix} \end{aligned}$$

ดังนั้น โดยหลักการอุปนัยทางคณิตศาสตร์ $Q_L^n = \begin{pmatrix} L_{n+1} & -L_n \\ L_n & -L_{n-1} \end{pmatrix}$ สำหรับทุก $n \geq 1$

ทฤษฎีบท 3 สำหรับจำนวนเต็มบวก n จะได้ว่า

$$\det(Q_L^n) = 1$$

พิสูจน์ ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก จากสมการ (3) จะได้ $\det Q_L = \det \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = 1$

ดังนั้น $\det(Q_L)^n = (\det Q_L)^n = 1^n = 1$

ทฤษฎีบท 4 สำหรับจำนวนเต็มบวก n จะได้ว่า

$$L_n^2 - L_{n+1}L_{n-1} = 1$$

พิสูจน์ ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก จะได้

$$\begin{aligned}\det(Q_L^n) &= \det \begin{pmatrix} L_{n+1} & -L_n \\ L_n & -L_{n-1} \end{pmatrix} \\ &= L_n^2 - L_{n+1}L_{n-1}\end{aligned}$$

$$\text{และจาก } \det(Q_L^n) = (\det Q_L)^n = 1$$

$$\text{ดังนั้น } L_n^2 - L_{n+1}L_{n-1} = 1$$

ทฤษฎีบท 5 ให้ Q_M เป็นเมทริกซ์ของลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส และ $n \geq 1$ จะได้

$$Q_M^n = \begin{cases} 3^{\frac{n}{2}} \begin{pmatrix} L_{n+1} & -L_n \\ L_n & -L_{n-1} \end{pmatrix}, & \text{สำหรับ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3^{\frac{n-1}{2}} \begin{pmatrix} M_{n+1} & -M_n \\ M_n & -M_{n-1} \end{pmatrix}, & \text{สำหรับ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases} \quad (5)$$

(6)

พิสูจน์ พิจารณา กรณีที่ n เป็นจำนวนคี่

$$\text{สังเกตว่า } Q_M = \begin{pmatrix} M_2 & -M_1 \\ M_1 & -M_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 & -2 \\ 2 & -1 \end{pmatrix} \text{ ดังนั้น ทฤษฎีบทนี้ เป็นจริงสำหรับ } n = 1$$

$$\text{สมมติให้ } Q_M^k = 3^{\frac{k-1}{2}} \begin{pmatrix} M_{k+1} & -M_k \\ M_k & -M_{k-1} \end{pmatrix} \text{ เป็นจริง สำหรับ } n = k$$

พิจารณา

$$\begin{aligned}Q_M^{k+2} &= Q_M^k Q_M^2 \\ &= 3^{\frac{k-1}{2}} \begin{pmatrix} M_{k+1} & -M_k \\ M_k & -M_{k-1} \end{pmatrix} 3 \begin{pmatrix} 15 & -4 \\ 4 & -1 \end{pmatrix} \\ &= 3^{\frac{k+1}{2}} \begin{pmatrix} 15M_{k+1} - 4M_k & -4M_{k+1} + M_k \\ 15M_k - 4M_{k-1} & -4M_k + M_{k-1} \end{pmatrix}\end{aligned}$$

เนื่องจาก $M_{k+1} = 4M_k - M_{k-1}$ จะได้

$$\begin{aligned}M_{k+2} &= 4M_{k+1} - M_k \\ &= 4(4M_k - M_{k-1}) - M_k \\ &= 15M_k - 4M_{k-1}\end{aligned}$$

$$\text{และ } M_{k+3} = 15M_{k+1} - 4M_k$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } Q_M^{k+2} = 3^{\frac{k+1}{2}} \begin{pmatrix} M_{k+3} & -M_{k+2} \\ M_{k+2} & -M_{k+1} \end{pmatrix}$$

พิจารณา กรณี n เป็นจำนวนคู่

$$\text{สังเกตว่า } Q_M^2 = \begin{pmatrix} 45 & -12 \\ 12 & -3 \end{pmatrix} = 3 \begin{pmatrix} 15 & -4 \\ 4 & -1 \end{pmatrix} = 3 \begin{pmatrix} L_3 & -L_2 \\ L_2 & -L_1 \end{pmatrix}$$

ดังนั้น ทฤษฎีบทนี้ เป็นจริงสำหรับ $n = 2$

สมมติให้ $Q_M^k = 3^{\frac{k}{2}} \begin{pmatrix} L_{k+1} & -L_k \\ L_k & -L_{k-1} \end{pmatrix}$ เป็นจริง $n = k$

พิจารณา $Q_M^{k+2} = Q_M^k Q_M^2$

$$= 3^{\frac{k}{2}} \begin{pmatrix} L_{k+1} & -L_k \\ L_k & -L_{k-1} \end{pmatrix} 3 \begin{pmatrix} 15 & -4 \\ 4 & -1 \end{pmatrix}$$

$$= 3^{\frac{k+2}{2}} \begin{pmatrix} 15L_{k+1} - 4L_k & -4L_{k+1} + L_k \\ 15L_k - 4L_{k-1} & -4L_k + L_{k-1} \end{pmatrix}$$

เนื่องจาก $L_{k+1} = 4L_k - L_{k-1}$ จะได้

$$\begin{aligned} L_{k+2} &= 4L_{k+1} - L_k \\ &= 4(4L_k - L_{k-1}) - L_k \\ &= 15L_k - 4L_{k-1} \end{aligned}$$

และ $L_{k+3} = 15L_{k+1} - 4L_k$

เพราะฉะนั้น $Q_M^{k+2} = 3^{\frac{k+2}{2}} \begin{pmatrix} L_{k+3} & -L_{k+2} \\ L_{k+2} & -L_{k+1} \end{pmatrix}$

ดังนั้น โดยหลักอุปนัยทางคณิตศาสตร์ จะได้ว่า $Q_M^n = \begin{cases} 3^{\frac{n}{2}} \begin{pmatrix} L_{n+1} & -L_n \\ L_n & -L_{n-1} \end{pmatrix} & \text{สำหรับ } n \text{ เป็นจำนวนคู่} \\ 3^{\frac{n-1}{2}} \begin{pmatrix} M_{n+1} & -M_n \\ M_n & -M_{n-1} \end{pmatrix} & \text{สำหรับ } n \text{ เป็นจำนวนคี่} \end{cases}$

สำหรับทุก $n \geq 1$

ทฤษฎีบท 6 สำหรับจำนวนเต็ม n โดยที่ $n \geq 0$ จะได้ สูตรบีเนตของลำดับคล้ายสมดุลง และลำดับคล้ายสมดุลงูลุคส์ ดังนี้

$$L_n = \frac{\alpha^n - \beta^n}{2\sqrt{3}} \quad \text{และ} \quad M_n = \frac{\alpha^n + \beta^n}{2}$$

โดยที่ $\alpha = 2 + \sqrt{3}$ และ $\beta = 2 - \sqrt{3}$

พิสูจน์ ให้ λ เป็นค่าลักษณะเฉพาะ จะได้ว่า $\lambda^2 - 6\lambda - 3 = 0$ เป็นสมการลักษณะเฉพาะของ Q_M

ดังนั้น จะได้ $\lambda_1 = 3 + 2\sqrt{3}$ และ $\lambda_2 = 3 - 2\sqrt{3}$ เป็นค่าลักษณะเฉพาะของ Q_M ซึ่งสมนัยกับเวกเตอร์

ลักษณะเฉพาะ $V_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ \beta \end{pmatrix}$ และ $V_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ \alpha \end{pmatrix}$ โดยที่ $\alpha = 2 + \sqrt{3}$ และ $\beta = 2 - \sqrt{3}$

กำหนดให้ $A = (V_1, V_2) = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ \beta & \alpha \end{pmatrix}$ และ $B = \begin{pmatrix} \sqrt{3}\alpha & 0 \\ 0 & -\sqrt{3}\beta \end{pmatrix}$ เป็นเมทริกซ์ทแยงมุม ซึ่งสอดคล้องกับ

$A^{-1}Q_MA = B$ ดังนั้น สำหรับจำนวนเต็มบวก n จะได้

$$\begin{aligned}
Q_M^n &= AB^n A^{-1} \\
&= \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ \beta & \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (\sqrt{3}\alpha)^n & 0 \\ 0 & (-\sqrt{3}\beta)^n \end{pmatrix} \frac{1}{\alpha - \beta} \begin{pmatrix} \alpha & -1 \\ -\beta & 1 \end{pmatrix} \\
&= \frac{(\sqrt{3})^n}{2\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ \beta & \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha^{n+1} & -\alpha^n \\ (-\beta)^{n+1} & (-\beta)^n \end{pmatrix} \\
&= \frac{3^{\frac{n}{2}}}{2\sqrt{3}} \begin{pmatrix} \alpha^{n+1} + (-\beta)^{n+1} & -\alpha^n + (-\beta)^n \\ \alpha^n - (-\beta)^n & -(\alpha^{n-1} + (-\beta)^{n-1}) \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

จากทฤษฎีบท 5 สำหรับ n เป็นจำนวนคี่ จะได้

$$\begin{aligned}
3^{\frac{n-1}{2}} \begin{pmatrix} M_{n+1} & -M_n \\ M_n & -M_{n-1} \end{pmatrix} &= \frac{3^{\frac{n}{2}}}{2\sqrt{3}} \begin{pmatrix} \alpha^{n+1} + \beta^{n+1} & -(\alpha^n + \beta^n) \\ \alpha^n + \beta^n & -(\alpha^{n-1} + \beta^{n-1}) \end{pmatrix} \\
\begin{pmatrix} M_{n+1} & -M_n \\ M_n & -M_{n-1} \end{pmatrix} &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \alpha^{n+1} + \beta^{n+1} & -(\alpha^n + \beta^n) \\ \alpha^n + \beta^n & -(\alpha^{n-1} + \beta^{n-1}) \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

จากการเท่ากันของเมทริกซ์ จะได้ $M_n = \frac{\alpha^n + \beta^n}{2}$

และจากทฤษฎีบท 5 สำหรับ n เป็นจำนวนคู่ จะได้

$$\begin{aligned}
Q_M^n &= \frac{3^{\frac{n}{2}}}{2\sqrt{3}} \begin{pmatrix} \alpha^{n+1} - \beta^{n+1} & -(\alpha^n - \beta^n) \\ \alpha^n - \beta^n & -(\alpha^{n-1} - \beta^{n-1}) \end{pmatrix} \\
3^{\frac{n}{2}} \begin{pmatrix} L_{n+1} & -L_n \\ L_n & -L_{n-1} \end{pmatrix} &= \frac{3^{\frac{n}{2}}}{2\sqrt{3}} \begin{pmatrix} \alpha^{n+1} - \beta^{n+1} & -(\alpha^n - \beta^n) \\ \alpha^n - \beta^n & -(\alpha^{n-1} - \beta^{n-1}) \end{pmatrix} \\
\begin{pmatrix} L_{n+1} & -L_n \\ L_n & -L_{n-1} \end{pmatrix} &= \frac{1}{2\sqrt{3}} \begin{pmatrix} \alpha^{n+1} - \beta^{n+1} & -(\alpha^n - \beta^n) \\ \alpha^n - \beta^n & -(\alpha^{n-1} - \beta^{n-1}) \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

จากการเท่ากันของเมทริกซ์ จะได้ $L_n = \frac{\alpha^n - \beta^n}{2\sqrt{3}}$

ข้อสังเกต จากทฤษฎีบท 6 จะได้ $\alpha\beta = 1$, $\alpha + \beta = 4$, $\alpha - \beta = 2\sqrt{3}$, $\alpha\beta^{-1} = 7 + 4\sqrt{3}$, $\alpha^{-1}\beta = 7 - 4\sqrt{3}$

ทฤษฎีบท 7 ให้ Q_L เป็นเมทริกซ์จัตุรัส และ n เป็นจำนวนเต็มบวก จะได้

$$\text{per}(Q_L^n) = -\frac{1}{3}(M_{2n} - 4)$$

พิสูจน์ ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก และบทนิยาม 1 จะได้

$$\begin{aligned}
\text{per}(Q_L^n) &= \text{per} \begin{pmatrix} L_{n+1} & -L_n \\ L_n & -L_{n-1} \end{pmatrix} \\
&= -L_{n+1}L_{n-1} - L_n^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{per}(Q_L^n) &= -\frac{1}{12} \left[2\alpha^{2n} + 2\beta^{2n} - (\alpha\beta)^n (\alpha\beta^{-1} + \alpha^{-1}\beta) - 2 \right] \\
 &= -\frac{1}{3} \left[\frac{\alpha^{2n} + \beta^{2n}}{2} - 4 \right] \\
 &= -\frac{1}{3} (M_{2n} - 4)
 \end{aligned}$$

ดังนั้น $\text{per}(Q_L^n) = -\frac{1}{3} (M_{2n} - 4)$

ในหัวข้อต่อไปนี้จะหาเอกลักษณ์ของลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส โดยวิธีเมทริกซ์ ซึ่งจะแยกพิจารณาเป็นกรณีต่าง ๆ

เอกลักษณ์บางประการของลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส โดยวิธีเมทริกซ์

บทตั้ง 8 สำหรับจำนวนเต็มบวก n จะได้

$$1) M_n = 2L_n - L_{n-1} \quad (5)$$

$$2) 3L_n = 2M_n - M_{n-1} \quad (6)$$

พิสูจน์ 1) สังเกตว่า $2L_1 - L_0 = 2(1) - 0 = 2 = M_1$ ดังนั้น ทฤษฎีบทนี้เป็นจริงสำหรับ $n = 1$

ให้ i เป็นจำนวนเต็มบวก สมมติให้ $M_i = 2L_i - L_{i-1}$ เป็นจริง สำหรับ $1 \leq i \leq k$

$$\begin{aligned}
 \text{พิจารณา} \quad M_{k+1} &= 4M_k - M_{k-1} \\
 &= 4(2L_k - L_{k-1}) - (2L_{k-1} - L_{k-2}) \\
 &= 2L_{k+1} - L_k
 \end{aligned}$$

ดังนั้น โดยหลักการอุปนัยทางคณิตศาสตร์ $M_n = 2L_n - L_{n-1}$ สำหรับทุก $n \geq 1$

2) จากสมการ (5) จะได้ $2M_n = 4L_n - 2L_{n-1}$ และ $M_{n-1} = 2L_{n-1} - L_{n-2}$ ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 2M_n - M_{n-1} &= 4L_n - 2L_{n-1} - 2L_{n-1} + L_{n-2} \\
 &= 4L_n - L_n \\
 &= 3L_n
 \end{aligned}$$

นั่นคือ $2M_n - M_{n-1} = 3L_n$

ทฤษฎีบท 9 สำหรับจำนวนเต็มบวก n จะได้

$$Q_M \begin{pmatrix} L_n \\ L_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{n+1} \\ M_n \end{pmatrix}$$

พิสูจน์ ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก จากสมการ (4) จะได้

$$\begin{aligned}
 Q_M \begin{pmatrix} L_n \\ L_{n-1} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 7 & -2 \\ 2 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L_n \\ L_{n-1} \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 7L_n - 2L_{n-1} \\ 2L_n - L_{n-1} \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

จากสมการ (1) และสมการ (5) จะได้ $M_{n+1} = 7L_n - 2L_{n-1}$

$$\text{ดังนั้น } Q_M \begin{pmatrix} L_n \\ L_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{n+1} \\ M_n \end{pmatrix}$$

บทแทรก 10 สำหรับจำนวนเต็มบวก n จะได้

$$2M_n = L_{n+1} - L_{n-1}$$

พิสูจน์ ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก จากสมการ (7) จะได้

$$2M_n = 4L_n - 2L_{n-1} = L_{n+1} - L_{n-1}$$

$$\text{ดังนั้น } 2M_n = L_{n+1} - L_{n-1}$$

ทฤษฎีบท 11 สำหรับจำนวนเต็มบวก n จะได้

$$Q_M \begin{pmatrix} M_n \\ M_{n-1} \end{pmatrix} = 3 \begin{pmatrix} L_{n+1} \\ L_n \end{pmatrix}$$

พิสูจน์ ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก จากสมการ (4) จะได้

$$Q_M \begin{pmatrix} M_n \\ M_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 & -2 \\ 2 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_n \\ M_{n-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7M_n - 2M_{n-1} \\ 2M_n - M_{n-1} \end{pmatrix}$$

จากสมการ (2) และสมการ (6) จะได้ $3L_{n+1} = 7M_n - 2M_{n-1}$

$$\text{ดังนั้น } Q_M \begin{pmatrix} M_n \\ M_{n-1} \end{pmatrix} = 3 \begin{pmatrix} L_{n+1} \\ L_n \end{pmatrix}$$

บทแทรก 12 สำหรับจำนวนเต็มบวก n จะได้

$$6L_n = M_{n+1} - M_{n-1}$$

พิสูจน์ ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก จากสมการ (2) และ (8) จะได้ $6L_n = M_{n+1} - M_{n-1}$

ทฤษฎีบท 13 สำหรับจำนวนเต็มบวก n จะได้

$$\det(Q_M^n) = (-3)^n$$

พิสูจน์ ให้ n เป็นจำนวนเต็มบวก จะได้

$$\det(Q_M^n) = (\det Q_M)^n = (-3)^n$$

$$\text{ดังนั้น } \det(Q_M^n) = (-3)^n$$

ทฤษฎีบท 14 ให้ Q_M เป็นเมทริกซ์จัตุรัส และ n เป็นจำนวนคี่ จะได้

$$\text{per}(Q_M^n) = -3^{n-1}(M_{2n} + 4)$$

พิสูจน์ ให้ n เป็นจำนวนคี่ และทฤษฎีบท 5 จะได้

$$\begin{aligned}
\text{per}(Q_M^n) &= \text{per} \left(3^{\frac{n-1}{2}} \begin{pmatrix} M_{n+1} & -M_n \\ M_n & -M_{n-1} \end{pmatrix} \right) \\
&= 3^{n-1} (-M_{n+1}M_{n-1} - M_n^2) \\
&= -3^{n-1} \left[\left(\frac{\alpha^{n+1} + \beta^{n+1}}{2} \right) \left(\frac{\alpha^{n-1} + \beta^{n-1}}{2} \right) + \left(\frac{\alpha^n + \beta^n}{2} \right)^2 \right] \\
&= -3^{n-1} \left[\frac{\alpha^{2n} + \beta^{2n}}{2} + 4 \right]
\end{aligned}$$

ดังนั้น $\text{per}(Q_M^n) = -3^{n-1}(M_{2n} + 4)$

ทฤษฎีบท 15 ให้ Q_M เป็นเมทริกซ์จัตุรัส และ n เป็นจำนวนคู่ จะได้

$$\text{per}(Q_M^n) = -3^{n-1}(M_{2n} - 4)$$

พิสูจน์ ให้ n เป็นจำนวนคู่ และจากทฤษฎีบท 5 จะได้

$$\begin{aligned}
\text{per}(Q_M^n) &= \text{per} \left(3^{\frac{n}{2}} \begin{pmatrix} L_{n+1} & -L_n \\ L_n & -L_{n-1} \end{pmatrix} \right) \\
&= -3^n (L_{n+1}L_{n-1} + L_n^2) \\
&= -3^n \left[\left(\frac{\alpha^{n+1} - \beta^{n+1}}{2\sqrt{3}} \right) \left(\frac{\alpha^{n-1} - \beta^{n-1}}{2\sqrt{3}} \right) + \left(\frac{\alpha^n - \beta^n}{2\sqrt{3}} \right)^2 \right] \\
&= -\frac{3^n}{12} [2\alpha^{2n} + 2\beta^{2n} - 16] \\
&= -3^{n-1}(M_{2n} - 4)
\end{aligned}$$

ดังนั้น $\text{per}(Q_M^n) = -3^{n-1}(M_{2n} - 4)$

อภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำความรู้ทางพีชคณิตเชิงเส้นเกี่ยวกับเมทริกซ์ และค่าลักษณะเฉพาะนำมาสร้างสูตรบีเนต และเอกลักษณ์ต่าง ๆ ของลำดับคล้ายสมดุและลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส โดยใช้เมทริกซ์ $Q_L = \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ และ $Q_M = \begin{pmatrix} 7 & -2 \\ 2 & -1 \end{pmatrix}$ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ตรงกับ [7] อีกทั้งได้คำนวณค่าดีเทอร์มิแนนต์และเพอร์มาเนนต์ของเมทริกซ์ Q_L^n และ Q_M^n และสามารถสร้างเอกลักษณ์ต่าง ๆ ของลำดับเหล่านี้ได้อีกมาก

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลำดับคล้ายสมดุและลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส ซึ่งนิยามโดยความสัมพันธ์เวียนเกิด $L_{n+1} = 4L_n - L_{n-1}$ สำหรับจำนวนเต็มบวก n โดยกำหนดเงื่อนไขค่าเริ่มต้นเป็น $L_0 = 0, L_1 = 1$

และ $M_{n+1} = 4M_n - M_{n-1}$ สำหรับจำนวนเต็มบวก n โดยกำหนดเงื่อนไขค่าเริ่มต้นเป็น $M_0 = 1, M_1 = 2$

และได้นิยามเมทริกซ์ $Q_L = \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ และ $Q_M = \begin{pmatrix} 7 & -2 \\ 2 & -1 \end{pmatrix}$ จากลำดับคล้ายสมดุและลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส

ตามลำดับ และใช้เมทริกซ์ดังกล่าวหาสูตรบีเนตและได้เอกลักษณ์ต่าง ๆ ของลำดับคล้ายสมดุที่อยู่ในรูปผลคูณของเมทริกซ์ Q_L เมทริกซ์ยกกำลัง Q_L^n ดีเทอร์มิแนนต์ของ Q_L^n เพอร์มาเนนต์ของเมทริกซ์ Q_L^n รวมไปถึงเอกลักษณ์ที่อยู่ในรูปผลคูณของเมทริกซ์ Q_M เมทริกซ์ยกกำลัง Q_M^n ดีเทอร์มิแนนต์ของ Q_M^n เพอร์มาเนนต์ของเมทริกซ์ Q_M^n

เอกสารอ้างอิง

- [1] Behera, A., & Panda, G. K. (1999). On the square roots of triangular numbers. *The Fibonacci Quarterly*, 37(2), 98-105.
- [2] Panda, G. K. (2009). Some fascinating properties of balancing numbers (pp.185-189). In *Proceedings of the Eleventh International Conference on Fibonacci Numbers and Their Applications*. Cong. Numerantium.
- [3] Ray, P. K. (2012). Certain matrices associated with balancing and Lucas-balancing numbers. *Matematika*, 28(1), 15-22.
- [4] Ray, P. K. (2014). On the properties of Lucas-balancing numbers by matrix method. *Applied Mathematical Sciences*, 3(1), 1-6.
- [5] Panda, G. K., & Panda, A. K. (2014). Balancing-like sequences associated with integral standard deviations of consecutive natural numbers. *Applied Mathematical Sciences*, 52(5), 187-192.
- [6] Minc, H. (1978). *Permanents Encyclopaedia of Mathematics and its Applications*, vol 6. London: Addison-Wesley Publishing Company.
- [7] สานิตย์ ฤทธิเดช, ชามิยะห์ แวกะจิ, และ ลัดดาวลีย์ หมัดสมัน. (2560). บางเอกลักษณ์ของลำดับคล้ายสมดุและลำดับคล้ายสมดุ-ลูคัส โดยใช้สูตรไบเนต (หน้า 310-315). ใน *รายงานการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ครั้งที่ 2*. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช.

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด ต่อคุณภาพของผั้โกโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสม

Investigation of the Optimal Ratio of Rice Flour, Tapioca Starch, and Cornstarch on the Quality of Chiu Chow Dumplings by Mixture Design

ทัฬฬสาร ใจแก้ว รุ่งทิพย์ วงศ์ต่อม สุนทร สอนกิตติ และ ณัฏฐพร สุบรรณmani*

Thappasarn Jaikaew, Rungtip Wongtom, Suntorn Sonkitdee &
Natthaporn Subanmanee*

ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
Department of Food Technology and Nutrition, Faculty of Home Economics Technology
Rajamangala University of Technology Krungthep

Submitted 28/02/2023 ; Revised 09/03/2023 ; Accepted 24/05/2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด ที่มีผลต่อคุณภาพของผั้โก โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบผสม ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีแดง (a^*) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ ΔE มีค่าน้อย ซึ่งใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) ในทางกลับกันค่าสีเหลือง (b^*) มีค่าลดลง เมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าแรงตด (g) และค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งมีค่าเพิ่มขึ้น การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนเฉลี่ยในคุณลักษณะด้านความใสของแป้ง ความหนืดของแป้ง ความนุ่มของแป้ง และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) และสูตรที่ผู้บริโภคให้คะแนนสูงในทุกด้าน คือ สูตรทดลอง 6 ซึ่งมีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง : แป้งข้าวโพด เท่ากับ 40 : 50 : 10 กรัม ตามลำดับ การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผั้โก พบว่า ความใสของแป้งสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) มีการยอมรับมากกว่าสูตรทดลอง 6 แต่ความนุ่มของแป้งมีการยอมรับสูตรทดลองมากกว่าสูตรมาตรฐาน ส่วนความหนืดของแป้งและความชอบโดยรวมของแป้งทั้ง 2 สูตร มีการยอมรับไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ผลการเปรียบเทียบราคาค้นทุนในการผลิต พบว่า ผั้โกสูตรทดลองมีราคาค้นทุนที่น้อยกว่าผั้โกสูตรมาตรฐาน

คำสำคัญ: ผั้โก แป้งต้งหมั้ การทดลองแบบผสม

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

Email: natthaporn.sa@mail.rmutk.ac.th

Abstract

The objective of this research is to investigate the effect of the optimum content of rice flour, tapioca starch, and cornstarch on the quality of Chiu Chow dumplings using a mixture design. The determination of physical properties found that, the brightness value (L^*) and the red value (a^*) increased with an increase in tapioca starch, however ΔE was low which same as the standard formula (formula No. 3). In contrast, the yellow value (b^*) decreased. Furthermore, as the amount of tapioca starch increased, the cutting force and the viscosity of the starch increased. The determination of sensory evaluation found that the average scores in the characteristics of transparency, viscosity, softness, and overall preference of samples were significantly different ($p \leq 0.05$) and that the samples with the highest score were those of the experimental formula 6 that have a ratio of rice flour : tapioca starch : cornstarch of 40 : 50 : 10 g, respectively. According to consumer acceptance of samples, it was found that the transparency of the standard formula was more acceptable than the experimental formula, but the softness of the experimental formula 6 was more acceptable than the standard formula (formula No. 3). However, the viscosity and overall preference of both formulations were not significantly different ($p > 0.05$). A comparison of the cost prices of production found that the experimental formula had a lower cost prices than the standard formula.

Keywords: Chiu Chow dumpling, Tang Mien flour, mixture design

บทนำ

ฝักรัง เป็นอาหารจีนประเภทต้มชาชนิดหนึ่ง ทำจากแป้งตั้งหมื่นผสมแป้งมันเช่นเดียวกับฮะเก๋า ปั้นเป็นทรงพระจันทร์เสี้ยว ใส่เป็นหมูสับผสมผักหรือผักกาดตองผสมหน่อไม้ ลักษณะของแป้งฝักรังที่ดีคือ มีลักษณะเหนียวและใส สามารถมองเห็นไส้ที่อยู่ข้างใน และแผ่นแป้งไม่แตกหรือขาดออกจากกัน [1]

แป้งตั้งหมื่น (wheat starch) เป็นแป้งสาลีที่ผ่านการสกัดเอากลูเตนและโปรตีนออก แป้งเมื่อได้รับความร้อนจะมีลักษณะเหนียวใส ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปแป้งจะเหนียว ไม่นุ่ม มีข้อจำกัดการใช้ที่ปริมาณร้อยละ 2-10 เพื่อช่วยให้เนื้อสัมผัสนุ่ม ไม่เหนียว นิยมใช้ในการประกอบอาหารประเภทต้มชา เช่น ฮะเก๋า ฝักรัง ขนมจีบ และเผือกทอด แป้งตั้งหมื่นหาซื้อได้ยากตามท้องตลาดและจำหน่ายในราคาสูง 80 ถึง 130 บาทต่อกิโลกรัม [2] ราคาแป้งที่เป็นวัตถุดิบหลักในการทำฝักรังสูงขึ้นอาจส่งผลกระทบต่อราคาขายของผลิตภัณฑ์ในตลาดที่มีการแข่งขันกันมากในอนาคต ดังนั้นการทดแทนแป้งตั้งหมื่นด้วยแป้งชนิดอื่นที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด และราคาไม่แพง ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด โดยแป้งข้าวเจ้าเมื่อทำให้สุกแป้งจะมีสีขาวขุ่น ร่วน ไม่เหนียว แต่มิคุ้นเคยกับตัว [3] แป้งมันสำปะหลังเป็นผงละเอียดสีขาว มีสีขมกว่าร้อยละ 95 ประกอบด้วยโปรตีนและไขมันในปริมาณต่ำ มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 18-23 แต่มีปริมาณอะไมโลเพกตินสูง ทำให้มีความนุ่มและเหนียวหนืดสูง [4] แป้งข้าวโพดเมื่อเกิดเจลมีความใสและเหนียวมีการคืนตัวช้าเมื่อได้รับความร้อนทำให้แป้งมีความใส เหนียว และนุ่ม [5] มีการใช้แป้งดังกล่าวในหลายผลิตภัณฑ์ เช่น ใช้แป้งข้าวเจ้าในอาหารว่างชนิดแท่งอบกรอบจากฟักทองโดยแป้งข้าวเจ้าส่งผลให้ความหนาแน่นและความแข็งของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น [3] การใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังในแป้งชุบทอด แป้งข้าวเจ้าทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งมากขึ้นส่วนแป้งมันสำปะหลังทำให้การพองตัวและความกรอบของแป้งลดลง [6] ผลของแป้งมันสำปะหลังต่อคุณสมบัติทางกายภาพเคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นจากปลาช่อนจังหวัดสิงห์บุรี พบว่า เมื่อมีการใช้แป้งมันสำปะหลังปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็ง ความเหนียวคล้ายยางและความยากในการเคี้ยวที่เพิ่มขึ้น แต่มีค่าความยืดหยุ่นและการคืนตัวกลับที่ลดลง [4] แป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่ไม่มีโปรตีนกลูเตนและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งใช้ในการผลิตถั่วงอกที่ปราศจากกลูเตน [7] ส่วนใหญ่มักจะใช้แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด ในการปรับปรุงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ แต่ยังไม่มีการนำแป้งดังกล่าวมาลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้ง 3 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด ในการทดแทนแป้งตั้งหมื่นที่เป็นวัตถุดิบหลักในการทำฝักรัง โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสม ศึกษาสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแป้งตั้งหมื่นและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค รวมถึงส่งผลให้มีต้นทุนรวมในการผลิตลดลง

วัตถุประสงค์

ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด ต่อคุณลักษณะของฝักรังด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสม และศึกษาคุณภาพทางกายภาพทางประสาทสัมผัส การยอมรับของผู้บริโภคและต้นทุนการผลิตเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน

วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

แป้งตั้งหมิ่น ตรา Special baker 1 กิโลกรัม แป้งมันฮ่องกง ตรา McGarrett 1 กิโลกรัม แป้งข้าวโพด ตรา คนอร์ 700 กรัม แป้งข้าวเจ้า ตรา ช้างสามเศียร 500 กรัม แป้งมันสำปะหลัง ตรา ปลาไทย 5 ดาว 500 กรัม และน้ำมันพืช ตรา มรกต 1 ลิตร

การศึกษาสูตรมาตรฐานของการทำผัสนก

ทำการทดลองสูตรมาตรฐาน 3 สูตร ดังนี้ สูตรที่ 1 ดัดแปลงจากหนังสือ 114 เมนูอาหารว่างสไตล์จีน [8] สูตรที่ 2 ดัดแปลงจากหนังสือต้มยำเงินล้าน [9] สูตรที่ 3 ดัดแปลงจากหนังสือต้มยำห้องแถวเป็นอาชีพ [1] แสดงในตารางที่ 1 ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยดัดแปลงวิธีการประเมินจากงานวิจัยของ ปภากร ศรีสอนและคณะ [10] ที่ศึกษาการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวหอมมะลิพรีเจลาติไนซ์ในแป้งขนมขอม่วง ซึ่งทำการประเมินคุณลักษณะด้านความใสของแป้ง ความหนืดของแป้ง ความนุ่มของแป้ง และความชอบโดยรวม ด้วยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) โดยใช้ผู้ประเมินที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน นำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT)

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของผัสนกสูตรมาตรฐาน

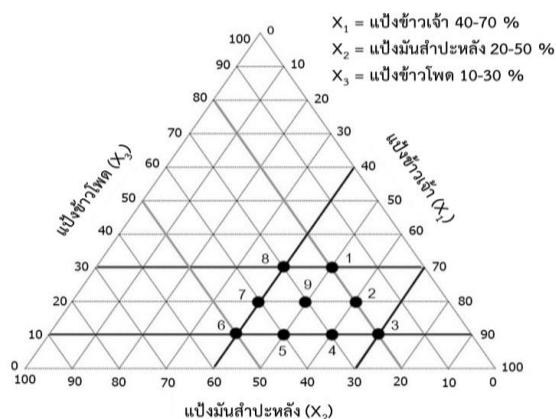
ส่วนผสม	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
แป้งตั้งหมิ่น	120	200	150
แป้งมันฮ่องกง	60	-	75
แป้งมันสำปะหลัง	-	25	-
น้ำเปล่า	150	300	250
น้ำมันพืช	13	13	20

ขั้นตอนในการทำผัสนก

ตวงส่วนผสมของแป้งทั้งหมด (ตารางที่ 1) ลงในอ่างผสม ใส่น้ำเดือดและน้ำมันพืชลงไปผสมกับแป้ง นวดให้เข้ากัน พักแป้งไว้ 5 นาที นำแป้งรีดด้วยเครื่องรีดเส้นพาสต้าให้มีขนาดหนา 6 มิลลิเมตร ตัดด้วยพิมพ์ สแตนเลสรูปวงกลมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร นำแป้งมาห่อไส้ผักที่เตรียมไว้ ใส่ไส้ปริมาณ 10 กรัม นำไปนึ่งในลังถึงนาน 10 นาที พักให้เย็นเก็บในกล่องพลาสติกและปิดฝาให้สนิท

การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพดที่มีต่อคุณภาพของผัสนก

ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด ทดแทนการใช้แป้งตั้งหมิ่น โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบผสม มีการกำหนดอัตราส่วนของแป้งดังนี้ แป้งข้าวเจ้า (X_1) ร้อยละ 40-70 แป้งมันสำปะหลัง (X_2) ร้อยละ 20-50 แป้งข้าวโพด (X_3) ร้อยละ 10-30 กำหนดผลรวมของอัตราส่วนทั้งหมดเท่ากับ 100 หรือ 1.0 จากนั้นเลือกสูตรทดลองที่ปรากฏบนแกนทั้ง 3 แกน และสูตรทดลองจุดกึ่งกลางมาใช้เป็นตัวแทนของอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งผสมจำนวน 9 สูตร (ภาพที่ 1) และปริมาณส่วนผสมของแต่ละสูตรทดลองจำนวน 9 สูตร (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 1 สูตรทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบผสม

ตารางที่ 2 ปริมาณส่วนผสมของแต่ละสูตรทดลองสำหรับการออกแบบการทดลองแบบผสม

สูตรทดลอง	ปริมาณส่วนผสม (กรัม)				
	แป้งข้าวเจ้า (X ₁)	แป้งมันสำปะหลัง (X ₂)	แป้งข้าวโพด (X ₃)	น้ำเปล่า	น้ำมันพืช
1	50	20	30	70	13
2	60	20	20	70	13
3	70	20	10	70	13
4	60	30	10	70	13
5	50	40	10	70	13
6	40	50	10	70	13
7	40	40	20	70	13
8	40	30	30	70	13
9	50	30	20	70	13

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1. วัดค่าสี โดยนำแป้งผสมทั้ง 9 สูตร และสูตรมาตรฐานมาวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี ระบบ L* a* และ b* โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น Color Quest XE โดยค่า L* หมายถึง ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) จนถึง 100 (ขาว) +a* หมายถึง ค่าความเป็นสีแดง และ -a* หมายถึง ค่าความเป็นสีเขียว +b* หมายถึง ค่าความเป็นสีเหลือง และ -b* หมายถึง ค่าความเป็นสีน้ำเงิน จากนั้นคำนวณค่า ΔE โดยคำนวณจากสมการ $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$

2. วัดค่าแรงตัดขาด (cutting force) โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer รุ่น TA. XT Plus, ประเทศอังกฤษ) ใช้หัวตัดขนาด 30 องศา และตั้งความเร็วของหัวตัดเท่ากับ 250 มิลลิเมตร/นาที บันทึกค่าแรงตัดสูงสุด เป็นค่าแรงตัดขาด (g force)

3. วัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งในระหว่างการทำให้อุ่น จนถึงขั้นตอนการทำให้เย็นลงด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ยี่ห้อ New Port Scientific รุ่น RVA Super

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฝั่มโก้ด้วยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ ในคุณลักษณะด้านความใสของแป้ง ความหนืดของแป้ง ความนุ่มของแป้ง และความชอบโดยรวม ผู้ประเมินจำนวน 50 คน เป็นนักศึกษาคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ โดยแบ่งการประเมินเป็น 2 รอบ ผู้ประเมินแต่ละคนจะประเมินตัวอย่างรอบแรกจำนวน 4 ตัวอย่าง และพัก 15 นาที หลังจากนั้นจะประเมินตัวอย่างอีก 5 ตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างทั้งหมด 9 ตัวอย่างจะมีการจัดลำดับการเสิร์ฟโดยการสุ่ม แล้วนำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยวิธี DNMR

การศึกษาการยอมรับฝั่มโก้สูตรทดลองของผู้บริโภคเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน

นำฝั่มโก้ที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากสูตรทดลองทั้งหมด 9 สูตรและฝั่มโก้สูตรมาตรฐานมาศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านความใสของแป้ง ความหนืดของแป้ง ความนุ่มของแป้ง และความชอบโดยรวม ผู้บริโภคจำนวน 100 คน โดยใช้วิธีการประเมินแบบให้คะแนน 9 ระดับ นำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยวิธี t-test

การเปรียบเทียบราคาต้นทุนของฝั่มโก้สูตรมาตรฐานและสูตรทดลอง

คำนวณต้นทุนของวัตถุดิบในการทำฝั่มโก้สูตรมาตรฐานและฝั่มโก้สูตรทดลอง นำราคาต้นทุนของทั้ง 2 สูตร โดยคำนวณเฉลี่ยเป็นราคาต่อ 1 ชิ้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบราคาต้นทุนในการทำฝั่มโก้

ผลการวิจัย

การศึกษาสูตรมาตรฐานของการทำฝั่มโก้

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสสูตรมาตรฐานของฝั่มโก้ ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ พบว่า ผู้บริโภคให้ความชอบด้านความใสของแป้ง ความหนืดของแป้ง ความนุ่มของแป้ง และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สูตรที่ 2 และ 3 ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในทุกด้าน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 3) ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่ 3 เนื่องจากสูตรที่ 2 มีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง และสูตรที่ 3 มีส่วนผสมของแป้งมันฮ้องกง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสูตรที่ 3 โดยพิจารณาจากคะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสที่มีค่าสูงกว่าในทุกด้าน

ตารางที่ 3 คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสของฝั่มโก้สูตรมาตรฐาน

สูตรมาตรฐาน	คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัส			
	ความใสของแป้ง	ความหนืดของแป้ง	ความนุ่มของแป้ง	ความชอบโดยรวม
สูตรที่ 1	6.75±0.34 ^b	6.16±0.54 ^b	6.00±0.50 ^b	6.32±0.45 ^b
สูตรที่ 2	6.90±0.49 ^{ab}	6.90±0.39 ^{ab}	6.90±0.59 ^{ab}	6.90±0.39 ^{ab}
สูตรที่ 3	7.03±0.48 ^a	6.82±0.48 ^a	6.66±0.45 ^a	6.97±0.44 ^a

หมายเหตุ^{a-b} หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพดที่มีต่อคุณภาพของฟั่นโก๋

จากการวัดค่าสีของฟั่นโก๋สูตรทดลองทั้งหมด 9 สูตรเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) ค่า L^* a^* b^* และ ΔE แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่า L^* ของสูตรทดลอง 5 มีค่าความสว่างน้อยที่สุด ค่า a^* ของแป้งผสมทั้ง 9 สูตรมีค่าเป็นลบ ซึ่งเป็นค่าสีเขียว สูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) สูตรทดลอง 5 และ 6 มีค่าความเป็นสีเขียวน้อยที่สุด ค่า b^* หมายถึงค่าความเป็นสีเหลือง โดยสูตรทดลอง 3 มีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด เมื่อพิจารณาค่า ΔE พบว่า สูตรทดลอง 6 และ 7 มีค่าน้อยที่สุดแสดงว่ามีค่าความต่างของสีเมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) ดังตารางที่ 4 เพราะฟั่นโก๋สูตรทดลอง 6 และ 7 มีปริมาณแป้งมันสำปะหลังมากที่สุด เมื่อมีการเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังทำให้สีของแป้งหลังการนึ่งให้สุกมีสีขาวใสมากขึ้น [11]

การวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของแป้งผสมที่ใช้ในการทำฟั่นโก๋มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของแป้งที่มีผลต่อค่าความแข็ง หมายถึงแรงที่ใช้ในการทำให้อวอย่างเกิดการเสียรูป ถ้าผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งสูง โดยสูตรทดลอง 1 และ 2 มีค่าความแข็งมากที่สุด และสูตรทดลอง 6 มีค่าความแข็งน้อยที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างจากสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) ดังตารางที่ 4 ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังในระดับที่เหมาะสมจะทำให้แป้งผสมมีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น ถ้าส่วนผสมมีปริมาณแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดสูงจะทำให้แป้งมีลักษณะแข็งขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจากการประกอบอาหาร [12]

ตารางที่ 4 ค่าสีและค่าเนื้อสัมผัสของฟั่นโก๋สูตรทดลองทั้ง 9 สูตรเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3)

สูตรฟั่นโก๋	ค่าที่วัดได้				
	L^*	a^*	b^*	ΔE	ค่าแรงตัด (g)
สูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3)	85.69±0.19 ^a	-1.52±0.04 ^a	2.80±0.21 ^f	-	131.92±10.33 ^e
1	84.22±0.69 ^a	-1.96±0.03 ^e	9.34±0.57 ^b	22.11±0.60 ^c	433.87±20.95 ^a
2	84.57±0.41 ^a	-2.06±0.41 ^f	10.04±0.46 ^b	27.34±0.62 ^b	419.30±58.57 ^a
3	83.14±1.32 ^{ab}	-1.84±0.08 ^d	11.55±0.67 ^a	41.47±0.10 ^a	258.80±35.47 ^{cd}
4	83.65±0.59 ^{ab}	-1.73±0.04 ^{bc}	7.19±0.42 ^d	12.05±0.60 ^f	260.40±49.48 ^{cd}
5	81.28±4.70 ^b	-1.58±0.01 ^a	5.57±0.84 ^e	13.18±0.56 ^e	305.23±3.65 ^{bc}
6	84.67±1.91 ^a	-1.55±0.05 ^a	6.23±0.91 ^e	6.47±0.20 ^h	134.94±22.80 ^e
7	85.61±0.85 ^a	-1.68±0.06 ^b	6.28±0.53 ^e	6.21±0.19 ^h	232.05±2.46 ^d
8	85.19±1.29 ^a	-1.74±0.04 ^c	7.01±0.31 ^d	8.93±0.13 ^g	235.70±39.52 ^d
9	85.46±0.41 ^a	-1.79±0.03 ^{cd}	8.16±0.23 ^c	14.86±0.62 ^d	353.18±29.68 ^b

หมายเหตุ ^{abc...} หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความหนืดของแป้งผสม ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพดที่ใช้ในการทำฟั่นโก๋มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อุณหภูมิที่แป้งเริ่มแสดงค่าความหนืด (pasting temperature) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 71.88 เป็น 78.21 °C เมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) แสดงถึงความเหนียว และความฉะของแป้ง ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) แสดงถึงความง่ายต่อการตัดขาด และค่าผลต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีค่ามากขึ้น [13] ค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายและความหนืดสูงสุด (setback) มีความ

แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรทดลอง 2 3 และ 4 มีค่ามากที่สุดคืออยู่ในช่วง 600.33 ถึง 900.33 cP (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 สมบัติทางกายภาพด้านความหนืดของฟ้นโกสูตรทดลองทั้ง 9 สูตรที่วัดด้วยเครื่อง RVA

สูตรทดลอง	ค่าความหนืด				
	อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาคีโนเซน ($^{\circ}\text{C}$)	ความหนืดสูงสุด (cP)	ความหนืดสุดท้าย (cP)	ผลต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (cP)	ผลต่างของความหนืดสุดท้ายและความหนืดสูงสุด (cP)
1	77.60 $\pm$ 0.90 ^a	2890.66 $\pm$ 116.46 ^{de}	3241.66 $\pm$ 99.23 ^{bc}	615.33 $\pm$ 43.38 ^d	351.00 $\pm$ 16.50 ^{abc}
2	78.21 $\pm$ 1.92 ^a	2858.33 $\pm$ 65.28 ^{de}	3577.33 $\pm$ 54.67 ^{ab}	523.00 $\pm$ 68.16 ^e	719.00 $\pm$ 44.00 ^{ab}
3	77.33 $\pm$ 2.17 ^{ab}	2801.66 $\pm$ 47.07 ^e	3702.00 $\pm$ 76.07 ^a	480.00 $\pm$ 42.57 ^e	900.33 $\pm$ 42.52 ^a
4	75.08 $\pm$ 1.84 ^{bc}	3140.00 $\pm$ 28.61 ^{bcd}	3740.33 $\pm$ 37.97 ^a	675.33 $\pm$ 76.78 ^d	600.33 $\pm$ 32.00 ^{ab}
5	72.41 $\pm$ 0.88 ^{de}	3345.00 $\pm$ 45.78 ^b	3339.33 $\pm$ 46.69 ^{bc}	956.00 $\pm$ 35.51 ^c	-5.66 $\pm$ 15.62 ^{cd}
6	71.88 $\pm$ 0.46 ^e	3614.66 $\pm$ 44.91 ^a	3241.00 $\pm$ 52.84 ^{bc}	1368.00 $\pm$ 40.36 ^{ab}	-373.66 $\pm$ 23.07 ^d
7	73.10 $\pm$ 1.77 ^{cde}	3328.00 $\pm$ 68.23 ^b	3498.33 $\pm$ 9.29 ^{abc}	1318.66 $\pm$ 80.85 ^b	170.33 $\pm$ 29.46 ^{bcd}
8	74.78 $\pm$ 1.60 ^{cd}	3204.66 $\pm$ 21.54 ^{bc}	3215.00 $\pm$ 41.42 ^c	1021.66 $\pm$ 18.58 ^c	11.00 $\pm$ 27.53 ^{cd}
9	74.46 $\pm$ 0.05 ^{cd}	3013.33 $\pm$ 71.86 ^{cde}	3199.33 $\pm$ 48.12 ^c	998.00 $\pm$ 44.23 ^c	190.66 $\pm$ 25.16 ^{bcd}

หมายเหตุ^{abc...} หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของฟ้นโก ด้านความใสของแป้ง ความหนืดของแป้ง ความนุ่มของแป้ง และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังมากขึ้นส่งผลให้ด้านความใสของแป้ง ด้านความหนืดของแป้ง ด้านความนุ่มของแป้งและด้านความชอบโดยรวม ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบมากที่สุด โดยสูตรทดลอง 4 6 7 8 และ 9 มีแนวโน้มที่ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุดในทุกด้าน (ตารางที่ 6) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสูตรทดลอง 6 เป็นสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด โดยพิจารณาผลรวมกับค่า ΔE ค่าความแข็ง และค่าความหนืดของแป้งผสม

ตารางที่ 6 คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสของฟ้นโกสูตรทดลองทั้ง 9 สูตร

สูตรทดลอง	คะแนนเฉลี่ยด้านประสาทสัมผัส			
	ความใสของแป้ง	ความหนืดของแป้ง	ความนุ่มของแป้ง	ความชอบโดยรวม
1	5.61 $\pm$ 1.94 ^b	5.05 $\pm$ 1.96 ^c	4.86 $\pm$ 1.86 ^c	5.00 $\pm$ 1.70 ^d
2	5.75 $\pm$ 1.82 ^b	5.75 $\pm$ 1.49 ^b	5.75 $\pm$ 1.74 ^b	5.80 $\pm$ 1.70 ^c
3	4.70 $\pm$ 2.27 ^c	4.31 $\pm$ 3.06 ^d	4.26 $\pm$ 2.08 ^d	4.41 $\pm$ 2.18 ^e
4	6.28 $\pm$ 1.57 ^{ab}	6.33 $\pm$ 1.59 ^{ab}	6.28 $\pm$ 1.57 ^{ab}	6.55 $\pm$ 1.51 ^{ab}
5	6.15 $\pm$ 1.50 ^{ab}	6.33 $\pm$ 1.53 ^{ab}	6.26 $\pm$ 1.68 ^{ab}	6.15 $\pm$ 1.54 ^{bc}
6	6.23 $\pm$ 1.64 ^{ab}	6.55 $\pm$ 1.68 ^a	6.65 $\pm$ 1.23 ^a	6.45 $\pm$ 1.43 ^{ab}
7	5.75 $\pm$ 1.87 ^b	6.40 $\pm$ 1.62 ^{ab}	6.43 $\pm$ 1.34 ^a	6.41 $\pm$ 1.10 ^{ab}
8	6.80 $\pm$ 1.44 ^a	6.30 $\pm$ 1.35 ^{ab}	6.38 $\pm$ 1.16 ^a	6.65 $\pm$ 1.31 ^{ab}
9	6.80 $\pm$ 1.53 ^a	6.56 $\pm$ 1.48 ^a	6.60 $\pm$ 1.49 ^a	6.81 $\pm$ 1.43 ^a

หมายเหตุ^{abc...} หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การศึกษาการยอมรับแผ่นโกสสูตรทดลองของผู้บริโภคเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน

ผลการประเมินความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของแผ่นโกสสูตรทดลอง 6 กับแผ่นโกสสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) โดยผู้บริโภค 100 คน ให้คะแนนด้านความใสของแผ่นโกสสูตรมาตรฐานมากที่สุด ด้านความนุ่มของแผ่นโกสสูตรทดลองมากที่สุด ความหนืดและความชอบโดยรวมของแผ่นโกสมีคะแนนความชอบไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ดังตารางที่ 7 แสดงว่าการใช้แป้งผสมที่ใช้ในการทำแผ่นโกสสูตรทดลองในภาพรวมผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ไม่ต่างจากสูตรมาตรฐาน

ตารางที่ 7 คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสของแผ่นโกสสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) และสูตรทดลอง 6

สูตรแผ่นโก	คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัส			
	ความใสของแป้ง [*]	ความหนืดของแป้ง ^{ns}	ความนุ่มของแป้ง [*]	ความชอบโดยรวม ^{ns}
สูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3)	7.47±0.24	7.10±0.38	6.68±0.49	7.20±0.35
สูตรทดลอง 6	6.81±0.37	6.96±0.32	7.32±0.53	7.10±0.34

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง มีความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

การคำนวณต้นทุนการผลิตทั้งหมดระหว่างแผ่นโกสสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) และแผ่นโกสสูตรทดลอง 6 พบว่า แผ่นโกสสูตรทดลองมีราคาต้นทุนต่อ 1 ชิ้นเท่ากับ 0.34 บาท และแผ่นโกสสูตรมาตรฐานมีราคาต้นทุนต่อชิ้นอยู่ที่ 0.82 บาท ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบราคาต้นทุนของแผ่นโกสสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) และแผ่นโกสสูตรทดลอง 6

ส่วนผสม	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)				
	ราคาต่อหน่วย	สูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3)	ราคา	สูตรทดลอง 6	ราคา
แป้งตั้งหมิ่น	80 บาท/ 1000 กรัม	150	12.00	-	-
แป้งมันฮ่องกง	125 บาท/ 1000 กรัม	75	9.38	-	-
แป้งมันสำปะหลัง	34 บาท/ 500 กรัม	-	-	50	3.40
แป้งข้าวเจ้า	17 บาท/ 500 กรัม	-	-	40	1.36
แป้งข้าวโพด	58 บาท/ 700 กรัม	-	-	10	0.82
น้ำเปล่า	15 บาท/ 1500 มิลลิลิตร	250	2.50	70	0.70
น้ำมันพืช	43 บาท/ 1000 มิลลิลิตร	20	0.86	13	0.56
ราคาต้นทุนต่อสูตร	-	-	24.74	-	6.84
จำนวนที่ผลิตได้ใน 1 สูตร	-	30 ชิ้น	-	20 ชิ้น	-
ราคาต้นทุนต่อชิ้น	-	0.82 บาท	-	0.34 บาท	-

อภิปรายผลการวิจัย

การประเมินทางประสาทสัมผัสเพื่อหาสูตรมาตรฐานในการทำผัปก๋ 3 สูตร พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านต่าง ๆ อยู่ในระดับชอบถึงชอบปานกลาง โดยสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) ได้รับความชอบมากที่สุดเนื่องจากมีแป้งมันฮ่องกงและน้ำมันพืชในปริมาณที่สูงซึ่งแป้งมันฮ่องกงมีความหนืดสูงสุดอยู่ที่ 1760 cP และแป้งมันสำปะหลังความหนืดสูงสุดอยู่ที่ 630 cP [13,14] สามารถเกิดเจลได้ในเซชันได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำเมื่อเทียบกับแป้งทางการค้าชนิดอื่น ๆ [15] ทำให้ผัปก๋ที่ได้มีความใสและมีลักษณะเหนียวนุ่มกว่าสูตรอื่น

ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปริมาณแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพดทดแทนการใช้แป้งตั้งหมิ่นโดยการออกแบบการทดลองแบบผสม พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังมากขึ้นส่งผลให้ค่า L^* และ a^* มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณา ΔE มีค่าใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน แสดงว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังทำให้ค่าสีมีความแตกต่างกันน้อย เมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) โดยเมื่อแป้งผสมกับน้ำทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีลักษณะขุ่นเมื่อสัมผัสกับไอน้ำขณะทำการนึ่งด้วยความร้อนทำให้เม็ดแป้งพองและแตกเปลี่ยนเป็นเจลใส [11] ค่า b^* มีค่าเป็นบวกอยู่ในช่วงสีเหลือง เกิดจากความร้อน ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ตามอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าที่เพิ่มขึ้น [7] เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังมากขึ้นค่าแรงตึงจะมีค่าลดลง แต่เมื่อปริมาณแป้งข้าวเจ้าสูงขึ้น จะทำให้เนื้อสัมผัสมีความแข็งอยู่ตัวสูง แป้งข้าวโพดจะขึ้นเหนียวมีความใสและไม่คืนตัว [16, 17] โดยผัปก๋สูตรทดลอง 6 มีปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่มาก ซึ่งจะสามารถช่วยในการประสานร่างของแผ่นแป้ง ทำให้สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ดีขึ้น เมื่อมีการผสมแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพดเข้าด้วยกัน จะส่งผลทำให้โมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นและมีปริมาณอะไมโลสที่สูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลในเซชันลดลง [18] ทำให้แป้งสามารถเกิดเจลได้ในอุณหภูมิต่ำ ช่วงนี้อุณหภูมิเม็ดแป้งยังคงมีสภาพอยู่ได้โดยไม่แตกออก แป้งจะมีลักษณะนุ่มเหนียว สอดคล้องกับกมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ [19] รายงานว่าการเติมแป้งข้าวโพดเพิ่มมากขึ้นในขนมจีนทำให้เส้นขนมจีนมีความแข็งแรง และเหนียว ค่าความหนืดของผัปก๋สูตรทดลองทั้ง 9 สูตร พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังมากขึ้นมีผลทำให้ค่าความหนืดสูงสุด ค่าผลต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่สูงขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวและความทนต่อแรงกวนมากที่สุด แต่ค่าความหนืดสุดท้ายลดลงทำให้ง่ายต่อการตัดขาด [20] การประเมินด้านประสาทสัมผัสของผัปก๋สูตรทดลองทั้ง 9 สูตร พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบสูตรทดลอง 4, 6, 7, 8 และ 9 ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสูตรทดลอง 6 เนื่องจากเมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าสี ค่าเนื้อสัมผัสด้านแรงตึง ค่า ΔE และค่าความหนืด พบว่า สูตรทดลอง 6 ได้การยอมรับมากที่สุด โดยมีปริมาณแป้งในอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้า : แป้งมันสำปะหลัง : แป้งข้าวโพด เท่ากับ 40 : 50 : 10 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผัปก๋สูตรทดลอง 6 กับผัปก๋สูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) พบว่าคะแนนด้านความใสของแป้งและความนุ่มของแป้งมีความแตกต่างกัน แต่คะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจะบ่งชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้สูตรทดลอง 6 แทนผัปก๋สูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) โดยราคาดันทุนของผัปก๋สูตรทดลอง 6 มีราคาดันทุนต่อ 1 ชิ้น เท่ากับ 0.34 บาท และผัปก๋สูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) มีราคาดันทุนต่อชิ้น เท่ากับ 0.82 บาท โดยมีความแตกต่างของราคาอยู่ที่ 0.48 บาท ต่อ 1 ชิ้น ซึ่งราคาผัปก๋สูตรมาตรฐาน (สูตรที่ 3) มีราคาสูงกว่าผัปก๋สูตรทดลอง 6 ถึง 2 เท่า

สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้พบว่า แป้งมันสำปะหลังมีผลต่อค่าสี ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความใส เมื่อได้รับความร้อนจากการหุงต้ม ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์มีความหนืดสูง เมื่อมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังสูงขึ้น แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวโพด เมื่อมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งขึ้น ดังนั้น ปริมาณแป้งผสมในการผลิตเป็นแป้งสำหรับทำแผ่นโกโก้ที่เหมาะสม คือ แป้งข้าวเจ้า 40 กรัม แป้งมันสำปะหลัง 50 กรัม และแป้งข้าวโพด 10 กรัม ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการใช้แป้งผสมเพื่อทดแทนการใช้แป้งตั้งหมิ่นได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าผู้ประกอบการร้านติ่มซำสามารถผลิตแป้งผสมสำหรับทำแผ่นโกโก้หรือฮะเก๋าเพื่อทดแทนแป้งราคาสูงได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความความช่วยเหลือในการเตรียมตัวอย่างและการเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ จากนักศึกษาสาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ดังนั้นนางสาวพิมพ์ชนก รอดท่าไม้ นางสาวพัฒนิตา แสงพุ่ม และนายณรรักษ์ แสงโชติ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิริลักษณ์ รอดยงค์. (2556). *ติ่มซำห้องแถวเป็นอาชีพ (พิมพ์ครั้งที่ 1)*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แสงแดด.
- [2] Sweet Treats @ Sweet Survive. (2558). แป้งสำหรับอาหารชนิดต่าง ๆ. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <http://sweetsurvive.blogspot.com/2015/02> (17 พฤศจิกายน 2565).
- [3] ขวัญพร จันบำรุง, กมลวรรณ แจ่มชัด, และอนุวัตร แจ่มชัด. (2563). ผลของแป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า และสารปรับปรุงเนื้อสัมผัสต่อคุณภาพอาหารว่างชนิดแท่งอบกรอบจากฟักทอง (หน้า 767-774). ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 58*. กรุงเทพฯ.
- [4] สุวณี ปานเจริญ, และปิยพัชร จันทรสุข. (2565). ผลของแป้งมันสำปะหลังต่อคุณสมบัติทางกายภาพเคมีและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลาเส้นจากปลาช่อนจังหวัดสิงห์บุรี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย*, 1(1), 57-65.
- [5] Sriroth, K., Piyachomkwan, K., Wanlapatit, S., & Oates, C. G. (2000). Cassava starch technology: The Thai experience. *Starch*, 52(12), 439-449.
- [6] ละออง วรรณศรีจันทร์. (2551). การใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลีในการผลิตแป้งชุบทอด. *วารสาร มทร. อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 1(1), 70-80.
- [7] นรินทร์ เจริญพันธ์, และกนกพร ภาศิฉาย. (2562). การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตถ้วยยาร์ตปราศจากกลูเตน. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 14(1), 26-36.
- [8] อรพินท์ อัจฉริยาญจน์. (2558). *114 เมนูอาหารว่างสไตล์จีน (พิมพ์ครั้งที่ 1)*. กรุงเทพฯ: กู๊ดเฮด พรินต์ติ้ง แอนด์ แพคเกจจิ้ง กรุ๊ป จำกัด.
- [9] ณัฐพนธ์ นันทพรพิสุทธิ์. (2563). *ติ่มซำเงินล้าน (พิมพ์ครั้งที่ 2)*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แม่บ้าน.
- [10] ปภากร ศรีสอน, พชนิ บุญธกานนท์, อนุคนาญ โสภณางกูร, และญาธิกร ธีระภัทรพลชัย (2563). ผลของการเก็บรักษาแบบแช่แข็งต่อคุณภาพของแป้งขนมขม่อม่วงจากแป้งหอมนิลฟรีเจลาตินไนซ์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 22(3), 92-102.

- [11] อัครพร นิยมรัมย์, อัมพิกา ว่องไว, นิตยา งาม, ณัฏวลิณคล เศรษฐปราโมทย์, และวีรเวทย์ อุทโธ. (2564). ผลของแป้งข้าวโพด ข้าวเหนียวก้ำต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยจั๊บอุบล. *วารสารนวัตกรรมวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน*, 3(1), 32-45.
- [12] Balet, S., Guelpa, A., Fox, G., & Manley, M. (2019). Rapid Visco Analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physicochemical properties in cereals: A review. *Food Analytical Methods*, 12, 2344-2360.
- [13] สุภารัตน์ เรืองนิไพฑูรย์. (2542). การศึกษาเปรียบเทียบสตาร์ช มันเทศกับสตาร์ชชนิดอื่นในการผลิตขนมกึ่งสำเร็จรูปชนิดทอด. *วารสารวิทยาศาสตร์สาขาวิทยาศาสตร์*, 33(3), 452-460.
- [14] Pato, U., Yusuf, Y., Isnaini, R. F., & Dira, D. M. (2016). The quality of instant noodle made from local corn flour and tapioca flour. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 3(2), 118-123.
- [15] Dupuis, J. H., & Liu, Q. (2019). Potato starch: A review of physicochemical, functional, and nutritional properties. *American Journal of Potato Research*, 96(2), 127-138.
- [16] มะนาว. (2559). แป้งทำอาหาร แต่ละชนิดต่างกันอย่างไร?. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://maanow.com> (8 มีนาคม 2566).
- [17] Gomand, S. V., Lamberts, L., Derde, L. J., Goesaert, H., Vandeputte, G. E., Goderis, B., & Delcour, J. A. (2010). Structural properties and gelatinisation characteristics of potato and cassava starches and mutants thereof. *Food hydrocolloids*, 24(4), 307-317.
- [18] ัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. (2553). การพัฒนาเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กและการลวกสุก. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 5(1), 18-25.
- [19] กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ. (2557). การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมจีนแป้งสดโดยใช้แป้งข้าวโพด. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 45(2)(พิเศษ), 665-668.
- [20] วิจิตรา เหลียวตระกูล, และวชิรญา เหลียวตระกูล. (2563). ผลของวิธีการหมักต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ความหนืดและการแยกตัวของน้ำของแป้งกระจับ (*Trapa bispinosa*). *Thai Journal of Science and Technology*, 9(2), 251-264.

การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของพื้นที่ระบบนิเวศเกษตรทุเรียนพื้นบ้านคลองแสง
และยางพารา อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
Soil Organic Carbon Storage in Khlong Saeng Local Durian and Rubber
Agroecosystem in Ban Ta Khun District, Surat Thani Province

พงศกร หวันตะ และ วชิร รวยรื่น*

Phongsakon Hwante & Watcharee Ruairuen*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
Environmental Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology,
Suratthani Rajabhat University

Submitted 30/3/2023 ; Revised 19/5/2023 ; Accepted 5/6/2023

บทคัดย่อ

ความเข้าใจเกี่ยวกับการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของระบบนิเวศเกษตรภาคใต้ยังมีอยู่อย่างจำกัด จึงได้ทำการศึกษากักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศเกษตรทุเรียนพื้นบ้าน (*Durio zibethinus*) และยางพารา (*Hevea brasiliensis*) อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี ตัวอย่างดินเก็บด้วยวิธีรบกวนและไม่รบกวน โครงสร้างดินโดยสุ่มตัวอย่างดินจำนวน 3 สถานีในแต่ละพื้นที่ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร ในเดือน กรกฎาคมและกันยายน 2565 เพื่อศึกษาสมบัติของดินทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน เนื้อดิน pH และคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ผลการศึกษาพบว่า เนื้อดินในแปลงทุเรียนพื้นบ้านเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ความหนาแน่นรวมของดินอยู่ในช่วง 0.97-1.10 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร pH ดินเป็นกรดปานกลางถึงกรดจัดมาก (4.62- 5.96) การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าอยู่ในช่วง 23.40-72.66 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร และร้อยละ 1.11-3.31 ตามลำดับ ขณะที่แปลงยางพาราเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนทราย แปร pH เป็นกรดจัดถึงกรดจัดมาก (4.60-5.39) ความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 1.24-1.34 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในช่วง 17.21-46.90 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร และ ร้อยละ 0.84-2.10 ตามลำดับ คาร์บอนอินทรีย์ในดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นดิน ($P<0.01$; $R=0.45$) pH ($P<0.01$; $R=0.49$) อนุภาคทราย ($P<0.05$; $R=0.68$) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนุภาคทรายแปร ($P<0.05$; $R=-0.68$) และดินเหนียว ($P<0.01$; $R=-0.82$) แต่ไม่พบความสัมพันธ์กับความหนาแน่นรวมและการนำไฟฟ้าของดิน

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอน ระบบนิเวศเกษตร ทุเรียนพื้นบ้าน ยางพารา

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

E-mail: watcharee.rua@sru.ac.th

Abstract

The understanding of soil organic carbon (SOC) storage in agroecosystems are limited in southern Thailand. This study was performed to investigate the amount of SOC storage in the agroecosystem of local durian (*Durio zibethinus*) and rubber tree (*Hevea brasiliensis*) plantation in Ban Ta Khun District, Surat Thani Province. Soil samples were collected by non-disruptive and destructive methods at a depth of 0-30 cm from 3 stations of each agroecosystem in July and September 2022. Physical and chemical soil properties including soil bulk density, texture, pH, and SOC were analyzed. The results revealed that most of the soil texture in the local durian plot was sandy clay loam. The average soil bulk density ranged from 0.97-1.10 g/cm³, soil pH was moderately acid to very strongly acid (pH 4.62- 5.96), the SOC storage and soil organic matter (SOM) were 23.40-72.66 g C/m² and 1.11-3.31%, respectively. On the other hand, in the rubber plot, the soil texture was silty clay with soil pH that was strongly acid to very strongly acid (4.60-5.39). The bulk density of the soil was in the range of 1.24-1.34 g/cm³. The SOC storage and SOM were 17.21-46.90 gC/ m² and 0.84- 2.10%, respectively. The SOC concentrations were positively correlated with soil moisture ($P<0.01$; $R=0.45$), pH ($P<0.01$; $R=0.49$), and sand particles ($P<0.05$; $R=0.68$), but a negative correlation with silt ($P<0.05$; $R=-0.68$) and clay ($P<0.01$; $R=-0.82$). However, there was no correlation between the SOC concentration and bulk density nor between SOC and soil electrical conductivity.

Keywords: soil organic carbon, agroecosystem, local durian, rubber

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังประสบปัญหาภาวะโลกร้อนอย่างรุนแรง เนื่องมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเกินสมดุลของธรรมชาติ ส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การคมนาคมขนส่ง การตัดต้นไม้และการเผาป่า การขยายตัวของเมือง การพัฒนาของอุตสาหกรรม และการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว [1] ซึ่งหากไม่มีการลดก๊าซเรือนกระจกจะก่อให้เกิดปัญหา เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการตกตะกอน การละลายของธารน้ำแข็งที่ขั้วโลก ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น [2] น้ำท่วมและภัยแล้งรุนแรงขึ้น การเกิดไฟป่ามีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่ร้อนขึ้น การสูญเสียระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ รวมทั้งการเกิดโรคอุบัติใหม่ เป็นต้น ในปี 2559 ประเทศไทยมีรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 354,357.61 พันตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($GgCO_2eq$) ขณะที่ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกดูดซับอยู่ที่ 91,134.15 $GgCO_2eq$ โดยภาคพลังงานมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 71.65 ภาคอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ร้อยละ 8.89 ภาคเกษตรร้อยละ 14.72 และภาคของเสียร้อยละ 4.73 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด [3]

ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในดินจะมีค่ามากกว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ (~745x10⁹ ตัน) ถึงสองเท่า และสูงกว่าปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในพืชพรรณต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก (~580x10⁹ ตัน) ถึงสามเท่า [4] การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของพื้นที่เกษตรกรรมเป็นกระบวนการหลักในการลดภาวะโลกร้อน [5] เนื่องจากการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในชั้นบรรยากาศ [6] ซึ่งเป็นต้นเหตุของภาวะโลกร้อน โดยพืชจะดึงเอา CO_2 จากบรรยากาศมาใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthesis) และนำมากักเก็บสะสมคาร์บอนในส่วนเหนือพื้นดินในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) และสะสมไว้ใต้ดินในรูปของอินทรีย์วัตถุ ส่วนการปลดปล่อย CO_2 พบในกระบวนการหายใจของพืชและจุลินทรีย์ในดิน การหายใจของรากพืช และกระบวนการย่อยสลายจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน [7] จากข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนในดินของพื้นที่เกษตรกรรมที่ต่างกัน พบว่า พื้นที่นาข้าว อ้อย มันแกว และพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังสามารถกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้เท่ากับ 166.90, 9.46, 7.82 และ 7.39 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ [8] ขณะที่พื้นที่ปลูกยางพาราและปาล์มน้ำมันอายุ 20 ปี สามารถกักเก็บคาร์บอนในดินอยู่ระหว่าง 17.33-52.08 และ 13.31-44.15 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ [9] ทั้งนี้การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความชื้นดิน ลักษณะของโครงสร้างดิน ระดับความลึกของดิน อุณหภูมิดิน อุณหภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน pH ดิน การนำไฟฟ้าของดิน ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน [7, 10-12] รวมถึงการใช้ประโยชน์ที่ดิน สิ่งปกคลุมดิน และการจัดการดินซึ่งมีผลต่อความสามารถในการกักเก็บและสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่แตกต่างกัน [13, 14] หากมีการจัดการดิน-ปุ๋ย-น้ำและพืชอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพกับพื้นที่ปลูก พื้นที่เกษตรกรรมก็จะกลายเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญแหล่งหนึ่ง

การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของระบบนิเวศเกษตรจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีพื้นที่การเกษตรจำนวนมากถึง 5,010,267 ไร่ ประกอบไปด้วยพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เช่น ยางพารา (2,642,279 ไร่) และทุเรียน (60,282 ไร่) มีมูลค่าการส่งออกและการแปรรูปมากอีกจังหวัดหนึ่ง พื้นที่บ้านเขาเทพพิทักษ์ อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นพื้นที่การผลิตทุเรียนพื้นบ้านคุณภาพดีมีชื่อว่า “ทุเรียนคลองแสง” ซึ่งส่วนใหญ่ที่ให้ผลผลิตมีอายุมากกว่า 100 ปี และสร้างรายได้หลักให้กับเกษตรกรในช่วงฤดูการทุเรียน [15] สำหรับยางพาราเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนค่อนข้างสูง

เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกระยะยาวอายุในการเก็บผลผลิตประมาณ 8-25 ปี เมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น [16] ซึ่งพบได้ทั่วไปในชุมชน โดยความเข้าใจเกี่ยวกับศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรกรรม และ ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในพื้นที่เกษตรกรรมยังต้องการข้อมูลเชิงวิชาการมาสนับสนุนเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความเข้าใจและสามารถวางแผนจัดการเกี่ยวกับการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ โดยเฉพาะในภาคใต้ที่มีระบบนิเวศเกษตรที่หลากหลาย ดังนั้นจึงได้ศึกษาความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของระบบนิเวศเกษตรทุเรียนพื้นบ้านและยางพารา และความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินบางประการที่มีผลต่อการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดิน สำหรับนำไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนโครงการซื้อขายคาร์บอนเครดิต รวมทั้งใช้ในการดำเนินงานหรือการวางแผนทางการเกษตรที่ก่อให้เกิดความยั่งยืนต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมต่อไป

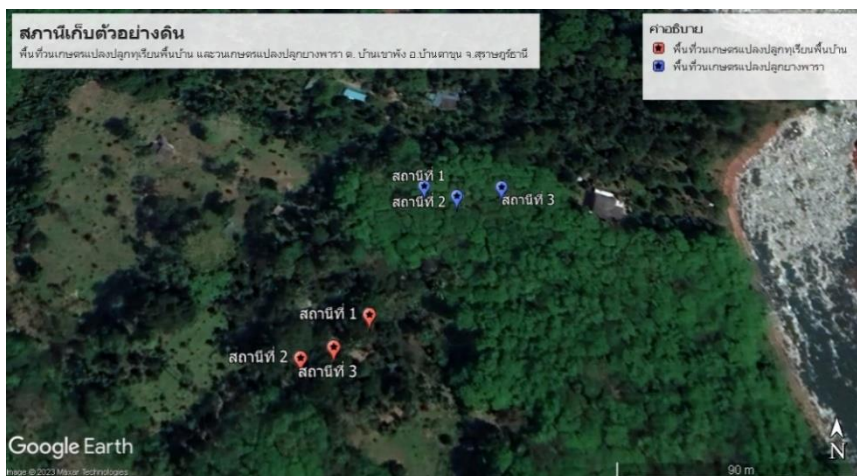
วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินของระบบนิเวศเกษตรทุเรียนพื้นบ้านและยางพาราในพื้นที่ตำบลเขาพัง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
2. เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินและสมบัติของดิน ได้แก่ เนื้อดิน ความชื้นของดิน ความหนาแน่นรวมของดิน pH และค่าการนำไฟฟ้า

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

สุ่มเลือกพื้นที่สำหรับใช้เป็นตัวอย่างแปลงศึกษาในแต่ละระบบนิเวศการเกษตร ซึ่งมีขนาด 40x40 เมตร และเก็บตัวอย่างดินสำหรับใช้เป็นตัวแทนดินในพื้นที่แปลงปลูกทุเรียนพื้นบ้านและแปลงปลูกยางพารา (ภาพที่ 1) เนื่องจากตั้งอยู่ในสภาพทางภูมิศาสตร์และสิ่งแวดล้อมเหมือนกันรวมทั้งไม่มีการใช้สารเคมีในการจัดการแปลง โดยในแต่ละแปลงตัวอย่างจะเก็บตัวอย่างดิน จำนวน 3 สถานี



ภาพที่ 1 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงทุเรียนพื้นบ้านคลองแสงและแปลงยางพารา

การเก็บตัวอย่างดินและเตรียมตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินในเดือนกรกฎาคมและกันยายน 2565 เนื่องจากครอบคลุมระยะผลแก่และเก็บเกี่ยวจนถึงระยะแตกใบอ่อนและเจริญทางใบของทุเรียนในพื้นที่ภาคใต้ และใช้เป็นตัวแทนดินในช่วงฤดูฝน โดยเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงทุเรียนพื้นบ้านและยางพารา ประเภทละ 3 สถานี ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 0 – 30 เซนติเมตร ซึ่งจะพบปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูง [17] การแลกเปลี่ยนคาร์บอนระหว่างพื้นดินกับบรรยากาศ และการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดินเกิดขึ้นมากกว่าชั้นดินที่ลึกลงไปทีคาร์บอนกักเก็บในดินแบบเสถียรมากกว่าดินชั้นบน โดยเก็บตัวอย่างดิน 2 วิธี ได้แก่ 1) วิธีรบกวนโครงสร้างดิน (disturbed soil sampling) โดยเก็บตัวอย่างดิน 3 หลุมย่อยที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตรด้วยสว่านเจาะดิน จากนั้นนำตัวอย่างดินทุกจุดมารวมกันเป็นตัวอย่างดินรวม (composite sample) และตักดินประมาณ 500 กรัมมาบรรจุไว้ในถุงพลาสติกสำหรับนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินต่อหน่วยพื้นที่ 2) เก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีไม่รบกวนโครงสร้างดิน (undisturbed soil sampling) ด้วยกระบอกรีดดิน (soil core) ที่ระดับความลึก 0-10, 10-20 และ 20-30 เซนติเมตร เพื่อนำไปหาความหนาแน่นรวมของดิน ตัวอย่างดินที่เก็บมาจะถูกนำไปผึ่งลมให้แห้ง (air dried) และร่อนผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติดินต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการต่อไป

การวิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการ

วิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ด้วยวิธีกระบอกรีดเจาะดิน (core method) [18] การตรวจวัดความชื้นของดินโดยใช้วิธีวัดความชื้นดินมาตรฐาน (gravimetric method) การกระจายขนาดอนุภาคดินและเนื้อดิน (soil texture) ด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ และสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าปฏิกิริยาดิน (pH) ใช้ pH meter ในอัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 [19] ค่าการนำไฟฟ้าของดินด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า อัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:5 และคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon) ด้วยวิธีสันดาปเปียก (wet oxidation) [20]

การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่กักเก็บในดิน

คำนวณหาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่กักเก็บในดิน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการของ Guo and Gifford [21] ดังต่อไปนี้

$$\text{SOC (g C/m}^2\text{)} = \text{OC (\%)} \times \text{pb (g/cm}^3\text{)} \times \text{Di (cm)}$$

โดยที่ OC คือ ร้อยละสารอินทรีย์ในดิน (%), pb คือ ค่าความหนาแน่นรวมของดิน (g/cm³), Di คือ ความลึกของตัวอย่างชั้นดิน (cm)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบความแตกต่างของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินระหว่างพื้นที่และระหว่างช่วงเวลาด้วย Mann-Whitney Test และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใน SPSS for Windows เวอร์ชัน 20 โดยกำหนดให้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

ผลการวิจัย

สมบัติของดินบางประการในพื้นที่ระบบนิเวศเกษตร

สมบัติของดินบางประการในพื้นที่แปลงทุเรียนพื้นบ้านและยางพารา แสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 การวิเคราะห์เนื้อดินโดยใช้ตัวอย่างดินเดือนกรกฎาคมที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตรเป็นตัวแทนเนื่องจากเนื้อดินเป็นสมบัติดินของดินที่เปลี่ยนแปลงได้ยาก ผลการศึกษาพบว่า เนื้อดินในแปลงทุเรียนพื้นบ้านจัดอยู่ในประเภทดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) โดยมีอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวเท่ากับร้อยละ 50.00, 28.42, และ 22.02 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ขณะที่เนื้อดินในแปลงยางพาราประกอบด้วยอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวเท่ากับร้อยละ 9.01, 49.33, และ 41.69 ตามลำดับซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay)

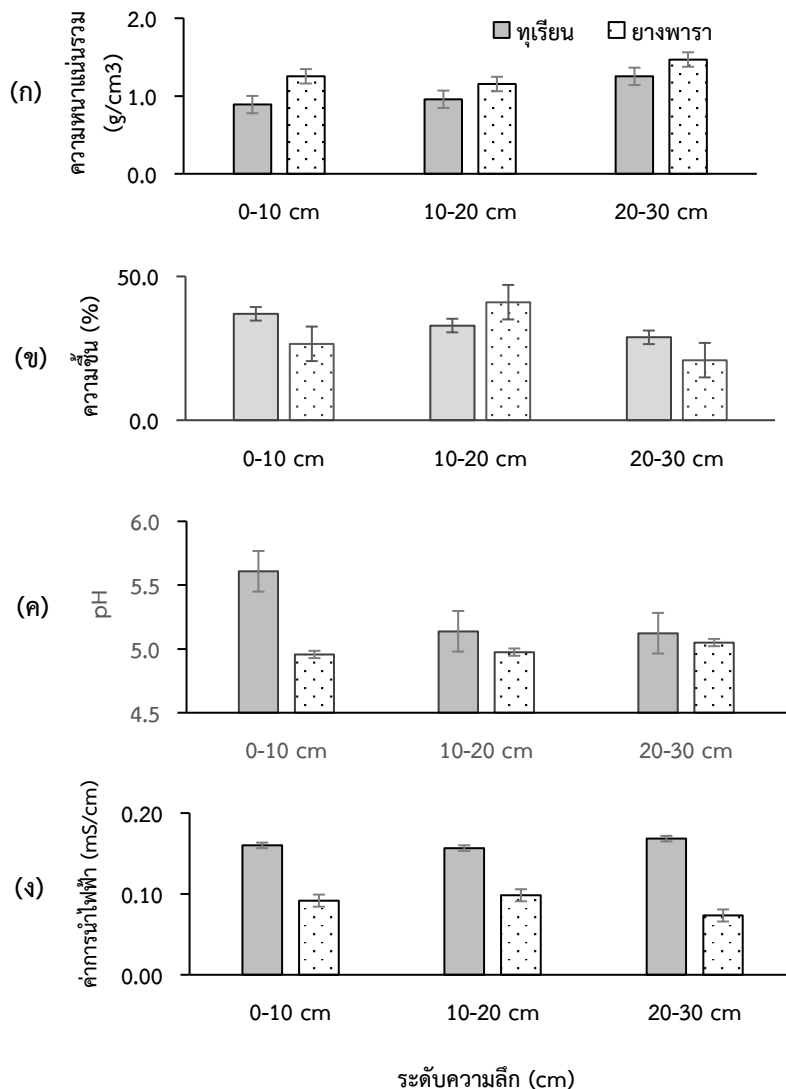
ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางเคมีบางประการของดินในระบบนิเวศเกษตรยางพาราและทุเรียน พื้นบ้านเดือนกรกฎาคมและเดือนกันยายน 2565

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ของดิน	พื้นที่ศึกษา			
	ทุเรียนพื้นบ้าน		ยางพารา	
	กรกฎาคม	กันยายน	กรกฎาคม	กันยายน
อนุภาคทราย (%)	50.00±3.37	-	9.01±0.56	-
อนุภาคทรายแป้ง (%)	28.42±2.39	-	49.33±0.78	-
อนุภาคดินเหนียว (%)	22.02±1.03	-	41.69±0.57	-
ความหนาแน่นรวม (bulk density, g/cm ³)	0.97±0.09	1.10±0.19	1.24 ±0.05	1.34±0.07
ความชื้น (moisture, %)	33.78±3.53	32.04±2.22	35.62±10.92	23.37±4.44
ความเป็นกรดต่าง (pH)	5.96±0.24	4.62±0.15	5.39±0.45	4.60±0.49
ค่าการนำไฟฟ้า (EC, mS/cm)	0.08±0.01	0.24±0.03	0.05±0.01	0.13±0.02

หมายเหตุ : - หมายถึงไม่มีการตรวจวัดเพราะเนื้อดินเป็นคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงได้ยากจึงใช้ข้อมูลเดือนกรกฎาคมได้

ความหนาแน่นรวมของดินในแปลงยางพาราเดือนกรกฎาคมและกันยายนมีค่าเท่ากับ 1.34±0.07 และ 1.24 ±0.05 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าแปลงทุเรียนพื้นบ้านทั้งสองเดือน โดยมีความหนาแน่นรวมของดินสูงที่สุดที่ระดับความลึก 20-30 เซนติเมตร (1.50±0.10 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) และมีค่าสูงกว่าความหนาแน่นรวมของดินในแปลงทุเรียนพื้นบ้านในทุกระดับความลึกเดียวกัน (ตารางที่ 1, ภาพที่ 2-ก) ผลการวิเคราะห์ความชื้นในดิน พบว่า แปลงทุเรียนพื้นบ้านเดือนกรกฎาคมและกันยายนมีค่าความชื้นในดินเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 33.78±3.53 และ 32.04±2.22 และแปลงยางพารามีค่าเท่ากับร้อยละ 35.62±10.92 และ 23.37±4.44 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) โดยค่าความชื้นในดินเฉลี่ยสูงสุดในแปลงยางพาราและทุเรียนพื้นบ้านพบที่ระดับความลึก 10-20 และ 0-10 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 2-ข) ค่าเฉลี่ยความชื้นในดินเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองเดือนของทั้งสองพื้นที่ พบว่า เดือนกรกฎาคมมีค่าความชื้นในดินเฉลี่ยสูงกว่าเดือนกันยายน ผลการศึกษา pH ดินของทั้งสองพื้นที่ในแต่ละเดือนมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีความเป็นกรดปานกลาง (moderately acid) ถึงกรดจัด (strong acid) pH ดินอยู่ในช่วง 4.60- 5.96 (ตารางที่ 1) โดย pH ดินในแปลงทุเรียนพื้นบ้านที่ระดับความลึก

ต่าง ๆ มีค่าสูงกว่าแปลงยางพารา โดยเฉพาะที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตรที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน (ภาพที่ 2-ค) ค่าการนำไฟฟ้าในดินทั้งสองพื้นที่อยู่ในช่วง 0.05-0.24 มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร โดยเดือนกันยายนมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าเดือนกรกฎาคมของทั้งสองพื้นที่และค่าการนำไฟฟ้าที่แต่ละระดับความลึกในแปลงทุเรียนพื้นบ้านสูงกว่าแปลงยางพารา (ตารางที่ 1; ภาพที่ 2-ง)



ภาพที่ 2 คุณสมบัติดินทางกายภาพและเคมีบางประการที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของดินในพื้นที่ปลูกทุเรียนพื้นบ้านและยางพารา : (ก) ค่าความหนาแน่นรวมของดิน; (ข) ความชื้นในดิน; (ค) ค่า pH และ (ง) ค่าการนำไฟฟ้าในดิน

การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินพื้นที่แปลงทุเรียนพื้นบ้าน พบว่ามีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินอยู่ในช่วง 23.40-72.66 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร ซึ่งพบมากที่สุดในสถานีที่ 3 เดือนกันยายน (72.66 ± 18.56 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร) ในด้านอินทรีย์วัตถุมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.11-3.31 และปริมาณสูงสุดพบในสถานีที่ 3 (ร้อยละ 3.31 ± 0.09) ของเดือนกันยายนเช่นกัน (ตารางที่ 2) ขณะที่พื้นที่ยางพาราพบการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินอยู่ในช่วง 17.21-46.90 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร โดยการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์สูงสุดพบในเดือนกันยายนในสถานีที่ 3 (46.90 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร) และต่ำสุดพบในเดือนเดียวกันในสถานีที่ 2 (23.40 ± 6.35 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ระหว่างเดือนกรกฎาคมและกันยายนในแปลงทุเรียนพื้นบ้าน นอกจากนี้ปริมาณอินทรีย์วัตถุของแปลงยางพารานั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.84-2.10 ซึ่งปริมาณสูงสุดพบในเดือนกันยายน (ตารางที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินระหว่างแปลงทุเรียนพื้นบ้านและยางพารา พบว่า แปลงทุเรียนพื้นบ้านมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้สูงกว่าพื้นที่ยางพารา โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ระหว่างเดือนกรกฎาคมและกันยายนของแต่ละพื้นที่ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ) ในดินของพื้นที่แปลงทุเรียนและแปลงยางพาราระดับความลึกของดินตั้งแต่ 0-30 เซนติเมตร

พื้นที่ศึกษาแปลงทุเรียน	การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร)		อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)	
	กรกฎาคม	กันยายน	กรกฎาคม	กันยายน
สถานีที่ 1	39.01 ± 8.00	24.80 ± 4.40	2.10 ± 0.03	1.71 ± 0.15
สถานีที่ 2	39.54 ± 9.30	23.40 ± 6.35	2.59 ± 0.02	1.11 ± 0.03
สถานีที่ 3	46.62 ± 6.60	72.66 ± 18.56	2.80 ± 0.03	3.31 ± 0.09
เฉลี่ย $\pm$ SD	41.70 ± 3.50	40.30 ± 22.90	2.40 ± 0.03	2.00 ± 0.09
พื้นที่ศึกษาแปลงยางพารา				
สถานีที่ 1	40.70 ± 2.46	29.71 ± 8.44	1.90 ± 0.09	1.20 ± 0.13
สถานีที่ 2	17.21 ± 1.55	33.37 ± 0.72	0.84 ± 0.05	1.50 ± 0.13
สถานีที่ 3	39.46 ± 5.15	46.90 ± 12.27	1.74 ± 0.04	2.10 ± 0.28
เฉลี่ย $\pm$ SD	32.50 ± 10.80	36.70 ± 7.40	1.50 ± 0.06	1.60 ± 0.15

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินกับสมบัติบางประการของดิน

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนอินทรีย์กับสมบัติบางประการของดิน สรุปดังตารางที่ 3 โดยพบว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณความชื้นในดิน ($P<0.01$; $R=0.45$) ค่า pH ดิน ($P<0.01$; $R=0.49$) อนุภาคทราย ($P<0.05$; $R=0.68$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนุภาคทรายแป้ง ($P<0.05$; $R=-0.68$) และอนุภาคดินเหนียว ($P<0.01$; $R=-0.82$) แต่ไม่พบความสัมพันธ์กับความหนาแน่นรวมของดิน และค่าการนำไฟฟ้าของดิน ($P>0.05$) (ตารางที่ 3) นอกจากนี้สมบัติดินยังมีความสัมพันธ์กันเองในระดับสูง ได้แก่ อนุภาคทรายมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า pH ($P<0.01$; $R=0.86$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าการนำไฟฟ้าในดิน ($P<0.01$; $R=-0.77$) อนุภาคทรายแป้งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าการนำไฟฟ้าในดิน ($P<0.01$; $R=0.82$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่า pH ($P<0.01$; $R=-0.85$) และอนุภาคทราย ($P<0.01$; $R=-0.99$) และอนุภาคดินเหนียวมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอนุภาคทราย ($P<0.01$; $R=-0.82$) แต่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอนุภาคทรายแป้ง ($P<0.01$; $R=0.77$) และค่าการนำไฟฟ้า ($P<0.01$; $R=0.73$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินกับสมบัติของดินบางประการ

คุณสมบัติของดิน	BD	SOC	SM	pH	EC	Sand	Silt	Clay
BD	1.00							
SOC	-.25	1.00						
SM	-.59**	.45**	1.00					
pH	-.37*	.49**	.31	1.00				
EC	-.09	.08	.07	-.56**	1.00			
Sand	.15	.68*	.42	.86**	-.77**	1.00		
Silt	-.13	-.68*	-.41	-.85**	.82**	-.99**	1.00	
Clay	-.07	-.82**	-.312	-.82**	.73**	-.82**	.773**	1.00

หมายเหตุ : ** ความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ * ความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05, BD=ความหนาแน่นรวมของดิน, SOC=ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน, SM=ความชื้นในดิน, pH=ความเป็นกรดด่างของดิน, EC=ค่าการนำไฟฟ้าของดิน, sand=อนุภาคทราย, silt=อนุภาคทรายแป้ง, clay=อนุภาคดินเหนียว

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาเนื้อดินของระบบนิเวศเกษตรทั้งสองแบบ พบว่าแปลงปลูกทุเรียนพื้นบ้านมีเนื้อดินที่หยากกว่าในแปลงยางพารา ทำให้ความสามารถในการระบายน้ำและอากาศเกิดขึ้นได้ดีกว่าดินในแปลงยางพารา ในทางกลับกันเนื้อดินในแปลงยางพารามีองค์ประกอบหลักของเนื้อดินเป็นดินเหนียว ซึ่งมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำได้ดีกว่าเนื้อดินในแปลงทุเรียนพื้นบ้าน ซึ่งเนื้อดินมีผลต่อการกักเก็บและปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ในดิน โดยตามรายงานของ Kowalenko et al. [22] ได้ระบุว่าดินเหนียวมีความสามารถในการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ได้สูงกว่าดินทราย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.992 และ 0.528 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ไร่/วัน ตามลำดับ ด้วยลักษณะดินเหนียวที่มีเนื้อดินละเอียดมากทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ซึ่งช่วยยืดอายุของน้ำให้คงอยู่ในชั้นดินได้นานขึ้น จึงช่วยรักษาสภาพที่เหมาะสมสำหรับการหายใจของจุลินทรีย์ในดิน [23] ได้ดีกว่าดินทราย และสัดส่วนอนุภาคดินเหนียวเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้มีความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ที่สะสมในดินได้ [24] ดังนั้นแปลงทุเรียนพื้นบ้านที่มีอนุภาคดินเหนียวน้อยกว่าจึงมีความสามารถกักเก็บก๊าซ CO_2 ได้ดีกว่าแปลงยางพาราที่มีอนุภาคของเนื้อดินละเอียดสูงกว่า

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในระบบนิเวศการเกษตรยางพารา(17.21-46.90 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร) ในการศึกษาครั้งนี้ มีปริมาณสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของระวี เจริญวิภาและคณะ [25] ซึ่งพบว่าดินในพื้นที่ปลูกยางพาราในช่วงอายุ 2-26 ปี มีการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดินเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.07-19.37 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตรที่ระดับความลึก 0 – 30 เซนติเมตร ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์และอินทรีย์วัตถุในดินของระบบนิเวศการเกษตรจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ได้แตกต่างกัน โดยแปลงทุเรียนจะมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าแปลงยางพารา ทั้งนี้เนื่องมาจากอายุของต้นทุเรียนที่มีอายุมากกว่าจะมีผลต่อปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน [26] ในขณะที่ต้นยางพารามีอายุน้อยกว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่แตกต่างกันอาจจะมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย โดยเฉพาะช่วงการเจริญเติบโตของพืช สำหรับทุเรียนพื้นบ้านในเดือนกรกฎาคมนั้นจะอยู่ในระยะผลแก่และเก็บเกี่ยว ทำให้ต้นทุเรียนมีการร่วงหล่นของใบ กิ่ง รวมถึงผลทุเรียนที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยเฉพาะใบไม้ และกิ่งไม้เหล่านี้จากต้นทุเรียนจะกลายเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่สำคัญที่สุด [26] ขณะที่เดือนกันยายนเป็นระยะแตกใบอ่อนและเจริญทางใบของทุเรียนจะอยู่ในช่วงที่แหล่งคาร์บอนอินทรีย์ที่มาจากต้นทุเรียนมีปริมาณน้อยลงส่งผลให้ทั้งสองช่วงเวลามีปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ทั้งอัตราการย่อยสลายของเศษซากพืชที่แตกต่าง ปริมาณน้ำฝน ความชื้นของดิน ลักษณะและโครงสร้างของดิน ระดับความลึกของดิน อุณหภูมิดินและอุณหภูมิอากาศ เป็นต้น [7]

จากการศึกษาครั้งนี้จะพบว่าบางสถานีของแปลงทุเรียนพื้นบ้านและยางพาราจะพบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์อยู่ในระดับสูงกว่าสถานีอื่น ๆ ในพื้นที่เดียวกัน ซึ่งสาเหตุหลักน่าจะมาจากลักษณะความสูงต่ำของพื้นที่โดยเฉพาะสถานีที่ 3 ของทั้งสองแปลงซึ่งเป็นที่ราบลุ่มและต่ำกว่าสถานีอื่น ๆ ส่งผลต่อการสะสมของอินทรีย์วัตถุในดิน โดยเฉพาะในช่วงที่เกิดฝนตก ก็จะกลายเป็นแหล่งรวมเศษใบไม้และสารอาหารต่าง ๆ ที่ถูกชะมาจากพื้นที่ใกล้เคียง ทำให้เกิดการสะสมของอินทรีย์วัตถุสูงกว่าสถานีอื่น นอกจากนี้เมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้น ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย เพราะความชื้นในดินเป็นปัจจัยที่สนับสนุนกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงขึ้นไปด้วย [10, 27] pH ดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน เนื่องจาก pH มีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ถ้า pH ต่ำจะส่งผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ทำงานได้น้อยลงแล้วจะไปลดการสร้างแร่ธาตุจากสารอินทรีย์ [26] นอกจากนี้ เนื้อดินยิ่งหยาบหรือมีอนุภาครายป่นอยู่เยอะสามารถช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินจะมีช่องว่างในดินที่ช่วยระบายน้ำและอากาศได้ดีที่ช่วยในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน และหากมีการนำถ่านชีวภาพมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงบำรุงดินร่วมด้วย ก็ยังจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้สูงขึ้นในพื้นที่เกษตรกรรม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนอินทรีย์กับความแน่นรวมของดินซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของณัฏฐิยา ชำนาญคำ [28] ที่ระบุว่าไม่พบความสัมพันธ์ของคาร์บอนกับความหนาแน่นรวมของดินในดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงปลาตก ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากพื้นที่เกษตรกรรมได้รับการรบกวนจากการกระทำของมนุษย์อยู่ตลอดเวลาทำให้ความหนาแน่นรวมของดินเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเช่นกัน ต่างกับในธรรมชาติ

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า พื้นที่แปลงทุเรียนพื้นบ้านสามารถกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้สูงกว่าพื้นที่ยางพารา โดยพบว่าลักษณะของเนื้อดินในแปลงทุเรียนพื้นบ้านมีองค์ประกอบอนุภาคทรายเป็นหลัก ทำให้ความสามารถในการระบายน้ำและอากาศเกิดขึ้นได้ดีกว่าดินในแปลงยางพารา เนื่องจากเนื้อดินในแปลงยางพารามีองค์ประกอบหลักของเนื้อดินเป็นดินเหนียวที่สามารถปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงกว่าดินทรายซึ่งมีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน แปลงทุเรียนมีความหนาแน่นรวมของดินสูงกว่าแปลงยางพารา ปริมาณกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน และอินทรีย์วัตถุในดินจากทั้งสองระบบนิเวศเกษตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ของแปลงทุเรียนเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างสองเดือนไม่มีความแตกต่างกัน สมบัติดินที่มีความสัมพันธ์กับคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ได้แก่ ค่าความชื้นในดิน อนุภาคทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว ค่า pH ในดิน โดยปัจจัยเหล่านี้อาจมีอิทธิพลต่อปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินโดยเฉพาะอนุภาคของดินขนาดต่าง ๆ และปริมาณความชื้นในดินที่ส่งผลต่อการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในดิน ซึ่งได้เห็นได้ว่าระบบนิเวศเกษตรทุเรียนพื้นบ้านและยางพารามีบทบาทสำคัญในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนและดูดซับคาร์บอนอินทรีย์ในดิน โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการดินของพื้นที่เกษตรกรรมอย่างเหมาะสม อีกทั้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นคาร์บอนเครดิตในการลดหย่อนการปลดปล่อยคาร์บอนที่สามารถนำไปซื้อ-ขายแลกเปลี่ยนในตลาดคาร์บอนในอนาคต สร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกรอีกแนวทางหนึ่งได้ และแปลงยางพาราน่าจะเป็นทางเลือกในการใช้ประโยชน์เชิงคาร์บอนเครดิตได้ดีกว่าทุเรียนพื้นบ้านเพราะมีเนื้อเพาะปลูกที่มากกว่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีสนองพระราชดำริ โดยมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี (อภ.สธ.-มรส.) โครงการเพิ่มประสิทธิภาพของดินในการปลูกทุเรียนคลองแสง ในปีงบประมาณ 2565

เอกสารอ้างอิง

- [1] Duan, Z. (2023). Impact of climate change on the life cycle greenhouse gas emissions of cross-laminated timber and reinforced concrete buildings in China. *Journal of Cleaner Production*, 395, 136446.
- [2] Huangpeng Q., Huang, W., & Gholinia, F. (2021). Forecast of the hydropower generation under influence of climate change based on RCPs and developed crow search optimization algorithm. *Energy Reports*, 7, 385-397.
- [3] Ministry of Natural Resources and Environment. (2020). Policy Formulation and National Focal Point. Thailand Third Biennial Update Report [ออนไลน์]. สืบค้นจาก https://unfccc.int/sites/default/files/resource/BUR3_Thailand_251220%20.pdf (30 พฤศจิกายน 2565).
- [4] Eswaran, H., Berg, E. V. D., & Reich, P. F. (1993). Organic carbon in soils of the world. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 193-194.

- [5] Paustian, K., Larson, E., Kent, J., Marx, E., & Swan, A. (2019). Soil C sequestration as a biological negative emission strategy. *Frontiers in Climate*, 1, 8.
- [6] Jacobs, G. K., Dahlgren, R. C., & Metting, F. B. (2001). Carbon sequestration in terrestrial ecosystems: A status report on R&D Progress. In *Proceedings of the First National Conference on Carbon Sequestration*. Washington, D.C.
- [7] วรพัชร วิชัยสุชาติ, สมณมิตร พุกงาม, ปิยพงษ์ ทองดินนอก, นฤมล แก้วจำปา, และรจนา ตั้งกุลบริบูรณ์. (2561). การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการกักเก็บคาร์บอนในดินบริเวณพื้นที่ป่าชนิดต่าง ๆ อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุยจังหวัดเชียงใหม่. *วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*, 18(4), 61-77.
- [8] อุเทน จันละบุตร, และ ภูวดล โกมลเกียรติ (2559). ปริมาณคาร์บอนสะสมในดินในพื้นที่เกษตรกรรมในลุ่มน้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 34(1), 79-88.
- [9] ภาวิณี อองสุวรรณ. (2559). การสะสมอินทรีย์คาร์บอนในดินสวนยางพาราและดินสวนปาล์มน้ำมันกรณีศึกษาเทศบาลตำบล จ.ป.ร. อำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [10] พุทธิรักษ์ วงศ์สิริชัย, สุภัทรา ถักสถิตย์, นฤมล แก้วจำปา, และ รจนา ตั้งกุลบริบูรณ์. (2562). ผลของการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยหินลาด จังหวัดระยอง. *วารสารวนศาสตร์*, 38(2), 83-97.
- [11] Benbi, D. K., & Chand, M. (2007). Quantifying the effect of soil organic matter on indigenous soil N supply and wheat productivity in semiarid sub-tropical India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 79, 103-112.
- [12] Rasool, R., Kukul, S.S. , & Hira, G.S. (2008). Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize-wheat system. *Soil and Tillage Research*, 101, 31-36.
- [13] Lal, R. (1999). Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. *Progress in Environmental Science*, 1(4), 307-326.
- [14] Wright, J. T., Marcy, G. W., Fischer, D. A., Butler, R. P., Vogt, S. S., Tinney, C. G., Jones, H. R., Carter, B. D., Johnson, J. A., McCarthy, C., & Apps, K. (2007). Four new exoplanets and hints of additional substellar companions to exoplanet host stars. *The Astrophysical Journal*, 657, 533-545.
- [15] วัชรวิทย์ รวยรื่น, นรนนท์ ขำฉา, และ พงศักดิ์ นพรัตน์. (2022). การผลิตและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุเหลือทิ้งในสวนวนเกษตร (หน้า rspg028). ใน *การประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงาน ชมรมคณะปฏิบัติการวิทยาการ อพ.สธ. ครั้งที่ 10*. นครศรีธรรมราช.
- [16] ทิชา โลกุลพิมาน, กาญจนา นาคะภากร, อัจฉรา อัครกุลชัย, สิทธิกร กาญจนสุนทร, สุเพชร จิระจกุล. (2559). การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนยางพาราโดยการประยุกต์เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล กรณีศึกษา จังหวัดระยอง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 24(6), 914-926.

- [17] Wynn, J. G., Bird, M. I., & Wong, V. N. L. (2004). Rayleigh distillation and the depth profile of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios of soil organic carbon from soils of disparate texture in Iron Range National Park, Far North Queensland, Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69, 1961-1973.
- [18] Blake, G. R., & Hartage., K. H. (1986). Bulk Density (pp 363-375). In Klute, A. (eds). *Methods of Soil Analysis part I Physical and Mineralogical Methods*. USA: Agronomy Monograph, Madison.
- [19] Soil Survey Staff. (1996). *Soil survey laboratory methods manual*. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 3.0. USDA, Washington DC.
- [20] Walkley, A., & Black, A. (1934). An examination of the Degiareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-28.
- [21] Guo, L. B., & Gifford, R. M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 8, 345-360.
- [22] Kowalenko, C. G., Ivarson, K. C., & Cameron, D. R. (1978). Effect of moisture content, temperature, and nitrogen fertilization on carbon dioxide evolution from field soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10, 417-423.
- [23] Feiziene, D., Feiza, V., Vaideliene, A., Povilaitis, V., & Antanaitis, S. (2010). Soil surface carbon dioxide exchange rate as affected by soil texture, different long term tillage application and weather. *Agriculture*, 97(3), 25-42.
- [24] Galdos, M. V., Cerri, C. C., & Cerri, C. E. P. (2009). Soil carbon contents under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma*, 153, 347-352.
- [25] ระวี เจริญวิภา, สุรชาติ เพชรแก้ว, มนต์รี แก้วดวง, และ วิทยา พรหมมี. (2555). การประเมินการเก็บกักคาร์บอนและรายได้จากการชดเชยคาร์บอนในสวนยางพารา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 17(2), 91-102.
- [26] Lei, Z., Yu, D., Zhou, F., Zhang, Y., Yu, D., Zhou, Y., & Han, Y. (2019). Changes in soil organic carbon and its influencing factors in the growth of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation in Horqin Sandy Land, Northeast China. *Scientific Reports*, 9, 16453.
- [27] Hongix, L., Blagodatsky, S., Giese, M., Liu, F., Xu, J., & Cadisch, G. (2016). Impact of herbicide application on soil erosion and induced carbon loss in a rubber plantation of Southwest China. *Catena*, 145, 180-192.
- [28] ณัฏฐิยา ชำนาญคำ. (2564). การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอนพื้นบ่อเลี้ยงปลาตกบักอูย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 29(2), 296-306.

ปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากใบหว่าหิน
Total Phenolic and Total Flavonoid Contents, and Antioxidant Activity from
the Leaves of *Syzygium claviflorum*

อุไรวรรณ เพ็ชรกุล^{*1} ฐิติกร พรหมบรรจง¹ อวยพร วงศ์กุล¹ ไพลิน บุญลิปตานนท์¹ เพียงอ อีสา¹
กนกวรรณ ขวัญยืน² และ เกวลี ชัยชาญ¹

Uraiwan Phetkul^{*1}, Thitikorn Prombanchong¹, Auyporn Vongkul¹, Phailin Bunliptanon¹,
Peang-or Yeesa¹, Kanokwan Khwanyuen² & Kewalee Chaichan¹

¹สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

²สาขาศึกษาทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

¹Department of Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya

²Department of General Education, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of
Technology Srivijaya

Submitted 02/05/2023 ; Revised 11/06/2023 ; Accepted 17/06/2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณฟีนอลรวม ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบเอทานอลรวมทั้งส่วนแยกย่อย (CS-A ถึง CS-O) จากใบหว่าหิน ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณฟีนอลรวมของส่วนแยกย่อย CS-M มีปริมาณฟีนอลรวมมาก (568.08 ± 9.38 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด) และส่วนแยกย่อย CS-C มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมมากที่สุด (139.85 ± 12.52 มิลลิกรัม สมมูลของเคอซีทินต่อกรัมของสารสกัด) ผลฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าสกัดหยาบ CS และส่วนแยกย่อย CS-O มีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.16 ± 0.01 และ 1.76 ± 0.01 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (IC_{50} ของสารมาตรฐาน เท่ากับ 3.79 ± 0.06 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ผลที่ได้แสดงให้เห็นศักยภาพของสารสกัดและบางส่วนของส่วนแยกย่อยจากใบหว่าหินมีปริมาณฟีนอลและฟลาโวนอยด์รวมที่สูงและมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีเหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ส่งเสริมสุขภาพและเวชสำอางในอนาคต

คำสำคัญ: หว่าหิน ปริมาณฟีนอลรวม ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

E-mail: uraiwan.p@rmutsv.ac.th

Abstract

The aims of this research were to analyze total phenolic contents, total flavonoid contents and antioxidant activity from the leaves extract (CS) and the isolated fractions (CS-A–CS-O) of *Syzygium claviflorum*. The results showed that fraction CS-M had the highest total phenolic content (568.08 ± 9.38 mg GAE/g extracts) while fraction CS-C showed the highest total flavonoids content (139.85 ± 12.52 mg QE/g extract). Antioxidant activity evaluated by DPPH radical scavenging assay indicated that the crude extract (CS) and fraction CS-O showed good activity with IC_{50} values of 2.16 ± 0.01 and 1.76 ± 0.01 $\mu\text{g/ml}$, respectively (IC_{50} value of standard 3.79 ± 0.06 $\mu\text{g/ml}$). These data indicate that the leaves extract and some fractions of *S. claviflorum* had high total phenolic and total flavonoid contents, and good antioxidant activity which were suitable to be developed to health promotion products and medical cosmetics in further.

Keywords: *Syzygium claviflorum*, total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant activity

บทนำ

ปัจจุบันประชาชนหันมาใส่ใจดูแลสุขภาพและความงามมากขึ้น เนื่องจากปัจจัยนอกที่ต้องเผชิญในการใช้ชีวิตประจำวัน เช่น แสงอาทิตย์ ฝุ่นละออง คิวตินจากท่อไอเสีย คิวตินบุหรื แอลกอฮอล์ และปัจจัยภายใน ได้แก่ ความเครียด ซึ่งมีส่วนสำคัญที่ทำให้ได้รับอนุมูลอิสระ (free radical) หรือเกิดอนุมูลอิสระในร่างกายมากขึ้น อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนขาดหรือเกินที่ไม่เข้าคู่ (unpaired electron) จึงทำให้มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาให้หรือดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลที่อยู่ภายในเซลล์ และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ [1] ทำให้สารชีวโมเลกุลภายในเซลล์ เช่น ไขมัน โปรตีน และดีเอ็นเอถูกทำลาย ส่งผลให้เซลล์หรือเนื้อเยื่อได้รับความเสียหาย เกิดความผิดปกติและเป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้แก่ โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน โรคแพ้ภูมิตัวเอง โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ โรคชรากร่อนวัย โรคหลอดเลือดแข็งตัว และโรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน [2-3] พืชชนิดต่าง ๆ รวมถึงพืชสมุนไพรหลายชนิด นอกจากมีสารอาหารแล้วยังมีสารพฤกษเคมี (phytochemicals) เป็นองค์ประกอบ เช่น สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenols) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) อัลคาลอยด์ (alkaloids) คูมาริน (coumarins) เทอร์ปีน (terpenes) เป็นต้น สารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการให้อิเล็กตรอนหรือรับอิเล็กตรอนจากอนุมูลอิสระ มีผลทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่สิ้นสุดลง [4] การรับประทานพืชผักผลไม้ รวมถึงสมุนไพรจึงช่วยส่งเสริมสุขภาพ ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคต่าง ๆ ที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระได้ [5]

ทั้งนี้จากการค้นคว้าวารสารวิชาการและฐานข้อมูล SciFinder scholar พืชในสกุล *Syzygium* แสดงฤทธิ์ชีวภาพที่ดีและมีองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลาย [6-9] หว่านินมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Syzygium claviflorum* เป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ ทรงพุ่มกลมหนาทึบ อยู่ในวงศ์ Myrtaceae จากการสืบค้นข้อมูลการศึกษาพบว่า Fujioaka และคณะได้รายงานการแยกสารบริสุทธิ์สองตัว คือ betulinic acid และ platanic acid จากสารสกัดเมทานอลของใบหว่านินและสารบริสุทธิ์ทั้งสองมีฤทธิ์ต้านเชื้อเอชไอวี [10] ต่อมา มีรายงานของ Shilpa และคณะที่ศึกษาฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* (NCIM 2079) *Bacillus subtilis* (ATCC 6633) *Escherichia coli* (NCIM 2931) *Pseudomonas aeruginosa* (NCIM 2200) *Klebsiella pneumoniae* (NCIM 2957) และ *Proteus vulgaris* (NCIM 2813) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดใบและเปลือกของหว่านินซึ่งพบว่ามีฤทธิ์ที่ดี [11] จากรายงานเหล่านี้จะเห็นได้ว่าการศึกษาฤทธิ์ชีวภาพและองค์ประกอบทางเคมีจากส่วนต่าง ๆ ของหว่านินยังมีอยู่น้อยมาก ผู้วิจัยจึงสนใจวิเคราะห์สารพฤกษเคมี ได้แก่ สารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยเลือกศึกษาจากส่วนที่เป็นใบ เพราะสามารถหาได้ง่าย มีทุกฤดูกาล การนำไปใช้ไม่ส่งผลกระทบต่อจำนวนพืชในท้องถิ่น และเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านความงาม เครื่องสำอาง อาหารหรือใช้ในด้านเภสัชกรรม ตลอดจนเพื่อเป็นข้อมูลที่สนับสนุนการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปริมาณฟีนอลรวม ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหว่านินเอทานอลและส่วนแยกย่อยจากใบหว่านิน

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บตัวอย่าง

ใบหว่าหินถูกเก็บจากอำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา ช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 ยืนยันชื่อท้องถิ่น โดยปราชญ์ชาวบ้านในอำเภอสะเดา และได้รับการยืนยันสายพันธุ์และชื่อวิทยาศาสตร์โดยนายพงศ์ธร บรรณโศภิษฐ์ และนายอิทธิวรรณ์ บุญฤทธิ์ นักวิชาการป่าไม้ปฏิบัติการ สำนักงานบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 5 (นครศรีธรรมราช)

การสกัดใบหว่าหิน

นำใบหว่าหินล้างน้ำให้สะอาดและผึ่งลม หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำมาสกัดเป็นเวลา 7 วัน ด้วยเอทานอล ในอัตราส่วนใบแห้ง 500 กรัมต่อเอทานอล 8 ลิตร กรองเอาสารละลายส่วนใส ส่วนกากใบที่ได้จากการสกัดจะถูกสกัดซ้ำด้วยวิธีการเดียวกันอีกครั้ง จากนั้นนำสารละลายส่วนใสที่ได้จากการสกัดทั้งสองครั้งรวมกัน ไประเหยตัวทำละลายเอทานอลออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักสารสกัดหยาบ (CS) ที่ได้และคำนวณร้อยละผลได้ (% yield)

การแยกสารสกัดหยาบ

นำสารสกัดหยาบ (CS) น้ำหนัก 6.893 กรัม มาแยกด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี (column chromatography; CC) โดยเฟสคงที่เป็น silica gel และเฟสเคลื่อนที่เริ่มต้นจาก 30% CH_2Cl_2 /hexane จนถึง 100% CH_2Cl_2 จากนั้นชะด้วยเฟสเคลื่อนที่ CH_2Cl_2 /MeOH โดยเพิ่มปริมาณ MeOH จนถึง 100% MeOH รวมส่วนย่อยต่าง ๆ ที่มีลักษณะโครมาโทแกรมของโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง (thin layer chromatography; TLC) เหมือนกันเข้าด้วยกันได้ทั้งหมด 15 ส่วนแยกย่อย (CS-A ถึง CS-O) นำสารสกัดหยาบและส่วนแยกย่อยที่ได้ไปทำแห้งด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) เก็บสารสกัดหยาบและส่วนแยกย่อยไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลและสารฟลาโวนอยด์รวมและทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลทำได้โดยใช้วิธีการ Folin-Ciocalteu เป็นการวัดค่าจากปฏิกิริยาการรีดิวซ์สารละลาย Folin-Ciocalteu สารประกอบฟีนอลในตัวอย่างทำให้สารละลายเกิดเป็นสีน้ำเงินมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ปฏิกิริยาในการทดสอบดัดแปลงจากวิธีการของ Singleton [12] โดยผสมสารละลายของสารสกัดที่ละลายในเมทานอล ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตรกับ 10%v/v Folin-Ciocalteu's reagent 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มในที่มืดนาน 7 นาที แล้วเติมสารละลาย 10% w/v Na_2CO_3 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาที่ได้ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณหาปริมาณฟีนอลรวม รายงานค่าในรูปมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก (gallic acid) ต่อกรัมของสารสกัด (mg GAE/g extract)

การหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม

การหาปริมาณฟลาโวนอยด์รวมดำเนินการตามวิธีของ Biju [13] โดยใช้สารตัวอย่างความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตรทำปฏิกิริยากับสารละลาย 5% w/v NaNO_2 ปริมาตร 60 ไมโครลิตร บ่มเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย 10% w/v AlCl_3 ที่ละลายในเอทานอล ปริมาตร 60 ไมโครลิตร และเติมสารละลาย 1 โมลาร์ NaOH ปริมาตร 400 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มนาน 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงของปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร คำนวณปริมาณฟลาโวนอยด์โดยการเทียบกับกราฟมาตรฐานของ

สารละลายเคอควิเตน (quercetin) ช่วงความเข้มข้น 0 - 4 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รายงานผลในรูปแบบมิลลิกรัมสมมูลของเคอควิเตนต่อกรัมของสารสกัด (mg QE/g extract)

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 1, 1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH°)

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH° ดัดแปลงจากวิธีการของ Blois [14] ปฏิบัติการประกอบด้วยสารละลาย DPPH° ความเข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ในเอทานอล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายตัวอย่างในช่วงความเข้มข้น 0.5-100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดนาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer (Libra Biochrome, UK) โดยใช้ น้ำกลั่น เป็นสารละลายอ้างอิง (blank) คำนวณร้อยละการยับยั้งโดยมีสูตรดังนี้ ร้อยละการยับยั้ง = $(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}} \times 100$ โดยที่ A_{control} และ A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH° ที่ไม่มีและมีการสกัดตามลำดับ นำค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูล DPPH° ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารสกัด เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารสกัดและร้อยละการยับยั้ง วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) เทียบกับ IC_{50} ของสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ butylated hydroxy toluene (BHT)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (statistical analysis)

ในการทดลอง ทำการทดลองซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง ($n = 3$) แสดงผลในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้ Duncan's new multiple range test (DMRT) โดยมีระดับความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficients)

ผลการวิจัย

จากการศึกษาสารสกัดจากใบหว่าหิน ได้สารสกัดหยาบร้อยละของผลที่ได้เท่ากับ 4.01 เมื่อแบ่งสารสกัดหยาบ (CS) 6.893 กรัมที่ได้มาแยกด้วยคอลัมน์โครมาโทกราฟี พบว่าได้ส่วนแยกย่อยที่มีลักษณะ TLC โครมาโทแกรมคล้ายกันทั้งหมด 15 ส่วนแยกย่อย (CS-A ถึง CS-O) แต่ละส่วนแยกย่อยมีน้ำหนัก ดังนี้ 337.8 mg (CS-A) 184.0 mg (CS-B) 213.7 mg (CS-C) 131.7 mg (CS-D) 186.1 mg (CS-E) 188.2 mg (CS-F) 674.1 mg (CS-G) 838.2 mg (CS-H) 304.0 mg (CS-I) 193.7 mg (CS-J) 399.8 mg (CS-K) 541.8 mg (CS-L) 148.2 mg (CS-M) 122.0 mg (CS-N) และ 135.1 mg (CS-O)

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม

จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมของสารสกัดหยาบ (CS) และส่วนแยกย่อย (CS-A ถึง CS-O) ที่แยกได้จากใบหว่าหินด้วยวิธี Folin-Clocalteu พบว่าในสารสกัดหยาบ (CS) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 170.43 ± 1.41 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด และส่วนแยกย่อยที่มีปริมาณฟีนอลรวมมากที่สุด คือ ส่วนย่อย CS-M เท่ากับ 568.08 ± 9.38 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด รองลงมาคือส่วนแยกย่อย CS-J และ CS-N ตามลำดับ แตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 1

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวม

การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมในส่วนสกัดต่าง ๆ จากใบหว่าหิน โดยสารสกัดหยาบ (CS) มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ 61.32 ± 0.46 มิลลิกรัมสมมูลของเคอซีทินต่อกรัมของสารสกัด และส่วนแยกย่อย CS-C มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมมากที่สุดเท่ากับ 139.85 ± 12.52 มิลลิกรัมสมมูลของเคอซีทินต่อกรัมของสารสกัด รองลงมามีสามส่วนแยกย่อยที่มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมไม่แตกต่างกัน คือ ส่วนแยกย่อย CS-H CS-D และ CS-O ดังแสดงในตารางที่ 1

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

จากการทดลอง สารสกัดหยาบ (CS) และส่วนแยกย่อย (CS-A ถึง CS-O) มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระแตกต่างกัน โดยแสดงฤทธิ์อยู่ในช่วง 1.76 ± 0.01 ถึง 222.16 ± 0.35 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 1 และพบว่ามีสองส่วนสกัดจากใบหว่าหินแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าตัวมาตรฐาน BHT ($IC_{50} = 3.79 \pm 0.06$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) คือ ส่วนสกัดหยาบ CS และส่วนแยกย่อย CS-O โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.16 ± 0.01 และ 1.76 ± 0.01 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ มี 6 ส่วนแยกย่อยแสดงฤทธิ์ต้าน DPPH ในระดับที่น่าสนใจ ในช่วง 15-50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ได้แก่ CS-J CS-M CS-N CS-H CS-F และ CS-I ด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 16.55 ± 0.04 16.86 ± 0.10 17.53 ± 0.10 31.63 ± 0.37 41.22 ± 0.73 และ 43.37 ± 0.49 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์รวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ตัวอย่าง	ฟีนอลรวม (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิก ต่อกรัมของสารสกัด)	ฟลาโวนอยด์รวม (มิลลิกรัมสมมูลของเคอซีทินต่อ กรัมของสารสกัด)	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH IC_{50} (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)
CS	170.43 ± 1.41^h	61.32 ± 0.46^{cde}	2.16 ± 0.01^a
CS-A	15.32 ± 0.47^l	18.05 ± 8.43^g	62.86 ± 0.45^e
CS-B	249.3 ± 4.88^f	51.46 ± 2.31^{cde}	222.16 ± 0.35^i
CS-C	75.94 ± 2.00^k	139.85 ± 12.52^a	60.23 ± 0.76^e
CS-D	96.71 ± 2.40^{ij}	93.57 ± 0.77^b	76.02 ± 5.46^f
CS-E	325.82 ± 5.69^d	57.31 ± 0.58^{cde}	61.72 ± 1.13^e
CS-F	224.41 ± 7.76^g	64.49 ± 6.81^{cd}	41.22 ± 0.73^d
CS-G	260.56 ± 9.76^{ef}	53.3 ± 4.26^{cde}	90.80 ± 1.31^g
CS-H	86.38 ± 1.08^{jk}	108.1 ± 34.42^b	31.63 ± 0.37^c
CS-I	105.16 ± 2.40^i	45.61 ± 13.00^{de}	43.37 ± 0.49^d
CS-J	520.66 ± 4.30^b	67.34 ± 8.12^c	16.55 ± 0.04^b
CS-K	269.01 ± 6.14^e	52.63 ± 4.34^{cde}	62.85 ± 0.82^e
CS-L	226.76 ± 4.23^g	40.94 ± 5.52^{ef}	126.82 ± 2.77^h
CS-M	568.08 ± 9.38^a	52.46 ± 2.09^{cde}	16.86 ± 0.10^b
CS-N	380.75 ± 29.56^c	24.06 ± 7.81^{fn}	17.53 ± 0.10^b
CS-O	267.61 ± 7.32^e	111.61 ± 1.26^b	1.76 ± 0.01^a
BHT	-	-	3.79 ± 0.06^a

หมายเหตุ อักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดย DMRT

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลรวม และการหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวม เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมระหว่างตัวอย่างของสารสกัดหยาบเอทานอล (CS) และส่วนแยกย่อย (CS-A ถึง CS-O) จากใบหว่าหิน พบว่าระหว่างตัวอย่างสารสกัดหยาบแต่ละส่วนที่แตกต่างกันมีปริมาณสารประกอบฟีนอลรวมและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสารพฤกษเคมีและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยแปลค่าความสัมพันธ์ (r) สามารถอธิบายได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้ คือ ค่า $r = (+/-) 0.600-1.000$ มีความสัมพันธ์ระดับสูงมาก ค่า $r = (+/-) 0.400-0.599$ มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง ค่า $r = (+/-) 0.000-0.399$ มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ และค่า $r = 0.00$ ไม่มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง [15-16] ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลรวมของสารสกัดหว่าหินกับค่า IC_{50} ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และระหว่างปริมาณฟลาโวนอยด์รวมกับค่า IC_{50} ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $r = -0.187$ และ -0.179 ตามลำดับ นั่นคือความสัมพันธ์ของสารสกัดหยาบและส่วนย่อยที่แยกได้จากใบหว่าหินมีความสัมพันธ์เชิงลบในระดับต่ำ กล่าวคือฤทธิ์การต้านออกซิเดชันไม่แปรผันกับปริมาณสารประกอบฟีนอลหรือฟลาโวนอยด์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Souri และคณะ [17] กล่าวว่าสารประกอบฟีนอลและฟลาโวนอยด์ในพืชมีความหลากหลาย บางชนิดแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่สูง บางชนิดมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่ต่ำ และบางชนิดไม่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน [18, 19]

สารสกัดหยาบใบหว่าหินมีปริมาณฟีนอลรวมเท่ากับ 170.43 ± 1.41 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ 61.32 ± 0.46 มิลลิกรัมสมมูลของเคอซีทินต่อกรัมของสารสกัด และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในระดับดีมาก มีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.16 ± 0.01 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ต่ำกว่า BHT (3.79 ± 0.06 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) และส่วนแยกย่อยมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงเช่นกัน ด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 1.76 ± 0.01 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากข้อมูลวิจัยพบว่าปริมาณฟีนอลและปริมาณฟลาโวนอยด์ของส่วนสกัดหยาบและส่วนแยกย่อย CS-O มีปริมาณน้อยกว่าบางส่วนแยกย่อย แต่แสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่ต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hajimahmoodi และคณะ [20] กล่าวว่าสารประกอบฟีนอลหรือฟลาโวนอยด์ในส่วนสกัดดังกล่าวอาจเป็นชนิดที่แสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่สูง หรือสารที่ออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชันอาจเป็นสารกลุ่มอื่นที่ไม่ใช่สารกลุ่มฟีนอลหรือฟลาโวนอยด์ เช่น สารประกอบเทอร์ปีน น้ำมันหอมระเหย (essential oils) แคโรทีนอยด์ (carotenoids), กรดไขมันไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acids) และโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) เป็นต้น ซึ่งมีรายงานว่ามีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชัน [21, 22]

ส่วนย่อยที่มีปริมาณฟีนอลรวมมากที่สุด คือ ส่วนแยกย่อย CS-M เท่ากับ 568.08 ± 9.38 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด และส่วนแยกย่อย CS-C ปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมมากที่สุดเท่ากับ 139.85 ± 12.52 มิลลิกรัมสมมูลของเคอซีทินต่อกรัมของสารสกัด แต่แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำเช่นเดียวกับส่วนแยกย่อย CS-B CS-E ถึง CS-G และ CS-J ถึง CS-N มีปริมาณฟีนอลิกค่อนข้างรวมสูง แต่ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์รวมน้อย อีกทั้งประสิทธิภาพในการแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระไม่ดี จากผลการวิจัยวิเคราะห์ได้ว่า ค่า IC_{50} ของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของสารสกัดหยาบและส่วนแยกย่อยที่แยกได้จากใบหว่าหินนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณฟีนอลิกและปริมาณฟลาโวนอยด์แต่จะเกิดจากความหลากหลายขององค์ประกอบทางเคมี ความแตกต่างทางโครงสร้าง จำนวนและตำแหน่งของหมู่แทนที่ที่อยู่ในโครงสร้างโมเลกุล

ของสารประกอบฟีนอลหรือฟลาโวนอยด์ ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ต่างกัน หรือหมู่แทนที่ที่เป็นหมู่ให้อิเล็กตรอนอาจไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่ส่งเสริมต่อการต้านอนุมูลอิสระ หรืออาจมีหมู่แทนที่ที่เกะกะขัดขวางการทำปฏิกิริยา ทำให้ประสิทธิภาพในการแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของส่วนแยกย่อยดังกล่าวมีค่าน้อย

จากรายงานของ Ahmed และคณะ [23] ได้ศึกษาปริมาณฟลาโวนอยด์รวมและปริมาณฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากเมล็ดและเนื้อผลจากหัวหิน พบว่า ในเมล็ดมีปริมาณฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ 1.37 ± 0.23 มิลลิกรัมสมมูลของเคอซีทินต่อกรัมของสารตัวอย่างแห้ง ปริมาณฟีนอลรวมเท่ากับ 206.61 ± 3.78 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารตัวอย่างแห้ง ในขณะที่ส่วนเนื้อผลมีปริมาณฟลาโวนอยด์รวมและปริมาณฟีนอลรวมน้อยมาก เท่ากับ 7.25 ± 0.65 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารตัวอย่างแห้ง 0.28 ± 0.06 มิลลิกรัมสมมูลของเคอซีทินต่อกรัมของสารตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ และผลของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ของสารสกัดจากเมล็ดมีค่า IC_{50} ต่ำกว่า ascorbic acid และ BHT ด้วยค่า IC_{50} เท่ากับ 11.78 ± 0.08 และ 3.80 ± 0.02 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลวิจัยกับงานวิจัยดังกล่าว พบว่างานวิจัยนี้ส่วนสกัดหยาบจากใบมีค่าปริมาณฟลาโวนอยด์รวม 61.32 ± 0.46 มิลลิกรัม สมมูลของเคอซีทินต่อกรัมของสารสกัดและสูงกว่าในเมล็ดมาก แต่มีค่าปริมาณฟีนอลรวมน้อยกว่าเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมและปริมาณฟีนอลรวมในใบสูงกว่าในเนื้อผลมาก อีกทั้งความสามารถในการฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดหยาบและบางส่วนแยกย่อยมีค่า IC_{50} ต่ำกว่าและต่ำกว่า BHT (3.79 ± 0.06 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ดังนั้น ส่วนสกัดหยาบ CS และส่วนแยกย่อย CS-O ดังนั้นหากต้องการสารสกัดจากหัวหินที่มีปริมาณฟลาโวนอยด์และปริมาณฟีนอลรวม พร้อมทั้งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี ใบของหัวหินนับเป็นตัวเลือกที่ดีกว่า การศึกษาปริมาณฟีนอลรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากใบหัวหินสกัดด้วยเอทานอลและส่วนย่อยรายงานครั้งแรกในงานวิจัยนี้

สรุปผลการวิจัย

การสกัดใบหัวหินมีร้อยละผลได้เท่ากับ 4.01 เมื่อนำสารสกัดหยาบไปแยกด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี โดยชะด้วยตัวชะที่มีความเข้มข้นต่างกัน ได้ส่วนแยกย่อย 15 ส่วน (CS-A ถึง CS-O) พบว่าสารสกัดหยาบ CS มีปริมาณฟีนอลรวมและปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์สูง ในขณะที่ส่วนแยกย่อย CS-M และ CS-C มีปริมาณฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์รวมมากที่สุด ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของส่วนสกัดหยาบ CS และส่วนแยกย่อย CS-O ต่ำกว่า BHT จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ สารองค์ประกอบในส่วนแยกย่อย CS-J CS-M CS-N และ CS-O มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี ควรผ่านกระบวนการแยกสารบริสุทธิ์ออกฤทธิ์ และทดสอบฤทธิ์ชีวภาพก่อนที่จะนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ ผลที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตเครื่องสำอาง ความงาม หรืออุตสาหกรรมอาหาร อีกทั้งยังเป็นการเผยแพร่คุณประโยชน์และเพิ่มมูลค่าให้กับพืชสมุนไพร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2562

เอกสารอ้างอิง

- [1] Fang, Y. Z., Yang, S., & Wu, G. (2002). Free radical, antioxidant, and nutrition. *Nutrition*, 18, 872-879.
- [2] Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T. D., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int J Biochem Cell Biol*, 39, 44-84.
- [3] Cornish, M. L., & Garbary, D. J. (2010). Antioxidant from microalgae: potential application in human health and nutrition. *Free Radical Biology & Medicine*, 25, 155-171.
- [4] Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (1999). Free radicals in biology and medicine, 3rd Edition, *Oxford University Press, Oxford*, 1-25.
- [5] Chaithada, P., Supapan, J., Rodthuk, P., & Chainarong, S. (2018). Total flavonoids, total phenolic content and antioxidant activity from fruits, leaves, twigs and flowers of *Mesua ferrea* L. *Walailak Journal of Science and Technology*, 15(4), 295-304.
- [6] Shafi, P. M., Rosamma, M. K., Jamil, K., & Reddy, P. S. (2002). Antioxidant and antibacterial activities of crude extracts and essential oils of *Syzygium cumini* leaves. *Fitoterapia*, 73, 414-416.
- [7] Ravi, K., Ramachandran, B., & Subramanian, S. (2004). Protective effect of *Eugenia jambolana* seed kernel on tissue antioxidants in streptozotocin induced diabetic rats. *Biol Pharm Bull*, 27, 1212-1217.
- [8] Bajpai, M., Pande, A., Tewari, S. K., & Prakash, D. (2005). Phenolic contents and antioxidant activity of some food and medicinal plants. *Int J Food Sci Nutr*, 56, 287-291.
- [9] Benherlal, P. S., & Arumugan, C. (2007). Chemical composition and in vitro antioxidant studies on *Syzygium cumini* fruit. *J Sci Food Agric*, 87, 2560-2569.
- [10] Fujioka, T., Kashiwada, Y., Kilkuskie, R. E., Cosentino, L. M., Ballas, L. M., Jiang, J. B., Janzen, W. P., Chen, I. S., & Lee, K. H. (1994). Anti-AIDS agents, 11. Betulinic acid and platanic acid as anti-HIV principles from *Syzygium claviflorum*, and the anti-HIV activity of structurally related triterpenoids. *J Nat Prod*, 57(2), 243-247.
- [11] Shilpa, K. J., Krishnakumar, G., & Sooryaprakash, S. (2014). Phytochemical composition, antioxidant, and antibacterial activities of two *Syzygium* spp. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 20, 45-54.
- [12] Singleton, V. L., & Rossi, J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphos-phortungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
- [13] Biju, J., Sulaiman, C. T., Satheesh, G., & Reddy, V. R. K. (2014). Total phenolics and flavonoids in selected medicinal plants from kerala. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(1), 406-408.

- [14] Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 4617, 1199-1200.
- [15] Evans, J. D. (1996). Straightforward statistics for the behavioral sciences. USA: Brooks/Cole Publishing.
- [16] Ngamdee, P., Wichai, U., & Jiamyangyuen, S. (2016). Correlation between phyto-chemical and mineral contents and antioxidant activity of black glutinous rice bran, and its potential chemopreventive property. *Food Technol Biotechnol*, 54(3), 282–289.
- [17] Souri, E., Amin, G., Farsam, H., & Barazandeh T.M. (2008). Screening of antioxidant activity and phenolic content of 24 medicinal plant extracts. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 16(2), 83-87.
- [18] Koodkaew, I., & Limpichotikul, P. (2017). Study of antioxidant activity and correlation of antioxidant compounds in eight species of garden herbs. *Journal of Food Health and Bioenvironmental Science*, 10, 137-152.
- [19] Thepthong, P., Boontaworn, B., & Saewan, N. (2022). Total phenolics, antioxidant, anti-tyrosinase, anti-collagenase and cell proliferation activities of *Chrysophyllum cainito* green fruit extract. *PKRU SciTech Journal*, 6(1), 24-33.
- [20] Hajimahmoodi, M., Mohammadi, N., & Soltani, N. (2010). Evaluation of antioxidant properties and total phenolic contents of some strains of microalgae. *J Appl Phycol*, 22(1), 43–50.
- [21] Ruberto, G., & Baratta, M. T. (2000) Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems, *Food Chem*, 69, 167–174.
- [22] Chaisri, P., & Laoprom, N. (2016). Antioxidant properties and total phenolic content of selected traditional thai medicinal plants. *Thai Pharmaceutical and Health Science Journal*, 12(1), 10-18.
- [23] Ahmed, S., Jubair, A., Hossain, M. A., Hossain, M. M., Azam, M. S., & Biswas, M. (2021). Free radical-scavenging capacity and HPLC-DAD screening of phenolic compounds from pulp and seed of *Syzygium claviflorum* fruit. *Journal of Agriculture and Food Research*, 6, 100203.

กระบวนการเตรียมต้นฉบับ วารสารวิชาการชาชนันท์ มรภ.ภูเก็ต

วารสารวิชาการชาชนันท์ มรภ.ภูเก็ต มีวัตถุประสงค์ เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (research article) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทางด้านวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ ประกอบด้วย ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ และทางด้านวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ประกอบด้วย วิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนความรู้ แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับผลงานวิจัย จัดพิมพ์ออกเผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม) ดำเนินการเผยแพร่ในรูปแบบวารสารออนไลน์เท่านั้น โดยมีกระบวนการดังต่อไปนี้

1. ประกาศรับต้นฉบับจากผู้สนใจตีพิมพ์บทความตลอดทั้งปี
2. กองบรรณาธิการตรวจสอบความสมบูรณ์ ความถูกต้อง และคุณภาพของบทความต้นฉบับ
3. กองบรรณาธิการเตรียมต้นฉบับจัดส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องสาขาวิชานั้น ๆ อย่างน้อย 3 ท่าน เพื่อประเมินบทความ
4. กองบรรณาธิการส่งต้นฉบับที่ปรับแก้ไขแล้วพร้อมสรุปผลการประเมินคุณภาพต้นฉบับ และจัดส่งผู้เขียนเพื่อปรับแก้ไข และชี้แจงการปรับแก้ไขกลับมายังกองบรรณาธิการ
5. กองบรรณาธิการตรวจสอบการปรับแก้ไข ความถูกต้อง และรูปแบบการเขียนต้นฉบับ
6. กองบรรณาธิการออกหนังสือตอบรับการตีพิมพ์ และเผยแพร่ต้นฉบับดังกล่าว ผ่านทางเว็บไซต์
7. กองบรรณาธิการดำเนินการรวบรวมต้นฉบับที่จะตีพิมพ์ ตรวจสอบความถูกต้อง และเผยแพร่ผ่านทางเว็บไซต์ โดยแสดงสถานะอยู่ระหว่างการตีพิมพ์ (in press) และจัดส่งวารสารต้นฉบับให้ผู้เขียนเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง
8. กองบรรณาธิการดำเนินการเผยแพร่วารสารวิชาการชาชนันท์ มรภ.ภูเก็ต

ข้อตกลงการส่งบทความสำหรับผู้แต่ง

1. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณา จะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดวารสารหนึ่งมาก่อน
2. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
3. เนื้อหาในต้นฉบับควรเกิดจากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเอง ไม่ได้ลอกเลียนหรือดัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
4. ผู้เขียนต้องเขียนต้นฉบับตามรูปแบบของวารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต ในคำแนะนำการเตรียมต้นฉบับบทความ
5. วารสารมีค่าค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์เผยแพร่เป็นเงิน 3,500 บาท โดยแบ่งจ่ายเป็น 2 ครั้ง ดังนี้
ครั้งที่ 1 จำนวน 2,500 บาท ชำระเมื่อได้รับการพิจารณาเชิงคุณภาพเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ
ครั้งที่ 2 จำนวน 1,000 บาท ชำระเมื่อผ่านกระบวนการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและเห็นชอบให้ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต (หมายเหตุ เมื่อชำระค่าธรรมเนียมแล้วทางวารสารฯ จะไม่คืนค่าธรรมเนียมดังกล่าวในทุกกรณี)

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับบทความ (Author Guidelines)

กองบรรณาธิการได้กำหนดระเบียบในการจัดทำเพื่อให้ผู้เขียนยึดเป็นแนวทางในการดำเนินการสำหรับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต ดังนี้

1. การตั้งค่าหน้ากระดาษของบทความต้นฉบับ ใช้ขนาด B5 โดย และระยะห่างของขอบกระดาษด้านบนและด้านซ้าย 1.2 นิ้ว ด้านล่างและด้านขวา 0.7 นิ้ว
2. ท้ายกระดาษ ประกอบด้วย เลขหน้า ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งขีดขอบกระดาษด้านขวาล่าง
3. บทความต้นฉบับมีความยาวอยู่ระหว่าง 10-12 หน้า รวมตาราง รูปภาพ และเอกสารอ้างอิง

4. เนื้อหาเป็นภาษาไทยเท่านั้น ควรแปลคำศัพท์ภาษาอังกฤษเป็นภาษาไทยให้มากที่สุด (ในกรณีที่คำศัพท์ภาษาอังกฤษเป็นคำเฉพาะที่แปลไม่ได้หรือแปลแล้วไม่ได้ความหมายชัดเจนให้ใช้คำศัพท์ภาษาอังกฤษได้) และควรใช้ภาษาที่ผู้อ่านเข้าใจง่าย ชัดเจน หากใช้คำย่อต้องเขียนคำเต็มไว้ครั้งแรกก่อน ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ขนิตตัวธรรมดา จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ พิมพ์ชิดขอบกระดาษทั้งสองด้าน รูปภาพและตารางควรวางใกล้กับตำแหน่งที่ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรก โดยขนาดของรูปภาพควรมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 300 pixel (บันทึกเป็น .png, .gif หรือ .tif) และแนบไฟล์ต้นฉบับของรูปแยกมาด้วย

5. หัวข้อเรื่องภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ขนิตตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย

6. หัวข้อย่อยภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ขนิตตัวหนา ระบุหมายเลขหน้าหัวข้อย่อยโดยเรียงตามลำดับหมายเลขตำแหน่ง ให้ Tab 0.75 เซนติเมตรจากอักษรตัวแรกของหัวข้อเรื่อง

การเรียงลำดับเนื้อหาและรายละเอียดส่วนต่าง ๆ ในต้นฉบับ

1. ชื่อเรื่องภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ขนิตตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด (ไม่ควรเกิน 100 ตัวอักษร)

2. ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ขนิตตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด โดยขึ้นต้นทุกคำด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่ ยกเว้นคำบุพบท

3. ชื่อผู้เขียนภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ขนิตตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ได้ชื่อเรื่อง ให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำหนดเป็นตัวยก กำกับท้ายนามสกุล ของผู้ประสานงาน

4. ชื่อผู้เขียนภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ขนิตตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ได้ชื่อเรื่อง ให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำหนดเป็นตัวยก กำกับท้ายนามสกุล ของผู้ประสานงาน

5. หน่วยงานหรือสังกัดที่ทำวิจัยเป็นภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 12 ขนิตตัวเอียง ตำแหน่ง กึ่งกลางหน้ากระดาษได้ชื่อผู้เขียน ให้ใส่ตัวเลขยกกำกับท้ายนามสกุล และด้านหน้าหน่วยงานหรือสังกัด

6. หน่วยงานหรือสังกัดที่ทำวิจัยเป็นภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 12 ชนิดตัวเอียง ตำแหน่ง กึ่งกลางหน้ากระดาษใต้ชื่อผู้เขียน ให้ใส่ตัวเลขยกกำกับท้ายนามสกุล และด้านหน้าหน่วยงานหรือสังกัด

7. เชิงอรรถ กำหนดเชิงอรรถในหน้าแรกของบทความ ให้ใส่เครื่องหมายดอกจันตามด้วยข้อความ ดังนี้

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author) โดยใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา และระบุ E-mail: โดยใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวเอียง

8. หัวข้อบทคัดย่อภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้ายใต้ที่อยู่/หน่วยงานสังกัดของผู้เขียน เนื้อหาบทคัดย่อไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ บรรทัดแรก เว้น Tab 1 เซนติเมตร จากขอบกระดาษด้านซ้าย และพิมพ์ให้ชิดขอบทั้งสองด้าน (ควรเขียนสรุปสาระสำคัญความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือ 15 บรรทัด)

9. หัวข้อคำสำคัญภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย ใต้บทคัดย่อภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดาไม่เกิน 4 คำ เว้นระหว่างคำด้วยการเคาะ 1 ครั้ง

10. หัวข้อบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้ายใต้ที่อยู่/หน่วยงานสังกัดของผู้เขียน เนื้อหาบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ บรรทัดแรก เว้น Tab 1 เซนติเมตร จากขอบกระดาษด้านซ้าย และพิมพ์ให้ชิดขอบทั้งสองด้าน (ควรเขียนสรุปสาระสำคัญความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือ 15 บรรทัด)

11. หัวข้อคำสำคัญภาษาอังกฤษ (Keyword) ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย ใต้บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา ไม่เกิน 4 คำ เว้นระหว่างคำด้วย Comma “,”

12. ส่วนเนื้อหาในบทความประกอบด้วย

12.1 บทนำ บอกถึงที่มา นำไปสู่การศึกษาวิจัย รวมถึงการอ้างอิงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

12.2 วัตถุประสงค์ ชี้แจงจุดมุ่งหมายของงานวิจัย

12.3 ระเบียบวิธีการวิจัย ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล

12.4 ผลการวิจัยควรนำเสนอสิ่งที่ได้จากการศึกษา ในรูปแบบตาราง กราฟ หรือแผนภาพ ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้ายและขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ไม่ควรมีเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพที่ชัดเจน (ความละเอียดอย่างน้อย 300 pixel) และมีคำบรรยายใต้รูป (ดัง Template) กรณีที่ผู้เขียนต้นฉบับประสงค์จะใช้ภาพสีจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายดังกล่าว

12.5 อภิปรายผลการวิจัย ควรมีการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ เพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

12.6 สรุปผลการวิจัย ควรให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์และระเบียบวิธีการวิจัย

12.7 กิตติกรรมประกาศ ควรกล่าวถึงแหล่งทุนสนับสนุนงานวิจัยอย่างกระชับ

12.8 การอ้างอิง ชิดขอบซ้าย เนื้อหาทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษใช้ TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งชื่อผู้เขียนชิดขอบซ้ายหากยาวเกิน 1 บรรทัด ให้ตัวอักษรในบรรทัดถัดไปตรงกับตัวอักษรแรกของชื่อในบรรทัดแรก การอ้างอิงเอกสารให้เขียนตามแบบ APA (American Psychological Association) โดย

12.8.1 การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา

การอ้างอิงแทรกในเนื้อหาให้ใส่เลขลำดับการอ้างอิงอยู่ในวงเล็บ [...] เช่น แผ่นเปลือกโลกมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาและแบ่งการเคลื่อนที่ของแผ่นโลกออกเป็น 3 แบบ คือ การชนกันการแยกจากกัน และแบบรอยเลื่อน [1]

12.8.2 การอ้างอิงท้ายบทความ

การเขียนรายการอ้างอิงท้ายบทความให้เรียงลำดับรายการตามการอ้างอิงในบทความ - ลงชื่อผู้แต่งทุกคน โดยค้นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างผู้แต่งแต่ละคน และให้ใช้คำว่า “และ” นำหน้าผู้แต่งคนสุดท้ายในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย หรือใช้ “&” นำหน้าผู้แต่งคนสุดท้ายในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ

กรณีชื่อผู้แต่งชาวไทย: ชื่อและนามสกุลเต็ม

กรณีชื่อผู้แต่งชาวต่างประเทศ: นามสกุล, ตัวอักษรย่อของชื่อต้นและชื่อกลาง

- ปีที่พิมพ์อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ (...) หากอยู่ในระหว่างการพิมพ์ ให้ใช้ “(อยู่ระหว่างการพิมพ์)” ในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย หรือใช้ “(in press)” ในกรณีเอกสารอ้างอิงนั้นเป็นภาษาอังกฤษ

- ชื่อเรื่องที่เป็นภาษาอังกฤษให้ขึ้นต้นด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะคำแรก อักษรตัวแรกของชื่อเรื่องย่อและ/หรือชื่อเฉพาะ (ถ้ามี) ใช้อักษรตัวเอียงในการพิมพ์

ตัวอย่างการอ้างอิง

1) บทความวารสารวิชาการ

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, ปีที่(ฉบับที่), เลขหน้าที่ปรากฏบทความในวารสาร.

[1] นรภัทร น้อยหลบลู, และชวิศร ปุคกะภาค. (2559). การพัฒนากังหันเติมอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 35(2), 141-149.

[2] Lu, Y., & Larock, R. C. (2011). Synthesis and properties of grafted latices from a soybean oil-based waterborne polyurethane and acrylics. Journal of Applied Polymer Science, 119, 3305-3314.

[3] Tandra, R., Sahai, A., & Veeravalli, V. (2011). Unified space-time metrics to evaluate spectrum sensing. IEEE Communication Magazine, 49(3), 54-61.

2) หนังสือ

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อเรื่อง, ครั้งที่พิมพ์. สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

[1] บพิธ จารุพันธุ์, และนันทพร จารุพันธุ์. (2558). สัตววิทยา, พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] Hickman, C. P. Jr., Roberts, L. S., Keen, S. L., Eisenhour, D. J., Larson, A., & l'Anson, H. (2014). Integrated principles of zoology, 6th ed. New York: McGraw-Hill.

3) รายงานการวิจัย

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง (รายงานการวิจัย). สถานที่พิมพ์: ชื่อหน่วยงานหรือสังกัด.

[1] จิตาภรณ์ ภูมิไชย, กฤษดา สังข์สิงห์, และเฉลิมพล ภูมิไชย. (2557). การศึกษาลักษณะทางกายภาพของสมบัติไม้ยางพารา (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

4) วิทยานิพนธ์

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง (วิทยานิพนธ์ ปริญญาตรี/มหาบัณฑิต หรือ Doctoral/Master's thesis). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

[1] พรธนี สอาดฤทธิ์. (2545). ความหลากหลายและการแพร่กระจายของคลาโดเซอราในแหล่งน้ำจืด จังหวัดตรัง (วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

5) เว็บไซต์

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. [ออนไลน์], สืบค้นจาก ระบุ URL ของเว็บไซต์ (วัน เดือน ปีที่สืบค้น).

[1] สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. (2562). องค์ความรู้เกี่ยวกับแมงกะพรุนพิษในประเทศไทย. [ออนไลน์], สืบค้นจาก https://km.dmcr.go.th/th/c_247/d_14183 (6 พฤศจิกายน 2562).

การส่งต้นฉบับ

ผู้เขียนส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ในระบบ ThaiJo2.0

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/pkruscitech/index>

การประเมิน และลิขสิทธิ์

1. การอ่านประเมินบทความต้นฉบับ ต้นฉบับจะได้รับการอ่านประเมิน โดยผู้ทรงคุณวุฒิจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยในสาขาวิชานั้น ๆ จำนวน 3 ท่านต่อเรื่อง และส่งผลการประเมินคืนผู้เขียนเพื่อปรับปรุง แก้ไข หรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่แล้วแต่กรณี ทั้งนี้กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิต้องเป็นบุคคลที่อยู่คนละหน่วยงานกับผู้เขียนไม่น้อยกว่า 2 ใน 3 และผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมดต้องไม่เป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อผู้เขียน หรือบทความวิจัยดังกล่าว

2. ลิขสิทธิ์ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ห้ามนำข้อความทั้งหมดหรือบางส่วนไปพิมพ์ซ้ำ เว้นเสียแต่ว่าจะได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ตเป็นลายลักษณ์อักษร

3. เนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

ขอบบนและขอบซ้าย 1.2 นิ้ว
ขอบล่างและขอบขวา 0.7 นิ้ว

รูปแบบการเตรียมต้นฉบับบทความวิจัย
PKRU SciTech Journal

ชื่อเรื่องภาษาไทย (TH SarabunPSK, 16 pt, ตัวหนา, ยาวไม่เกิน 2 บรรทัด)

ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ (ขึ้นต้นทุกคำด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่ยกเว้นคำบุพบท)

ชื่อ นามสกุล¹ ชื่อ นามสกุล¹ และ ชื่อ นามสกุล²

Full name¹, Full name¹, & Full name²

(TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา ใช้เครื่องหมาย * ตัวยก หลังนามสกุลของผู้ประสานงาน)

ที่อยู่หน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK, 12 pt, ตัวเอียง)

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

¹Science Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University

²Environmental Science Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University

บทคัดย่อ (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา)

เนื้อหาบทคัดย่อ (TH SarabunPSK, 14 pt, Tab 1 cm) ความยาวสูงสุดไม่ควรเกิน 250 คำ
เขียนเพียง 1 ย่อหน้า และไม่มีการเขียนอ้างอิงในส่วนของบทคัดย่อ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำสำคัญ (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา): ***** (ไม่เกิน 4 คำ) (TH SarabunPSK, 14 pt)

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author) (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา)

E-mail: (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวเอียง)

E-mail: ผู้วิจัยร่วม ทุกคน (อีเมลของผู้วิจัยร่วมนี้จะไม่ปรากฏในบทความวิจัย แต่ทางวารสาร
จำเป็นต้องบันทึกอีเมลของนักวิจัยทุกคนในระบบ ThaiJo)

Abstract (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา)

เนื้อหาบทคัดย่อ (TH SarabunPSK, 14 pt, Tab 1 cm) ความยาวสูงสุดไม่ควรเกิน 250 คำ เขียนเพียง 1 ย่อหน้า และไม่มีการเขียนอ้างอิงในส่วนของบทคัดย่อ

Keywords(TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา): *****, ***** (ไม่เกิน 4 คำ) (TH SarabunPSK, 14 pt) **keywords** เป็นตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อคน ชื่อสถานที่ และคำศัพท์เฉพาะ (technical term)

ข้อแนะนำ

1. บทความวิจัยควรมีความยาวไม่เกิน 10-12 หน้ากระดาษ B5
2. ลักษณะการเขียนเป็นรูปแบบ 1 คอลัมน์
3. หัวข้อ ใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา
4. เนื้อหาใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวปกติ
5. Line and Paragraph Spacing ให้ใช้ 1.0
6. การอ้างอิงให้ใช้ระบบตัวเลขอยู่ภายใน [...] และจะต้องเรียงลำดับเช่นนี้ในส่วนของการอ้างอิง

ท้ายบทความ

โดยมีรายละเอียดหัวข้อ ดังนี้

บทนำ (TH SarabunPSK, 14 pt ตัวหนา)

บทนำสามารถเขียนได้มากกว่า 1 ย่อหน้า โดยอธิบายถึงที่มา ปัญหาวิจัย คำถามวิจัย และการทบทวนวรรณกรรม (literature review) โดยไม่ต้องแยกเป็นหัวข้อย่อย

การอ้างอิงในเนื้อหา ใช้ระบบตัวเลขอยู่ภายใน [...] (TH SarabunPSK, 14 pt) เช่น [1] หรือ [1,2,4] หรือ [1-3] โดยตัวเลขจะเป็นลำดับของการอ้างอิง และจะต้องเรียงลำดับเช่นนี้ในส่วนของการอ้างอิงท้ายบทความ

วัตถุประสงค์ (TH SarabunPSK, 14 pt ตัวหนา)

1.(TH SarabunPSK, 14 pt)

2.(TH SarabunPSK, 14 pt)

วิธีดำเนินการวิจัย (TH SarabunPSK, 14 pt ตัวหนา)

หัวข้อย่อย

ถ้าผู้เขียนต้องการเขียนหัวข้อย่อย ให้ทำตัวหนา แต่ต้องไม่ขีดขอบเป็นแนวเดียวกับหัวข้อหลัก
รูปภาพควรวางใกล้กับตำแหน่งที่ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรก ขนาดของรูปภาพควรมีความละเอียดไม่น้อย
กว่า 300 dpi (โดยบันทึกเป็น .png .gif หรือ .tif)

.....
.....

หัวข้อย่อย

.....
..... (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ภาพควรวางใกล้ตำแหน่งที่มีการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก

ผลการวิจัย

หัวข้อย่อย

.....
.....
..... (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1

No.	Heading 1	Heading 2	Heading 3
1	Data 1.1	Data 1.2	Data 1.3
2	Data 2.1	Data 2.2	Data 2.3
3	Data 3.1	Data 3.2	Data 3.3
4	Data 4.1	Data 4.2	Data 4.3

ข้อเสนอแนะ

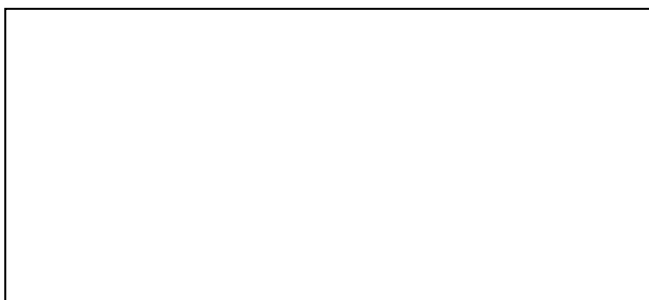
1. ตารางควรวางใกล้ตำแหน่งที่มีการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก
2. ตารางควรจัดตัวอักษรให้อยู่ตรงกลาง
3. เส้นตารางใช้เฉพาะแนวนอน

หัวข้อย่อย

.....

.....

..... (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ภาพควรวางใกล้ตำแหน่งที่มีการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก

อภิปรายผลการวิจัย

อภิปรายผลการวิจัยสามารถเขียนได้มากกว่า 1 ย่อหน้า และสามารถมีหัวข้อย่อยได้ โดยอธิบายว่าทำไมจึงได้ผลการวิจัยเป็นเช่นนั้น สอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้หรือไม่อย่างไร อธิบายถึงประโยชน์ การประยุกต์ใช้ ปัญหาและอุปสรรค หรือโจทย์วิจัยที่จะต่อยอดจากงานวิจัยครั้งนี้ เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

.....
.....
.....

กิตติกรรมประกาศ

.....
.....
.....

เอกสารอ้างอิง เรียงลำดับตามการกล่าวถึงในบทความ

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น บทความในวารสารวิชาการ (research/review article)

- [1] นรภัทร น้อยหลบลู, และชวิศร ปุคะภาค. (2559). การพัฒนากังหันเดิมอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 35(2), 141-149.
- [2] Lu, Y., & Larock, R. C. (2011). Synthesis and properties of grafted latices from a soybean oil-based waterborne polyurethane and aryls. *Journal of Applied Polymer Science*, 119, 3305-3314.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น หนังสือ (book) และ บทในหนังสือ (book chapter)

- [3] บพิธ จารุพันธุ์, และนันทพร จารุพันธุ์. (2558). *สัตววิทยา (พิมพ์ครั้งที่ 7)*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] Hickman, C. P. Jr., Roberts, L. S., Keen, S. L., Eisenhour, D. J., Larson, A., & l'Anson, H. (2014). *Integrated principles of zoology (6th edition)*. New York: McGraw-Hill.
- [5] Agrawal, R., Mannila, H., Srikant, R., Toivonen, H., & Verkamo, A. I. (1996). Fast discovery of association rules (pp. 307-328). In Fayyad, U. M., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., & Uthurusamy, R. (eds). *Advances in knowledge discovery and data mining*. AAAI Press, California.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานการวิจัย (research report)

- [6] วิฑิตกรณ ภูมิไชย์, กฤษดา สังข์สิงห์, และเฉลิมพล ภูมิไชย์. (2557). *การศึกษาลักษณะทางกายภาพของสมบัติไม้ยางพารา*. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น วิทยานิพนธ์ (thesis)

[7] พรรณี สอาดฤทธิ์. (2545). ความหลากหลายและการแพร่กระจายของคลาโดเซอราในแหล่งน้ำจืด จังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (proceedings)

[8] วันวิสาข์ ชิดเชื้อ, และพงษ์รัตน์ คำรงโรจน์วัฒนา. (2553). อนุกรมวิธานของหอยทากบกในเขตอำเภอแกลง จังหวัดระยอง และอำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี (หน้า 161-170). ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48. กรุงเทพฯ.

[9] Kumlom, T., & Choocherd, C. (2020). Quantity of particulate TSP and PM10 in cafeteria area Phuket Rajabhat University, Thailand using the high volume air sampler (pp 66 - 78). In *International Conference Sharing interlocal adaptation lessons: Climate Change Adaptations and Development in East and Southeast Asia* Vietnam Institute of Economics (VIE). Vietnam.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น เว็บไซต์ (website)

[10] สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. (2562). องค์ความรู้เกี่ยวกับแมงกะพรุนพิษในประเทศไทย. [ออนไลน์], สืบค้นจาก https://km.dmc.go.th/th/c_247/d_14183 (6 พฤศจิกายน 2562).

ข้อมูลเสริม (supplementary data) (ถ้ามี)

.....
.....
.....

วารสารวิชาการชาชนิเทศ มรภ.ภูเก็ต
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
21 ม. 6 ต.เทพกระษัตรี ต.รัษฎา อ.เมือง จ.ภูเก็ต 83000
โทรศัพท์ : 076 - 523094 - 7 ต่อ 4000
<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/pkruscitech/index>
E-mail : researchscience@pkru.ac.th

