

การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับจิ้งหรีด

ด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติแบบพีไอดี

วิสิทธิ์ ลุ่มชนะนาว์¹, ธนกร ดุจเพ็ญ²

^{1,2} สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

Email: wisit.lc@bru.ac.th¹

Received: Oct 30, 2024

Revised: Dec 03, 2024

Accepted: Jan 21, 2025

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติโดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพ่นฝอยขนาดเล็ก และเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมสภาวะการอบแห้ง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยวัสดุและอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบ PID อุปกรณ์ทำความร้อนมีกำลังไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์ จำนวน 4 ตัว อุปกรณ์เทอร์โมคัปเปิลชนิด PT100 เพื่อวัดค่าอุณหภูมิภายในถังอบแห้ง ขั้นตอนการทดลองโดยกำหนดค่า Set Point (SP) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของตัวควบคุมแบบ PID ตั้งค่าอุณหภูมิทดลอง 4 ระดับคือ 50°C, 70°C, 100°C และ 120°C ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ 1) ผลทดลองด้านตัวควบคุมอุณหภูมิพบว่าเมื่อกำหนดค่า SP ในแต่ละช่วงระดับอุณหภูมิ พบว่าค่าอุณหภูมิภายในถังอบแห้งมีค่าเริ่มต้นทดลองที่ใกล้เคียงกัน 30°C-35°C และผลทดลองตัวควบคุมพบว่ามีค่าความร้อนเกินจุด (Overshoot) ช่วงเวลาเข้าสู่จุด SP มีค่าแตกต่างกัน ซึ่งจะอยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 6.20-16.10 นาที 2) ผลทดลองด้านการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าชั่วขณะที่ตัวเหนี่ยวนำความร้อนทำงาน พบว่าเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นกินกระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1.8-17.5 แอมแปร์ ซึ่งจะแปรผันตามค่า SP ที่ปรับสูงขึ้น และ 3) ผลทดลองด้านการอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับจิ้งหรีด ขั้นตอนการทดลองโดยกำหนดค่าอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 80, 100 และ 120 มีค่าน้ำหนักก่อนอบแห้ง 1,000 กรัม พบว่าหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งพ่นฝอยมีค่าความชื้นมาตรฐานตามระดับอุณหภูมิที่กำหนดได้ว่าค่า SP80=51.25%w.b, 33.88%d.b, SP100 =21.23%w.b, 17.51%d.b และ SP120=6.61%w.b, 6.20%d.b ตามลำดับผลการทดลอง

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย, จิ้งหรีด, ระบบอัตโนมัติ, ตัวควบคุมแบบพีไอดี

The Development of a Spray Dryer for Crickets with an Automatic Temperature Control System Using PID

Wisit Lumchanow¹, Thanakorn Dujpen²

^{1,2} Department of Electrical and Electronics Technology,
Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University
Email: wisit.lc@bru.ac.th¹

Received: Oct 30, 2024

Revised: Dec 03, 2024

Accepted: Jan 21, 2025

Abstract

This research article presents an automatic temperature control system using a PID controller. The objectives of the study were to design and construct a small-scale spray dryer and to performance test of the drying process control system. The research equipment included PID temperature control materials and devices, a heat source with four 2,000-watt heating coils, and a PT100 thermocouple to measure the temperature inside the drying chamber. In the experimental procedure, a set point (SP) was established to test the performance of the PID controller, with the temperature set at four levels: 50°C, 70°C, 100°C, and 120°C. The research results are divided into three areas, 1) temperature control: When setting the SP (Set Point) for each temperature range, the initial temperature inside the drying chamber was found to be similar, ranging from 30°C to 35°C. Regarding the performance of the controller, an overshoot (exceeding the set temperature) was observed, and the time to reach the SP varied between 6.20 to 16.10 minutes. 2) Electrical Performance: The tests measuring voltage and current during the heating process revealed that the developed dryer consumed between 1.8 to 17.5 amps, depending on the SP setting, with higher SP levels resulting in increased electrical consumption. And 3) Spray Drying of Crickets: For the spray drying experiment on crickets, three temperature levels were set: 80°C, 100°C, and 120°C. The initial weight of the crickets before drying was 1,000 grams. After the spray drying process, the moisture content at each temperature level was as follows: SP80= 51.25%w.b, 33.88% d.b, SP100=21.23%w.b, 17.51%d.b, SP120=6.61%w.b, 6.20%d.b.

Keywords : Spray Drying Machine, Cricket, Automatic System, PID Controller

บทนำ

บทความวิจัยฉบับนี้ได้มุ่งเน้นในการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยขนาดเล็กที่สามารถนำไปใช้ในงานด้านอบแห้งและสำหรับโครงการวิจัยนี้ได้ทดสอบกับการอบแห้งจังหวัดเพื่อเป็นกรณีศึกษาของวัตถุดิบจำพวกแมลง และเมื่อไม่นานมานี้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์มีนโยบายสนับสนุนให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการผลิตแมลงสำหรับเป็นอุตสาหกรรมอาหารใหม่ [1] และการขับเคลื่อนการวิจัยด้านสัตว์เศรษฐกิจด้านแมลงจังหวัดเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมมากในการนำมารับประทานเป็นอาหารของคนไทยนับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และหลายประเทศในเอเชียรวมถึงชาวยุโรปเริ่มหันมารับประทานจังหวัด [2] และคุณค่าทางโภชนาการของแมลงจังหวัดมีโปรตีนร้อยละ 38.6-65.5 และมีไขมันร้อยละ 4.70-34.19 ของน้ำหนักแห้งใน 100 กรัม [3] และเมื่อไม่นานมานี้องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) [4] ได้ระบุว่าแมลงเป็นแหล่งอาหารในอนาคตของโลก โดยคาดการณ์ว่าจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น [5] อย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้มีความต้องการบริโภคเนื้อสัตว์ที่เป็นแหล่งโปรตีนเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 ภายใน 15 ปี ในตลาดการรับประทานแมลงทั่วโลกจะมีอัตราขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 23.8 ระหว่างปี พ.ศ.2561-2566 และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1]

จากหลักการดังกล่าวผู้วิจัยได้ลงสำรวจพื้นที่กลุ่มเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงจังหวัดในจังหวัดบุรีรัมย์เพื่อตอบสนองนโยบายขับเคลื่อน และสอดคล้องกับยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพื่อพัฒนาท้องถิ่น (พ.ศ.2566-2570) และสอดคล้องกับแผนพัฒนาจังหวัด 5 ปี ของจังหวัดบุรีรัมย์ที่ต้องการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ให้มีความต่อเนื่องและยั่งยืน โดยมีพื้นที่วิจัยอยู่ใน 23 อำเภอของจังหวัดบุรีรัมย์ ผลสำรวจข้อมูลเบื้องต้นพบว่ามีความ

ผู้เพาะเลี้ยงจังหวัดเชิงธุรกิจทั้งแบบรวมกลุ่มและแบบธุรกิจครอบครัวเป็นจำนวนมาก ซึ่งช่องทางการจัดจำหน่ายแมลงจังหวัดในปัจจุบันส่วนใหญ่จำหน่ายในชุมชน หรือหากขายไม่หมดแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการเก็บในตู้แช่รอจัดจำหน่ายจนกว่าจะขายหมด ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาและอุปสรรคในการขาย ผลจากการสำรวจพบว่ากลุ่มเกษตรกรต้องการองค์ความรู้ในการส่งเสริมการขายและยังขาดเทคโนโลยี องค์ความรู้ในการสร้างมูลค่าเพิ่มจากแมลงจังหวัดในการขยายตลาดการขาย จังหวัดไปยังกลุ่มคนที่ไม่นิยมรับประทานแมลงจังหวัดทอดหรือที่มีลักษณะเป็นตัวแมลงหรือในช่วงที่จัดจำหน่ายไม่ได้จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้นกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงจังหวัดและผู้วิจัยได้หาแนวทางร่วมกันในการสร้างมูลค่าเพิ่มจากแมลงจังหวัด โดยมีแนวคิดที่จะแปรรูปผลิตภัณฑ์จังหวัดด้วยการพัฒนานวัตกรรมเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย [6-7] โดยเป็นเครื่องมือและนวัตกรรมชุมชนในการสร้างมูลค่าเพิ่มจากแมลงจังหวัดผลิตภัณฑ์ใหม่ [8-9] เพื่อขยายตลาดและเพิ่มศักยภาพการแข่งขันทางการตลาดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพ่นฝอยสำหรับจังหวัด
2. เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพระบบควบคุมอุณหภูมิของสภาวะการอบแห้ง

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนานวัตกรรมเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ ผู้วิจัยได้ดำเนินงานตามกระบวนการวิจัยและพัฒนา

(Research and Development) ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานและรายละเอียดตามขั้นตอนดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย จำเป็นต้องใช้เครื่องมือมาช่วยในการจัดรูปแบบข้อมูลให้มีความพร้อมและการวิเคราะห์ผลการศึกษาเพื่อตอบโจทย์วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ โดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์เครื่องคอมพิวเตอร์ใช้เพื่อนำเข้าข้อมูลการเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นอุปกรณ์ชิปไอซีใช้สำหรับประมวลผลการควบคุมแบบอัตโนมัติ อุปกรณ์เซนเซอร์วัดความชื้นภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย อุปกรณ์ฮีตเตอร์ไฟฟ้า อุปกรณ์ควบคุม และอุปกรณ์สายสัญญาณ

2. การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้ง

การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย มีองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการทั้งในด้านทฤษฎีและอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่าง ๆ [6] มาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดนวัตกรรมโดยมีขั้นตอน ดังนี้

2.1 ขั้นตอนออกแบบและหลักการ
ทำงานของตัวควบคุมอุณหภูมิความร้อนภายในถึงอบแห้ง ได้จากการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-integral-derivative controller; PID) [10-11] ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้อุปกรณ์ตัวควบคุมแบบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบพีไอดี ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ควบคุมอุณหภูมิ 0°C - 1,300°C (องศาเซลเซียส) ในงานอุตสาหกรรม มีขนาดเล็ก ราคาถูก และมีประสิทธิภาพในการควบคุมได้อย่างถูกต้อง ตัวควบคุมการทำงานให้มีความแม่นยำและเสถียรโดยการคำนวณหาค่าควบคุม

จากความผิดพลาดระหว่างค่าที่ต้องการ (Set point) และค่าที่วัดได้ (Process Variable) องค์ประกอบของสมการ Proportional (P) เป็นค่าที่ได้จากสัดส่วนความผิดพลาด ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ต้องการและค่าจริง โดยการคูณค่าความผิดพลาดนี้ด้วยค่าเกนสัดส่วน (Proportional Gain, k_p) ส่วน Integral (I) เป็นค่าที่ได้จากผลรวมของความผิดพลาดในอดีตเมื่อเวลาผ่านไป เพื่อแก้ไขความผิดพลาดที่สะสมในระยะยาวโดยคูณด้วยค่าเกนอินทิกรัล (Integral Gain, k_i) และส่วน Derivative (D) เป็นค่าที่ได้จากอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดในปัจจุบัน เพื่อทำนายและแก้ไขความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยคูณด้วยค่าเกนอนุพันธ์ (Derivative Gain, k_d) โดยสามารถพิจารณาสมการ [12-13] ดังนี้

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots(1)$$

เมื่อ $u(t)$ คือ ค่าสัญญาณควบคุมด้านเอาต์พุตของตัวควบคุม

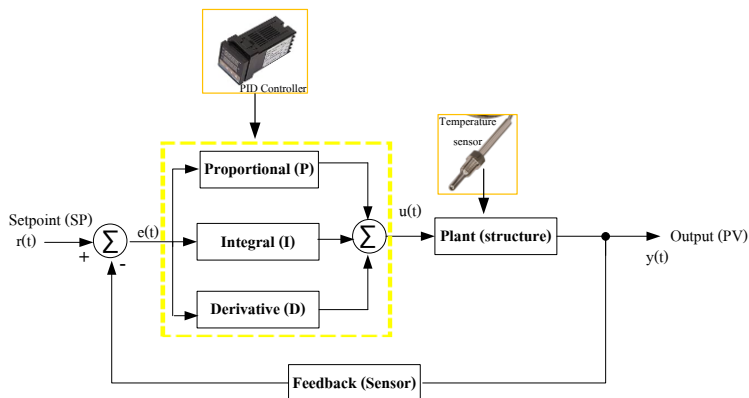
$e(t)$ คือ ค่าผิดพลาดในเวลาปัจจุบัน

k_p คือ ค่าสัดส่วนเกน (Proportional Gain)

k_i คือ ค่าอินทิกรัลเกน (Integral Gain)

k_d คือ ค่าอนุพันธ์เกน (Derivative Gain)

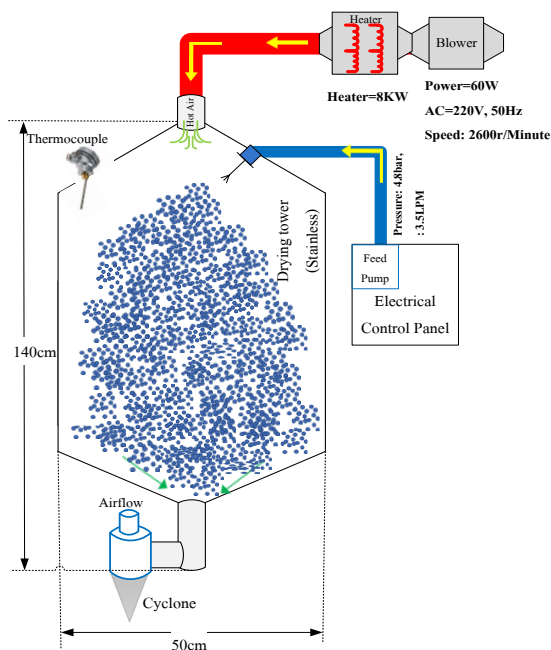
แสดงกระบวนการทำงานของตัวควบคุมแบบป้อนกลับดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบควบคุมแบบ PID

2.2 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องอบแห้ง
การออกแบบถึงอบแห้งจะกำหนดขนาด
และรูปร่างของถึงอบแห้งให้สอดคล้องกับการไหล
ของอากาศและการกระจายของฝอยเพื่อให้การ
อบแห้งเป็นไปอย่างทั่วถึง สำหรับการเลือกแหล่ง
ความร้อนของโครงการวิจัยนี้เลือกใช้อุปกรณ์

ฮีตเตอร์ไฟฟ้ามีขดลวดความร้อน ขนาด 8
กิโลวัตต์ แรงดัน 220 โวลต์ ชุดขดลวด ความ
ร้อนทั้งหมดจะถูกติดตั้งภายในถังอบขนาด
50×140 เซนติเมตร แสดงโครงสร้างดังรูปที่
2



รูปที่ 2 แบบจำลองโครงสร้างของเครื่องมือที่สร้างขึ้น

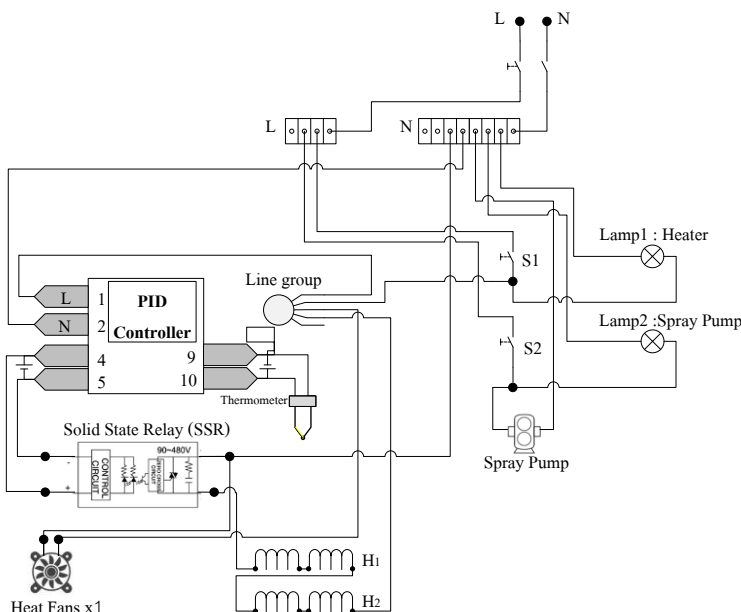
2.3 ขั้นตอนการออกแบบวงจรควบคุมระบบการทำงานประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เครื่องมือที่สร้างขึ้นใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ มีรายละเอียดการต่อวงจรดังนี้

2.3.1 ระบบการเปิด-ปิด (On-Off) ของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้สวิทช์ S1 เป็นชุดควบคุมเปิด-ปิด การทำงานของชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และสวิทช์ S2 เป็นควบคุมเปิด-ปิด การทำงานของชุดปั๊มพ่นฝอย

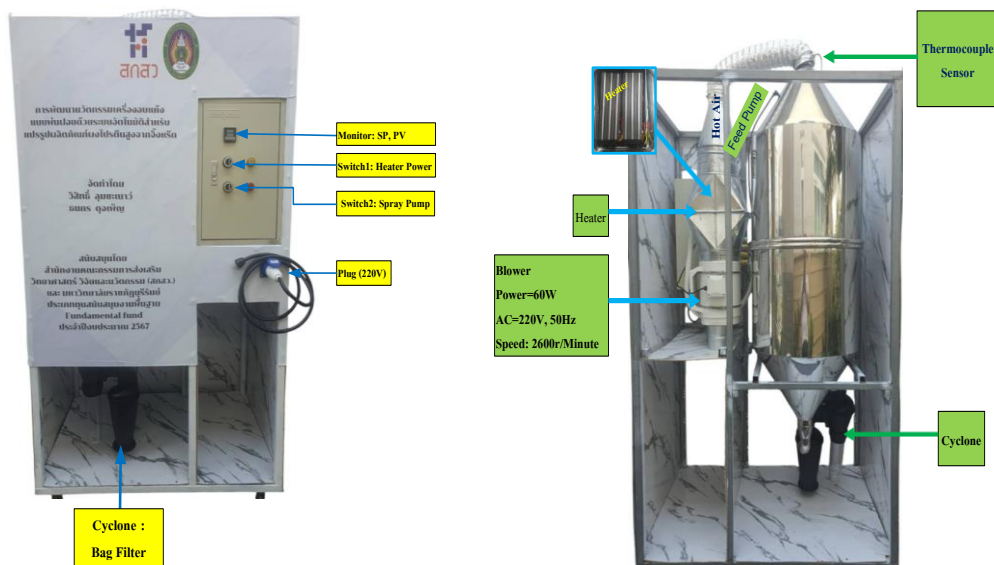
2.3.2 ขั้นตอนการต่อวงจรสำหรับเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมอุณหภูมิ ประกอบด้วยขาอุปกรณ์สำหรับต่อใช้งานจำนวน 6 ขา เรียงตามลำดับ คือขาที่ 1 ต่อกับสาย Line (L) ขาที่ 2 ต่อกับสาย Neutral (N) ขาที่ 4 ต่อกับขั้วบวก (+) อุปกรณ์โซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay; SSR) ขาที่ 5 ต่อกับขั้วลบ (-) ของ SSR ขาที่ 9 ต่อกับขั้วลบ (-) อุปกรณ์เทอร์โมคัปเปิลเซนเซอร์ และขาที่ 10 ต่อกับขั้วบวก (+) ของเทอร์โมคัปเปิล

2.3.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ SSR เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ที่ไม่มีหน้าสัมผัสในการตัด-ต่อวงจร (Contact) โดยใช้หลักการของเซมิคอนดักเตอร์ (Semiconductor) ที่ไม่มีส่วนเคลื่อนที่จึงไม่มีเสียงในขณะเวลาตัด-ต่อของหน้าสัมผัส ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับตัวเหนี่ยวนำความร้อน (Induction Heat) การเหนี่ยวนำความร้อนแม่เหล็กโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดเหนี่ยวนำ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้เหนี่ยวนำขึ้นโลหะให้เกิดความร้อนโดยใช้การต่อวงจรแบบอนุกรมกันจำนวน 4 ตัว ๆ ละ 2 กิโลวัตต์

แสดงผลการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 3 และลักษณะโครงสร้างตัวเครื่องดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 วงจรควบคุมระบบการทำงานของเครื่อง



รูปที่ 4 โครงสร้างตัวเครื่องอบแห้ง

2.4 การคำนวณหาค่าความชื้นสมมูลเป็นตัวบอกรปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบโดยการเปรียบเทียบระหว่างวัตถุดิบที่มีความชื้นฐานเปียกกับวัตถุดิบที่มีความชื้นฐานแห้ง โดยมีวิธีการคำนวณ [14] ดังนี้การคำนวณหาค่าความชื้นสมมูลเป็นตัวบอกรปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบโดยการเปรียบเทียบระหว่างวัตถุดิบที่มีความชื้น

2.5 การคำนวณหาค่าความชื้นสมมูลเป็นตัวบอกรปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบโดยการเปรียบเทียบระหว่างวัตถุดิบที่มีความชื้นฐานเปียกกับวัตถุดิบที่มีความชื้นฐานแห้ง โดยมีวิธีการคำนวณ [14] ดังนี้

1) ความชื้นฐานเปียก (wet basis; w.b)

$$M_{w.b}(\%) = \left(\frac{W_w - d}{W_w} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ

$M_{w.b}(\%)$ คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

W_w คือ มวลวัตถุดิบเปียก (kg) หรือค่าน้ำหนักที่หายไปหลังจากผ่านการอบแห้ง

d คือ มวลแห้งของวัตถุดิบ (kg) หรือค่าน้ำหนักหลังจากผ่านการอบแห้ง

2) ความชื้นฐานแห้ง (dry basis; d.b)

$$M_{d.b}(\%) = \left(\frac{W_d - d}{d} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ

$M_{d.b}(\%)$ คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

W_d คือ มวลวัตถุดิบเปียก (kg) หรือค่าน้ำหนักที่หายไปหลังจากผ่านการอบแห้ง

d คือ มวลแห้งของวัตถุดิบ (kg) หรือค่าน้ำหนักหลังจากผ่านการอบแห้ง

จากสมการ 2 และ 3 อัตราความชื้นสามารถแสดงได้ด้วยค่าปริมาณน้ำต่อมวลรวมของมาตรฐานเปียกหรือปริมาณน้ำต่อปริมาณวัตถุดิบแห้ง การคำนวณความชื้นแบบ (w.b) จะทำให้ความชื้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการคำนวณจะใช้ค่าความชื้นที่คำนวณแบบ (d.b) ซึ่งมวลแห้งเป็นฐานในการคำนวณ

2.6 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างอบแห้งสามารถทำได้โดยใช้สูตรที่เกี่ยวข้องกับกำลังไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งและระยะเวลาที่ใช้พลังงานโดยคำนวณได้จากสมการ [15] ดังนี้

1) สูตรการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (หน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ kWh) สามารถคำนวณได้จาก

$$W = P \times T \dots\dots\dots(4)$$

เมื่อ

W คือ พลังงานไฟฟ้า (kW-h)

P คือ กำลังไฟฟ้า (kW)

T คือ เวลาในการใช้งาน (ชั่วโมง)

2) สูตรการคำนวณกระแสไฟฟ้าที่ใช้สามารถคำนวณได้จาก

$$I = \frac{P}{V} \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อ

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

P คือ กำลังไฟฟ้า (kW)

V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)

3) สูตรการคำนวณจำนวนหน่วยต่อวัน (ยูนิต) สามารถคำนวณได้จาก

$$Unit = \frac{P \times N}{1,000} \times H \dots\dots\dots(6)$$

เมื่อ

U คือ จำนวนหน่วยต่อวัน (Unit)

P คือ กำลังไฟฟ้า

N คือ จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า

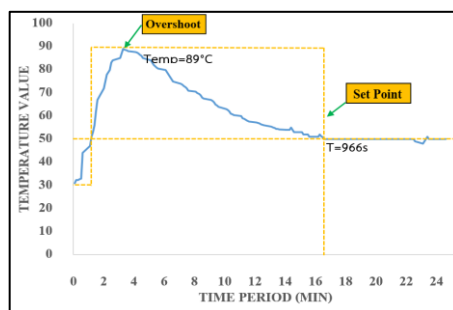
H คือ จำนวนชั่วโมงที่ใช้ใน 1 วัน

จากสมการ 4 ถึง 6 สามารถวิเคราะห์หาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องอบแห้งที่

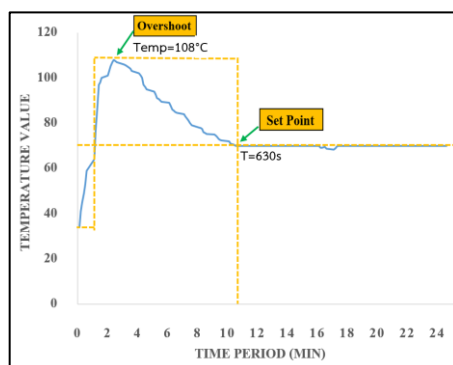
สร้างขึ้นเพื่อบ่งบอกถึงปริมาณการใช้งานและค่าใช้จ่ายของการใช้งาน

ผลการวิจัย

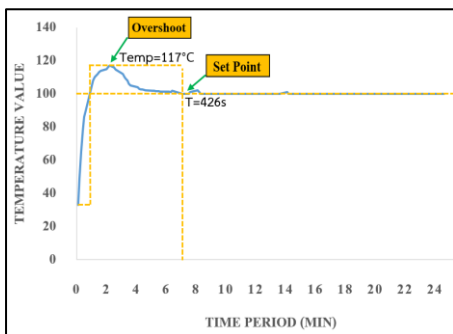
1. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิขั้นตอนกระบวนการทดลองโดยเลือกวิธีการวัดอุณหภูมิกำหนดค่า Set Point แบ่งออกเป็น 4 ระดับคือ 50°C, 70°C, 100°C และ 120°C พร้อมทำการบันทึกข้อมูลการทดลองอุณหภูมิและวิเคราะห์ผลเพื่อตรวจสอบระบบควบคุมมีผลทดลองดังนี้



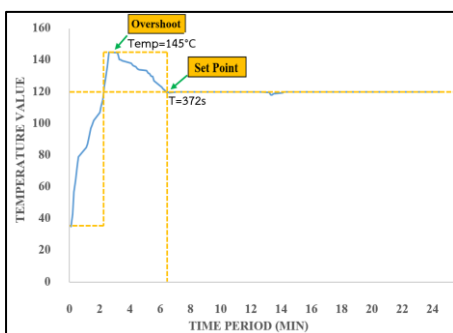
รูปที่ 5 SP=50°C



รูปที่ 6 SP=70°C



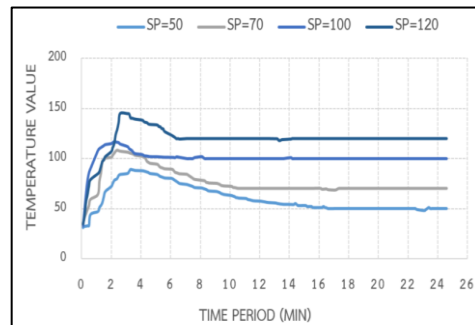
รูปที่ 7 SP=100°C



รูปที่ 8 SP=120°C

จากรูปที่ 5 ถึง 8 แสดงผลทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิ พบว่าเมื่อกำหนดค่าอุณหภูมิที่ SP 50 ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ที่ 32°C ตัวเหนี่ยวนำความร้อนและตัวควบคุมปรับระดับความร้อนเกินจุดหรือ Overshoot สูงสุดที่ 89°C ช่วงเวลาเข้าสู่จุด SP ที่ 9.66s (วินาที) ผลการกำหนดค่าอุณหภูมิที่ SP 70 ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ที่ 34°C ตัวเหนี่ยวนำความร้อนและตัวควบคุมปรับระดับความร้อนเกินจุดหรือ Overshoot สูงสุดที่ 108°C ช่วงเวลาเข้าสู่จุด SP ที่ 6.30s ผลการกำหนดค่าอุณหภูมิที่ SP 100 ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ที่ 33°C ตัวเหนี่ยวนำความร้อนและตัวควบคุมปรับระดับความร้อนเกินจุดหรือ Overshoot สูงสุดที่ 117°C ช่วงเวลาเข้าสู่จุด SP ที่ 4.26s และผลการกำหนดค่าอุณหภูมิที่ SP 120 ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นอยู่ที่ 35°C ตัวเหนี่ยวนำความร้อนและตัวควบคุมปรับระดับ

ความร้อนเกินจุดหรือ Overshoot สูงสุดที่ 145°C ช่วงเวลาเข้าสู่จุด SP ที่ 3.72s และแสดงกราฟผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ Set Point ของระบบควบคุมดังรูปที่ 9

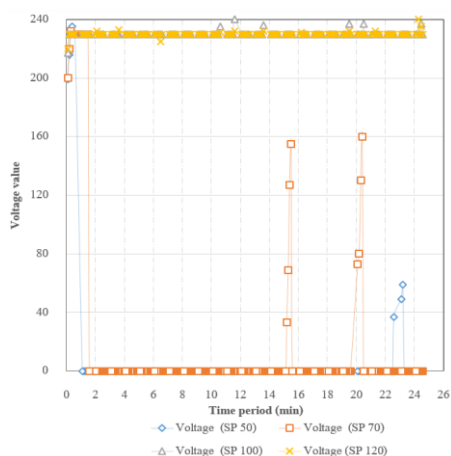


รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและเวลา

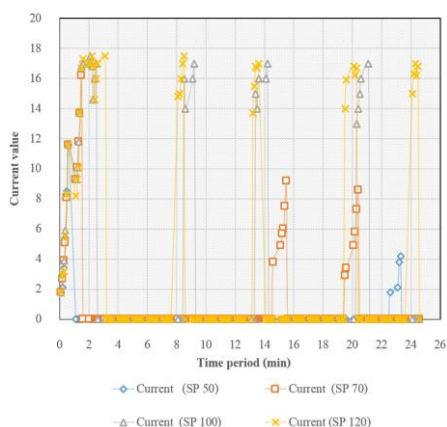
สรุปผลการทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิภายในถังอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าระบบควบคุมอุณหภูมิสามารถควบคุมการทำงานของตัวเหนี่ยวนำความร้อนได้ตามที่กำหนด (Set point) อย่างถูกต้อง และผลทดลองค่า Set point ในแต่ละช่วงการทดลองพบว่ามีค่าความร้อนเกินจุดที่กำหนดหรือ (Overshoot) เนื่องมาจากการเกิดโอเวอร์ชูตของอุปกรณ์ฮีตเตอร์ในระบบที่ควบคุมด้วย PID เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิเกินค่าที่ตั้งไว้ ซึ่งเกิดจากความเฉื่อยของตัวเหนี่ยวนำความร้อน (Heater) ความล่าช้าของเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิภายในถังอบแห้งกระบวนการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้นเพื่อลดการโอเวอร์ชูตสามารถปรับปรุงการออกแบบระบบด้วยการวางเซนเซอร์และฉนวนกันความร้อนที่ดีขึ้นและการปรับพารามิเตอร์ตัวควบคุม PID ให้

เหมาะสมสำหรับการพัฒนาต่อยอนวัตกรรม

2. ผลการวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าชั่วขณะของตัวเหนี่ยวนำความร้อน กระบวนการทดลองวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าชั่วขณะการทำงานของตัวเหนี่ยวนำความร้อนตามจุดที่กำหนด (Set point) คือ SP=50, SP=70, SP= 100, SP=120 ตามลำดับ แสดงผลการวัดปริมาณค่าแรงดันไฟฟ้าดังรูปที่ 10 และค่ากระแสไฟฟ้างดังรูปที่ 11



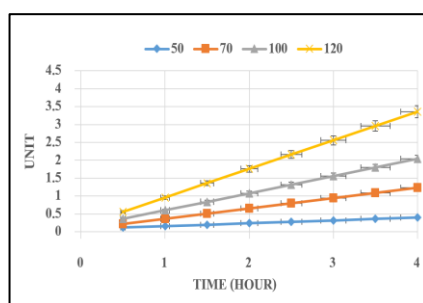
รูปที่ 10 ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของตัวเหนี่ยวนำความร้อน



รูปที่ 11 ผลการวัดค่ากระแสไฟฟ้าชั่วขณะของตัวเหนี่ยวนำความร้อน

3. ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า

การวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้า โดยนำผลของการกินกระแสไฟฟ้าชั่วขณะมาวิเคราะห์หาจำนวนหน่วยยูนิต (unit) คำนวณได้จากสมการที่ 6 สามารถนำมาคิดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นในการใช้งานแต่ละครั้งได้โดยปัจจุบันการไฟฟ้าคิดอัตราค่าไฟฟ้า 4.5 บาทต่อหน่วยยูนิต จะแสดงจำนวนยูนิตที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า

4. ผลการทดลองอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยขั้นตอนการทดลองกำหนดค่าอุณหภูมิ 3 ระดับคือ 80°C, 100°C, 120°C ซึ่งมีค่าน้ำหนักก่อนอบแห้ง ปริมาณน้ำหนัก 1,000 กรัม พบว่าหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งพ่นฝอย ค่าน้ำหนักลดลงอยู่ที่ 602 กรัม 548 กรัม 516 กรัม ตามลำดับค่าอุณหภูมิ และคำนวณค่า w.b, d.b ตามสมการที่ 2, 3

ตารางที่ 1 ผลการทดลองอบแห้ง

ผลการวัดความชื้นในวัตถุดิบตามค่าอุณหภูมิที่กำหนด (°C)		
80	100	120
51.25%w.b	21.23%w.b	6.61%w.b
33.88%d.b	17.51%d.b	6.20%d.b



รูปที่ 13 จิ้งหรีดอบแห้ง

สรุปและอภิปรายผล

บทความนี้มีวัตถุประสงค์พัฒนาเครื่องอบแห้งพ่นฝอย ทำการทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติสามารถรักษาค่าจุดเป้าหมาย (Set Point, SP) ที่ 50°C, 70°C, 100°C และ 120°C ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบมีการเกิดความร้อนเกินจุด (Overshoot) ที่แต่ละค่า SP และใช้เวลาคงตัวตั้งแต่ 6.20 ถึง 16.10 นาที ขึ้นอยู่กับค่า SP นอกจากนี้การทดลองการใช้พลังงานไฟฟ้าของตัวเหี่ยวนำความร้อนพบว่าค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามค่า SP ที่ตั้งไว้ ระบบหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิลดลงหลังเกิดความร้อนเกินจุด และตัวเหี่ยวนำเริ่มทำงานอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่าค่า SP โดยกระแสไฟฟ้าที่ใช้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 ถึง 17.5 แอมแปร์ ซึ่งพบว่ามีการเสาค้างที่ค่า SP ที่สูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าพบว่าเมื่อกำหนดค่า SP 50°C เปิดใช้งานเครื่องจำนวน 4 ชั่วโมง รวมเป็นจำนวน 0.4 หน่วยยูนิต เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1.8 บาท/4 ชม. เมื่อกำหนดค่า SP 70°C ใช้รวมทั้งหมดจำนวน 1.23 หน่วย เท่ากับ 5.53 บาท เมื่อกำหนดค่า SP 100°C ใช้รวมทั้งหมดจำนวน 2.04 หน่วย เท่ากับ 9.18 บาท และเมื่อกำหนดค่า SP 120°C ใช้รวมทั้งหมดจำนวน 3.36 หน่วย เท่ากับ 15.12 บาท สรุปผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานได้ว่าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับจิ้งหรีดมีการใช้พลังงาน

ต่ำและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในการนำไปประยุกต์ใช้ และผลการทดลองเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถจัดการควบคุมอุณหภูมิและการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้พารามิเตอร์ที่กำหนด และจากผลการทดลองสอดคล้องกับผลการอบแห้งโดยลมร้อนกับวัตถุต่าง ๆ [16-18] เนื่องจากอุณหภูมิในการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน และรวมถึงการใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานของเครื่อง ซึ่งการสูญเสียค่าพลังงานมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของถังอบแห้ง [19-20]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ซึ่งบทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยพัฒนานวัตกรรมเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยด้วยระบบอัตโนมัติสำหรับแปรรูปผลิตภัณฑ์ผงโปรตีนสูงจากจิ้งหรีดเพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันทางการตลาดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านมะค่าใต้ ตำบลบ้านยาง อำเภอเมืองจังหวัดบุรีรัมย์ และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ซึ่งเป็นสถานที่ทำการวิจัยที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดลองให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

References

- [1] S. Kanchanaphusit, “*The Department of Livestock Development raises cricket export standards,*” Department of Livestock Development. July. 22, 2024. [Online]. Available: <https://dld.go.th/th/index.php/th/newsflash/354-hotnews-cat/23747-3>
- [2] S. Viboonthanakul, Insect protein: “*The food of the future and an opportunity for Thailand's economy,*” July. 22, 2024. [Online]. Available: <https://www.marketingoops.com/exclusive/trending-exclusive/edible-bug/>
- [3] T. Jamjanya & Y. Hanboonsong. (n.d.), “*Importance, types, and nutritional value of edible insects.*” July. 22, 2024. [Online]. Available: https://home.kku.ac.th/orip2/orip_main/attach/knowledge_1407230024_bug%20nutrition.pdf
- [4] V. Kemsawasd, et al., “Road to The Red Carpet of Edible Crickets through Integration into the Human Food Chain with Biofunctions and Sustainability,” *A Review. International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), pp. 1801-1801, 2022.
- [5] M. Ruggeri, et al., “Nutritional and Functional Properties of Novel Italian Spray-Dried Cricket Powder,” *Antioxidants*, 12(1), pp. 112-112, 2023.
- [6] AC. Kumoro, et al., “A Brief Overview of Spray Drying Technology and Its Potential in Food Applications. *Journal of Human, Earth, and Future*, 5(2). Pp. 279-305, 2024.
- [7] T. A. G. Langrish, J. A. Harrington, Xing Huang, Chao Zhong, “Using CFD Simulations to Guide the Development of a New Spray Dryer Design.” *Processe*, 8(8). pp. 932, 2020.
- [8] Isaac. Ho, et al., “*Will It Cricket? Product Development and Evaluation of Cricket (Acheta domesticus) Powder Replacement in Sausage, Pasta, and Brownies.*” *Foods*, 11(19). pp. 3128-3128, 2022.
- [9] I. Jakab, et al., “Cricket flour-laden millet flour blends' physical and chemical composition and adaptation in dried pasta products.” *Acta Alimentaria*, 49(1). pp. 4-12, 2020
- [10] M. Fadri, et al., Baehaqi. “Design of a Cricket Dryer Using PID Control.” *Mestro*, 4(01). pp. 7-13, 2022.
- [11] Xia, Zheng, et al., “Drying Temperature Precision Control System Based on Improved Neural Network PID Controller and Variable-Temperature Drying Experiment of Cantaloupe Slices.” *Plants*, 12(12). pp. 2257-2257, 2023.
- [12] K. Djuraev, “*Synthesis of a digital PID controller to control the temperature in the agricultural products drying chamber.*” *E3S web of conferences*, 390. pp. 03002, 2023.

- [13] S. N. Piboon, "The drying process of croaker fish using an electric dryer with PID temperature control." *Princess of Naradhiwas University Journal*, 2012, 7(2). pp. 1-11.
- [14] P. Komwachirakul, et al. , "Development of a long pepper drying system using a rotary dryer combined with infrared radiation. " Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, 2020. [Online]. Available: https://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/3875/ENG_65_02.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed July. 10 , 2024).
- [15] T. Kheawpae, et al. , "Design and construction of a bulrush drying machine: A case study of drying harvested bulrush." *In Proceedings of the 8 th Conference on Engineering, Science, Technology, and Architecture* at Northeastern University, July. 21 , 2017.
- [16] P. Praneedpolkrang, "Spray drying techniques for drying agricultural products. " *Journal of Research, Rajamangala University of Technology Srivijaya*, 12(2), pp. 347-361} 2020.
- [17] S. Saiyotha, et al., "A study of the spray drying system. " (n. d.) . [Online]. Available: https://ird.rmuti.ac.th/newweb/download_document/บทความมทร/อบแห้งแบบพ่นฝอย.pdf. (accessed July. 26, 2024).
- [18] K. Sathapornprasart & P. Praneedpolkrang. "Drying model of cricket dried using the spouted fluid bed dryer." *Srinakharinwirot University Journal (Science and Technology)*, 14(28). pp. 1-14, 2022.
- [19] N. Harnsapan, "Development of powdered calamondin products using spray drying methods. Master's thesis," Agricultural Technology, Faculty of Agricultural Technology, Ramkhamhaeng University, 2021.
- [20] N. Donlaw & T. Thepakorn. (2011). "A study of the optimal conditions for spray drying of green tea extract at a pilot plant scale. " Mae Fah Luang University. [Online]. Available: <http://archives.mfu.ac.th/database/files/original/94cdb6e5453d1f1673d7d504054b8986.pdf> (accessed July. 1, 2024).