

การพัฒนาคุณภาพกลีบดอกกระเจี๊ยบแดงด้วยโรงเรือนอบแห้ง  
พลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษา: ศูนย์เรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน  
อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

The improvement of roselle petals quality using  
solar greenhouse dryer: A case study at the Local Herbal  
Learning Center, Mae Mo district, Lampang province

พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น<sup>1\*</sup>, ปฐมพงศ์ พรหมมาบุญ<sup>2</sup>, จักรกฤษณ์ อ้นยะลา<sup>3</sup>, ณรงค์ เครือกันทา<sup>4</sup> และวรพล คณิตปัญญาเจริญ<sup>5</sup>

Pongsak Youmune<sup>1\*</sup>, Patompong Prommaboon<sup>2</sup>, Jakkrit Hunyala<sup>3</sup>,

Narong Krueganta<sup>4</sup> and Worapon Kanitpanyacharoen<sup>5</sup>

<sup>1\*,2,3,4,5</sup>คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

โทร 0 5423 7399 โทรสาร 0 5424 1079 E-mail: you.pongsak@gmail.com

<sup>1\*,2,3,4,5</sup>Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University

119 Moo 9, Chompoo Subdistrict, Mueang District, Lampang Province, Thailand 52100

Tel. +66 5423 7399 Fax. +66 5424 1079 E-mail: you.pongsak@gmail.com

วันที่รับบทความ 19 กันยายน 2567

วันที่รับแก้ไขบทความ 18 พฤศจิกายน 2567

วันที่ตอบรับบทความ 28 พฤศจิกายน 2567

Received: Sep. 19, 2024

Revised: Nov. 18, 2024

Accepted: Nov. 28, 2024

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการหาอัตราการลดความชื้น และศึกษาผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งทั้งก่อนและหลังการใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นในพื้นที่ ศูนย์เรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งจากการทดลอง พบว่า โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้นร้อยละ 23.45 มาตรฐานเปียก (%wb) จนทำให้มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 3.70 มาตรฐานเปียก (%wb) ภายในระยะเวลา 6 - 9 ชั่วโมง ภายใต้เงื่อนไขการตั้งค่าการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้งของโรงเรือนด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล และนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งก่อนและหลังการใช้โรงเรือนอบแห้ง ส่งทดสอบหาค่าร้อยละความชื้นและคุณสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรแห้ง มพช. 480/2547 ห้องปฏิบัติการ พบว่า ด้านค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่ (ก่อนการใช้โรงเรือนอบแห้ง) ไม่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งมีค่าร้อยละ 14.67 โดยน้ำหนัก และผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่ใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น (หลังการใช้โรงเรือนอบแห้ง) ผ่านเกณฑ์ ซึ่งมีค่าร้อยละ 7.34 โดยน้ำหนัก คิดเป็นประสิทธิภาพการทำแห้งร้อยละ 52.43 เมื่อเปรียบเทียบกับความชื้นก่อนและหลังการใช้นวัตกรรม ส่วนด้านผลการทดสอบโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ผ่านเกณฑ์ และด้านจุลินทรีย์บางชนิดผ่านเกณฑ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา และการเตรียมของวัตถุดิบนำเข้า

**คำสำคัญ:** อบแห้ง, โรงเรือนอบแห้ง, กลีบดอกกระเจี๊ยบแดง

### Abstract

This research, study evaluates the effectiveness of a greenhouse solar dryer in reducing the moisture content of dried red roselle petals at the Local Herbal Learning Center in Mae Mo District, Lampang Province. The research demonstrated that the greenhouse solar dryer efficiently reduced the initial relative humidity of the petals from 23.45% to a final moisture content of 3.70% within 6 to 9 hours. By employing programmable logic control, the dryer maintained precise temperature and humidity levels, optimizing the drying conditions. Comparative analysis against Thai Community Product Standards (TCPS) 480/2547 revealed significant improvements in product quality, with the moisture content of the dried petals decreasing from 14.67% to 7.34%, meeting established standards. Additionally, the dried petals adhered to safety criteria for heavy metals and microbial contamination, confirming the effectiveness and reliability of the greenhouse solar dryer.

**Keywords:** Drying, Greenhouse dryer, Roselle petals

### 1. บทนำ

กระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa*) ซึ่งมีชื่อสามัญว่า Roselle เป็นพืชที่มีความสำคัญทั้งทางเศรษฐกิจและสังคมในหลายประเทศ โดยเฉพาะในภาคการเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์สุขภาพที่กำลังเป็นที่นิยมมากขึ้น โดยกระเจี๊ยบแดงถือว่าเป็นพืชที่มีศักยภาพสูงที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Duh & Yen, 1997) ต้านการอักเสบ (Ali et al., 2005) ป้องกันมะเร็ง บำรุงตับและไต (Cid-Ortega & Guerrero-Beltran, 2015) ลดไขมันและความอ้วน (Ghislain et al., 2011) และการยับยั้งแบคทีเรีย (Nakpong & Wootthikanokkhan, 2010) ซึ่งคาดว่าขนาดตลาดกระเจี๊ยบแดงทั่วโลกจะมีมูลค่าถึง 244.9 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ภายในปี 2027 และจะมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องร้อยละ 10.4 ต่อปี ตั้งแต่ปี 2021 ถึง 2027 ซึ่งประเทศจีนและประเทศไทยเป็นผู้ผลิตกระเจี๊ยบแดงสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมรายใหญ่ในเอเชีย (Lye et al., 2023) กระเจี๊ยบแดงจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการส่งเสริมการปลูกและการแปรรูปทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง (Phuphathanaphong et al., 1989) ถึงแม้ว่ากระเจี๊ยบแดงจะเป็นที่ต้องการในตลาด แต่การควบคุมจำนวนผลผลิตและคุณภาพที่ไม่ดีนัก จึงทำให้เกิดความผันผวนของราคาขึ้นอยู่กับคุณภาพทางด้านรสชาติ สี ความสะอาด รวมถึงคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ปริมาณความชื้น (ร้อยละ 12) ความเป็นกรด สารตกค้าง และสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ (Abdalbasit et al., 2021) ทั้งนี้เพื่อเป็นการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น ทำได้โดยการทำแห้ง เพื่อลดการเติบโตของจุลินทรีย์ และต้องรักษาคุณสมบัติทางโภชนาการไว้ โดยเฉพาะปริมาณกรดแอสคอร์บิก (Meza et al., 2008) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งเฉลี่ย 40 องศาเซลเซียส (Sanaa et al., 2017) จะทำให้กรดมาลิกและกรดซิตริก มีปริมาณลดลง แต่จะไม่ส่งผลกระทบต่อหากทำแห้งด้วยอากาศร้อนโดยอ้อมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (Sánchez-Feria et al., 2021) อีกทั้งการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำสารแอนโทไซยานินที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ลดลง (Lema et al., 2022)

ศูนย์การเรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน หมู่บ้านปางปวย ตำบลนาสัก อำเภอมะแมะ จังหวัดลำปาง โดยกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีส่วนผสมของกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง เช่น น้ำกระเจี๊ยบแดง แยม เป็นต้น แต่ด้วยปัญหาด้านการควบคุมกระบวนการลดความชื้นที่ทำให้ผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงอบแห้งมีคุณภาพที่ไม่ดีนัก เนื่องจากการลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดดที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในการทำแห้งได้ เป็นระยะเวลา 3 - 4 วัน จึงส่งผลต่อค่าความชื้นหลังเก็บเกี่ยวสูงประมาณร้อยละ 85 (Hahn et al., 2011) ส่งผลต่อความเสียหายของวัตถุดิบและปริมาณการแปรรูปผลิตภัณฑ์ขั้นต่อไป ที่ไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค ทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสทางธุรกิจและรายได้

ดังนั้นคณะผู้วิจัย จึงเห็นถึงความสำคัญของการอบแห้งของกลีบดอกกระเจี๊ยบแดงให้มีคุณภาพมากขึ้น สามารถควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์อบแห้งสุดท้ายให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช. 480/2547 (ร้อยละ 12) โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์แบบความร้อนแยกส่วนมาใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแห้ง และสามารถควบคุมค่าใช้จ่ายในการทำแห้งผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดง ส่งผลต่อคุณภาพที่ดีขึ้น และมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น นำไปสู่การสร้างโอกาสทางอาชีพให้เกษตรกร และผู้ประกอบการตลอดห่วงโซ่อุปทานต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อหาประสิทธิภาพอัตราการลดความชื้นผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง
- 2.2 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งก่อนและหลังการใช้เทคโนโลยีการอบแห้ง

## 3. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยและวิธีดำเนินการวิจัย

ในการออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้คำนึงถึงสถานที่ติดตั้งและลักษณะการใช้งานของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผู้ใช้งาน ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ต้องมีความเหมาะสมกับพื้นที่ มีใช้งานอยู่โดยทั่วไป มีการใช้งานที่ง่าย มีการดูแลรักษาที่ง่าย และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนในช่วงการทำแห้งของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในพื้นที่ได้ จึงใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกส่วนในวิจัยนี้

### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ดังต่อไปนี้

- 1) โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบความร้อนแยกส่วน โดยคณะผู้วิจัยได้พัฒนาและปรับปรุงขึ้น ดังภาพที่ 1 (ก) มีขนาด 5×10×2.5 เมตร (ก×ย×ส) คลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตสีใสหนา 6 มิลลิเมตร ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรล ดังภาพที่ 1 (ข) ติดตั้งในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน อำเภอมะแมะ จังหวัดลำปาง ตัวแปรควบคุม คือ อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ( $T_{drying}$ ) และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้ง ( $RH_{drying}$ ) ตามผังโปรแกรมควบคุม ดังภาพที่ 1 (ค) และตัวแปรตาม คือ อัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์ (Drying Ratio) และระยะเวลาการอบแห้งต่อรอบการผลิต (t)

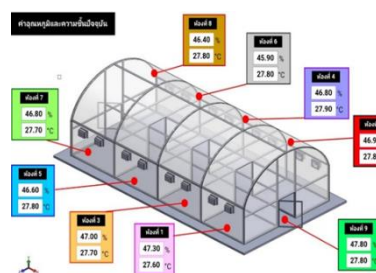
2) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ยี่ห้อ TANITA รุ่น KD-321 ใช้สำหรับการชั่งน้ำหนักวัตถุดิบนำเข้าและผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ชั่งน้ำหนักและบันทึกผลทุก ๆ 15 นาที

3) เครื่องวัดค่าความชื้นรังสีอาทิตย์ ยี่ห้อ Lutron รุ่น SPM-1116SD ติดตั้งบริเวณพื้นที่การทดลอง เพื่อทำการวัดและบันทึกผลค่าความชื้นรังสีอาทิตย์รายวันทุก ๆ 5 นาที

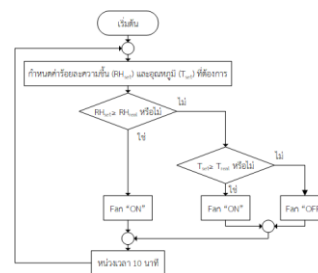
4) เครื่องวัดค่าอุณหภูมิ ยี่ห้อ EXTECH รุ่น SDL100 วัดและบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก ด้วยเทอร์โมคัปเปิล Type K สำหรับนำไปคำนวณค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศทั้งภายนอกและภายในห้องอบแห้งทุก ๆ 5 นาที



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 (ก) โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบความร้อนแยกส่วนที่ใช้ในงานวิจัย

(ข) ตำแหน่งการวัดและควบคุมอุณหภูมิและร้อยละความชื้นของอากาศภายในห้องอบแห้ง

(ค) แผนผัง (Diagram) ของระบบควบคุมการทำงาน

### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

คณะวิจัยได้ดำเนินการวางแผนวิธีการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ดังภาพที่ 2 (ก) สามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) ขั้นตอนที่ 1 ส่งผลิตภัณฑ์อบแห้งทดสอบในห้องปฏิบัติการ (ก่อนการใช้โรงเรือน)

ก่อนการทดลองการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งที่ใช้ในงานวิจัย คณะวิจัยรวบรวมตัวอย่างผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียวแดงอบแห้งที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมีอยู่ ส่งตรวจเพื่อรับรองผลการลดความชื้นและค่าคุณสมบัติทางชีวภาพต่าง ๆ ที่มีนัยสำคัญตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 480/2547 ในห้องปฏิบัติการ

2) ขั้นตอนที่ 2 เตรียมวัตถุดิบนำเข้าโรงเรือนอบแห้ง

คณะวิจัยและกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ได้ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบกลีบดอกกระเจียวแดงสดสำหรับการทดลองลดความชื้นผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 กิโลกรัม ดังภาพที่ 2 (ข) และ (ค) โดยแกะกลีบดอกกระเจียวแดงออกจากผล ทำการล้างน้ำสะอาดอุณหภูมิห้อง ผึ่งลมในที่ร่ม (Pre heat) เป็นเวลา 30 นาที

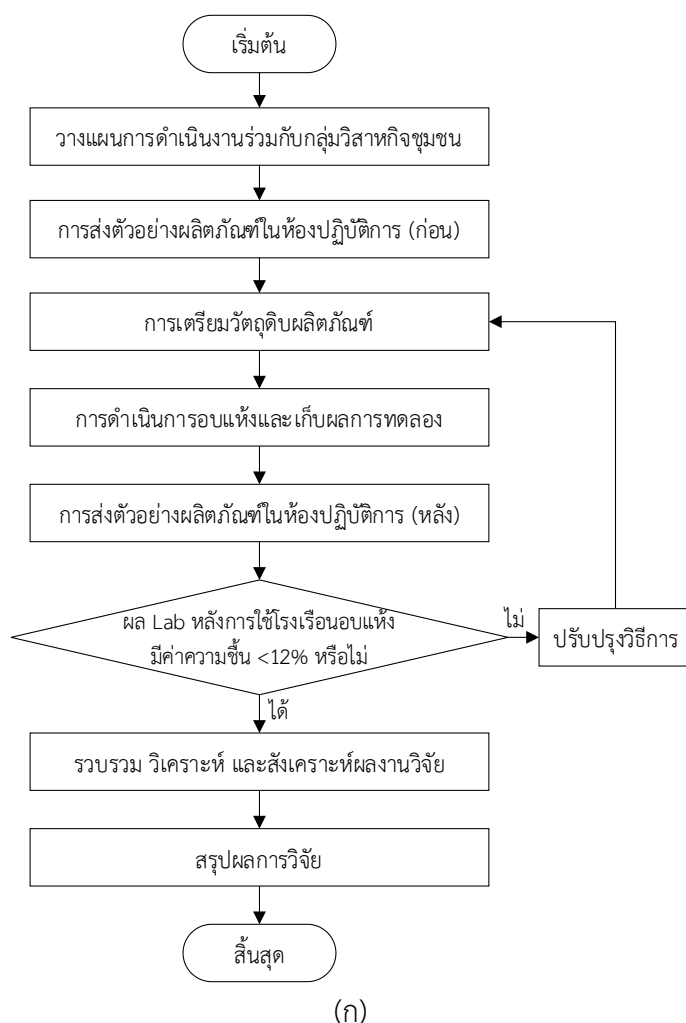
3) ขั้นตอนที่ 3 การเก็บผลการทดลอง

วางวัตถุดิบในขั้นตอนที่ 2 บนชั้นวางสแตนเลสลักษณะชั้นบาง แยกและเก็บวัตถุดิบตัวอย่าง ดังภาพที่ 2 (ง) เพื่อนำไปหาค่าร้อยละความชื้นเริ่มต้น (%wb) ตั้งระบบควบคุมการทำงานของโรงเรือนอบแห้ง โดยกำหนดค่าอุณหภูมิการอบแห้งไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส ( $T_{drying} < 60^{\circ}\text{C}$ )

และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้งไม่เกินร้อยละ 20 ( $RH_{\text{drying}} < 20\%$ ) ซึ่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ตัวอย่างและบันทึกผลทุก ๆ 15 นาที กลับกองผลิตภัณฑ์ในช่วงเช้าและเย็นของทุกวัน

#### 4) ขั้นตอนที่ 4 การส่งผลิตภัณฑ์อบแห้งทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ดูจากค่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง นำผลิตภัณฑ์กระเจี๊ยบแดงอบแห้งออกจากโรงเรือน ผึ่งในที่ร่มเป็นเวลา 15 นาที (Cool down) และบรรจุในถุงพลาสติกปิดผนึก จากนั้นส่งตรวจเพื่อรับรองผลการลดความชื้นและค่าคุณสมบัติทางชีวภาพต่าง ๆ ที่มีนัยสำคัญตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 480/2547 ในห้องปฏิบัติการ



(ข)



(ค)



(ง)

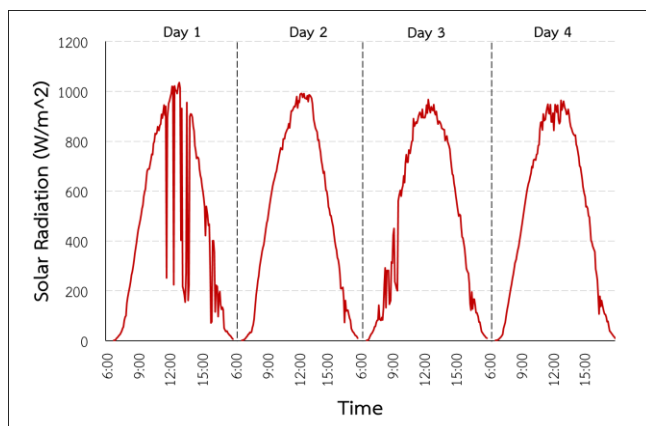
ภาพที่ 2 แผนผังวิธีการดำเนินงานวิจัยและกิจกรรมการดำเนินงานวิจัย

## 4. ผลการวิจัย

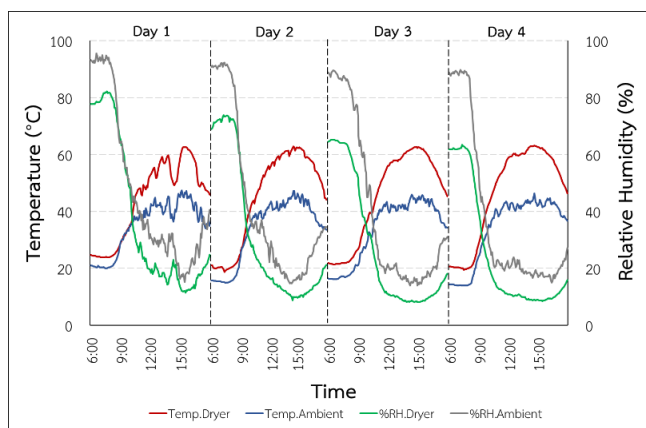
### 4.1 ผลการวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการทดลอง

จากการวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการทดลอง คือ ค่าความเข้มข้นสีอาทิตย์ ค่าอุณหภูมิ และค่าร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศตลอดช่วงระยะเวลาการทดลองทุก 5 นาที จำนวน 4 วัน พบว่า ค่าความเข้มข้นสีอาทิตย์ตลอดช่วงการทดลองมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,035 วัตต์

ต่อตารางเมตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 499.81 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังภาพที่ 3 ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิที่มีค่าเฉลี่ย 44.95 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 10.66 องศาเซลเซียส และค่าร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้งเฉลี่ยร้อยละ 30.29 มีค่าต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมร้อยละ 11.69 ดังภาพที่ 4 ซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการทำงานของระบบควบคุมค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3 ผลการบันทึกค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวัน



ภาพที่ 4 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิและร้อยละความชื้นภายในห้องอบแห้งและสิ่งแวดล้อม

#### 4.2 ผลการคำนวณอัตราการทำแห้งของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียวแดงอบแห้ง

นำผลการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง คำนวณการลดลงของความชื้นผลิตภัณฑ์ (Moisture content, %wb) จากสมการที่ 1 (Janjai and Keawprasert, 2006) ดังนี้

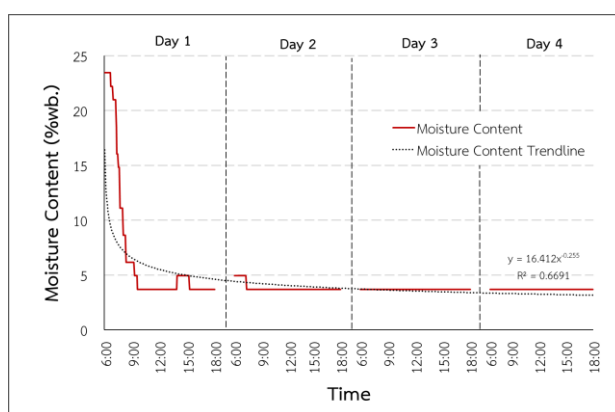
$$m_w = m_f \frac{M_i - M_f}{100 - M_f} \quad (1)$$

เมื่อ  $m_w$  = ร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์มาตรฐานเปียก (%wb)

$M_i$  = มวลผลิตภัณฑ์เริ่มต้น (kg)

$M_f$  = มวลของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (kg)

นำค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 1 ได้ผลการคำนวณค่าร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งที่ลดลงตามช่วงเวลาการชั่งน้ำหนักทุก ๆ 15 นาที ตลอดช่วงการทดลองระยะเวลา 4 วัน ดังภาพที่ 5 พบว่า กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงมีค่าความชื้นเริ่มต้นมาตรฐานเปียกเท่ากับ ร้อยละ 23.45 เมื่ออบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ การลดลงของค่าร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างคงที่ใน 30 นาทีแรก และมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 3 ชั่วโมงถัดมา และเริ่มคงที่ ซึ่งเป็นไปตามหลักทฤษฎีการอบแห้งวัสดุชีวภาพที่สามารถแบ่งได้ 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งที่ลดลง (Soponronnarit, 1997) จนทำให้ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมีค่าความชื้นสุดท้ายร้อยละ 3.70 มาตรฐานเปียก (%wb) คิดอัตราการทำแห้งจากสมการที่ 2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 84.21 เมื่อเทียบกับความชื้นผลิตภัณฑ์เริ่มต้น ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ผลคำนวณการลดลงของร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

คำนวณอัตราการทำแห้งของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (Moisture ratio, %) (Ademiluyi and Abowei, 2013) ดังนี้

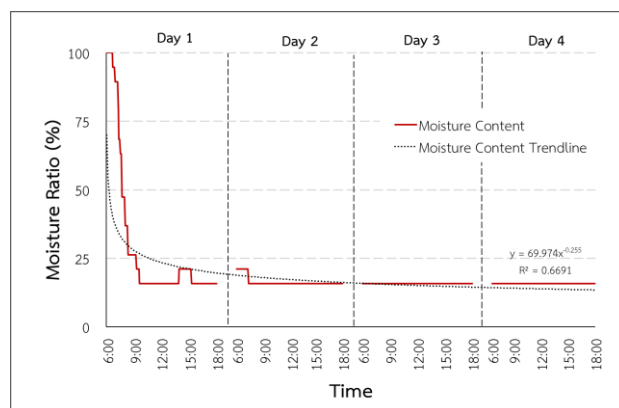
$$MR = \frac{M_i - M_e}{M_0 - M_e} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ MR = ร้อยละอัตราการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ (%)

$M_i$  = ร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เวลาใด ๆ (%wb)

$M_0$  = ร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์เริ่มต้น (%wb)

$M_e$  = ร้อยละความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ (%wb)



ภาพที่ 6 ผลคำนวณอัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

#### 4.3 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้ง

จากรูปที่ 7 (ก) เป็นผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงในกระบวนการอบแห้ง เมื่อได้ผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งแล้ว นำตัวอย่าง ดังภาพที่ 7 (ข) ส่งตรวจหาค่าร้อยละความชื้นและคุณสมบัติทางชีวภาพต่าง ๆ ตามเกณฑ์ มผช. 480/2547 ซึ่งวิธีการทดสอบตาม AOAC (2019) และ FDA BAM Online (2020) (Thai Industrial Standards Institute, 2004) ในห้องปฏิบัติการของ บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด (สาขาเชียงใหม่) โดยระบุเลขที่รายงาน TRCM65/12381 (ก่อน) และ TRCM66/03755 (หลัง) โดยได้ผลการเปรียบเทียบการทดสอบดังตารางที่ 1



(ก)

(ข)

ภาพที่ 7 (ก) ผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงในกระบวนการอบแห้ง

(ข) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจี๊ยบแดงอบแห้งส่งห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการก่อนและหลัง

| ที่ | รายการทดสอบ          | หน่วย  | ค่าเกณฑ์มาตรฐาน | ค่าผลการทดสอบ     |                   | ผลการประเมิน |         |
|-----|----------------------|--------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------|---------|
|     |                      |        |                 | ก่อน              | หลัง              | ก่อน         | หลัง    |
| 1.  | Moisture             | g/100g | <10             | 14.67             | 7.34              | ไม่ผ่าน      | ผ่าน    |
| 2.  | Arsenic (As)         | mg/kg  | <0.2            | Not Detected      | Not Detected      | ผ่าน         | ผ่าน    |
| 3.  | Cadmium (Cd)         | mg/kg  | <0.3            | 0.077             | 0.25              | ผ่าน         | ผ่าน    |
| 4.  | Lead (Pb)            | mg/kg  | <0.5            | 0.059             | 0.078             | ผ่าน         | ผ่าน    |
| 5.  | Coliform Bacteria    | MPN/g  | <2.2            | <3.0              | <3.0              | ไม่ผ่าน      | ไม่ผ่าน |
| 6.  | Total Bacteria Count | CFU/g  | $1 \times 10^4$ | $6.5 \times 10^2$ | $6.4 \times 10^6$ | ผ่าน         | ไม่ผ่าน |
| 7.  | Yeast and Molds      | CFU/g  | <100            | <10               | $9.8 \times 10^6$ | ผ่าน         | ไม่ผ่าน |

หมายเหตุ: ค่าเกณฑ์มาตรฐานอ้างอิงตาม มผช. 480/2547

จากตารางที่ 1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการก่อนและหลัง แบ่งกลุ่มผลการทดสอบเป็น 3 ด้าน ดังนี้ ด้านกายภาพ ด้านเคมี และด้านจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่าง พบว่า ด้านกายภาพ คือ ค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างก่อนและหลังการใช้ โรงเรือนอบแห้งมีเท่ากับร้อยละ 14.67 และ 7.34 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งถือว่าการใช้เทคโนโลยี การอบแห้งในการทดลองสามารถทำให้ค่าร้อยละความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (ไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก) ด้านเคมี คือ สารโลหะหนักที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์อบแห้งมีการทดสอบ จำนวน 3 ชนิด คือ Arsenic (As), Cadmium (Cd) และ Lead (Pb) ซึ่งทั้งหมด ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และด้านจุลชีววิทยา จำนวน 3 ชนิด คือ Coliform Bacteria, Total Bacteria Count และ Yeast and Molds มีค่า ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากการได้มาของวัตถุดิบนำเข้าก่อนและการทดลอง ครั้งนี้มาจากคนละแหล่งพื้นที่

#### 4.4 ผลการคำนวณสมรรถนะการอบแห้งด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากการรวบรวมข้อมูลการทดลองเทคโนโลยีโรงเรือนอบแห้งกลีบดอกกระเจี๊ยบแดง ในพื้นที่ สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน จากสมการที่ 3 (Jeentada et al., 2018)

$$\eta_{th} = \frac{(m_i - m_f) \times h_{fg}}{(A_c \times I \times t)} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ  $\eta_{th}$  = ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบโรงเรือนอบแห้ง (%)

$m_i$  = มวลของผลิตภัณฑ์ก่อนการอบแห้ง (kg)

$m_f$  = มวลของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง (kg)

$h_{fg}$  = พลังงานความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ (kWh/kg)

โดยให้มีค่าเท่ากับ 2,256 kJ/kg หรือ 0.6269 kWh/kg (Çengel and Ghajar, 2015)

$A_c$  = พื้นที่โรงเรือนที่รับรังสีอาทิตย์ ( $m^2$ )

$I$  = ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบโรงเรือน ( $W/m^2$ )

$t$  = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

กำหนดเงื่อนไขการคำนวณ ดังนี้

(1) มวลของวัตถุดิบ คิดเต็มอัตราการความจุของโรงเรือน 100 กิโลกรัม ( $m_i = 100$  kg)

(2) มวลของผลิตภัณฑ์อบแห้ง คิดจากอัตราการทำแห้งที่ร้อยละ 84.21 โดยน้ำหนัก

ดังนั้นมวลผลิตภัณฑ์อบแห้งเท่ากับ 15.79 กิโลกรัม ( $m_f = 15.79$  kg)

(3) พื้นที่รับรังสีของโรงเรือนขนาด 50  $m^2$  คำนวณจากพื้นที่ของโรงเรือนอบแห้งที่ใช้ ในงานวิจัยครั้งนี้ 25 ตารางเมตร ( $A_c = 25$   $m^2$ )

(4) ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบโรงเรือนเฉลี่ยของวันที่ 1 เท่ากับ 477.94 วัตต์ ต่อตารางเมตร ( $I = 477.94$   $W/m^2$ )

(5) เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 6 ชั่วโมง ( $t = 6$  h)

ซึ่งจากผลการคำนวณสมการที่ 3 พบว่า โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือในกระบวนการลดความชื้นผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดง จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้งคิดเป็นร้อยละ 73.64

## 5. สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและหาประสิทธิภาพอัตราการลดความชื้นผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดงอบแห้งด้วยการใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งติดตั้งในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน หมู่บ้านปางปวย ตำบลนาสัก อำเภอมะเมาะ จังหวัดลำปาง พบว่า อัตราการทำแห้งของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดงตัวอย่างที่มีค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยร้อยละ 23.45 มาตรฐานเปียก (%wb) จนมีค่าความชื้นสุดท้ายร้อยละ 3.70 มาตรฐานเปียก (%wb) ได้เท่ากับ ร้อยละ 84.21 ภายในเวลา 6 ชั่วโมง และคิดประสิทธิภาพการทำแห้งของโรงเรือนอบแห้งต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์นำเข้าแบบเต็มพิกัด (100 กิโลกรัม) ในช่วงเวลาในการทดลองครั้งนี้เท่ากับร้อยละ 1.6 ภายใต้เงื่อนไขการควบคุมค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการอบแห้งที่สำคัญ คือ ค่าอุณหภูมิไม่เกิน 65 องศาเซลเซียส และค่าร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้งไม่เกินร้อยละ 20 ตลอดช่วงการทดลอง ทำให้มีค่าอุณหภูมิสูงสุด 63.2 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้งต่ำสุดร้อยละ 8.1 โดยเมื่อคิดค่าอุณหภูมิเฉลี่ย และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ในช่วงเวลาการอบแห้งตลอด 4 วัน เท่ากับ 44.95 องศาเซลเซียส และร้อยละ 30.29 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีความคาดเคลื่อนจากการควบคุม เนื่องจากการสะสมของอุณหภูมิและลดความชื้นของอากาศภายในห้องอบแห้งในช่วงเวลากลางวัน (ช่วงเวลาในการทดลอง) ต้องใช้ระยะเวลาค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการความชื้นสะสมภายในห้องอบแห้ง ในช่วงเวลากลางคืน (ช่วงที่ไม่มีการควบคุม) ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นที่ต่ำกว่าค่าการควบคุมตลอดช่วงการทดลอง

จากนั้นได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดงอบแห้ง ทั้งก่อนและหลังการใช้เทคโนโลยีโรงเรือนอบแห้งด้วยการส่งผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดงตัวอย่าง โดยใช้ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการที่ทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช. 480/2547 สมุนไพรแห้ง พบว่า คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ในด้านกายภาพ คือ ค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดงอบแห้งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่ (ก่อนการใช้โรงเรือนอบแห้ง) เท่ากับร้อยละ 14.67 โดยน้ำหนัก (ไม่ผ่านเกณฑ์) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กลีบดอกกระเจียบแดงอบแห้งที่ใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.34 โดยน้ำหนัก (ผ่านเกณฑ์) ซึ่งถือได้ว่าโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ที่คณะวิจัยได้พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพการทำแห้งได้ดีขึ้นคิดเป็นร้อยละ 52.43 ของความชื้นในผลิตภัณฑ์ก่อนการใช้โรงเรือนอบแห้ง ส่วนด้านเคมีที่ทดสอบโลหะหนักตกค้างในผลิตภัณฑ์ คือ Arsenic (As), Cadmium (Cd) และ Lead (Pb) มีผลการทดสอบผ่านเกณฑ์ เนื่องมาจากแหล่งที่มาของวัตถุดิบในการเพาะปลูกมีคุณภาพที่ดี และด้านจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ คือ Coliform Bacteria, Total Bacteria Count และ Yeast and Molds มีค่าไม่ผ่านเกณฑ์ อาจเนื่องมาจากการเตรียมวัตถุดิบมีการใช้น้ำล้างที่สะอาดไม่เพียงพอ ซึ่งอาจกำจัดด้วยการลวกวัตถุดิบก่อน (Phattharanan, 2023) ซึ่งวิธีการนี้จะส่งผลกระทบต่อการใช้

คุณสมบัติทางยาและคุณสมบัติที่สำคัญบางตัวของผลิตภัณฑ์ได้ หรืออาจมีการคัดเลือกแหล่งวัตถุดิบนำเข้าจากแหล่งที่มีการควบคุมการผลิตตามหลักการการผลิตพืชอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร หรือมีผู้ตรวจสอบปริมาณจุลชีววิทยาของวัตถุดิบนำเข้าก่อนทุกครั้ง โดยวิธีการนี้อาจทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ดังนั้นการนำโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อแปรรูปสมุนไพรและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ จะสามารถลดปัญหาการปนเปื้อนและเพิ่มคุณลักษณะที่ดีในกระบวนการตากแห้งได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานที่อย่างเหมาะสมตรงตามวัตถุประสงค์ของสถานประกอบการ (Kotmanee S., 2022)

## 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัยประจำปี พ.ศ. 2565 กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ศูนย์การเรียนรู้สมุนไพรพื้นบ้าน ตำบลนาสัก อำเภอมะนัง จังหวัดลำปาง ผู้นำชุมชน และหน่วยงานทางราชการในพื้นที่ ที่สนับสนุนการดำเนินงานของคณะวิจัยในครั้งนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- Abdalbasit, A. M., Haroon, E. T., and Gustav, K. M. (2021). *Roselle (Hibiscus sabdariffa): Chemistry, production, products, and utilization*. Elsevier.
- Ademiluyi, F. T., and Abowei, M. F. N. (2013). Theoretical model for predicting moisture ratio during drying of spherical particles in a rotary dryer. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2013, Article ID 491843, 7 pages.
- Ali, B. H., Wabel, N. A., and Blunden, G. (2005). Phytochemical, pharmacological, and toxicological aspects of Hibiscus sabdariffa L.: A review. *International Journal of Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 19(5), 369–375.
- Çengel, Y. A., and Ghajar, A. J. (2015). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications (5th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Cid-Ortega, S., and Guerrero-Beltrán, J. (2015). Roselle calyces (Hibiscus sabdariffa), an alternative to the food and beverages industries: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 6859–6869.
- Duh, P.-D. and Yen, G.-C. (1997). Antioxidative activity of three herbal water extracts. *Food Chemistry*, 60(4), 639–645.
- Ghislain, M. T., Gisèle, E. L., Bertrand, P. M. J., Mathieu, F., Honoré, F. K., Félicité, T. M., and Inocent, G. (2011). Effect of “Folere” juice (calyx of Hibiscus sabdariffa Lin) on some biochemical parameters in humans. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(8), 755–759.

- Hahn, F., Hernandez, G., Hernandez, J., Perez, C., and Vargas, J. M. (2011). Optimization of Roselle drying time and drying quality. *Canadian Biosystems Engineering*, 53, 3.1–3.8.
- Janjai, S., and Keawprasert, T. (2006). Design and performance of a solar tunnel dryer with a polycarbonate cover. *International Energy Journal*, 7(3), 187–194. (in Thai)
- Jeentada, W., Niyomvas, B.} and Thaikul, A. (2018). Experimental study on drying conditions of solar fish dryer with temperature controlled by open-closed ventilating system. *The Journal of KMUTNB*, 28(3), 525–536. (in Thai)
- Kotmanee, S. (2022, April 4). Solar drying facility combined with heat energy from other sources. Aquatic Animal Industrial Engineering Group, Division of Research and Development of Aquatic Animal Industrial Technology, Department of Fisheries. (in Thai)
- Lema A. A., Mahmod N. H., Khandaker M. M., Nudin N. F. H., and Dogara A. M. (2022). The effects of various drying techniques on physicochemical and nutritional qualities of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyx. *Plant Science Today*, 9(4), 926–933.
- Lye, Y. C., Teng, S. K., Neo, Y. P., Sim, Y. Y., and Chew, S. C. (2023). The potential of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) plant in industrial applications: A promising source of functional compounds. *Journal of Oleo Science*. 73(3), 275-292.
- Meza, J. J., Ramirez, J. J., and Diaz, J. J. (2008). The design and proposal of a thermodynamic drying system for the dehydration of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) and other agro-industrial products. *African Journal of Agricultural Research*, 3(7), 477–485.
- Mohamad, O., Mohd. Nazir, B., Abdul Rahman, M., and Herman, S. (2002). Roselle: A new crop in Malaysia. *Bulletin PGM*. Kuala Lumpur.
- Nakpong, P., and Wootthikanokkhan, S. (2010). Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) oil as an alternative feedstock for biodiesel production in Thailand. *Fuel*, 89(8), 1806–1811.
- Phattharanan Thiangma. (2023). *Effect of drying condition and storage time on bioactive compounds of Asparagus racemosus Willd.* [Master's thesis, Mahasarakham University]. (in Thai)
- Phuphathanaphong, L., Siriruksa, P., and Nuvongsri, G. (1989). The genus *Hibiscus* in Thailand. *Thai Forest Bulletin*, 18, 43–79. (in Thai)
- Sanaa M. Abdel-Hameed, Reem M. Abdel-Raouf., and W.M. Abdel-Aleem (2017). Drying kinetics, quality attributes and moisture sorption isotherms during

- storage of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) dried under solar drying conditions. *Egyptian Journal of Food Science*, 45, 43–56.
- Sánchez-Feria, C., Salinas-Moreno, Y., Ybarra-Moncada, M. del C., González-Hernández, V. A., & Machuca-Sánchez, M. L. (2021). Effect of the dehydration method of *Hibiscus sabdariffa* L. calyces on the quality of their aqueous extracts. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 33(2), 159-170.
- Siripanya, T. (2023). *Development of a solar dryer with a hot air tube combined with a parabolic trough solar receiver for the agricultural drying process*. [Master's thesis, Maejo University]. (in Thai)
- Somrit, H. (2007). กระเจี๊ยบแดง. *Journal of Clinical Medical Education*, 24(4), 300-303.
- Soponronnarit, S. (1997). *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท (7th ed.)*. King Mongkut's University of Technology Thonburi. (in Thai)
- Thai Industrial Standards Institute. (2004). *Community product standard for dried herbs TIS 480/2004*. [https://fic.nfi.or.th/law/upload/file1/TH\\_1260.pdf](https://fic.nfi.or.th/law/upload/file1/TH_1260.pdf)