



โครงการทางวิศวกรรม

เรื่อง

การอบแห้งดอกคาโมไมล์ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับ

กลุ่มวิสาหกิจชุมชน

กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย

Drying of Chamomile Flower (*Matricaria recutita* L.) Using a Solar
Dryer for: Sa-Ngo Royal Project Development Center, Chiang Rai
Province

นางสาว	พรรณนิษา	ศรีวิชัย	รหัสนักศึกษา	6515125039
นาย	ภูวฤทธิ์	อุปปีง	รหัสนักศึกษา	6515125045
นางสาว	อิชยา	ขวัญธนพิริยศ	รหัสนักศึกษา	6515125066

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร (ต่อเนื่อง)

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีการศึกษา 2566



โครงการทางวิศวกรรม

เรื่อง

การอบแห้งดอกคาโมไมล์ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับ

กลุ่มวิสาหกิจชุมชน

กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย

Drying of Chamomile Flower (*Matricaria recutita* L.) Using a Solar
Dryer for: Sa-Ngo Royal Project Development Center, Chiang Rai
Province

นางสาว	พรรณนิษา	ศรีวิชัย	รหัสนักศึกษา	6515125039
นาย	ภูวฤทธิ์	อุปปีง	รหัสนักศึกษา	6515125045
นางสาว	อิชยา	ขวัญธนพิริยศ	รหัสนักศึกษา	6515125066

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร (ต่อเนื่อง)

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีการศึกษา 2566



การอบแห้งดอกคาโมไมล์ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับ

กลุ่มวิสาหกิจชุมชน

กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย

Drying of Chamomile Flower (*Matricaria recutita* L.) .) Using a Solar Dryer for: Sa-Ngo

Royal Project Development Center, Chiang Rai Province

นางสาว	พรรณนิษา	ศรีวิชัย	รหัสนักศึกษา	6515125039
นาย	ภูวฤทธิ์	อุปปีง	รหัสนักศึกษา	6515125045
นางสาว	อิชยา	ขวัญธนพิริยศ	รหัสนักศึกษา	6515125066

โครงการนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานทดแทน
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คณะกรรมการสอบโครงการ

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิ์ชัย อัครวราชันย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุระพล รียะนา)

..... คณบดีวิทยาลัยพลังงานทดแทน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง)

วันที่ 10 เดือน มกราคม พ.ศ. 2567

.....

@ ลิขสิทธิ์ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย การอบแห้งดอกคาโมไมล์ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับกลุ่มวิสาหกิจขนาดชุมชน เป็นโครงการวิศวกรรม ในหลักสูตรวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประสบความสำเร็จ

ผู้วิจัยกราบขอบคุณรองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล, อาจารย์ ดร.สุระพล รียะนา และ รองศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัคราพันธ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาทุกขั้นตอนตลอดจนชี้แนะแนวทาง อันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินโครงการวิศวกรรมฯครั้งนี้ทำให้โครงการสมบูรณ์ จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มอบทุนสนับสนุนเพื่อทำโครงการพลังงานทดแทน เทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตรสมัยใหม่ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้งบประมาณสนับสนุน "โครงการยกระดับวิสาหกิจชุมชนและผู้ประกอบการใหม่ด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมการเกษตรสมัยใหม่ (ภายใต้ กิจกรรม : พัฒนากำลังคนด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมอัจฉริยะ)" สำหรับนักศึกษาปริญญาตรีประจำปีงบประมาณ 2565 สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ หากผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำโครงการขออภัยไว้ ณ ที่นี้

นางสาวพรรณนิษา ศรีวิชัย

นายภูวฤทธิ์ อุปปิง

นางสาวอิชยา ขวัญธนพิริยศ

ผู้วิจัยการวิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อโครงการ	การอบแห้งดอกคาโมไมล์ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน	
	กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย	
ผู้ทำโครงการ	1. นางสาวพรรณนิษา ศรีวิชัย	รหัสนักศึกษา 6515125039
	2. นายภูวฤทธิ์ อุปปิง	รหัสนักศึกษา 6515125045
	3. นางสาวอิชยา ขวัญธนพิยศ	รหัสนักศึกษา 6515125066
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัครราชันย์	
กรรมการ	1. รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล	
	2. อาจารย์ ดร.สุระพล ธิยะนา	

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการแปรรูปดอกคาโมไมล์อบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน โดยเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง ตัวอย่างดอกคาโมไมล์ที่ใช้ในการศึกษานี้มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 78.81 ± 2.36 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก อบแห้งเหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 7 - 8 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก ปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.4 ตามลำดับ โดยอัตราการอบแห้งดอกคาโมไมล์มีค่าเท่ากับ 3.26 และ 4.51 กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัม*ชั่วโมง ด้วยการอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง และโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการศึกษานี้ตามลำดับ

ผลการตรวจวิเคราะห์สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ ในระบบสี CIE- L^*a^*b พบว่าดอกคาโมไมล์ มีค่าความสว่าง (L^* -value) และความเป็นสีเหลือง (b^* -value) เท่ากับ 61.84 ± 3.01 และ 15.65 ± 2.10 มีมากกว่าตัวอย่างคาโมไมล์ที่อบแห้งแบบดั้งเดิมเท่ากับ 37.99 และ 34.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบสมบัติทางเคมี พบว่าปริมาณฟีนอลิกรวมเท่ากับมีค่าเท่ากับ $1,291 \pm 104.13$ มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง และผลการวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (ABTS และ DPPH) เท่ากับ $1,412 \pm 175.05$ และ $2,401 \pm 227.01$ มิลลิกรัมTroloxต่อมิลลิลิตรของการสกัดตามลำดับ

นอกจากนี้ยังตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์รวม และไม่พบปริมาณของยีสต์และรา แต่อายุการเก็บรักษาของดอกคาโมไมล์อบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 10 เดือน แต่ดอกคาโมไมล์อบแห้ง ที่อบแห้งด้วยรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงมีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 6 เดือนและการดำเนินส่วนสุดท้าย ได้แก่ การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าต้นทุนการผลิตโรงอบแห้งแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 30,000 บาท โดยจำหน่ายให้กับโครงการหลวงกิโลกรัมละ 900 บาท สามารถวิเคราะห์ระยะการคืนทุน (BP) เท่ากับ 0.64 ปี (8 เดือน) และอัตราการคืนทุน (IRR) เท่ากับ 155.72 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

คำสำคัญ: ดอกคาโมไมล์, โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ปริมาณฟีนอลิก, ระยะเวลาการคืนทุน, อัตราการคืนทุน

Abstract

Project Title	Drying of Chamomile Flower (<i>Matricaria recutita</i> L.) Using a Solar Dryer for: Sa-Ngo Royal Project Development Center, Chiang Rai Province	
Author	1. Miss Pannisa Sriwichai	Student ID 6515125039
	2. Mr. Phuwarit Upping	Student ID 6515125045
	3. Miss Isaya Khwanthanapeerayot	Student ID 6515125066
Adviser	Associate Professor Dr. Rittichai Assawarachan	
Committee	1. Associate Professor Samerkhwan Tantikul	
	2. Dr. Surapon Riyana	

The objective of this research project is to develop a solar drying system for small-scale community businesses to process dried chrysanthemum flowers. The study compares the traditional drying method used by farmers with a solar drying system. The chrysanthemum flowers used in this study had an initial moisture content of 78.81 ± 2.36 %w.b and were dried to a final moisture content of 7 - 8 %w.b. The free water activity (aw) was found to be 0.4. The drying rate of the chrysanthemum flowers was 3.26 and 4.51 kg water per kg dry matter per hour using the traditional drying method and the solar drying system, respectively.

Analyzing the optical properties in the CIE-L*a*b color system, it was found that the dried chrysanthemum flowers had higher lightness (L^* -value) and yellowness (b^* -value) compared to the chrysanthemum flowers dried using the traditional method. The L^* -value and b^* -value were 61.84 ± 3.01 and 15.65 ± 2.10 , respectively, while the values for the traditional drying method were 37.99 and 34.57, respectively.

Analyzing the chemical properties, the total phenolic content of the dried chrysanthemum flowers was found to be $1,291 \pm 104.13$ mg gallic acid equivalents per 100 g dry matter ($\text{mg}_{\text{GAE}}/100 \text{ g}$). The ability to inhibit free radicals (ABTS and DPPH) was $1,412 \pm 175.05$ and $2,401 \pm 227.01$ milligrams trolox equivalents per milliliter of extract ($\text{mg}_{\text{TEAC}}/\text{mL}$), respectively.

The final phase of the research project is dedicated to evaluate the long-term implications of this approach, focusing on the extension of chamomile's shelf life to an impressive 10 months, which marks a significant improvement compared to the 6-month shelf life of chamomile flowers dried directly through solar energy. Economic analysis showed that the production cost of the solar drying system was 30,000 Baht, with a selling price of 900 Baht per kilogram. The payback period (BP) was calculated to be 0.64 years (8 months), and the internal rate of return (IRR) was 155.72 percent per year.

Key words: Chamomile, Solar dryer dome, Phenolic content, Payback Period, Return on Investment

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญภาพ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจสอบเอกสาร.....	3
2.1 ข้อมูลพื้นฐานของดอกคาโมไมล์	3
2.2 พื้นฐานการอบแห้งด้วยลมร้อน.....	4
2.3 เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์.....	7
2.4 ค่าพารามิเตอร์การอบแห้ง.....	10
2.5 สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งของอาหาร	14
2.6 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเบื้องต้น	16
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 วิธีการวิจัย สถานที่ดำเนินงานวิจัย	22
3.1 วิธีการดำเนินวิจัย	22
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	23
3.5 การประเมินอายุการเก็บรักษา.....	33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล.....	38
4.1 การพัฒนาโรงอบแห้งแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน.....	38
4.2 เปรียบเทียบการอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง และ โรงอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์สำหรับ.....	43
4.3 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมการผลิต	48
บทที่ 5.....	51
5.1 สรุปผล.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก ก.	55
ภาคผนวก ข.	62
ประวัติผู้ทำโครงการ	64
ประวัติผู้ทำโครงการ	65
ประวัติผู้ทำโครงการ	66

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1	ภาพถ่ายของดอกคาโมไมล์
2.2	ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ของประเทศไทย
2.3	แผนภาพชนิดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่างๆ
2.4	การอบแห้งด้วยวิธีการตากด้วยแสงอาทิตย์
2.5	การอบแห้งระบบ Passive solar dryer
2.6	ตู้อบแห้งแบบโซล่ากรีนเฮ้าส์ (Greenhouse dryer)
2.7	เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Hybrid solar dryer)
2.8	ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความชื้นด้วยตามมาตรฐาน AOAC (2010)
2.9	แผนผังการวิเคราะห์พื้นฐานสมดุลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง
2.10	เส้นโค้งความสัมพันธ์ของเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง
3.1	แผนการดำเนินการดำเนินโครงการวิศวกรรม
3.2	อุปกรณ์เครื่องมือวัดค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบการอบแห้ง
3.3	เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น
3.4	ขั้นตอนการติดตั้ง เครื่องวัดอุณหภูมิ และวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์การติดตั้งเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น
3.5	แบบร่างทางวิศวกรรมโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกระบบความร้อนร่วมระบบควบคุมแบบ IoT automatic controller
3.6	ตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์สำหรับการตรวจวัดการกระจายความร้อนภายในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกระบบความร้อนร่วมระบบควบคุมแบบ automatic controller
3.7	ลักษณะการไหลเวียนลมร้อนภายในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกระบบความร้อนร่วมระบบควบคุมแบบ automatic controller
3.8	แผนผังแสดงการคำนวณความชื้นเริ่มต้น
3.9	ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าความชื้นด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (2010)
3.10	ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าความชื้นด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (2010)

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
3.11	การตรวจวัดความชื้นสุดท้ายด้วยเครื่องวัดค่าความชื้นด้วยระบบหลอดฮาโลเจนของดอกคาโมไมล์อบแห้ง	29
3.12	การตรวจวัดการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำอิสระของดอกคาโมไมล์อบแห้งด้วยเครื่อง AQUA lab	29
3.13	ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี spectrophotometer ยี่ห้อ HunterLab รุ่น MiniScan XE PLUS	30
3.14	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ทางเคมี	30
3.15	ขั้นตอนการวิเคราะห์การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม	31
3.16	วัดสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยเครื่อง Microplate Reader	31
3.17	ตัวอย่างสารสกัดน้ำของดอกคาโมไมล์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	32
3.18	การวิเคราะห์กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ	33
3.19	ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างเพื่อใช้ตรวจอายุการเก็บรักษาของดอกคาโมไมล์อบแห้ง	34
3.20	ขั้นตอนการหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด	34
3.21	ขั้นตอนการเพาะเชื้อด้วยเทคนิค pour plate	36
4.1	การพัฒนาโรงอบแห้งแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติ (ก-ง) ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องอบแห้ง	38
4.2	ขั้นตอนการทดสอบการอบแห้งดอกคาโมไมล์ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนเสริม ขนาดห้องปฏิบัติการ (30 กิโลกรัม)	39
4.3	ดอกคาโมไมล์อบแห้ง	40
4.4	อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ในของเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ระบบความร้อนร่วม (ขนาดห้องปฏิบัติการ) ปิดระบบการไหลเวียนอากาศ	40
4.5	แผนภาพแสดงคุณสมบัติของอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในระหว่างการอบแห้ง	41
4.6	การวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศที่สภาวะต่าง ๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	43
4.7	การทดสอบการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์วิสาหกิจชุมชน ในวันที่อากาศโปร่งใส	45
4.8	การทดสอบการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์วิสาหกิจชุมชน ในอากาศไม่โปร่งใส	46
4.9	ภาพถ่ายดอกคาโมไมล์ที่ใช้ในการทดลอง	47

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทุกชนิด โดยใช้แหล่งของพลังงานความร้อนต่างกัน	7
4.1	คุณสมบัติอากาศที่สภาวะต่าง ๆ ผ่านโปรแกรม CYTSoft Psychometric Chart เวอร์ชัน 2	41
4.4	ข้อมูลเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของดอกคาโมไมล์อบแห้งระหว่างการทดสอบ อบแห้ง	47

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

MC_{wb}	ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก (เปอร์เซ็นต์wb)
MC_{db}	ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (เปอร์เซ็นต์db)
a_w	ปริมาณน้ำอิสระ (ตัวแปรไร้มิติ)
P	กำลังไฟฟ้า (kW-hr)
Q	พลังงานความร้อน (kJ)
DR	อัตราการอบแห้ง
SECs	พลังงานจำเพาะในการอบแห้ง
η_t	ค่าประสิทธิภาพรวมในการอบแห้ง
t	เวลาในการให้ความร้อนในระหว่างอบแห้ง
F	ต้นทุนคงที่
OP	ต้นทุนผันแปร
ROR	เปอร์เซ็นต์การคืนทุน
BP	ระยะเวลาในการคืนทุน

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ชาวบ้านในพื้นที่ใกล้ศูนย์โครงการหลวงสะโง๊ะ มีอาชีพเป็นเกษตรกรปลูกพืชตามฤดูกาล ช่วงเดือน พฤษภาคม ถึง เดือน ตุลาคม จะทำการปลูกข้าว ในช่วง พฤศจิกายน ถึง เดือนเมษายน จะปลูกดอกคาโมไมล์ ทำการตากแห้ง และจำหน่ายให้กับโครงการหลวง แต่เกษตรกรยังใช้วิธีแบบดั้งเดิมในการผลิต วิธีการตากจะเป็นวิธีการตากแห้งแบบดั้งเดิม จึงทำให้การแปรรูปไม่ได้มาตรฐานความปลอดภัย เพราะดอกคาโมไมล์ยังมีความชื้นอยู่ในดอก นอกจากภูมิทัศน์มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะและมีอากาศความชื้นในอากาศสูง จึงเป็นปัญหาในการตากแห้งดอกคาโมไมล์ให้สนิท จึงเป็นที่มาของการพัฒนาโรงอบแห้งแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน แทนการตากแห้งแบบดั้งเดิม

ดังนั้นเพื่อทำโครงการวิศวกรรมให้มีความสมบูรณ์มากขึ้นจำเป็นต้องศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางภาคพารามิเตอร์และคุณภาพของดอกคาโมไมล์อบแห้ง โดยเปรียบเทียบการอบแห้งระหว่างการอบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน และ วิธีการตากแดดแบบวิธีดั้งเดิม ในรูปแบบของการเปรียบเทียบมีดังนี้ อัตราการอบแห้ง สมบัติทางเคมี – กายภาพสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของดอกคาโมไมล์อบแห้ง ประเมินอายุการเก็บรักษา รวมทั้งการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกรพิจารณาถึงความเหมาะสม และความคุ้มค่าต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาผลวิธีการอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง และการอบแห้งดอกคาโมไมล์ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางการอบแห้ง สมบัติทางเคมี – กายภาพ สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของดอกคาโมไมล์อบแห้งและประเมินอายุการเก็บรักษา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้น (Initial moisture content, M_i), และค่าความชื้นสุดท้ายของดอกคาโมไมล์อบแห้ง (M_f) การวิเคราะห์อัตราการอบแห้ง (dM/dt) พลังงานจำเพาะในการอบแห้ง (SECs) ของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดวิสาหกิจชุมชน และการอบแห้งด้วยวิธีแบบดั้งเดิม

1.3.2 วิเคราะห์สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ ในระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ ปริมาณน้ำอิสระ (a_w), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) และ (ABTS) ของดอกคาโมไมล์อบแห้ง

1.3.3 เปรียบเทียบอายุการเก็บรักษา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยนี้จะทำให้ทราบถึงข้อมูลพื้นฐาน และค่าพารามิเตอร์การอบแห้งดอกคาโมไมล์ ได้แก่ ค่าความชื้นเริ่มต้น ค่าความชื้นสุดท้าย ปริมาณน้ำอิสระ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 ได้โรงอบแสงอาทิตย์ขนาดวิสาหกิจชุมชน (ต้นแบบ) จำนวน 1 โรง

1.4.2 ได้ข้อมูลเชิงวิศวกรรมของอัตราการอบแห้ง รวมของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างการอบแห้งด้วยดอกคาโมไมล์

1.4.3 ได้ข้อมูลการอบแห้งของดอกคาโมไมล์ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ในการอบแห้งดอกคาโมไมล์เพื่อเป็นประโยชน์สามารถรักษาคุณภาพสี และสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ และข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อนำไปประเมินต้นทุนการผลิต

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลพื้นฐานของดอกคาโมไมล์

คาโมไมล์ (Chamomile) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Chamaemelum nobile* (L.) All. เป็นพืชล้มลุกมีขนาดเล็ก ดอกมีเกสรสีเหลือง กลีบดอกสีขาวชาวตะวันตกนิยมใช้ดอกมาชงเป็นชาสมุนไพรนานนับร้อยปีแล้วโดยดอกคาโมไมล์จะเบ่งบานอยู่บนก้านที่สูงชะลูดในฤดูร้อน มีกลิ่นหอมอ่อนๆ อบอวลไปทั่วบริเวณ มีการนำเอาดอกคาโมไมล์มาแปรรูปอบแห้งใช้ทำชาดื่ม ทำน้ำยาบ้วนปาก ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่ได้จะมีฤทธิ์ช่วยรักษาแผลและอาการอักเสบรักษาอาการหดรัดเกร็งของกระเพาะอาหาร และใช้ทำยาบรรเทาอาการปวด แก้วเวียนศีรษะได้ ปัจจุบันนิยมนำดอกคาโมไมล์มาอบแห้ง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และถูกนำไปใช้ในการแปรรูปในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพร และเป็นวัตถุดิบในการนำไปสกัดเป็นน้ำมันหอมระเหย (Essential oil) จากฐานข้อมูลโดย Sökand และคณะ (2013) พบว่านิยมนำดอกคาโมไมล์เยอรมันอบแห้ง (German-chamomile) นำไปสกัดน้ำมันหอมระเหยซึ่งมีสารโดดเด่นในการรักษาและป้องกันโรคทางด้านผิวหนังต่างๆ ได้เป็นอย่างดีจึงมีคุณประโยชน์ในการช่วยลดการระคายเคืองและการอักเสบของปัญหาผิวและผิวพรรณ และช่วยปรับสภาพผิวเพิ่มความขาวเรียบเนียน สามารถลดรอยแผลเป็นและนำไปใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางเป็นยารักษาโรคผิวหนังที่มีฤทธิ์ในการรักษาแผลและอาการอักเสบ



ภาพ 2.1 ภาพถ่ายของดอกคาโมไมล์ 1

Raal และคณะ (2012) ศึกษาวิเคราะห์หาสารฟีนอลิกในสารสกัดดอกคาโมไมล์อบแห้ง ด้วยเครื่องวิเคราะห์ HPLC จากแหล่งผลิตดอกคาโมไมล์อบแห้งที่นำเข้าจากประเทศต่างๆ พบว่าผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรดอกคาโมไมล์ และชาดอกคาโมไมล์พร้อมดื่ม เนื่องจากดอกคาโมไมล์อบแห้งจะมีสารฟีนอลิก (Phenolic compounds) จำพวกฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ในปริมาณที่มาก ซึ่งประกอบด้วยวงอะโรมาติกตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปโดยมีการจับกับคาบอนและ Aromatic Hydroxy-1 โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยตามระดับการออกซิเดชันและหมู่ฟังก์ชันสารประกอบ Flavonoid อาจเรียกได้ว่าเป็นสาร Nutraceutical ซึ่งหมายถึงอาหารหรือองค์ประกอบของอาหารที่สามารถนำมาใช้เป็นยาหรือมีประโยชน์ต่อสุขภาพทั้งในด้านการป้องกันและการรักษาโรคมีคุณสมบัติ

เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถช่วยป้องกันการถูกทำลายของเซลล์และเนื้อเยื่อร่างกายจากอนุมูลอิสระและออกซิเจนอิสระสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Nováková และคณะ (2010) ศึกษาผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิก ด้วยวิธี UHPLC-MS/MS ในสารสกัดของดอกคาโมไมล์และชาดอกคาโมไมล์ ซึ่งสกัดด้วยน้ำร้อน ซึ่งพบว่าสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญเป็นปริมาณมาก และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจำนวน 12 ชนิด ที่สรรพคุณทางเภสัชเช่น Chiorogenic acid, Caffeic acid, Umbelliferon, Quercetin-3-glucoside, Rutin, Apigenin-7-glucoside, Quercitrin, Luteolin, Kaempferol, Apigenin, Isorhamnetin เป็นต้น

Harbourne และคณะ (2009a) เปรียบเทียบสภาวะการอบแห้งดอกคาโมไมล์แบบต่างๆ เช่น การอบแห้งโดยการพาแบบธรรมชาติที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส และการอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนที่ 40 และ 80 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบระเหิด (Freeze-dried) จากนั้นนำดอกคาโมไมล์อบแห้งไปสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และนำสารสกัดไปตรวจวัดคุณภาพสี และปริมาณสารฟีนอลิก จากผลการศึกษาพบว่าวิธีการอบแห้งแบบระเหิดมีอัตราการสูญเสียของสารฟีนอลิก ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) น้อยที่สุด แต่มีต้นทุนในการอบแห้งที่สูง ในขณะที่การอบแห้งด้วยเตาอบลมร้อนที่ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารฟีนอลิกรองจากวิธีการอบแห้งแบบระเหิดแต่มีต้นทุนในการอบแห้งที่ต่ำกว่า และมีวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยผลการวิจัยที่ศึกษาเป็นแนวทางที่สำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากดอกคาโมไมล์ได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Harbourn และคณะ(2009b) ที่ศึกษาผลกระทบของการอบแห้งและสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมต่อการสลายตัวของสารฟีนอลิกของชาสมุนไพรจาก Meadowsweet และ Willow พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถช่วยรักษาปริมาณสารฟีนอลิกได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และตรวจพบปริมาณสาร Total quercetin ใกล้เคียงการอบแห้งแบบระเหิดและไม่มีความแตกต่างเชิงสถิติ ที่มีต้นทุนการอบแห้งสูง

ปองพล และฤทธิชัย (2557) เพิ่มข้อมูลศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อน (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส) และความหนาของชั้นวัสดุ (10, 15 และ 20 มิลลิเมตร) ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของดอกคาโมไมล์อบแห้ง ได้แก่ ค่าความสว่าง/ความมืด (L^*) ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE) และค่าความสดของสี (C^*) จากการทดลองอบแห้งดอกคาโมไมล์ที่มีความชื้นเริ่มต้น 4.69 จนเหลือความชื้นสุดท้าย 0.70 กรัม/กรัมของแห้ง โดยวิธีการอบแห้งแบบถาด พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งอยู่ในช่วง 100-435 นาที ทั้งนี้เวลาในการอบแห้งลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นและใช้ชั้นวัสดุบางลงจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของดอกคาโมไมล์อบแห้ง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนและชั้นวัสดุหนาขึ้น ทำให้ค่า L^* มีค่าลดลง แต่ในขณะที่ค่า ΔE มีค่าเพิ่มขึ้น และค่า C^* ของดอกคาโมไมล์อบแห้งมีค่าใกล้เคียงกับดอกคาโมไมล์สด

2.2 พื้นฐานการอบแห้งด้วยลมร้อน

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยการลดปริมาณน้ำในอาหารลงในระดับที่ส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียไม่สามารถเจริญเติบโตในอาหาร และช่วยลดการ

เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เป็นสาเหตุการเสื่อมสภาพของอาหาร เช่น การเสื่อมเสียของสมบัติทางกายภาพ เช่น สี ขนาด เนื้อสัมผัส และการเสื่อมเสียของสมบัติทางเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมถึงปฏิกิริยาทางเคมีอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการสลายตัวของสารอาหารที่สำคัญ การอบแห้งนับเป็นหน่วยปฏิบัติการทางวิศวกรรมที่สำคัญของอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทั้งในระดับเล็กถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยวัตถุประสงค์ของการอบแห้งนั้น เพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารโดยตรง เช่น การผลิตที่เหมาะสมต่อการลดการสูญเสียคุณภาพผักและผลไม้ การใช้เทคโนโลยีการอบแห้งที่เหมาะสม รวมถึงการพัฒนาเครื่องอบแห้งให้เกิดความเหมาะสมทั้งด้านการผลิต และด้านเศรษฐศาสตร์

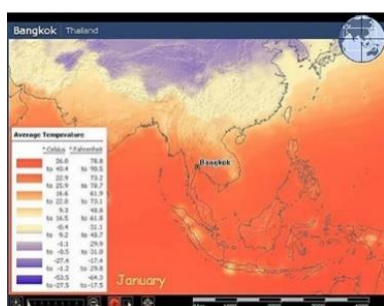
2.2.1 หลักการพื้นฐานของการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารด้วยการลดปริมาณน้ำจากอาหาร ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านมวลความชื้น ด้วยกลไกการแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบต่างๆ การอบแห้งประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นไปกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อให้ นักศึกษา และผู้อ่านตำราวิชาเทคโนโลยีการอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร เข้าใจพื้นฐานของการอบแห้งอาหาร ดังนั้นตัวอย่างการอบแห้งสำคัญได้แก่ การอบแห้งด้วยลมร้อนด้วยลมร้อนของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ Tunnel dryer มีกลไกการทำงานโดยการที่ Blower ดูดอากาศสดไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หรือแหล่งกำเนิดความร้อนโดยตรง (Heater) เกิดการเปลี่ยนสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลง ในที่นี้เรียกอากาศร้อนโดยการอบแห้งจะเริ่มจากการที่ลมร้อนสัมผัสในลักษณะการไหลผ่านวัสดุอาหารที่วางเรียงในถาดในลักษณะการไหลผ่านทิศทางเดียว (Direction of air flow) ส่งผลให้วัสดุอาหารเกิดการเพิ่มอุณหภูมิเนื่องจากวัสดุอาหารดูดซับพลังงานความร้อน และเมื่อวัสดุอาหารดูดซับพลังงานความร้อนถึงระดับหนึ่งปริมาณน้ำในอาหารก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลว กลายเป็นไอน้ำและระเหยออกจากวัสดุอาหารไปกับลมร้อนขึ้นออกจากระบบ (Exhaust air) ผลของปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอาหารส่งผลให้ค่าความชื้นในอาหารลดลง วัสดุอาหารจะแห้งได้มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของมันด้วยการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง เมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอ จะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลง ซึ่งนอกจากจะมีกรณีที่วัตถุดิบมีสภาพเป็นของแข็งที่เปียกชื้นแล้ว ยังมีกรณีที่อบของเหลวข้น (Slurry) หรือของเหลวใสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงอีกด้วย

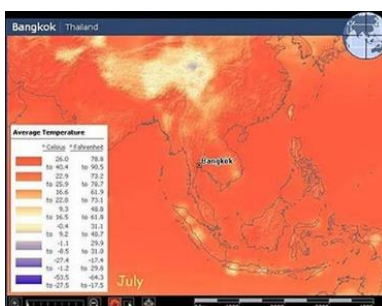
2.2.2 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งเป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในการแปรรูปผลผลิตเกษตรเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตให้ยาวนานขึ้น ซึ่งจะช่วยรองรับปัญหาผลผลิตเกษตรล้นตลาดได้อีกทางหนึ่ง ปัจจุบันเกษตรกรจำนวนมากนิยมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการทำแห้งของผลผลิตทางการเกษตรหลากหลายชนิด เช่น การลดความชื้นในข้าวเปลือก การทำแห้งผักผลไม้ เป็นต้น ซึ่งมีกระบวนการทำแห้งในลักษณะลานตาก ซึ่งการทำแห้งแบบนี้เป็นที่นิยมอย่างมากในกลุ่มเกษตรกรทั่วไป เนื่องจากมีต้นทุนในการทำแห้งต่ำ และมีวิธีการทำแห้งที่ไม่ยุ่งยากอะไร อย่างไรก็ตามการทำแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในลักษณะลานตากก็มีข้อจำกัดอย่างมากมาย เนื่องจากไม่

สามารถควบคุมสภาวะในการตากได้และมีอัตราการอบแห้งที่ไม่แน่นอน รวมทั้งไม่สามารถควบคุมการปนเปื้อนของสิ่งปลอมปนที่เป็นอันตรายในผลิตภัณฑ์ได้ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ทำแห้งด้วยวิธีลานตากไม่เป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมและกลุ่มผู้บริโภค ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทดแทนการทำแห้งแบบตากด้วยแสงอาทิตย์ จุดเด่นที่สำคัญของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ คือสามารถควบคุมสภาวะในการอบแห้งได้และลดการปนเปื้อนของสิ่งปลอมปนที่เป็นอันตรายในผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากอุณหภูมิของคลื่นความร้อนจากแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยประมาณ 38.5-42.1 องศาเซลเซียสและมีความชื้นในอากาศสูง ประสิทธิภาพการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีประสิทธิภาพในการอบแห้งต่ำ และใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้แหล่งความร้อนที่ใช้แหล่งพลังงานจากไฟฟ้า แก๊ส และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



(ก)



(ข)

ภาพ 2.2 ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

(ก) มกราคม - มิถุนายน (ข) กรกฎาคม - ธันวาคม

การศึกษาวิจัยการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในด้านการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร อากาศอบแห้งผักและผลไม้ เป็นต้น การใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนในรูปแบบอื่น ๆ ดังนั้น จึงมีการพัฒนาความรู้และวิทยาการเพื่อนำพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ทั่วไปมาใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรมมากที่สุด เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่บนคาบสมุทรอินโดจีนในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ภาพที่ 2.2) โดยตั้งอยู่บนเส้นแวงหรือลองจิจูดที่ (Longitude 97-106E) และเส้นรุ้งหรือละติจูด (Latitude 5 - 20 N) เนื่องจากตำแหน่งของทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทยอยู่ในแนวเขตเส้นศูนย์สูตรพื้นที่เกือบทั้งหมดของประเทศไทยรับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดทั้งปี ความเข้มของแสงโดยเฉลี่ยของแผ่นรับรังสีในแต่ละวันในประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 5 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร (วัฒนพงษ์ และคณะ, 2547)

ผลการวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ซึ่งรายงานโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2540) พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ต่อตารางเมตรต่อวันของจังหวัดต่างๆ ในประเทศไทยสูงทุกจังหวัดโดยมีค่าระหว่าง 4.5 - 5.5 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน ซึ่งเพียงพอต่อการนำมาพัฒนากระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเกษตร ข้อสรุปดังกล่าวเป็นไปแนวทางเดียวกับงานวิจัยของ วัฒนพงษ์ และคณะ (2547) ซึ่งพบว่าพื้นที่ของประเทศไทยจะได้รับคลื่นความร้อนจากแสงอาทิตย์ซึ่งคิดเป็นพลังงานประมาณ 17 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ดังนั้นประเทศไทยจึงมีพื้นที่ที่มีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการใช้ประโยชน์พลังงานแสงอาทิตย์ใน

ลักษณะพลังงานทดแทน สามารถนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในการแปรรูปอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (2551) ได้แสดงการเปรียบเทียบการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทุกชนิด โดยใช้แหล่งของพลังงานความร้อนต่างกัน (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทุกชนิด โดยใช้แหล่งของพลังงานความร้อนต่างกัน

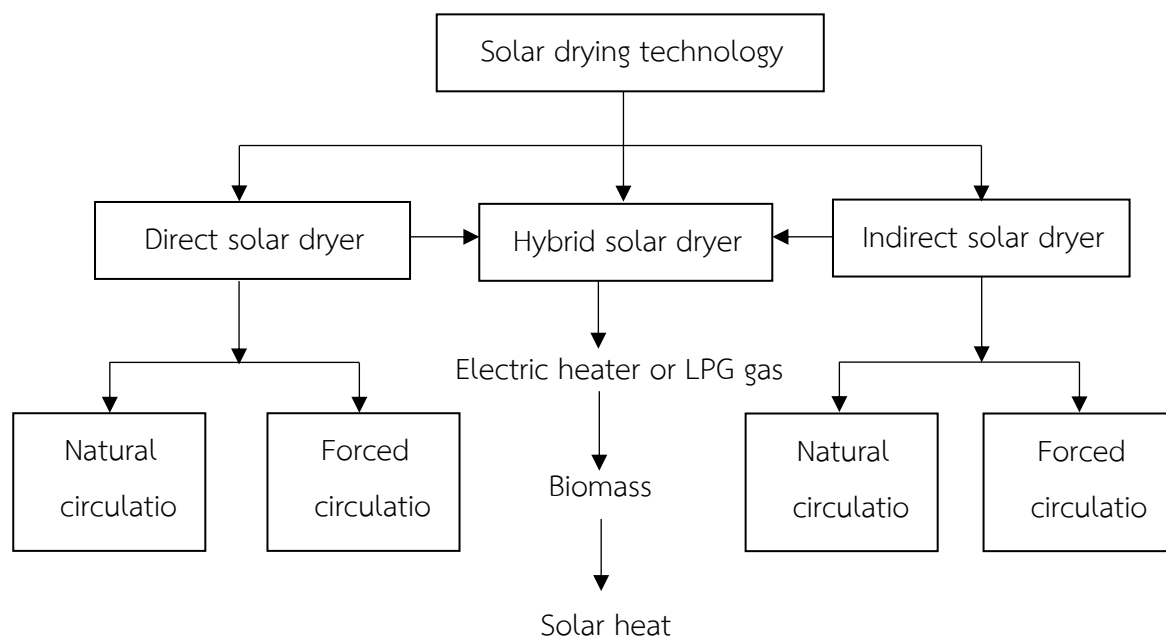
รายการ	แสงอาทิตย์	น้ำมันเตา	ไฟฟ้า
1. ค่าใช้จ่ายพลังงาน	ไม่มี	ราคาถูก	ราคาแพง
2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	ไม่มี	มีมาก	มีเล็กน้อย
3. ค่าลงทุนก่อสร้าง	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
4. ความคุ้มทุนระยะยาว	ให้ผลคุ้มค่า	ปานกลาง	ต่ำ
5. สามารถใช้งานได้จากแหล่งพลังงานเดียว	ไม่ได้	ได้	ได้
6. ค่าพลังงานความร้อนต่อหน่วย	ต่ำ	สูง	ปานกลาง
7. การประหยัดพลังงาน	ไม่มีค่าใช้จ่าย	ปานกลาง	ไม่ประหยัด
8. ความสะดวกในการใช้	สะดวก	สะดวก	สะดวกที่สุด
9. ต้องการพื้นที่ติดตั้ง	มาก	ปานกลาง	น้อย

2.3 เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์

รายงานวิจัยของ Jairaj และคณะ (2009) ได้แบ่งประเภทของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ตามกลไกการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสารในขณะการอบแห้ง เป็น 3 ประเภท ได้แก่ การได้รับความร้อนจากคลื่นความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct solar dryer) การได้รับความร้อนผ่านตัวกลางนำความร้อนชนิดต่าง ๆ (Indirect solar dryer) และการใช้คลื่นความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมแหล่งความร้อนแบบอื่น ๆ (Hybrid solar dryer) ตามที่แสดงในภาพที่ 2.3 ปัจจุบันการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีการใช้งานในประเทศไทยจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

2.3.1 การอบแห้งระบบแพสซีฟ (Passive solar dryer)

การอบแห้งระบบแพสซีฟ คือ ระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และกระแสลมที่พัดผ่าน ได้แก่เครื่องอบแห้งโดยธรรมชาติ ตู้อบแห้งแบบได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง และ ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม



ภาพ 2.3 แผนภาพชนิดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่างๆ

2.3.2 การอบแห้งระบบแอคทีฟ (Active solar dryer)

การอบแห้งระบบแอคทีฟ คือ ระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น จะมีพัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้มีการไหลของอากาศผ่านระบบ พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ อากาศร้อนที่ไหลผ่านพัดลมและห้องอบแห้งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของพืชผล จึงพาความชื้นจากพืชผลออกสู่ภายนอก ทำให้พืชผลที่อบไว้แห้งได้ เช่น ตู้อบแห้งแบบโซล่ากรีนเฮาท์



ภาพ 2.4 การอบแห้งด้วยวิธีการตากด้วยแสงอาทิตย์



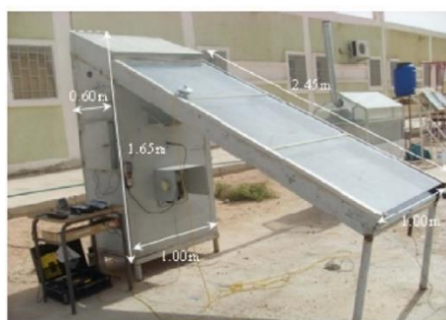
ภาพ 2.5 การอบแห้งระบบ Passive solar dryer



ภาพ 2.6 ตู้อบแห้งแบบโซล่ากรีนเฮาส์ Greenhouse dryer

2.3.3 การอบแห้งระบบพลังงานความร้อนร่วม (Hybrid solar dryer)

การอบแห้งระบบพลังงานความร้อนร่วม คือ ระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และยังต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ช่วยในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอหรือต้องการให้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรแห้งเร็วขึ้น เช่น ใช้ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล หรือร่วมกับพลังงานไฟฟ้า วัสดุอบแห้งจะได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ผ่านเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ และการหมุนเวียนของอากาศจะอาศัยพัดลมหรือเครื่องดูดอากาศช่วย (ภาพที่ 2.7)



ภาพ 2.7 เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ระบบพลังงานความร้อนร่วม (Hybrid solar dryer)

ที่มา: Boughali และคณะ (2000)

2.4 ค่าพารามิเตอร์การอบแห้ง

การศึกษาเทคโนโลยีการอบแห้งจำเป็นต้องเข้าใจองค์ประกอบพื้นฐานของอาหาร โดยอาหารมีโครงสร้างในลักษณะของเซลล์ขนาดใหญ่ ซึ่งภายในเซลล์อาหารประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ น้ำ คาโบไฮเดรต โปรตีน ลิพิด สารประกอบกลิ่น สี รส และเอนไซม์ ภายในเซลล์อาหารสามารถแบ่งออกเป็น 2 สถานะ ได้แก่ สถานะที่เป็นของแข็ง และสถานะที่เป็นของเหลว ดังนั้นจากหลักการอบแห้งได้อธิบายหลักการพื้นฐานในการอบแห้ง โดยการดึงน้ำออกจากอาหารผ่านกลไกการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่างๆ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้อธิบายค่าพารามิเตอร์การอบแห้ง ออกเป็น 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าความชื้น (Moisture content, M.C.) ค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, M_e) และปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ตามลำดับ โดยแบ่งเป็นรายละเอียดดังนี้

2.4.1 ค่าความชื้น (Moisture content)

ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารและผลิตภัณฑ์ทางเกษตรมีทั้งความชื้นที่เกาะติดที่ผิวของวัสดุ (Unbound moisture) ซึ่งสามารถไล่ความชื้นนี้ออกไปได้หมดโดยการให้ความร้อน ความชื้นอาจเกาะติดอยู่ภายในผนังด้านในท่อเล็กที่อยู่ภายในเนื้อวัสดุ (Bound moisture) โดยไม่สามารถไล่ความชื้นภายในวัสดุนี้ได้หมด ปริมาณความชื้นในวัสดุสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียกซึ่งใช้สัญลักษณ์สากล คือ %w.b. และค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งซึ่งใช้สัญลักษณ์สากล %d.b. โดย คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุขึ้นเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น ดังนี้

ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียกมีค่าเท่ากับมวลของน้ำที่ระเหยออก ในที่นี้คือผลต่างของน้ำหนักตัวอย่าง (Mass of moist sample) ก่อนและหลังการอบแห้งจนตัวอย่างเหลือน้ำหนักแห้ง (Mass of dry solids) โดยสถานะที่ใช้ในการอบแห้งใช้ที่อุณหภูมิ เท่ากับ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นวิธีมาตรฐานการวิเคราะห์ค่าความชื้นตามหลักการของ Association of Analytical Communities (AOAC, ที่มา: <http://www.aoac.org>) โดยแบ่งการวิเคราะห์หาความชื้นด้วยตามมาตรฐาน AOAC (2010) นั้นมีขั้นตอนในการเตรียมอุปกรณ์ โดยเริ่มจากอบ Moisture can ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำ Moisture can เก็บในโถดูดความชื้นที่มีสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ปล่อยให้เย็น Moisture can เย็น จากนั้นเตรียมนำ Moisture can ไปชั่งน้ำหนัก (บันทึกข้อมูล และใส่ตัวอย่างอาหาร หรือวัตถุดิบที่ต้องการหา จากนั้นชั่งน้ำหนักเริ่มต้นเมื่อเตรียมตัวอย่าง (Mass of moisture sample) นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบมาตรฐานที่อุณหภูมิ เท่ากับ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือสถานะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (สามารถใช้ได้ทั้งสองสถานะ) และนำ Moisture can ที่บรรจุตัวอย่างที่แห้งสนิทชั่งน้ำหนัก (บันทึกน้ำหนักแห้งโดยลบค่าน้ำหนักของ Moisture can ภาพ 2.5 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความชื้น



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพ 2.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความชื้นด้วยตามมาตรฐาน AOAC (2010)

(ก) การเตรียม Moisture can (ข) การอบแห้ง Moisture can (ค) การนำ Moisture can ที่ให้เย็นในตู้ความชื้น (ง) การเตรียมตัวอย่างอาหาร (จ) การอบแห้งตัวอย่างอาหารและ Moisture can ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือ เท่ากับ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (ฉ) ตัวอย่างอาหารที่แห้งสนิท

สมการหาค่าความชื้นที่ได้จากการวิเคราะห์

$$MC_{wb} = \frac{\text{mass of water}}{\text{mass of moisture sample}}$$

$$MC_{wb} = \frac{w - d}{W} \times 100 \quad (2.1)$$

เมื่อ MC_{wb} = ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก (%w.b.)

w = น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชิ้น (กรัม)

d = น้ำหนักของวัสดุแห้ง (กรัม)

ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง คือ ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่าง (Mass of moisture sample) ก่อนและหลังการอบแห้งจนตัวอย่างเหลือน้ำหนักแห้งหารด้วยน้ำหนักของตัวอย่างแห้ง อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้งซึ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

$$MC_{db} = \frac{\text{mass of water}}{\text{mass of dry solids}}$$

$$MC_{db} = \frac{w - d}{D} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ MC_{db} = ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (%d.b.)

การแสดงการวิเคราะห์ค่าความชื้นจากวัสดุเกษตร โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้น และน้ำหนักสุดท้ายของอาหารที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือการอบแห้งที่อุณหภูมิเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการวิเคราะห์ค่าความชื้นของ Association of Analytical Communities (AOAC, ที่มา: <http://www.aoac.org>) หรือ American Association of Cereal Chemists (AACC, AOAC, ที่มา: <http://www.aaccnet.org>) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก และค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการที่ (2.3) และ (2.4)

$$MC_{wb} = \frac{MC_{db}}{MC_{db} + 1} \quad (2.3)$$

ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้งซึ่งหาค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$MC = \frac{MC_{wb}}{1 - MC_{wb}} \quad (2.4)$$

2.4.2 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w)

ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) นิยมเขียนย่อว่า a_w ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำอิสระทั้งหมดของอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) ของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอาหาร เพื่อเกิดการเจริญเติบโต การขยายเซลล์ และการสร้างสปอร์ รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร ปริมาณ a_w ในอาหารที่มีค่ามากนั้นส่งผลต่อการเจริญเติบโต และการขยายเซลล์ของจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว ปริมาณจุลินทรีย์เกิดการเปลี่ยนอาหาร และเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานในการดำเนินกระบวนการของเซลล์ เป็นค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำ มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร ทั้งนี้ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของค่าความดันย่อย (Partial pressure) ของน้ำเหนือวัสดุนั้น (p) ต่ค่าความดันไอสมดุลน้ำ (p_w) ที่อุณหภูมิเดียวกันโดยมีรูปแบบความสัมพันธ์

$$a_w = \frac{P \text{ water above food}}{P \text{ pure water}} = \frac{P}{P} \quad (2.5)$$

ปริมาณอิสระสามารถวัดได้จากความชื้นสัมพัทธ์เหนืออาหารในสถานะสมดุล (Equilibrium relative humidity, ERH)หาร 100

$$a_w = \frac{ERH}{100} \quad (2.6)$$

การควบคุมให้อาหารมีระดับค่า a_w ต่ำกว่าค่าที่เชื้อจุลินทรีย์ชนิดนั้น ๆ จะเจริญเติบโตได้เป็นหลักการสำคัญของการป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์คือการป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษได้ เช่น *Clostridium botulinum* จะไม่สามารถเจริญได้ที่ระดับค่า a_w ต่ำกว่า 0.93 แต่กรณีที่ต้องการให้มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 12 เดือนขึ้นไป อาจต้องทำให้มีค่า a_w ต่ำกว่า 0.6 นอกจากการควบคุมค่า a_w แล้ว สถานะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ยังส่งผลต่ออายุการเก็บด้วยเช่นกัน การควบคุมค่า a_w ด้วยการลดความชื้นในวัสดุแล้ว ยังมีการควบคุมค่า Water Activity แล้วยังสามารถใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า Hurdle Technology ซึ่งเป็นการผสมผสานเทคนิคการถนอมอาหารแบบต่าง ๆ มาใช้ร่วมกัน เช่น การใช้อุณหภูมิสูง การควบคุมค่า pH การใช้สารกันเสีย การเติมส่วนผสม (Ingredient) และอื่น ๆ ซึ่งไม่ได้กล่าวรายละเอียดในตำราฉบับนี้ ดังนั้นค่า a_w เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร และการประเมินอายุการเก็บรักษา โดยแบ่งค่า a_w ออกเป็น 3 กลุ่มตัวอย่าง

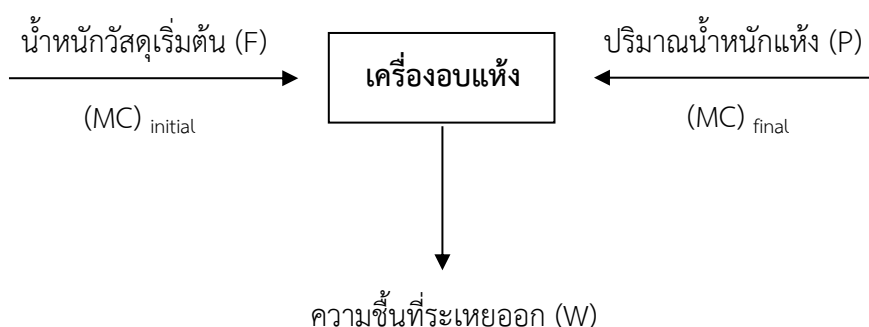
1. อาหารสด (Fresh food) เป็นอาหารที่เน่าเสียง่าย (Perishable food) ที่มีค่า Water activity มากกว่า 0.85 เช่น เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ อาหารทะเล
2. อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) หมายถึง อาหารที่มีค่า Water activity ระหว่าง 0.6-0.85 เช่น นมข้นหวาน ผลไม้แช่อิ่ม กุ้งปรุงรส
3. อาหารแห้ง (Iried food) หมายถึงอาหารที่มีค่า Water activity น้อยกว่า 0.6 เช่น นมผง ผักผลไม้อบแห้ง กุ้งแห้ง น้ำผลไม้ผง เก๋กฮวยอบแห้ง หมูหยอง

เนื่องจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารทั้งหมดประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของน้ำที่เกาะติดกับอาหาร หรือถูกใช้ไปในการสร้างพันธะต่าง ๆ เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไฮโดรเจน และปริมาณน้ำอิสระที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการเกิดพันธะใดๆ และอยู่ภายในช่องว่างของอาหาร ปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารเป็นค่าความชื้นในอาหาร ในขณะที่ ค่า a_w เป็นโมเลกุลของน้ำที่พร้อมจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอซึ่งเป็นส่วนของน้ำอิสระเท่านั้น ตามที่กล่าวมาข้างต้น โดยความสัมพันธ์ของค่าความชื้น (M.C) และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) และมีค่าแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน เช่น มีค่าความชื้นของอาหารมีค่าลดลง ก็จะส่งผลให้ค่า a_w ลดลงด้วย แต่รูปแบบความสัมพันธ์ในการลดลงไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และค่า a_w ของผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ ต้องได้จากการทดลองวัดค่าทั้งสองของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ณ อุณหภูมิที่คงที่ค่าหนึ่งเท่านั้น เรียกกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ว่า Sorption Isotherms โดยวิธีการหาค่าความสัมพันธ์ของค่าความชื้นและปริมาณน้ำอิสระได้อธิบายเนื้อหาในหัวข้อการวิเคราะห์ค่าความชื้นสมดุลต่อไป

2.5 สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งของอาหาร

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน โดยการลดปริมาณความชื้นหรือน้ำอิสระ (Water activity) ให้ต่ำในระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในอาหาร นอกจากนี้การลดความชื้นหรือปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายและสะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่ง ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งในรูปแบบของการผสมผสาน เช่นการใช้พลังงานความร้อนผสมกับคลื่นไมโครเวฟ และใช้พลังงานความร้อนผสมผสานพลังงานกลเพื่อช่วยเร่งอัตราการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิต่ำทั้งสองกลไกของอบแห้งแบบการผสมผสานจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว และสามารถรักษาสสมบัติทางกายภาพ – เคมีของผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ และผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ยังคงกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการไว้ใกล้เคียงกับผลผลิตสด (ฤทธิชัย, 2560)

การวิเคราะห์สมดุลความชื้นของการอบแห้ง หมายถึงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในระหว่างการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นของอาหารซึ่งในลำดับต่อไปนักศึกษา และผู้อ่านตำราพื้นฐานเทคโนโลยีการอบแห้งในงานวิศวกรรมอาหารเล่มนี้เกิดความเข้าใจพื้นฐานการวิเคราะห์สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งมากขึ้นซึ่งสามารถคำนวณได้การหาผลเฉลยของสมการ 2 ตัวแปร โดยกำหนดตัวแปรจากสมการสมดุลมวลรวม สมดุลมวลความชื้น และสมดุลของแข็ง มีรายละเอียดตามที่แสดงใน ภาพ 2.11



ภาพ 2.9 แผนผังการวิเคราะห์พื้นฐานสมดุลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง

สมดุลมวลรวม

$$F = P + W \quad (2.7)$$

จากสมการสมดุลมวลรวมมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำหนักของอาหารเริ่มต้น มีค่าเท่ากับผลรวมของน้ำหนักสุดท้ายของอาหารแห้งและปริมาณน้ำที่ระเหย จากสมการสมดุลมวลรวมนั้นพบว่า ติดค่าตัวแปร 2 ตัว ดังนั้นจำเป็นต้องใช้สมการสมดุลของแข็งพบว่า มีตัวแปรของสมการเหลือเพียงตัวแปรของสมการ W และ P สมดุลของแข็ง

$$F (1 - M.C)_{w.b} = P (1 - M.C)_{w.b} \quad (2.8)$$

$$P = \frac{(1-M.C)_{w,b} F}{(1-M.C)_{w,b}} \quad (2.9)$$

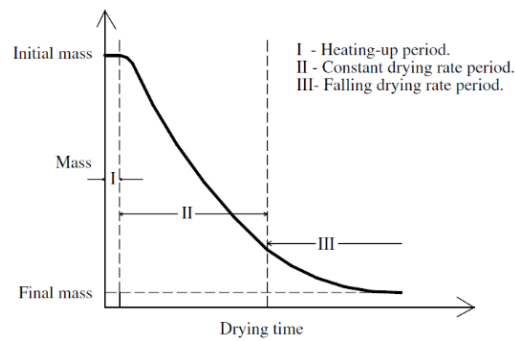
สมดุลความชื้น

$$F (M.C)_{w,b} = P (M.C)_{w,b} + W \quad (2.10)$$

$$W = F (M.C)_{w,b} - P (M.C)_{w,b} \quad (2.11)$$

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน โดยการลดปริมาณความชื้นหรือน้ำอิสระ (Water activity) ให้ต่ำในระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในอาหาร นอกจากนั้นการลดความชื้นหรือปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายและสะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่ง ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งในรูปแบบของการผสมผสาน เช่น การใช้พลังงานความร้อนผสมกับคลื่นไมโครเวฟ และการใช้พลังงานความร้อนผสมผสานพลังงานกลเพื่อช่วยเร่งอัตราการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิต่ำทั้งสองกลไกของอบแห้งแบบการผสมผสานจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว และสามารถรักษาสสมบัติทางกายภาพ – เคมีของผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ และผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ยังคงกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการไว้ใกล้เคียงกับผลผลิตสด (ฤทธิ์ชัย, 2560)

Idris และคณะ (2004) อธิบายกลไกการเปลี่ยนแปลงมวลของผลผลิตเกษตรในระหว่างกระบวนการอบแห้งเป็น 3 คาบเวลา ได้แก่ คาบเวลาที่ 1 เกิดปรากฏการณ์ถ่ายเทพลังงานความร้อนให้ผลผลิตเกษตรจนถึงอุณหภูมิของการระเหย หรือเรียกว่าการให้ความร้อนช่วงต้น (Heating up period) จากนั้นน้ำอิสระบริเวณผิวหน้าของผลผลิตจะเกิดการระเหย โดยถ่ายเทมวลไปยังตัวกลางทางความร้อน เมื่อน้ำหรือความชื้นที่ผิวลดลง น้ำในโครงสร้างชั้นในเซลล์จะเคลื่อนที่มาแทนที่ผิวหน้าเพื่อทดแทนความชื้นที่หายไป โดยที่อัตราการระเหยน้ำที่ผิวหน้าจะเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำภายในโครงสร้างเซลล์ชั้นใน เรียกคาบเวลานี้ว่า คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) ซึ่งจะดำเนินต่อเนื่องไปจนกระทั่งค่าความชื้นเข้าสู่ความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content) ซึ่งอัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำภายในโครงสร้างเซลล์ชั้นใน เกิดเป็นชั้นของความแห้ง (Drying front) กระบวนการอบแห้งจะเข้าสู่คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period)



ภาพ 2.10 เส้นโค้งความสัมพันธ์ของเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง

ที่มา: Idris และคณะ (2004)

2.6 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเบื้องต้น

การออกแบบงานทางวิศวกรรม นอกจากจะมุ่งหวังให้โครงการเป็นโครงการที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลแล้ว ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงการพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์อีกด้วย โดยใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพตามแนวทางของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม บ่อยครั้งที่วิศวกรมักจะมองการออกแบบและ การใช้งานเพียงอย่างเดียว ขาดการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการลงทุน และอาจยังผลให้ไม่ประสบความสำเร็จได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว นอกจากนั้น การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ยังสามารถใช้เป็นตัววัดถึงผลประโยชน์ของธุรกิจได้อีกด้วย ดังนั้นการศึกษาวិชาลัยจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการตัดสินใจในการลงทุนอย่างมีหลักเกณฑ์และถูกต้องสำหรับวิศวกร

2.6.1 ความหมายของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy)

การตัดสินใจเลือกทางเลือกใดทางเลือกหนึ่งที่ดีที่สุดจากหลายๆ ทางเลือกในการลงทุน สำหรับการพัฒนาองค์กรให้ดียิ่งขึ้น หรือสำหรับการปรับเปลี่ยนเครื่องมือเครื่องจักรหรืออุปกรณ์สำหรับองค์กรใดๆ ล้วนแล้วแต่มีปัจจัยที่ต้องพิจารณามากมาย ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีทั้งในเชิงปริมาณและในเชิงคุณภาพ หรือทั้งเป็นรูปนามธรรมและนามธรรม แต่อย่างไรก็ตาม องค์กรนั้นๆ มักจะใช้การพิจารณาโดยการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณหรือทางการเงินถึงผลที่จะได้รับกลับมาในรูปของตัวเลขเป็นหลัก ซึ่งก็คือวิธีการทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมนั่นเอง โดยวิธีการทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาช่วยในการคิดวิเคราะห์หาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดได้ เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy) หมายถึงการรวบรวมวิชาความรู้ทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจด้วยหลักการที่มีเหตุผล เพื่อประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของทางเลือกต่างๆ ให้บรรลุเป้าหมายที่ต้องการ คือการลดต้นทุนและการใช้ทรัพยากรให้ต่ำที่สุด ซึ่งทางเลือกที่มีการใช้ต้นทุนและทรัพยากรที่ต่ำที่สุดจะถือว่าเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในเชิงเศรษฐศาสตร์

2.6.2 หลักการเกี่ยวกับต้นทุน (Cost Concept)

ในการวิเคราะห์ทางเลือก จะต้องข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งต้นทุนที่พิจารณาในที่นี้จะแบ่งตามความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง ในการแยกประเภทต้นทุนที่แบ่งตามวัตถุประสงค์สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.6.2.1 แบ่งตามการเปลี่ยนแปลงในกิจกรรม ได้แก่

ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) คือต้นทุนที่มีจำนวนเท่ากันตลอดช่วงเวลาของกิจกรรมที่พิจารณา เช่น ค่าเช่าสำนักงาน และค่าเช่าที่ดิน เป็นต้น

ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) คือต้นทุนแปรผันซึ่งจะเปลี่ยนไปตามกำลังการผลิต เช่น ค่าวัสดุ ค่าแรง ค่าไฟฟ้า เป็นต้น

2.6.2.2 แบ่งตามสายการผลิตผลิตภัณฑ์ ได้แก่

ต้นทุนทางตรง (Direct Cost) คือค่าใช้จ่ายที่จ่ายไปเพื่อเปิดกิจกรรม โดยสามารถระบุได้ว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นเนื่องกิจกรรมใด เช่น ค่าวัสดุทางตรง (Direct Material Cost) คือค่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตสินค้าโดยตรง และค่าแรงทางตรง (Direct Labor Cost) คือแรงที่ใช้ในการผลิตสินค้าโดยตรง

ต้นทุนทางอ้อม (Indirect Cost) คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทำกิจกรรมในทางอ้อม โดยไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมใดในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่น ค่าयरักษาการณ์ ค่าจ้างแม่บ้าน หรือค่าวัสดุสิ้นเปลืองต่างๆ เป็นต้น

2.6.2.3 แบ่งตามส่วนประกอบของการผลิต หรือต้นทุนโรงงาน ได้แก่

ค่าวัสดุทางตรง (Direct Material Cost) คือวัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญของผลิตภัณฑ์

ค่าแรงทางตรง (Direct Labor Cost) คือค่าแรงของบุคลากรที่มีหน้าที่ในการผลิตผลิตภัณฑ์โดยตรง

ค่าโสหุ้ย (Manufacturing Overhead Cost or Factory Cost) คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่เกิดจากการผลิตสินค้า ยกเว้นค่าวัสดุทางตรงและค่าแรงทางตรง ค่าใช้จ่ายนี้ได้แก่ ค่าวัสดุทางอ้อม (Indirect Material Cost) ค่าแรงทางอ้อม (Indirect Labor Cost) นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายอื่นๆ อีกที่คิดเป็นค่าใช้จ่ายทางอ้อม เช่น ค่าประกัน ค่าดอกเบี้ย และค่าเสื่อมราคา

2.6.3 อัตราผลตอบแทน (Rate of Return: ROR)

ถ้ามีการกู้ยืมเงินเกิดขึ้น อัตราผลตอบแทนจะถูกนำมาคิดกับเงินในบัญชีที่ยังไม่ได้มีการจ่ายเงิน ดังนั้นเงินที่กู้มาทั้งหมด กับส่วนของดอกเบี้ยจะถูกจ่ายเงินเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการยืม สำหรับในแง่ของผู้ลงทุน เมื่อเงินถูกลงทุนไป จะเกิดมูลค่าในบัญชีที่มีทั้งส่วนของเงินต้นและดอกเบี้ยที่ยังไม่ได้กลับคืนในช่วงเวลานั้นๆ ซึ่งมูลค่ารวมทั้งหมดและดอกเบี้ยจะถูกคืนกลับที่ช่วงเวลาสุดท้ายของการรับหรือจ่ายเงิน อัตราผลตอบแทน (Rate of Return : ROR) คืออัตราดอกเบี้ยที่จะได้รับเนื่องจากการลงทุนที่ยังไม่ได้รับเงินคืน หรือดอกเบี้ยที่จะต้องจ่ายเนื่องจากยังไม่ได้จ่ายเงินคืน ดังนั้นเงินที่จะได้รับในที่สุดท้ายหรือที่จะต้องจ่ายเงินในที่สุดท้ายจะเท่ากับจำนวนเงินที่ทำให้มูลค่าสมดุลกันและเท่ากับศูนย์พอดีภายใต้ดอกเบี้ยที่พิจารณา

2.6.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงาน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของมูลค่าการลงทุนหรือค่าใช้จ่ายทั้งหมด และรายได้ของโครงการที่แปรผันตามปริมาณการผลิตว่า ณ จุดตัดระหว่างกราฟของค่าใช้จ่ายและรายได้นี้เป็นจุดที่จะทำให้กำไรของการลงทุนมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งเรียกว่า จุดคุ้มทุน จากการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจะทำให้ทราบว่าปริมาณต่ำสุดที่จะต้องทำการผลิตคือเท่าใดจึงจะทำให้เกิดกำไรซึ่งเป็นประโยชน์ในการกำหนดแผนการดำเนินงานการผลิตในอนาคต นอกจากนั้นยังสามารถใช้เปรียบเทียบต้นทุนของ 2 ทางเลือกได้ โดยจุดตัดของเงินลงทุนของทั้ง 2 ทางเลือกจะเป็นจุดที่บอกได้ว่าควรตัดสินใจเลือกทางเลือกอย่างไร

2.6.4.1 ค่าจุดคุ้มทุนของตัวแปร (Break-even Value of a Variable) ในการหาจุดคุ้มทุนจะเป็นการหาจำนวนของตัวแปรที่ทำให้รายได้และค่าใช้จ่ายมีค่าเท่ากัน เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณกำไรขาดทุน ปริมาณที่ทำให้รายได้และค่าใช้จ่ายเท่ากันนี้เรียกว่า จุดคุ้มทุน (Break-even Point : QBE) ในการพิจารณาจะใช้ความสัมพันธ์ของรายได้และค่าใช้จ่ายในรูปของฟังก์ชันของปริมาณ (Q) ขนาดของ Q อาจจะบอกเป็นจำนวนหน่วยต่อปี เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการผลิตหรือชั่วโมงต่อเดือน และอาจจะอยู่ในหน่วยอื่นๆ ก็ได้ แต่โดยมากจะใช้เป็นจำนวนหน่วยต่อปี

2.6.4.2 ค่าใช้จ่าย (Cost) อาจมีฟังก์ชันเป็นแบบเชิงเส้นหรือแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 อย่างคือ

- ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost : FC) เช่น ค่าก่อสร้าง ค่าประกัน ค่าเสีย ค่าใช้จ่ายทางอ้อม

- ค่าใช้จ่ายแปรผัน (Variable Cost : VC) เช่น ค่าแรงทางตรง ค่าวัสดุ ค่าแรงทางอ้อม ค่าการตลาดสำหรับการลงทุนในสินทรัพย์ เช่น อุปกรณ์ คอมพิวเตอร์ ยานพาหนะ อาคาร และเครื่องจักร จะต้องมีการคิดค่าเสื่อมราคา (Depreciation) ในแต่ละปีจนครอบคลุมเงินทุนทั้งหมดที่ได้ลงทุนไปตามเวลาการใช้งานของสินทรัพย์นั้นๆ ตามวิธีที่กำหนดขึ้นทางบัญชี

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รัตนา และพนิดา (2557) จากการศึกษาผลของความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งต่อการ เปลี่ยนแปลงปริมาณสารออกฤทธิ์ได้แก่ ปริมาณโพลีฟีนอล (Polyphenol) และปริมาณเบต้าแคโรทีน (β Carotene) พบว่าดอกคาโมไมล์ที่ผ่านการอบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ปริมาณความชื้นเป็นร้อยละ 3.57) มีปริมาณเบต้าแคโรทีน 0.353 mg/100 ml รองลงมาได้แก่ ดอกคาโมไมล์ที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง (ปริมาณความชื้นเป็นร้อยละ 4.08) และ 24 ชั่วโมง (ปริมาณความชื้นเป็นร้อยละ 3.56) เท่ากับ 0.255 และ 0.252 mg/100 ml ตามลำดับสำหรับปริมาณโพลีฟีนอลของดอกคาโมไมล์ที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 118.80 และ 76.65 มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัมตัวอย่างแห้งซึ่งสูงกว่าดอกคาโมไมล์ที่ผ่านการอบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณโพลีฟีนอล 70.22 มิลลิกรัมสมมูลต่อกรัมตัวอย่างแห้งแต่พบว่า ปริมาณ Free-fatty acid ของดอกที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงสูงกว่าชุดที่อบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

48 ชั่วโมง และที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมงซึ่งเท่ากับ 24.71, 18.90 และ 17.54 mg/100 mg ตามลำดับ ดังนั้น การอบแห้งชาดอกคาโมไมล์จึงควรมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 40 - 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบแห้งไม่เกิน 16 ชั่วโมงและความชื้นของชาดอกคาโมไมล์ไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 3.50 เพื่อคงปริมาณสารออกฤทธิ์ของ ชาดอกคาโมไมล์ให้ได้มากที่สุด

วัฒนพงษ์ และคณะ (2547) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยใช้พลังงานความร้อนจากระบบแก๊สซิฟิเออร์ (Gasifier system) มาเสริมประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และมีอัตราการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งมีค่าเฉลี่ย 55.9 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสำหรับการอบแห้งวัสดุทางการเกษตร และยังเป็นระบบความร้อนเสริมช่วยในการอบแห้งในวันที่ไม่มีแสงแดดได้เป็นอย่างดี

Pontecha และคณะ (2020) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งและการเตรียมปลานิลที่มีผลต่อคุณภาพอบแห้งของผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกหลังคาทรงโค้งพาราโบลาปิดคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตมีขนาดความกว้าง 3.0 เมตร ยาว 4.0 เมตร และสูง 2.3 เมตร และติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาด 3.4 วัตต์ (watts) ใช้ปลานิลขนาดเล็กที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกันเป็นตัวอย่างทดสอบเตรียมให้แตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ปลาที่แผ่และปลาที่ไม่แผ่หมักด้วยเครื่องปรุงรสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งเปรียบเทียบกับ การตากแดดธรรมชาติ ตั้งแต่วันที่ 9.00 - 17.00 นาฬิกา เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำผลิตภัณฑ์อบแห้งทดสอบหาคุณภาพด้านความชื้น สี และวอเตอร์แอกทีวิตี ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 12.8 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งมีค่าต่ำกว่าภายนอก 13 เปอร์เซ็นต์ RH ส่งผลให้เครื่องอบแห้งสามารถลดความชื้นปลานิลจาก 80 เปอร์เซ็นต์ w.b. เป็น 25.8 เปอร์เซ็นต์ w.b. ลดความชื้นได้มากกว่าการตากแดดธรรมชาติถึง 6.2 เปอร์เซ็นต์ w.b. นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะของการเตรียมปลานิลส่งผลต่อค่าความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทีวิตี แต่ไม่ส่งผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งให้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

พนิดา และคณะ (2563) การเปรียบเทียบปริมาณสารออกฤทธิ์ในชาดอกคาโมไมล์ที่อบแห้งโดยพลังงานแสงอาทิตย์และเตาต้มน้ำแบบที่ได้รับการพัฒนาแล้ว จากการเปรียบเทียบปริมาณสารออกฤทธิ์ พบว่าชาดอกคาโมไมล์ซึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 - 60 องศาเซลเซียส ด้วยเตาอบแห้งที่พัฒนาแล้วมีปริมาณความชื้น 5.48 เปอร์เซ็นต์ พอลิฟีนอล 97.39 mg/gDW และเบตาแคโรทีน 0.70 mg/100 ml ในขณะที่ชาดอกคาโมไมล์ซึ่งอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณความชื้น 6.54 เปอร์เซ็นต์ พอลิฟีนอล 69.74 mg/gDW และเบตาแคโรทีน 0.31 mg/100 ml สรุปได้ว่าชาดอกคาโมไมล์ที่ได้จากเตาอบแห้งที่พัฒนาแล้วมีคุณภาพดีกว่าชาดอกคาโมไมล์ที่ได้จากการอบแบบดั้งเดิมที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ธวัชชัย และกมลวรรณ (2563) การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการอบแห้งมะเขือเทศเชอร์รี่แบบอบแห้งแบบดั้งเดิมกับระบบอบแห้งสองระบบที่แตกต่างกัน รวมถึงเรือนกระจกพลังงานแสงอาทิตย์และเรือนกระจกพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนอินฟราเรดควอทซ์ (QIH) อุณหภูมิการทำให้แห้งภายในเรือนกระจกคงที่อยู่ที่ 45 - 60 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยอยู่ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ d.b. ถูกทำให้แห้งในเรือนกระจกทั้งสองระบบจนกระทั่งปริมาณความชื้นสุดท้ายโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 22 เปอร์เซ็นต์ d.b.

ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเรือนกระจกพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนอินฟราเรดควอทซ์สูงกว่าคู่แข่ง การใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยก็ลดลงเช่นกันที่ 29.74 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลาสั้นลงเพียง 2 วันเท่านั้น อย่างไรก็ตาม เรือนกระจกพลังงานแสงอาทิตย์และการอบแห้งตามธรรมชาติใช้เวลา 3 และ 6 วันตามลำดับ คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งแสดงให้เห็นว่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ตากในเรือนกระจกพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับ QIH มีสีเข้มที่สุด แต่ก็ไม่ได้แตกต่างกันมากนัก ความสว่างของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สีแดง (a) และสีเหลือง (b) ไม่แตกต่างกันโดยมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ความหวานของผลิตภัณฑ์ที่ตากแห้งในโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับ QIH มีค่าน้อยที่สุดแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Midilli เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดในการทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ขาดน้ำ

Nathakaranakule และคณะ (2020) งานวิจัยนี้นำเสนอเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็กที่มีหลักการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้ลมร้อนรีไซเคิล เครื่องอบแห้งใช้ในการอบแห้งมะม่วงพันธุ์ “น้ำดอกไม้” โดยมีความชื้นเริ่มต้น 439.9 - 442.7 เปอร์เซ็นต์ พื้นฐานแห้ง (d.b.) เครื่องอบแห้งที่นำเสนอนี้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม ปริมาณความชื้นสุดท้ายของมะม่วงสไลด์ทั้งสองพันธุ์อยู่ที่ 14 เปอร์เซ็นต์ d.b. ผลการทดลองพบว่าการรีไซเคิลอากาศร้อน 80 เปอร์เซ็นต์จากจุดเริ่มต้นของกระบวนการทำให้แห้งทำให้เวลาการแห้งช้าลง ในขณะที่การนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ 80 เปอร์เซ็นต์ หลังจากวันแรกของการอบแห้งจะทำให้เวลาการอบแห้งสั้นลง เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ pv - hybrid อบแห้งมะม่วงสไลด์ “น้ำดอกไม้” ได้เร็วกว่าเครื่องอบแห้งแบบเดิมประมาณ 19 ชั่วโมง การเปลี่ยนแปลงสีทั้งหมด (เมื่อเทียบกับมะม่วงสด) ความแข็งและความเหนียวของมะม่วงที่ตากด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ pv - hybrid มีค่าน้อยกว่าการตากด้วยเครื่องอบแห้งแบบดั้งเดิม แอคติวิตีของน้ำมะม่วงแห้งจากเครื่องอบแห้งทั้งสองเครื่องมีค่าน้อยกว่า 0.6 และปลอดภัยสำหรับการเก็บรักษา

Amer และคณะ (2010) ได้ศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบปรับคลื่นความร้อนโดยตรงร่วมกับพลังงานน้ำร้อนจากท่อสุญญากาศที่รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าเครื่องอบแห้งนี้สามารถลดความชื้นจากจำนวน 30 กิโลกรัมที่มีความชื้นเริ่มต้น 82 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักเปียก) ลดเหลือ 18 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักเปียก) โดยใช้เวลาเพียง 8 ชั่วโมง ในขณะที่การอบแห้งโดยการตากแดดเพียงอย่างเดียวจะลดความชื้นได้เพียง 62 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักเปียก) และคุณภาพของแผ่นกล้วยอบแห้งมีคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส สี กลิ่น ดีกว่าการอบแห้งโดยการตากแดด

Hossain และ Bala (2007) ศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมสำหรับการอบตัวอย่างพริก 2 ชนิด ได้แก่ พริกสีเขียว และพริกสีแดง โดยการติดตั้งพัดลมระบายอากาศเพื่อเร่งอัตราการถ่ายเทมวลของลมร้อนและเร่งอัตราการอบแห้ง จากผลการศึกษาพบว่าสามารถลดความชื้นในตัวอย่างพริกแดงจำนวน 80 กิโลกรัม และพริกสีเขียวจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 2.85 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้งลดเหลือ 0.05 และ 0.06 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) และใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 20 และ 22 ชั่วโมง ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสามารถในการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศกับการถ่ายเท

แบบการพาโดยธรรมชาติ การอบแห้งตัวอย่างชนิดเดียวกันและเวลาที่เท่ากัน พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศสามารถลดความชื้นเหลือความชื้นประมาณ 0.09 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง) แต่ในขณะที่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการระบายอากาศโดยธรรมชาติ สามารถลดความชื้นในตัวอย่างพืชชนิดเดียวกันเหลือประมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักแห้ง)

Ratti และMujumdar (1997) ได้ศึกษาแบบจำลองสภาวะการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยติดตั้งแผงดูดซับความร้อนซึ่งทำจากอลูมิเนียมและพ่นสีดำ (Solar collector) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จากผลการวิจัยพบว่าแผงดูดซับความร้อนสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งได้ดี และลมร้อนที่ไหลผ่านแผงดูดซับความร้อนมีอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส ในขณะที่อากาศมีอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส การติดตั้งแผงดูดซับความร้อนเพื่อช่วยเพิ่มอุณหภูมิของอากาศและอัตราการอบแห้งดีขึ้น

El-Sayed และคณะ (2019) จุดมุ่งหมายหลักของการศึกษานี้คือเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำหัตถ์คาโมไมล์แห้งภายใต้สภาวะต่างๆ ผลการวิจัยพบว่า การสูญเสียน้ำหนักสะสมของดอกคาโมไมล์คือ (86.27, 84.67, 82.70, 85.04 และ 86.53)เปอร์เซ็นต์ สำหรับระบบตากแดด ระบบอบแห้งในเงา ระบบอบแห้งในห้อง ระบบอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ และเตาอบ ระบบอบแห้งตามลำดับ ปริมาณความชื้นของดอกคาโมไมล์ลดลงจาก (508.59 ถึง 14.56) เปอร์เซ็นต์, (502.77 ถึง 15.43) เปอร์เซ็นต์, (470.09 ถึง 18.19) เปอร์เซ็นต์, (537.47 ถึง 13.45) และ (444.84 ถึง 5.46) เปอร์เซ็นต์ db สำหรับระบบตากแดด , เงา ระบบอบแห้ง ระบบอบแห้งในห้อง ระบบอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ และระบบอบแห้งด้วยเตาอบ ตามลำดับ ค่าความชื้นสมดุลสูงสุดคือ 51.78 เปอร์เซ็นต์ โดยความชื้นสัมพัทธ์สมดุล 90เปอร์เซ็นต์ พบได้จากสมการเฮนเดอร์สันภายใต้ระบบห้อง ค่าความชื้นสมดุลต่ำสุดคือ 1.38 เปอร์เซ็นต์ที่ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล 10เปอร์เซ็นต์ พบสำหรับสมการออสวินดัดแปลงสำหรับระบบเตาอบ ค่าปริมาณน้ำมันคาโมไมล์อยู่ที่ (0.66, 0.78, 0.94, 0.73 และ0.59)เปอร์เซ็นต์ สำหรับดอกที่ตากโดยตากแดด ตากในเงา ตากในห้อง ตากพลังงานแสงอาทิตย์ และตากในเตาอบ ตามลำดับ ค่าสูงสุดของปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (2.62, 1.11, 4.10, 1.12 และ0.23) เปอร์เซ็นต์ ได้มาเมื่อดอกคาโมไมล์แห้งที่อุณหภูมิห้อง ค่าต่ำสุดของปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (1.50, 0.83, 3.83, 0.84 และ0.20) เปอร์เซ็นต์ พบในระบบอบแห้งด้วยเตาอบ

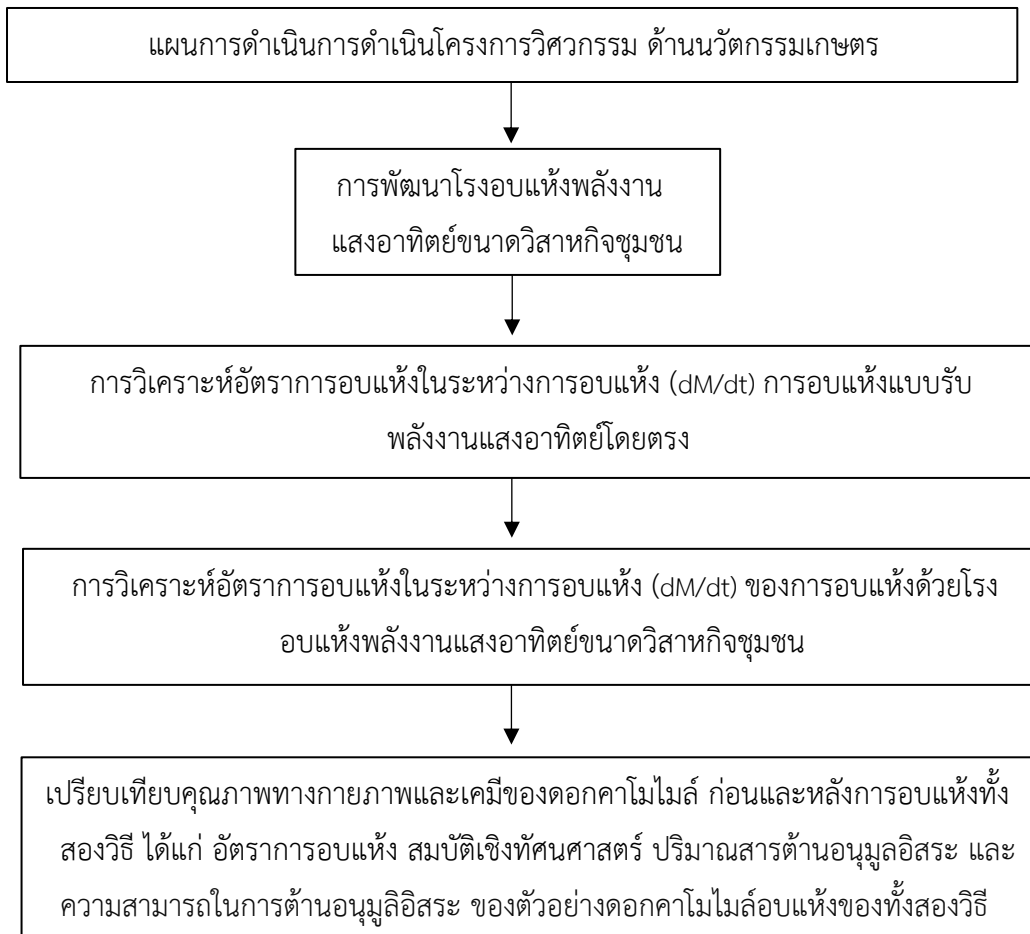
Mohamed และคณะ (2021) โดยที่ผู้ผลิตดอกคาโมไมล์สามารถนำมาใช้เพื่อรับประโยชน์จากการอนุรักษ์และจำหน่ายดอกคาโมไมล์ที่ขาดน้ำภาคส่วนพืชสมุนไพรและอโรมาติก (MAPs) ของอียิปต์ต้องทนทุกข์ทรมานจากสภาวะ การแห้ง ของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ดีในแง่ของคุณภาพและมาตรฐานความปลอดภัยการขาดบริการให้คำปรึกษาอย่างมืออาชีพ นอกเหนือจากห่วงโซ่คุณค่าที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาในระดับสูงการออกแบบสีแบบได้รับการออกแบบในการศึกษานี้และมุ่งเน้นไปที่วิธีการต่างๆ สำหรับการอบแห้งคาโมไมล์ ผลลัพธ์ของการออกแบบของเครื่องอบแห้งแบบกองโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นผลงานชิ้นเอกและมีแนวโน้มที่จะทำให้โรงงานแห้งคาโมไมล์ผลการสกัดน้ำมันหอมระเหยพบว่าผลผลิตการสกัดน้ำมันหอมระเหยเพิ่มขึ้น 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบดั้งเดิม (การควบคุม) การวิเคราะห์ GC - MS ระบุ องค์ประกอบ ทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยสำหรับวิธีการทำแห้งแบบใหม่ พบว่าเป็นสารประกอบออกฤทธิ์หลัก บิซาโบลออกไซด์ A ซึ่งคิดเป็น 54 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

วิธีการวิจัย สถานที่ดำเนินงานวิจัย

การดำเนินโครงการวิจัยการพัฒนาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีวัตถุประสงค์มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้ การพัฒนาแบบโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2x2 ตารางเมตร รูปทรงครึ่งกระบอกและทดสอบอบแห้งดอกคาโมไมล์ ตามลำดับ ดำเนินการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าความชื้นเริ่มต้น ค่าความชื้นสุดท้าย ปริมาณน้ำอิสระ ค่าสีในระบบ CIE-L*a*b* ค่าความเข้มพลังงานของรังสีแสงอาทิตย์ คุณภาพของดอกคาโมไมล์ ได้แก่ อัตราการอบแห้ง สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ของตัวอย่างดอกคาโมไมล์อบแห้งของทั้งสองวิธี เพื่อศึกษาสมรรถนะของโรงอบแห้งแสงอาทิตย์ ตามวิธีมาตรฐานที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 เปรียบเทียบการอบแห้งด้วยวิธีการตากแห้งแบบดั้งเดิม และการอบแห้งด้วยโรงอบแห้งแสงอาทิตย์

3.1 วิธีการดำเนินวิจัย



ภาพ 3.1 แผนการดำเนินการดำเนินโครงการวิศวกรรม

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 วัสดุ

1. ดอกคาโมไมล์

3.2.2 อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP 3202S
2. เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Hot wire anemometer)
3. เครื่องวัดค่าสี (JUKI Tri-Stimulus Colorimeter JC801)
4. กล้องดิจิทัล
5. ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดขนาด 3 ออนซ์
6. โถปรับดูดความชื้น
7. ภาชนะบรรจุ
8. ตะแกรง

3.2.3 ชุดทดสอบการอบแห้ง

1. เครื่องอบแบบลมร้อนไฟฟ้า ยี่ห้อ Memmert รุ่น LMZ500
2. โรงอบแห้งแสงอาทิตย์ระบบพลังงานความร้อนเสริมขนาดห้องปฏิบัติการ

3.2.4 ชุดอุปกรณ์การเตรียมตัวอย่าง

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Wasino รุ่น CE03



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 3.2 อุปกรณ์เครื่องมือวัดค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบการอบแห้ง

(ก) เครื่องวัดความเร็วลม (ข) เครื่องวัดอุณหภูมิ (ค) เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพ 3.3 เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น



(ก)



(ข)

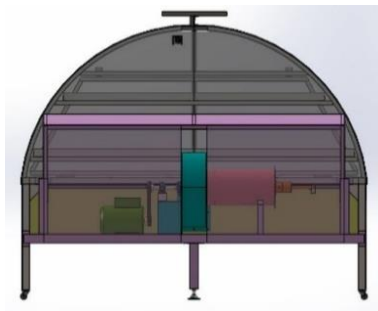
ภาพ 3.4 ขั้นตอนการติดตั้ง เครื่องวัดอุณหภูมิ และวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์

(ก) การติดตั้งเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น (ข) วัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์

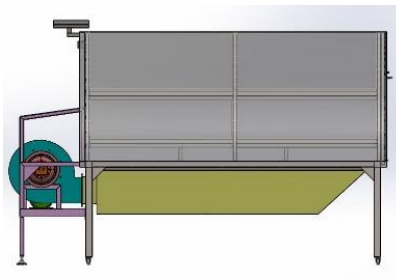
3.3 โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน

ขั้นตอนการออกแบบโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนเสริมโดยการเขียนชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องอบแห้งด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดขนาดของห้องอบแห้ง โดยการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบรูปทรงครึ่งกระบอกโดยพัฒนาจากแบบเครื่องอบแห้งทางวิศวกรรมที่ได้กำหนดระบุในข้อเสนอโครงการเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานของผู้ใช้ หรือเจ้าหน้าที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะเงาะ

ภาพ 3.1 - 3.5 ได้ยกตัวอย่างการเขียนแบบ 3D เพื่อกำหนดรูปร่าง และขนาดเบื้องต้นของลักษณะของ (Conceptual design) หลังจากปรับขนาดห้องอบแห้งให้เหมาะสมโดยปรับเปลี่ยนเป็นการเปิด - ปิด ประตูทางเข้าออกเป็นด้านข้าง ตามความเหมาะสมของโรงอบแห้ง ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะเงาะ



(ก)



(ข)

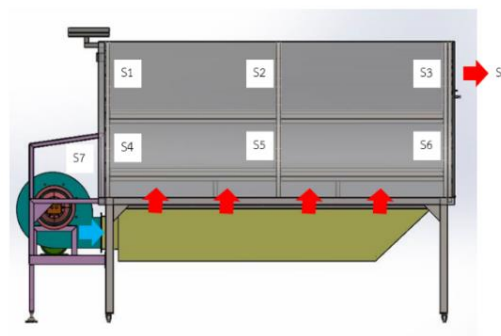


(ค)

ภาพ 3.5 แบบร่างทางวิศวกรรมโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกระบบความร้อนร่วม

ระบบควบคุมแบบ IoT Automatic controller

(ก) Front view (ข) Side view (ค) Axonometric view



ภาพ 3.6 ตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์สำหรับการตรวจวัดการกระจายความร้อนภายในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบ

เรือนกระจกระบบความร้อนร่วมระบบควบคุมแบบ Automatic controller



ภาพ 3.7 ลักษณะการไหลเวียนลมร้อนภายในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกระบบความร้อนร่วม

ระบบควบคุมแบบ Automatic controller

3.4 การวิเคราะห์หาค่าความชื้นเริ่มต้น

เพื่อให้การดำเนินงานโครงการวิศวกรรม สำหรับการอบแห้งดอกคาโมไมล์สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้ จึงมีแผนการดำเนินงานตามหัวข้อดังต่อไปนี้

3.4.1 เพื่อหาคุณลักษณะการอบแห้งพื้นฐานของดอกคาโมไมล์

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของคุณลักษณะการอบแห้งของดอกคาโมไมล์ ขั้นตอนแรก ได้แก่ การตรวจวัดปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสมดุลของดอกคาโมไมล์ เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการวิเคราะห์สมดุลมวลและความร้อนในระหว่างการอบแห้ง อันเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประมาณขนาดของเครื่องอบแห้ง และกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการศึกษาซึ่งในการทดลองสามารถวิเคราะห์ปริมาณความชื้นจากดอกคาโมไมล์สดด้วยวิธีหาค่าความชื้นมาตรฐาน AOAC (2010) โดยมีสมการแสดงการคำนวณความชื้น ตามสมการที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

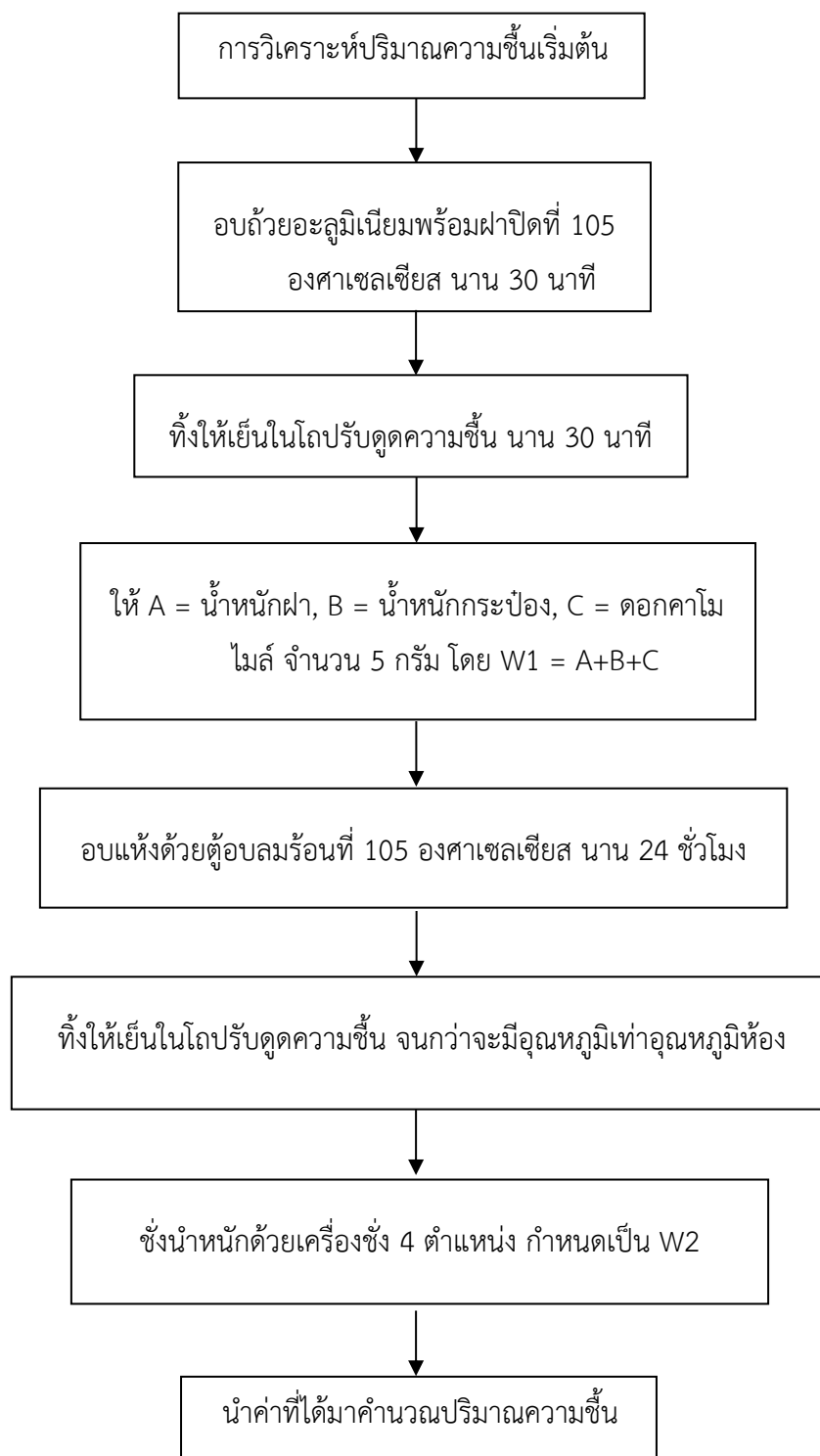
$$\text{Moisture content (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ Moisture content (เปอร์เซ็นต์) = ปริมาณความชื้น (น้ำหนักเปียก)

W_1 = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบแห้ง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้ง (กรัม)

สำหรับการดำเนินการเพื่อหาความชื้นสมดุลของดอกคาโมไมล์ ที่สภาวะอบแห้งต่างๆ จะใช้ด้วยวิธีเชิงพลวัต (Dynamic methods) เป็นการปล่อยให้วัสดุทางการเกษตรสัมผัสกับอากาศแวดล้อมโดยทำให้อากาศหรือผลิตภัณฑ์เคลื่อนไหวยุทธวิธีนี้วัสดุจะเข้าสู่สมดุลกับสิ่งแวดล้อมอย่างรวดเร็วจึงเหมาะสมกับผลผลิตทางการเกษตรที่ความชื้นสูง โดยจำลองสภาวะการอบแห้งที่สภาวะการอบแห้งภายในตู้อบ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และการหาค่าความชื้นสมดุลภายใต้สภาวะการอบแห้งจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยวิธีธรรมชาติเป็นเวลา 144 ชั่วโมง การหาค่าความชื้นเริ่มต้น



ภาพ 3.8 แผนผังแสดงการคำนวณความชื้นเริ่มต้น



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 3.9 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าความชื้นด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (2010)

ก. นำตัวอย่างคาโมไมล์ดอกสดใส่ลงใน moisture cans ที่เตรียมไว้

ข. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ในเครื่องอบแห้ง

ค. ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิใน 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ 3.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าความชื้นด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (2010)

ก. เตรียมโถดูดความชื้นใส่ตัวอย่างคาโมไมล์ที่อบแห้ง

ข. เมื่ออบแห้งเสร็จแล้วนำตัวอย่างใส่ในโถดูดความชื้นเพื่อไล่ความชื้นและพักเย็น

ค. คาโมไมล์ก่อนอบแห้ง ง. คาโมไมล์หลังอบแห้ง



(ก)



(ข)

ภาพ 3.11 การตรวจวัดความชื้นสุดท้ายด้วยเครื่องวัดค่าความชื้นด้วยระบบหลอดฮาโลเจน
ของดอกคาโมไมล์อบแห้ง

3.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ มีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษา และความปลอดภัยอาหาร นำดอกคาโมไมล์ มาปั่นละเอียด และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20 เมช จากนั้นนำเข้าเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ หรือวอเตอร์แอคทิวิตี ด้วยเครื่อง AQUA Lab เทคนิคการวัดแบบ Dew Point Technique ซึ่งได้รับการรับรองจาก AOAC ทำการทดลองวัดปริมาณน้ำอิสระตัวอย่างละ 5 กรัม



ภาพ 3.12 การตรวจวัดการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำอิสระของดอกคาโมไมล์อบแห้งด้วยเครื่อง AQUA lab

3.4.3 สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties)

การวัดค่าสีดอกคาโมไมล์ก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่อง spectrophotometer (ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น MiniScan: XE PLUS) ก่อนการวัดสีแต่ละตัวอย่างจะทำการเทียบกับจานสีขาว-สีดำมาตรฐาน ตามมาตรฐานระบบ CIE Lab เพื่อวัดค่าความสว่าง/มืด (L^*), ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน

(b^*) และนำค่าที่มาคำนวณหาค่าความแตกต่างสีโดยรวม (total color difference: ΔE) ของดอกคาโมไมล์ ที่ผ่านการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ โดยเทียบกับค่าสีของดอกคาโมไมล์



(ก)



(ข)

ภาพ 3.13 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี spectrophotometer

ยี่ห้อ HunterLab รุ่น MiniScan XE PLUS

ก. เครื่องวัดสี spectrophotometer

ข. ทำการวัดค่าสีดอกคาโมไมล์ด้วยเครื่อง spectrophotometer



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 3.14 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ทางเคมี

3.4.4 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกรวม

วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic content) โดยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric Method ตามวิธีการของ Sachindra และคณะ (2010) ใช้มาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) เตรียมดอกคาโมไมล์ที่ผ่านการบดจำนวน 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจำนวน 10 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปแยกตะกอนออกแล้วนำตัวอย่างสารสกัดน้ำของดอกคาโมไมล์ที่ละลายน้ำกลั่น (Supernatant) ความเข้มข้น 10 มิลลิลิตรต่อมิลลิกรัม จำนวน 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองเติมสารละลาย Folin-ciocalteu ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมคาบอเนต ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 0.8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความ

ยาวคลื่น 765 นาโนเมตร เมื่อได้ค่าแล้วนำข้อมูลไปคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก



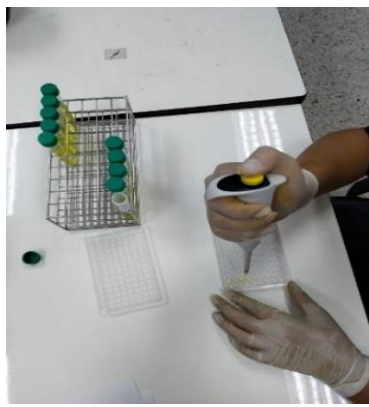
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ 3.15 ขั้นตอนการวิเคราะห์การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

(ก) บดคาโมไมล์ (ข) นำดอกคาโมไมล์ที่ซึ่งเรียบร้อยแล้วใส่ในหลอดทดลอง (ค) เติมสารสกัดดอกคาโมไมล์ (ง) เติมสารละลายสำหรับสกัด Flavonoids ซึ่งมีส่วนผสมของ 0.3 เปอร์เซ็นต์ (w/v) $AlCl_3$ และ 0.03 M Potassium acetate ปริมาตร 100 μ l ลงใน Microplate วัดปริมาณ Flavonoid



ภาพที่ 3.16 วัดสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยเครื่อง Microplate Reader

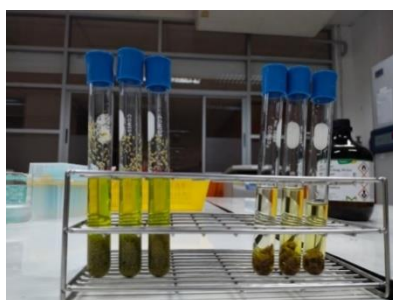
3.4.5 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3.4.5.1 วิธี Scavenging activity of ABTS radical เตรียมดอกคาโมไมล์บด 0.5 กรัม เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นแยกตะกอนออก เตรียมสาร ABTS ที่ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และสาร Potassium persulfate ที่มีความเข้มข้น 140 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 8 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายทั้งสองสารมาผสมในขวดสีชาตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 40 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปใช้ หลังจากนั้นเจือจางด้วยเอทานอลให้มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร จากนั้นเตรียมสารตัวอย่างที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเอทานอลปิเปตสารตัวอย่างมา 100 ไมโครลิตรแล้วเติมสารละลาย ABTS 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เท่ากันแล้วทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เมื่อได้ค่าแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระเทียบกับความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน Trolox ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวิตามินอี หรือเรียกว่าค่า TECA (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) รายงานผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (mg TEAC/100 g_{dry matter})

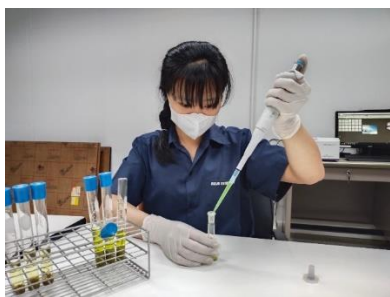
$$\text{เปอร์เซ็นต์ inhibition} = [(A_{734 \text{ control}} - A_{734 \text{ test sample}}) / A_{734 \text{ control}}] \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ $A_{734 \text{ control}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม
 $A_{734 \text{ test sample}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างทดสอบ

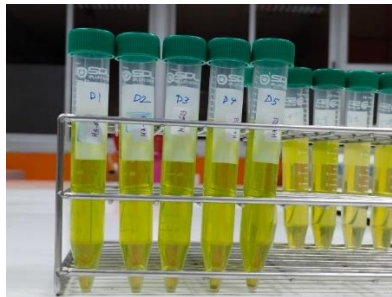
3.4.5.2 วิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity วิธี DPPH radical scavenging ได้ดัดแปลงมาจาก Hou *et al.* (2001) ดังนี้ เตรียมดอกคาโมไมล์แห้งบด 0.5 กรัม ละลายน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นแยกตะกอนออก เตรียมสาร DPPH radical ในเมทานอล ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ และสาร 1 M Tris-HCl buffer (pH เท่ากับ 7.9) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำค่าที่ได้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ การยับยั้งอนุมูลอิสระโดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Trolox รายงานผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (mg TEAC/100 g_{dry matter})



ภาพ 3.17 ตัวอย่างสารสกัดน้ำของดอกคาโมไมล์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด



(ก)



(ข)

ภาพ 3.18 การวิเคราะห์กิจกรรมด้านอนุมูลอิสระ

(ก) คูตสารสกัดแต่ละตัวอย่างใส่ในขวดปรับปริมาณ 10 ml แล้วเติมเอลทานอลเพิ่มเพื่อให้ได้ 10 ml

(ข) ตัวอย่างสารสกัดที่ได้ทำการปรับปริมาณเรียบร้อยแล้ว

3.5 การประเมินอายุการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นการบ่งบอกถึงระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์นั้นยังมีความปลอดภัยต่อการบริโภค รวมถึงยังมีลักษณะทางประสาทสัมผัส เคมี กายภาพ และชีวภาพเป็นที่พึงพอใจ และคงไว้ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการตามที่ได้ระบุไว้ในฉลากโภชนาการ (Kilcast และ Subramaniam, 2000) ทั้งนี้ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการเก็บรักษาตามสภาวะที่เหมาะสม นอกจากนี้หากพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแล้ว สามารถแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยภายใน (Intrinsic factor) ซึ่งเป็นปัจจัยที่แสดงถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity : a_w) ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ค่าความเป็นกรดโดยรวม (Total acidity) ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ แร่ธาตุต่างๆ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่มีอยู่ การใช้สารป้องกันการเสื่อมเสีย (Food preservatives) องค์ประกอบของสารกลุ่มชีวเคมีต่างๆ เป็นต้น และปัจจัยภายนอก (Extrinsic factor) เช่น การควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาและการจัดจำหน่าย ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างกระบวนการผลิต การเก็บรักษา และการจัดจำหน่าย การสัมผัสกับแสงต่างๆ (อัลตราไวโอเล็ต อินฟราเรด) ในระหว่างกระบวนการ การจัดการของผู้บริโภค เป็นต้น (Kilcast และ Subramaniam, 2000) ทั้งปัจจัยภายใน และปัจจัยภายนอกของผลิตภัณฑ์อาหารนั้น ต่างก็มีปฏิสัมพันธ์กัน ทั้งในแง่ของการยับยั้ง หรือการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเก็บรักษาโดยตรง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงต่าง เหล่านี้สามารถแบ่งแยกได้ดังนี้ (Man และ Jones, 1994)

- การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ – การเปลี่ยนแปลงส่วนนี้มักมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดในการจัดการกับอาหาร ในขั้นตอนของการเก็บเกี่ยว กระบวนการผลิต และการขนส่ง ตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ได้แก่ การเข้าของผัก ผลไม้ การแตกหักของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบ หรือขนมทอดกรอบ (Snack) การสูญเสียความกรอบของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

- การเปลี่ยนแปลงทางเคมี – การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถเกิดได้ทั้งขั้นตอนการผลิตและการเก็บรักษา โดยปฏิกิริยาเคมีส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบภายในของอาหาร ที่มีปัจจัยแวดล้อมภายนอกมาเป็นส่วนช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญในอาหาร ได้แก่ ปฏิกิริยาจากเอนไซม์ (Enzymatic reactions)

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reactions) โดยเฉพาะการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Lipid oxidation) สำหรับตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาทางเคมี ได้แก่ การเกิดกลิ่นหืน การเกิดสีน้ำตาลเป็นต้น

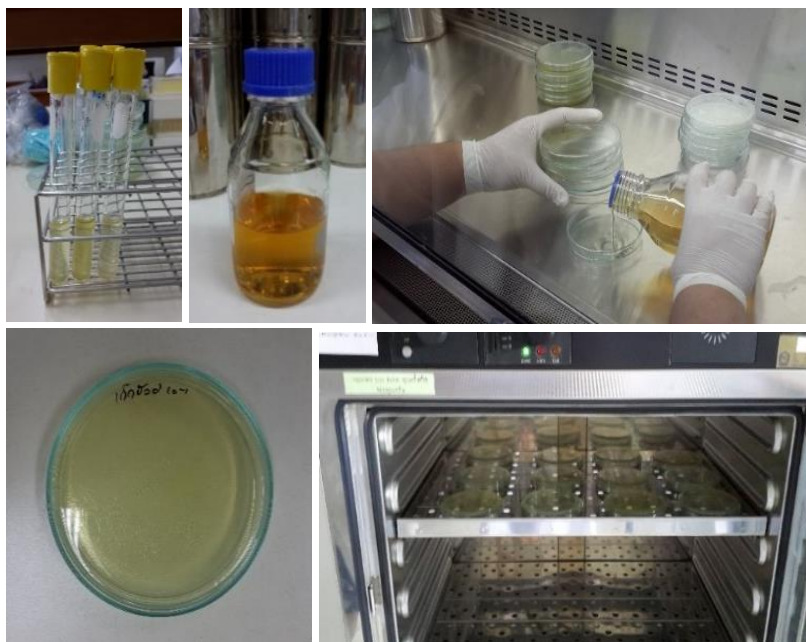


(ก)



(ข)

ภาพ 3.19 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างเพื่อใช้ตรวจอายุการเก็บรักษาของดอกคาโมไมล์อบแห้ง (ก) เครื่องบ่ม อุณหภูมิ (ข) การเก็บดอกคาโมไมล์



ภาพ 3.20 ขั้นตอนการหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

- การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ – การเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้ต้องอาศัยปัจจัยที่เพียงพอประกอบด้วย จึงจะสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ เช่น ค่าวอเตอร์แอกติวิตีในผลิตภัณฑ์อาหาร ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล หรือเกลือ (Osmotic concentration) ค่าความเป็นกรด

- ต่างของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา เป็นต้น ลักษณะตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงจากจุลินทรีย์ ได้แก่ การบูดเน่าของผลิตภัณฑ์อาหารสดจากจุลินทรีย์ เป็นต้น

การประเมินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ที่ผ่านการหีบห่อแล้ว ณ อุณหภูมิหนึ่งไม่เพียงแต่ใช้ข้อมูลของผลิตภัณฑ์แต่ยังใช้ข้อมูล จากกระบวนการและบรรยากาศที่ผลิตภัณฑ์ผ่านการแปรรูป การที่คุณภาพของอาหารลดลงหรือเกิดการเสื่อมเสียของอาหารขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง ทางด้านเคมี กายภาพและจุลินทรีย์ การทดสอบอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารมี 2 วิธีคือ

3.5.1 การทดสอบในสภาวะปกติ

โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ทดสอบไว้ที่สภาวะควบคุมปกติ สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบคุณภาพเป็นระยะๆ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพจนไม่เป็นที่ยอมรับ กำหนดอายุการเก็บตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพจนไม่เป็นที่ยอมรับ เป็นอายุการเก็บ ของผลิตภัณฑ์นั้น

3.5.2 การทดสอบในสภาวะเร่ง

โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่สภาวะควบคุมที่สามารถเร่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น อุณหภูมิสูงกว่าปกติ ความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่าปกติ เป็นต้น สภาวะการเก็บเหล่านี้จะทำให้เกิดการเสื่อมเสียเร็วขึ้นระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบจึงสั้นลง จากนั้นนำ ค่าไปแปรผลเป็นอายุการเก็บที่สภาวะปกติ เช่น อาหารชนิดหนึ่งมีอายุการเก็บ 60 วันที่สภาวะปกติและ 15 วันที่สภาวะเร่ง ดังนั้นอายุการเก็บ 1 วันที่ สภาวะเร่งจะเท่ากับ 4 วันที่สภาวะปกติ

3.5.3 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการเสื่อมสลายคุณภาพ

อาหารต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงทางทางเคมีและชีวภาพ ระหว่างการแปรรูปและการเก็บ รักษาวัตถุประสงค์ของการแปรรูปและการเก็บรักษาคือ ต้องการควบคุมตัวแปรต่างๆ ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาต่างๆ เกิดขึ้นอย่างเหมาะสมเพื่อให้ได้ คุณภาพ ของผลิตภัณฑ์ตามที่ผู้บริโภคต้องการ ปฏิกิริยาต่างๆ ในอาหารที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษาจะเกิดขึ้นด้วยอัตราที่แตกต่างกัน ได้แก่ การ เปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น ออกซิเดชัน ปฏิกิริยาการเกิดน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์ เช่น การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การเปลี่ยนสี การแยกชั้นของครีม การเปลี่ยนแปลงทางคุณค่าอาหาร เช่น การสูญเสียวิตามิน การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน และการเปลี่ยนแปลงทางด้าน ประสาทสัมผัส เช่น การเปลี่ยนแปลงทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัส การสูญเสียกลิ่นรส

3.5.5 การศึกษาลักษณะทั่วไปของดอกคาโมไมล์อบแห้ง

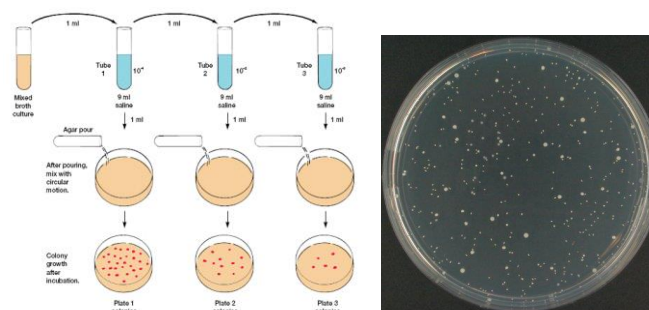
นำตัวอย่างดอกคาโมไมล์อบแห้ง จำนวน 50 กรัม ตรวจวิเคราะห์ลักษณะทั่วไป ซึ่งประกอบไปด้วย

- มีลักษณะเป็นชิ้นหรือผงแห้ง
- มีความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซนต์น้ำหนักเปียก (%w.b.)
- ไม่มีส่วนประกอบอื่นที่ไม่ใช่ดอกคาโมไมล์อบแห้ง
- ไม่มีสิ่งแปลกปลอม เช่น แมลงหรือชิ้นส่วนของแมลง สิ่งปฏิกลของสัตว์พาหะนำโรค หรือ เชื้อดิน ทรา

กรวด

3.5.6 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

การทดสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count: TPC) หรือ Aerobic plate count เป็นการตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์ทั่วไป ที่เป็นเชื้อแบคทีเรียทุกชนิดที่ปนเปื้อนอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งเจริญได้ทั้งบนผิวหน้าอาหาร ในอาหาร และใต้อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ทดสอบ สามารถตรวจได้โดยการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อที่เจริญในอาหารที่ใช้ทดสอบ ซึ่งจำนวนเชื้อแบคทีเรียทั่วไปนั้นใช้เป็นตัวชี้วัดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ถ้ามีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์สูง ผลิตภัณฑ์ก็จะมีอายุการเก็บต่ำลง ถ้าจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ต่ำผลิตภัณฑ์ก็จะมีอายุการเก็บรักษาสูงขึ้น ในการหาจำนวนจุลินทรีย์ในอาหารนั้นไม่ได้กำหนดวิธีการมาตรฐานที่เฉพาะเอาไว้ แต่วิธีการมาตรฐานที่นิยมใช้ในหลาย ๆ ห้องปฏิบัติการ ได้แก่ วิธีการมาตรฐาน Bacteriological Analytical Manual (BAM) ขององค์การอาหารและยา ประเทศสหรัฐอเมริกา และวิธีมาตรฐาน AOAC Official Method of Analysis ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายขึ้นอยู่กับห้องปฏิบัติการแต่ละแห่งจะเลือกใช้ให้เหมาะสม โดยในงานทดลองนี้เลือกใช้วิธีการตามมาตรฐาน AOAC Official Method of Analysis 18th ed. (2010) ซึ่งใช้ตัวอย่าง 50 กรัม มาทำการเจือจางตัวอย่างให้เหมาะสมด้วยวิธี Serial dilution ด้วยสารละลาย Butterfield's phosphate buffer แล้วแบ่งตัวอย่างแต่ละความเจือจางใส่จานเพาะเชื้อ จานละ 1 มิลลิลิตร จากนั้นเทอาหารเลี้ยงเชื้อ Plate count agar (PCA) ทับลงไป แล้วทำการหมวนวน (Pour plate) จานเพาะเชื้อ (ภาพ 3.26) จนตัวอย่างกับอาหารผสมเข้ากันดี ทิ้งให้อาหารแข็งตัว แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมงจากนั้นนำจานเพาะเชื้อมานับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญและรายงานผลการทดสอบ



ภาพ 3.21 ขั้นตอนการเพาะเชื้อด้วยเทคนิค pour plate

นำตัวอย่างดอกคาโมไมล์ ที่ผ่านสภาวะและวิธีการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ มาศึกษาอายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสี ลักษณะทั่วไป สารปนเปื้อน และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ เช่น การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อสตาฟีโลคอคคัส (Staphylococcus aureus) ซึ่งจะไม่พบใน 0.1 กรัม และซัลโมเนลลา (Salmonella spp.) ซึ่งจะไม่พบใน 25 กรัม ด้วยวิธี Bacteriological Analytical Manual (BAM)

3.5.7 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อสตาฟีโลคอคคัส ออเรียส

โดยวิธีการตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2010) ซึ่งใช้แผ่นเพาะเชื้อ (Petri film) ที่ประกอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแห้ง (Dehydrated media) และเจลที่ละลายได้ในน้ำเย็น ในการทดสอบใช้ตัวอย่าง 50 กรัม มาทำการเจือจางตัวอย่างให้เหมาะสมด้วยวิธี Serial dilution ด้วยสารละลาย Butterfield's phosphate buffer แล้วแบ่งตัวอย่างแต่ละระดับความเจือจางปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในแผ่นเพาะเชื้อ แล้วกดด้วยตัวกดพลาสติกซึ่งวางทับแผ่นฟิล์มแผ่นบน จะทำให้ตัวอย่างกระจายในบริเวณที่จะให้เชื้อเติบโต เป็นพื้นที่ประมาณ 30 ตารางเซนติเมตร หลังจากพักไว้สักครู่ เจลจะแข็งตัว และแผ่นเพาะเชื้อจะถูกนำไปบ่มที่ 35 ± 1 หรือ 37 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และตรวจนับจำนวนเชื้อต่อไป การวิเคราะห์เชื้อสตาฟีโลคอคคัส ออเรียส ด้วยแผ่นเพาะเชื้อ Petri film staph express count plate เป็นระบบอาหารเลี้ยงเชื้อพร้อมใช้ซึ่งประกอบด้วยสารก่อเจลที่ละลายได้ในน้ำเย็น (Cold water soluble gelling agent) และอาหาร Baird parker ดัดแปลงชนิด Chromogenic ที่มีความจำเพาะและใช้สำหรับแยกเชื้อสตาฟีโลคอคคัส ออเรียส โดยจะเกิดโคโลนีสีม่วงแดงบนแผ่นเพาะเชื้อหลังการบ่มที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม กรณีพบเชื้อ Background flora ในการทดสอบบนแผ่นเพาะเชื้อ เช่น โคโลนีสีดำ หรือสีน้ำเงินเขียว สามารถทำการตรวจสอบแยกเชื้อสตาฟีโลคอคคัส ออเรียส จากโคโลนีที่สงสัยได้ โดยใช้แผ่นปฏิบัติการ Petri film staph express disk ซึ่งประกอบด้วยสับซิงซ์และดีเอ็นเอ (DNA) โดยสอดเข้าไปในแผ่นเพาะเชื้อ และทำการบ่มที่อุณหภูมิและเวลาเหมาะสม เอนไซม์ Deoxyribonuclease (DNase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ผลิตโดยเชื้อสตาฟีโลคอคคัส ออเรียส จะทำปฏิกิริยากับดีเอ็นเอและสับซิงซ์ในแผ่นปฏิบัติการ ทำให้เกิดบริเวณสีชมพูขึ้นบนแผ่นปฏิบัติการสามารถนับจำนวนโคโลนีที่มีบริเวณสีชมพูล้อมรอบโคโลนีทั้งหมดเป็นเชื้อสตาฟีโลคอคคัสออเรียส

3.5.8 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อซัลโมเนลล่า

การตรวจหาปริมาณเชื้อซัลโมเนลล่า (*Salmonella* sp.) ในงานทดลองนี้เป็นไปตามวิธีมาตรฐาน Bacteriological Analytical Manual Online (2011) Chapter 5, USFDA. โดยใช้ตัวอย่าง 25 กรัม มาทำการ Pre-enrichment medium ด้วยอาหาร Lactose broth แล้วนำไปบ่มที่ 35 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายเชื้อลงใน TT และ RV เพื่อเพิ่มจำนวนเชื้อ Selective-enrichment จากนั้นทำการ Streak ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่เป็น Selective agar ได้แก่ HE agar, XLD agar และ BS agar

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 การพัฒนาโรงอบแห้งแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน

การพัฒนาและออกแบบโรงอบแห้งแสงอาทิตย์วิสาหกิจชุมชน โดยออกแบบเป็นรูปครึ่งวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร ยาว 2 เมตร โดยออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกมากขึ้น มีลาดสแตนเลส ขนาด 1 ตารางเมตร จำนวน 8 ถาด สามารถรองรับการอบแห้งของดอกคาโมไมล์แบบชั้นบาง (ขนาดความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร) ได้ประมาณ 30 กิโลกรัมต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง ด้านหน้าของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน ติดตั้งระบบระบายหมุนเวียนอากาศแบบพัดลมระบายอากาศขนาด 8 วัตต์ (W) จำนวน 2 ชุด ใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 20 วัตต์ มีขนาดช่องถ่ายเทอากาศเท่ากับ 0.0128 ตารางเมตร (m^2) เมื่อวัดความเร็วลมที่ดูดออกจากระบบมีค่าเท่ากับ 0.82 ± 0.64 เมตรต่อวินาที (m/s)

ภาพ 4.1 แสดงภาพถ่ายของโรงอบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน โดยทำจากโครงสร้างเหล็กกล่องกัลวาไนซ์พ่นสีดำ ดัดโค้งเป็นรูปครึ่งวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร และต่อก้านขนาดความสูง 1.2 เมตร ผนังของโรงอบแห้งติดตั้งแผ่นโพลีคาบอนเนตหนา 0.6 มิลลิเมตร และที่พื้นที่ติดตั้งแผ่นเหล็กซิงค์ SECC ขนาด 4x4 ตารางเมตร โดยที่เจาะช่องลมขนาด 0.5x2 เมตร จำนวน 2 ช่อง แล้วใช้กรอบอลูมิเนียมและตะแกรงมุลวดติดทับเพื่อเป็นช่องระบายลม การทำงานการพัฒนาและออกแบบโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชนประกอบด้วยระบบความร้อนเสริมประกอบ 4 ส่วนได้แก่ ระบบควบคุมอุณหภูมิ ระบบกำเนิดความร้อนโดยใช้หัวเผาแก๊สและระบบ Spark gap ระบบไหลเวียนอากาศร้อนติดตั้งด้วยพัดลมวงจรrokและมอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า และห้องผสมลมร้อนที่พัดแผ่นเมทัลชีทเป็นรูปหลังเต่า ติดประกอบด้านล่างของโรงอบแห้งแสงพลังงานอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 95 องศาเซลเซียส และมีความเร็วลมสูงสุดที่ 4.8 ± 0.96 เมตรต่อวินาที



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพ 4.1 การพัฒนาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ก-ง) ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องอบแห้ง

การพัฒนาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชนปัจจุบัน นั้นได้เริ่มประกอบโครงสร้างหลักตามที่แสดงในภาพ 4.1-4.3 โดยนำมาทดสอบการทำงานโดยใช้ตัวอย่างดอกคาโมไมล์สด จากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย โดยก่อนดำเนินการทดสอบ นำดอกคาโมไมล์ไปหาค่าความชื้นด้วยวิธี AOAC (2020) พบว่าตัวอย่างดอกคาโมไมล์มีความชื้นเริ่มต้น 80 ± 2.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก การหาค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปของดอกคาโมไมล์ นั้นดำเนินการวัดค่าความชื้นของดอกคาโมไมล์ครั้งละ 40 กิโลกรัม วางบนถาดสแตนเลสชุบด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ โดยวางไว้ถาดละ 5 กิโลกรัม ดังนั้นดอกคาโมไมล์กระจายบนถาด ขนาด 1 ตารางเมตร และมีความหนาของชั้นวัสดุเท่ากับ 1.5 เซนติเมตร วัดค่าความเร็วลมของพัดลมแบบ Solar-DC ขนาด 8 วัตต์จำนวน 2 ชุด มีพื้นที่หน้าตัด 10×10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 2 ชุด โดยวัดค่า พลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ และความเร็วลม บันทึกค่าทุก 15 นาที การวัดค่าความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชนโดยสุ่มตัวอย่างดอกคาโมไมล์ทุกทุก 2 ชั่วโมงเพื่อนำมาตรวจค่าความชื้น โดยผู้วิจัยได้ใช้วัดค่าความชื้นด้วยวิธีการวัดด้วยการวิเคราะห์ความชื้นด้วยมาตรฐาน AOAC (2020) ตามรายละเอียดตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1



(ก)



(ข)



(ค)



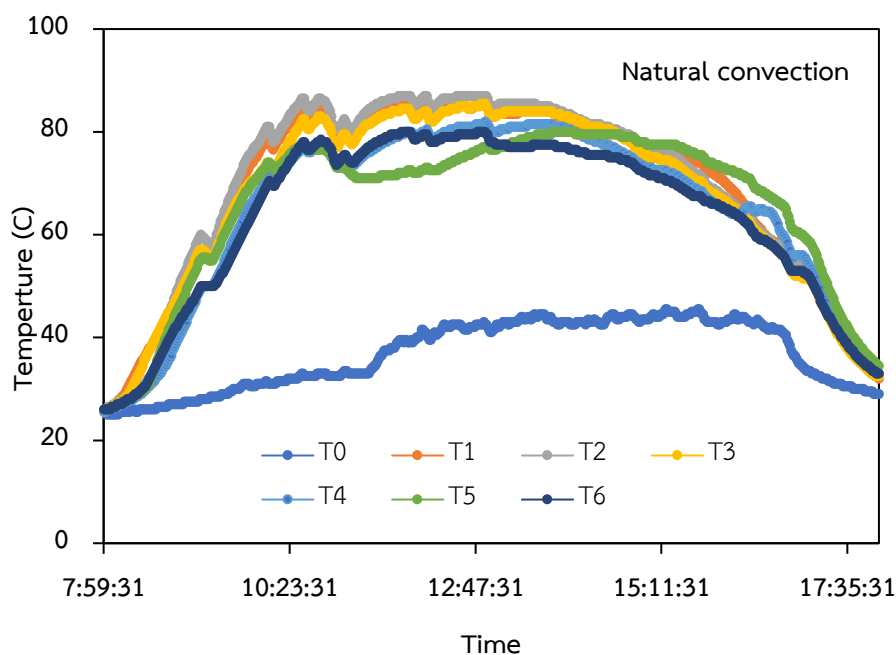
(ง)

ภาพ 4.2 ขั้นตอนการทดสอบการอบแห้งดอกคาโมไมล์ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน (40 กิโลกรัม)

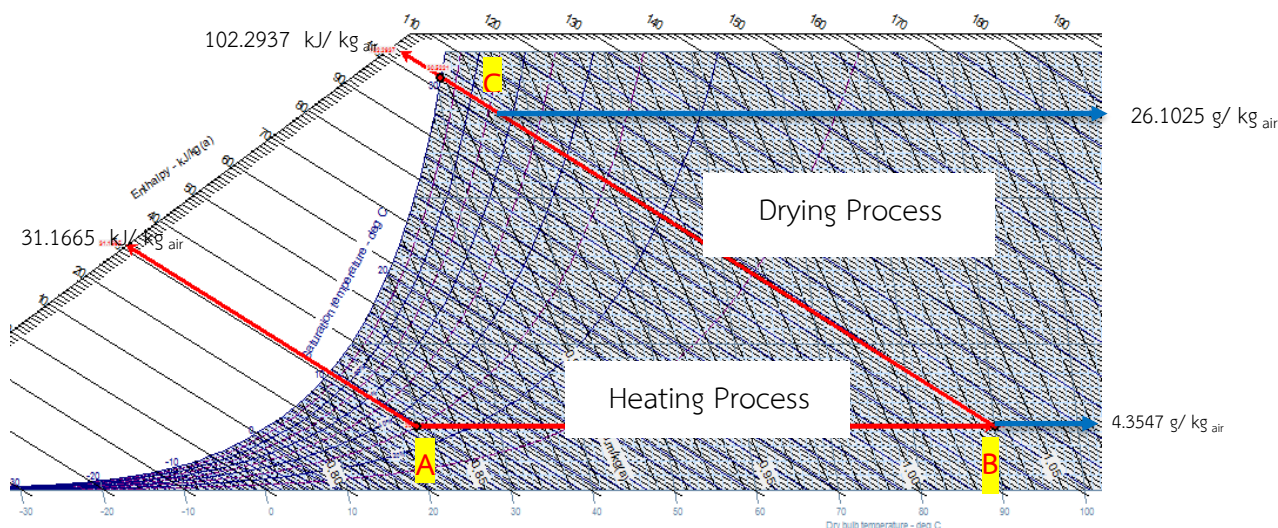


ภาพ 4.3 ดอกคาโมไมล์อบแห้ง

หลักการทำงานของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้ หลักการไหลเวียนอากาศร้อน เพื่อระบายความชื้น ด้วยวิธีธรรมชาติเมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านกระจกพื้นโถงมึนซึ่งอยู่ภายในตู้จะทำหน้าที่ดูดกลืนความร้อนสะสมไว้ ทำให้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงขึ้น ประมาณ 70 องศาเซลเซียส อากาศร้อนในตู้อบจะถ่ายเทความชื้น ที่มีอยู่ในดอกคาโมไมล์ให้ระเหยออกมา เกิดการลอยตัวสูงขึ้นออกไปทางช่องลมด้านบนของตู้อบแห้ง อากาศเย็นที่อยู่ภายนอกจะไหลเข้าทางช่องลมที่อยู่ส่วนล่างทางด้านหน้าของตู้อบแห้งแทนที่อากาศร้อนเป็นการถ่ายเทความชื้นให้กับอาหารแบบธรรมชาติตลอดเวลา



ภาพ 4.4 อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ในของเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ขนาดวิสาหกิจชุมชน ปีตรระบบการไหลเวียนอากาศ



ภาพ 4.5 แผนภาพแสดงคุณสมบัติของอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในระหว่างการอบแห้ง

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติอากาศที่สภาวะต่าง ๆ ผ่านโปรแกรม CYTSoft Psychrometric Chart เวอร์ชัน 2

คุณสมบัติอากาศ	อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	อากาศร้อนหลังผ่าน กระบวนอบแห้ง
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	20 °C	90 °C	27.3764 °C
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	10.84 °C	31.03 °C	30.5655 °C
ความชื้นสัมพัทธ์	30เปอร์เซ็นต์ (R.H.)	0.9998เปอร์เซ็นต์ (R.H.)	70เปอร์เซ็นต์ (R.H.)
ความชื้นในอากาศ	4.3547 g/kg _{air}	4.3547 g/kg _{air}	26.1025 g/kg _{air}
เอนทัลปี	31.1665 kJ/kg _{air}	102.2937 kJ/kg _{air}	102.2937 kJ/kg _{air}

อัตราการดูดซับความชื้นของอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (จุด B) จนอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 70 จึงมีค่าเท่ากับ 21.7478 กรัมน้ำต่ออากาศ 1 กิโลกรัม (g/kg_{air}) โดยปริมาณน้ำที่ระเหยไปทั้งหมดได้จากสมการ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 34.89 กิโลกรัม ดังนั้นการคำนวณปริมาณอากาศร้อนสำหรับการอบแห้งดอกคาโมไมล์ตัวอย่างจำนวน 30 กิโลกรัมต่อ 1 โรงอบแห้ง (m) มีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned}
 W &= m \left| \Delta H_2 - \Delta H_1 \right| \\
 34.89 &= m \left(26.1025 - 4.3547 \right) \text{ g/kg}_{\text{air}} \\
 m &= \frac{34.89 \text{ kg}}{26.1025 - 4.3547 \text{ g/kg}_{\text{air}}} \\
 &= 1,604.30 \text{ kg}_{\text{air}}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาณอากาศร้อนที่ต้องการไหลเวียนสำหรับการอบแห้งในการอบแห้งดอกคาโมไมล์จึงมีค่าเท่ากับ 1,604.30 กิโลกรัมต่อวัน หรือประมาณ 0.0557 กิโลกรัมต่อวินาที (กำหนดให้การทำงานของเครื่องอบแห้งทำงานวันละ 10 ชั่วโมง) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณพลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศในกระบวนการให้ความร้อนจากอากาศที่มีคุณสมบัติที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 30 จนอากาศมีความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ตามที่แสดงการคำนวณ

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m} \Delta h - \Delta h \\ &= 0.0557 \text{ kg/s} \left(102.2937 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 31.1665 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\ &= 3.96 \text{ กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

อย่างไรก็ตามการออกแบบเพื่อเลือกขนาดขดลวดความร้อน จึงได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความพลอตภัยมีค่าเท่ากับ 30 เปอร์เซนต์ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างอากาศร้อนของระบบมีค่าเท่ากับ 5.66 กิโลวัตต์ สิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบขนาดเครื่องอบแห้ง จะต้องประมาณขนาดที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้ง แล้วทำการเปรียบเทียบความสามารถของเครื่องอบแห้ง ฮาจิเม ทามอน และคณะ (2548) ได้แนะนำวิธีอย่างง่าย ๆ ในการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนสำหรับเครื่องอบแห้งแบบไม่ต่อเนื่อง

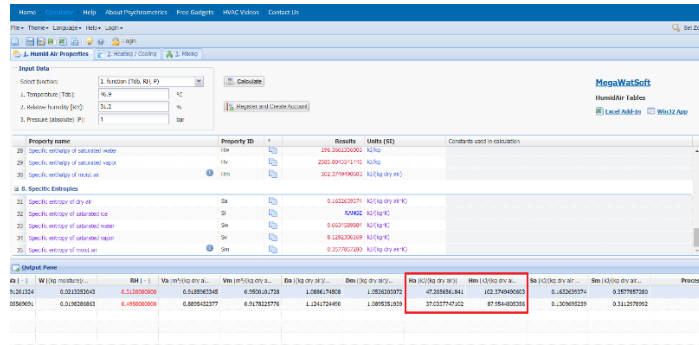
$$Q = h_a V(T - T_m)$$

เมื่อ h_a = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (วัตต์ต่อองศาเซลวินลูกบาศก์เมตร)

V = ปริมาตรของห้องอบแห้ง (ลูกบาศก์เมตร)

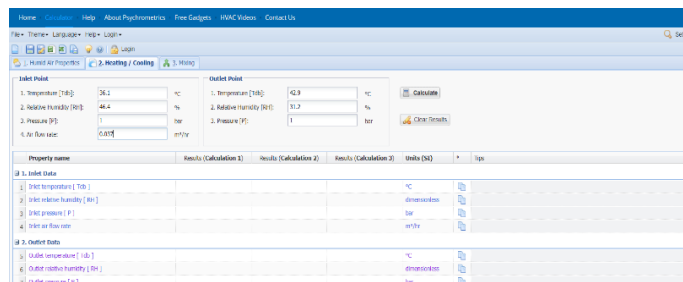
$(T - T_m)$ = ความแตกต่างของอุณหภูมิตัวอย่างอุณหภูมิความร้อนมีค่าประมาณ 1 องศาเซลเซียส

เครื่องการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนร่วมจัดเครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งมีการไหลทะลุของลมร้อน ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 3,500-9,000 วัตต์ต่อองศาเซลวินลูกบาศก์เมตร (ฮาจิเม ทามอน และคณะ, 2548) ในการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนร่วม ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,250 วัตต์ต่อองศาเซลวินลูกบาศก์เมตร ดังนั้นปริมาตรของห้องอบแห้งในการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนร่วม ซึ่งมีระบบการให้พลังงานความร้อนประมาณ 6 กิโลวัตต์ มีเท่ากับ 0.96 ลูกบาศก์เมตร



The screenshot shows the 'HumidAir Properties' software interface. It includes input fields for temperature, humidity, and pressure, and a table of calculated properties such as specific enthalpy, wet-bulb temperature, and dew point temperature.

(ก)



The screenshot shows the 'Psychrometric Calculator' software interface. It includes input fields for temperature, humidity, and pressure, and a table of calculated properties such as specific enthalpy, wet-bulb temperature, and dew point temperature.

(ข)

ภาพ 4.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศที่สภาวะต่าง ๆ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ก) การวิเคราะห์สมบัติของอากาศในระหว่างการอบแห้ง (ข) การวิเคราะห์อัตราไหลเวียนอากาศของเครื่องอบแห้ง
ที่มา: Psychrometric Calculator (psychrometric-calculator.com)

4.2 เปรียบเทียบการอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง และ โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับวิสาหกิจชุมชน

โครงการนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษากระบวนการอบแห้งของดอกคาโมไมล์ตัวอย่างที่เป็นพืชเป้าหมายในการส่งเสริมอาชีพของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย และพืชที่มีต้องการความต้องการในการสร้างอาชีพอย่างเร่งด่วนหรือเป็นวัสดุที่เน่าเสียง่ายและใช้เวลาในการตากแห้งเป็นเวลานานเพื่อให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นโครงการวิจัยเปรียบเทียบการอัตราการและเปรียบเทียบค่าพลังงานเฉพาะที่ใช้ในการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งด้วยพลังงานอาทิตย์แบบต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 การศึกษาการอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง

การดำเนินการทดลองทดสอบสมรรถนะโรงอบแห้ง จำเป็นต้องทราบข้อมูลต่างๆ ดังเช่น ความเข้มข้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อุณหภูมิในโรงอบแห้ง อุณหภูมิขาออก มวลตัวอย่าง ของผลิตภัณฑ์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงอบแห้ง และ อัตราการไหลของอากาศ โดยอัตราการไหลของอากาศจะอ่านค่าจากอุปกรณ์พร้อมบันทึกทุกๆ 2 ชั่วโมง ส่วนมวลของตัวอย่างดอกคาโมไมล์ตัวอย่างสำหรับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิในโรงอบแห้ง อุณหภูมิอากาศทางไหลออกจากโรงอบแห้ง ความชื้น

สัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในโรงอบแห้ง และความเข้มรังสีอาทิตย์ซึ่งจะถูกบันทึกโดย data logger ทุกๆ 10 นาทีโดยตำแหน่งของห้วงวัดต่างๆ แสดงไว้ตามภาพ 4.17

จากการทดสอบการอบดอกคาโมไมล์ตัวอย่างด้วยวิธีการอบแห้งโดยพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 4.7.26-4.7.29 พบว่าอัตราเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นในช่วงแรกจะมีแนวโน้มลดลงในลักษณะเป็นเส้นตรง หลังจากนั้นอัตราส่วนความชื้นจะลดลงในลักษณะเอกโปแนนเชียลกับระยะเวลาการอบแห้ง โดยที่อัตราการอบแห้งจะลดลงตลอดเวลาจนสิ้นสุดการอบแห้ง จากปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อ ดอกคาโมไมล์ตัวอย่างสดได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง ทำให้ปริมาณน้ำอิสระในโครงสร้างเซลล์ที่บริเวณผิวของดอกคาโมไมล์สดเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวระเหยกลายเป็นไอน้ำถ่ายเทมวลไปยังอากาศร้อน จากนั้นปริมาณน้ำอิสระในโครงสร้างชั้นในจะเกิดการเคลื่อนที่มาที่บริเวณผิวเกิดการเปลี่ยนสถานะและถ่ายเทมวลไปยังอากาศร้อน ซึ่งการอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงจะใช้เวลาานาน ทำให้คุณภาพลดลง ดังนั้นจึงมีการพัฒนาใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชนช่วยในการอบแห้ง ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงและคุณภาพดีกว่า

4.2.2 การศึกษาการอบแห้งในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน

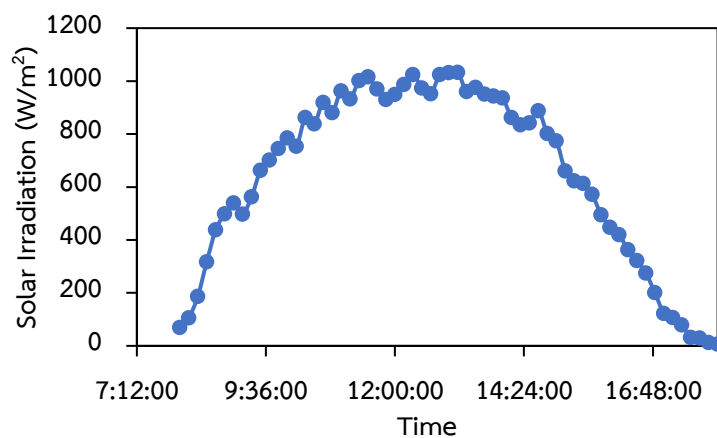
จากการทดสอบอบแห้งดอกคาโมไมล์ด้วยวิธีการอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ พบว่าอัตราการเปลี่ยนสถานะของปริมาณน้ำในดอกคาโมไมล์ การถ่ายเทมวลสู่อากาศร้อนได้ดีกว่าการอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงดังนั้นอุณหภูมิอากาศร้อนนั้นมีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราการอบแห้ง

การศึกษาการอบแห้งตัวอย่างดอกคาโมไมล์ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดในช่วงเดือนกันยายน 2565 โดยทดสอบการอบแห้งแสงอาทิตย์สองวิธีการ ได้แก่ การอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง,การอบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน โดยกำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส โดยทำการทดสอบวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00-18.00 น.

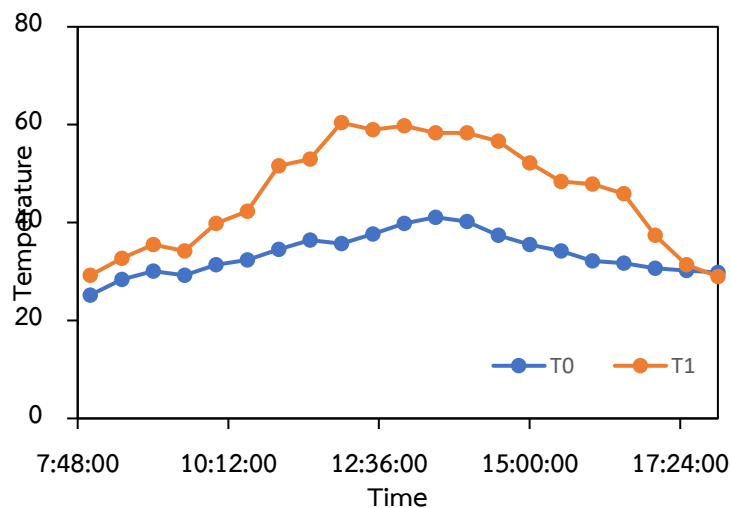
ภาพ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิที่เวลาใดๆ ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00-18.00 น. ของวันที่อากาศโปร่งใส สามารถวัดพลังงานแสงอาทิตย์ได้เท่ากับ 644.9 ± 234.6 วัตต์ต่อตารางเมตร พบว่าอุณหภูมิของอากาศ (สิ่งแวดล้อม) เท่ากับ 33.7 ± 4.23 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายในโรงอบแห้งมีค่าเท่ากับ 46.69 ± 11.05 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหลังจากเปิดระบบความร้อนเสริมมีค่าเท่ากับ 70.92 ± 1.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาความแตกต่างกันของอุณหภูมิอากาศ (สิ่งแวดล้อม) และอากาศภายในโรงอบแห้ง พบว่ามีความแตกต่างกันเฉลี่ยเท่ากับ 12.95 ± 3.17 องศาเซลเซียสซึ่งแสดงถึงค่าพลังงานความร้อนภายใต้ภาวะเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในโรงอบแสงอาทิตย์ ที่ยอมให้คลื่นพลังงานความร้อนผ่านลงมาภายในโรงอบแห้งแสงอาทิตย์และดูดกลืนรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดที่แผ่ออก จากนั้นคายพลังงานความร้อนกระจายอยู่ภายในโรงอบแสงอาทิตย์ ส่งผลให้มีภาวะสมดุลทางอุณหภูมิ ส่งผลให้อากาศภายในโรงอบแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ภาพ 4.19 เป็นการทดสอบแสดงความสัมพันธ์ของพลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิที่เวลาใดๆ ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00-18.00 น. ของวันที่อากาศไม่โปร่งใส มีเมฆมาก สามารถวัดพลังงานแสงอาทิตย์ได้เท่ากับ

508.8±234.6 วัตต์ต่อตารางเมตร พบว่าอุณหภูมิของอากาศ (สิ่งแวดล้อม) เท่ากับ 32.88±6.34 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศภายในโรงอบแห้งมีค่าเท่ากับ 40.61±12.34 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหลังจากเปิดระบบ ความร้อนเสริมมีค่าเท่ากับ 70.92±1.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อพิจารณาความแตกต่างกันของ อุณหภูมิอากาศ (สิ่งแวดล้อม) และอากาศภายในโรงอบแห้ง พบว่ามีความแตกต่างกันเฉลี่ยเท่ากับ 7.73±3.61 องศาเซลเซียสซึ่งแสดงถึงค่าพลังงานความร้อนภายใต้ภาวะเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในโรงอบแห้งแสงอาทิตย์ ที่ยอมให้คลื่นพลังงานความร้อนผ่านลงมาจากโรงอบแห้งแสงอาทิตย์และดูดกลืนรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดที่แผ่ออก จากนั้นคายพลังงานความร้อนกระจายอยู่ภายในโรงอบแห้งแสงอาทิตย์ ส่งผลให้มีภาวะสมดุลทางอุณหภูมิ ส่งผลให้อากาศภายในโรงอบแห้งแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

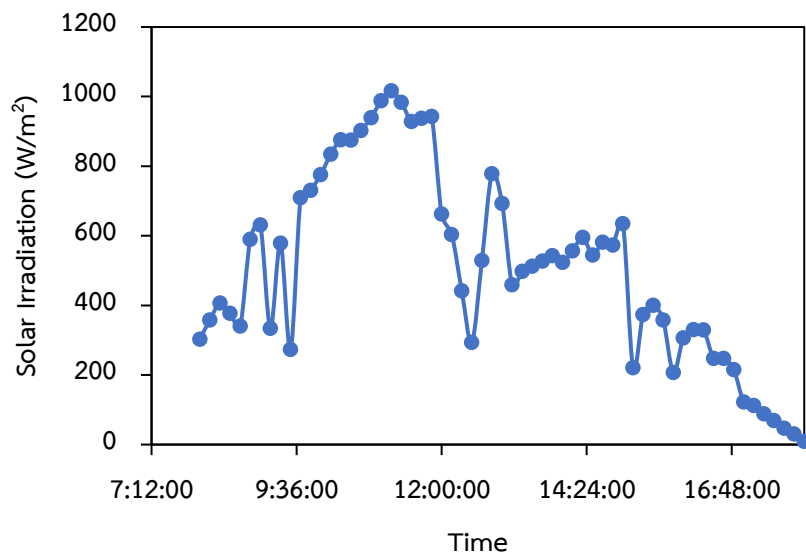


(ก)

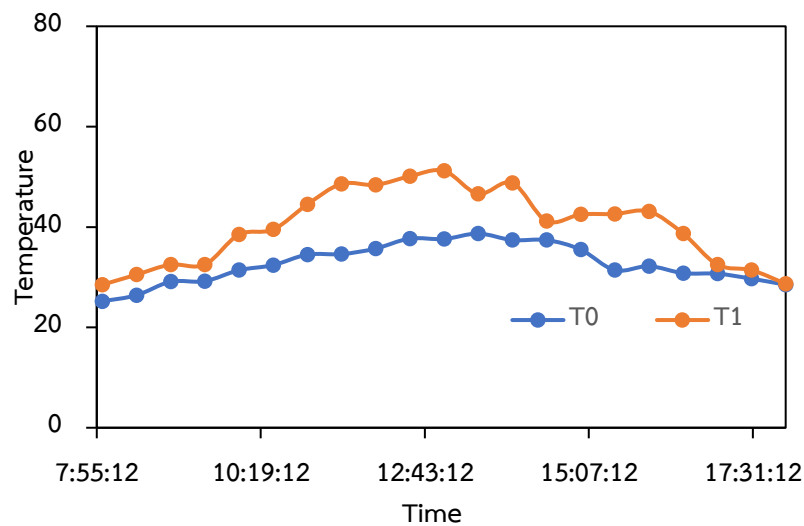


(ข)

ภาพ 4.7 การทดสอบการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์วิสาหกิจชุมชน ในวันที่อากาศโปร่งใส (ก) ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์และเวลา (ข) อุณหภูมิของอากาศ และเวลา (T0 อุณหภูมิของอากาศ T1 อุณหภูมิของอากาศ ในโรงอบแห้ง



(ก)



(ข)

ภาพ 4.8 การทดสอบการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์วิสาหกิจชุมชนวันที่อากาศไม่โปร่งใส (ก) ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์และเวลา (ข) อุณหภูมิของอากาศ และเวลา (T0 อุณหภูมิของอากาศ T1 อุณหภูมิของอากาศในโรงอบแห้ง



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 4.9 ภาพถ่ายดอกคาโมไมล์ที่ใช้ในการทดลอง

(ก) ดอกคาโมไมล์สด (ข) ดอกคาโมไมล์อบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง (ค) ดอกคาโมไมล์อบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของดอกคาโมไมล์อบแห้งระหว่างการทดสอบอบแห้ง

รายการเปรียบเทียบ	การอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง	โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชน
ความชื้นสุดท้าย (เปอร์เซ็นต์ w.b.)	8.21±1.14	7.83±1.03
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.36±0.02	0.34±0.02
เวลาในการอบแห้ง	22 hr	16 hr
สมบัติเชิงทัศนศาสตร์		
L^* -value	48.35±5.41	61.84±3.01
a^* -value	-1.02±0.81	-2.92±0.75
b^* -value	10.24±3.46	15.65±2.10
จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทั้งหมด	N/A	N/A
ปริมาณยีสต์ และเชื้อราทั้งหมด	N/A	N/A
อายุการเก็บรักษา	6 เดือน	10 เดือน
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด	1,031±104.51 mg _{GAE} /100 g _{dry matter}	1,291±104.13 mg _{GAE} /100 g _{dry matter}
ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (ABTS)	642±135.07 mg _{GAE} /100 g _{dry matter}	1,412±175.05 mg _{TEAC} /100 g _{dry matter}
ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (DPPH)	1,288±364.35 mg _{GAE} /100 g _{dry matter}	2,401±227.00 mg _{TEAC} /100 g _{dry matter}

หมายเหตุ TPC คือ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg_{GAE}/100 g_{dry matter}) และ ABTS กับ DPPH คือ วิธีในการวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (mg_{TEAC}/100 g_{dry matter})

ข้อมูลเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพดอกคาโมไมล์อบแห้งของการอบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงและโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับวิสาหกิจชุมชนดอกคาโมไมล์สดค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 78.8 ± 2.36 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก (%w.b.) อบแห้งเหลือค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 8.21 ± 1.14 , 7.83 ± 1.03 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก (%w.b.) มีปริมาณน้ำอิสระ (aw) เท่ากับ 0.36 ± 0.02 , 0.34 ± 0.02 สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ในระบบสี CIE-L*a*b* โดยมีค่า L*-value เท่ากับ 38.35 ± 5.41 , 61.84 ± 3.01 , a*-value เท่ากับ -1.02 ± 0.81 , -2.92 ± 0.75 และ b*-value เท่ากับ 10.24 ± 3.46 , 15.65 ± 2.10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (ABTS, DPPH) เท่ากับ 642 ± 135.07 mg_{GAE}/100 g dry matter $1,412 \pm 175.05$ และ $1,288 \pm 364.35$ mg_{GAE}/100g, $2,401 \pm 227.00$ mg_{TEAC}/100 g นอกจากนี้ยังตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์รวม และไม่พบปริมาณของยีสต์และรา ในตัวอย่างดอกคาโมไมล์อบแห้งและอายุการเก็บรักษา 6 เดือน และ 10 เดือน แม้ว่าจะตรวจไม่พบจุลินทรีย์ แต่มีจุลินทรีย์สะสมอยู่ โดยมีตรวจไม่พบ เนื่องจากจุลินทรีย์มีชุมชน แต่เมื่อเวลาผ่านไปความชื้นเริ่มเข้ามามากขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มขยายตัว ส่งผลให้เมื่อเวลาผ่านไปจุลินทรีย์มีปริมาณมากกว่า 100 CFU (เกณฑ์ในการตัดสินใจอายุการเก็บรักษา)

4.3 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมการผลิต

4.3.1 การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสร้างโรงอบแห้ง และการผลิต

การคำนวณการเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อประเมินต้นทุนการผลิตโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการ โดยทดสอบแปรรูปผลิตภัณฑ์เต็มรูปแบบในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน 2566 (จำนวนการผลิต 30 ครั้ง) เพื่อทดสอบ พบว่า สามารถสามารถอบแห้งได้สัปดาห์ละ 5 กิโลกรัมแห้ง จาก 40 กิโลกรัมสด คิดเป็นปริมาณคาโมไมล์ไม่อบแห้งทั้งหมดเท่ากับ 150 กิโลกรัม สามารถจำหน่ายราคา 900 บาทต่อ กิโลกรัมแห้ง ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปดอกคาโมไมล์ มีรายรับเท่ากับ 135,000 บาท

ต้นทุนการผลิตโรงอบแห้งแสงอาทิตย์ชุมชน	24,000	บาท
ต้นทุนผันแปรของดอกคาโมไมล์สด (กิโลกรัมละ 60 บาท) จำนวน 1,200 กิโลกรัมสด	72,000	บาท
ต้นทุนผันแปร ค่าจ้างแรงงานจำนวน 1 คน (จ้างเหมาครั้งละ 350 บาท)	10,500	บาท
ต้นทุนผันแปร (รวม)	82,500	บาท
รายได้จากการจำหน่ายชาดอกคาโมไมล์	135,000	บาท
จำลองเป็นรายได้ต่อไป		
มูลค่าซาก	100	บาท
อายุการใช้งาน	8	ปี
ดอกเปีย	10	เปอร์เซ็นต์

ต้นทุนคงที่

- ค่าเสื่อมราคาเครื่อง (F_1)

ใช้สมการคำนวณค่าเสื่อมราคาเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุนแบบเส้นตรง

เมื่อ P คือ ต้นทุนเครื่องอบแห้ง, L คือ ราคาซากของเครื่องอบแห้ง (บาท) และ N คืออายุการใช้งาน (ปี)

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{24,000 - 100}{8} \\ &= 2,987.5 \quad \text{บาทต่อปี} \end{aligned}$$

$$F_1 = 2,987.5 \quad \text{บาทต่อปี}$$

- ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน (F_2)

ใช้สมการคำนวณค่าดอกเบี้ยในการลงทุนของการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้ง

$$F_2 = \frac{(P+L) i}{2}$$

เมื่อ i คือ อัตราดอกเบี้ย (บาทต่อปี)

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{(24,000 + 100) (0.1)}{2} \\ &= 1,205 \quad \text{บาทต่อปี} \end{aligned}$$

ดังนั้นต้นทุนคงที่รวม ($F_1 + F_2$) มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} (F_1 + F_2) &= 2,987.5 + 1,205 \quad \text{บาทต่อปี} \\ &= 4,192.5 \quad \text{บาทต่อปี} \end{aligned}$$

ดังนั้น ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการความร้อนเสริมติดตั้งในโรงอบแสงอาทิตย์เท่ากับ 4,192.5 บาทต่อปี

การวิเคราะห์ต้นทุนการอบแห้งดอกคาโมไมล์ทั้งหมดของการทำงานของเครื่องอบแห้งในโครงการวิจัยนั้นเท่ากับ

$$\begin{aligned} FC + OC &= 4,192.5 + 82,500 \quad \text{บาท} \\ &= 86,692.5 \quad \text{บาท} \end{aligned}$$

ดังนั้นการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเบื้องต้นของดอกคาโมไมล์อบแห้ง เท่ากับ 900 บาทต่อ กิโลกรัม รายได้หลังจากการดำเนินโครงการวิจัยมีรายได้ในการจำหน่ายดอกคาโมไมล์อบแห้ง เท่ากับ 86,692.5 บาท เกิดกำไรเท่ากับ 47,257.5 บาทต่อปี

4.8.2 การคำนวณจุดคุ้มทุน คำนวณเฉพาะส่วนในการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยเครื่องอบแห้งในโครงการ

รายได้ในการดำเนินการผลิตการแปรรูปชาดอกคาโมไมล์มีค่าเท่ากับ 86,692.5บาท ดังนั้นการวิเคราะห์ จุดคุ้มทุนของโครงการมีค่าเท่ากับต้นทุนการอบแห้งต่อหน่วยรายได้ที่เกิดขึ้น คิดเป็นสัดส่วนของผลผลิตเปรียบเทียบกับรายได้ในการจำหน่าย

$$\begin{aligned}\text{ระยะเวลาในการคืนทุน} &= (\text{ต้นทุนการอบแห้งต่อปี/รายได้}) \\ &= 86,692.5 / 135,000 \\ &= 0.64 \text{ ปี}\end{aligned}$$

การคำนวณอัตราผลตอบแทนเงินลงทุนการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยเครื่องอบแห้ง

อัตราผลตอบแทนเงินลงทุนหาได้จากความสัมพันธ์

$$\begin{aligned}\text{อัตราผลตอบแทนเงินลงทุน} &= (\text{รายได้/ต้นทุนการอบแห้ง}) \\ &= 135,000 / 86,692.5 \\ &= 155.72 \text{ เปอร์เซ็นต์ต่อปี}\end{aligned}$$

ดังนั้นการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเบื้องต้น พบว่ามีต้นทุนการผลิตรวมเท่ากับ 86,692.5 บาท แต่สามารถ สร้างรายได้ เท่ากับ 135,000 บาท สามารถวิเคราะห์เป็นระยะเวลาในการคืนทุนในการคืนทุน เท่ากับ 0.64 ปี และมีอัตราผลตอบแทนเงินลงทุน เท่ากับ 155.72 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผล

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการแปรรูปดอกคาโมไมล์อบแห้งด้วยโรงอบแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชนตามที่แสดงในภาคผนวก ก โดยมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 30,000 บาท แบ่งเป็นค่าวัสดุจำนวน 24,000 และค่าแรงในการผลิตจำนวน 6,000 บาท ตามรายละเอียดในภาคผนวก ข. ตัวอย่างดอกคาโมไมล์สดมีค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 78.81 ± 2.36 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก (%w.b) ถูกลำมาจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโจ๊ะ จังหวัดเชียงราย ผลการศึกษาพบว่าอัตราการอบแห้งของดอกคาโมไมล์อบแห้งด้วย โรงอบแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชนค่าเท่ากับ 4.51 กิโลกรัม/ชั่วโมง ในขณะอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบดั้งเดิมมีค่าเท่ากับ 3.26 กิโลกรัม/ชั่วโมง มีค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากับ ความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 8.21 ± 1.14 ถึง 7.83 ± 1.03 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก (%w.b.) การอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง ทดสอบอบแห้งดอกคาโมไมล์จากกความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 78.8 ± 2.36 อบแห้งเหลือค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 7.83 ± 1.03 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก (%w.b.) เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาในการอบแห้งลด นอกจากนี้ ดอกคาโมไมล์อบแห้งด้วยโรงอบแสงอาทิตย์มีสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ในระบบสี CIE-L*a*b* ที่ดีกว่า โดยมีค่า L*-value, a*-value และ b*-value เท่ากับ 61.84 ± 3.01 , -2.92 ± 0.75 และ 15.65 ± 2.10 ตามลำดับ ผลของการอบแห้งดอกคาโมไมล์ด้วยโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์นั้นรักษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (ABTS, DPPH) เท่ากับ $1,291 \pm 104.13$ mg_{GAE}/100 g_{dry matter} และ $1,412 \pm 175.05$, $2,401 \pm 227.0$ mg_{TEAC}/100 g_{dry matter} นอกจากนี้ยังตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์รวม และไม่พบปริมาณของยีสต์และรา แต่อายุการเก็บรักษาของดอกคาโมไมล์อบแห้งด้วยโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ มีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 10 เดือน แต่ดอกคาโมไมล์อบแห้งที่อบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงมีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 6 เดือน และการดำเนินส่วนสุดท้ายได้แก่การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเบื้องต้นเพื่อหาค่าระยะเวลาในการคืนทุนในการคืนทุน เท่ากับ 0.64 ปี และมีอัตราผลตอบแทนเงินลงทุน เท่ากับ 155.72 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรขยายผลการศึกษา ในพื้นที่การผลิตจริง เช่น หมู่บ้านบวรารของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทั้ง 39 ศูนย์ฯ ซึ่งมีเกษตรกรที่ลงทะเบียนมากกว่า 28,000 คน ที่ขึ้นทะเบียน ควรนำองค์ความรู้ในโครงการวิจัยดังกล่าวไปขยายผล โดยสร้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับวิสาหกิจชุมชนจำหน่ายในนาม หลักสูตรวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตรอย่างเป็นรูปธรรม

เอกสารอ้างอิง

- Ain R, Orav A, Püssa T & V Catri. (2012). Content of essential oil, terpenoids and polyphenols in commercial chamomile (*Chamomilla recutita* L. Rauschert) teas from different countries. **Food Chemistry** 131(2): 632-638.
- AOAC. (2010). Official Methods of Analysis. (18th ed.), Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.USA
- Amer B.M.A., Hossain M.A. & K. Gottschalk. (2009). Design and performance evaluation of a new hybrid solar dryer for banana. **Energy Conversion and Management**. 51(4), 813-820.
- El Sayed, G. K., Bahnasawy, A. H., & Hamouda, R. M. (2019). Dehydration of Chamomile flowers under different drying conditions. **Journal Food Process Technology** 10(803), 2.
- Harbourne, N. Jacquier, J.C. & OaRiordan, D., 2009, Optimisation of the Extraction and Processing Conditions of Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) for Incorporation into a Beverage, **Food Chemistry** 115(1):15-19
- Idris A., Khalid K. & Omar W. (2001). Drying of silica sludge using microwave heating. **Applied Thermal Engineering** 24, 905-918.
- Kilcast, D. & P Subramaniam. (2000) The Stability and Shelf-Life of Food. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, Boca Raton, Washington DC.
- K.S. Jairaj, S.P. Singh & K. Srikant. (2009). A review of solar dryers developed for grape drying. **Solar Energy** 83(9): 1698-1712.
- M.A. Hossain & B.K. Bala. (2007). Drying of hot chilli using solar tunnel drier. **Solar Energy** 81(1), 85-92.
- Man, C. D., & Jones, A. A. (Eds.). (1994). Shelf life evaluation of foods (pp. xiii+-321). Glasgow: Blackie Academic & Professional.
- Abutaleb, M., Ragab, T. I., Abdeldaim, Y., & Mohamed, A. (2021). Effect of new solar-drying designs for chamomile essential oil yield and its chemical constituents in Egypt. Arab Universities **Journal of Agricultural Sciences** 29(1), 376-385.
- Harbourne, N., Jacquier, J. C., & O'Riordan, D. (2009). Optimization of the extraction and processing conditions of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) for incorporation into a beverage. **Food Chemistry** 115(1), 15-19.

- Nováková, L., Vildová, A., Mateus, J. P., Gonçalves, T., & Solich, P. (2010). Development and application of UHPLC–MS/MS method for the determination of phenolic compounds in Chamomile flowers and Chamomile tea extracts. **Talanta** 82(4), 1271-1280.
- Parisi, S. (2020). Characterization of Major Phenolic Compounds in Selected Foods from Technological and Health Promotion Viewpoints. **Journal of AOAC International** 103(4), 904-905.
- Raal, A., Orav, A., Püssa, T., Valner, C., Malmiste, B., & Arak, E. (2012). Content of essential oil, terpenoids and polyphenols in commercial chamomile (*Chamomilla recutita* L. Rauschert) teas from different countries. **Food Chemistry** 131(2), 632-638.
- Ratti, C., & A. S. Mujumdar. (1997). Solar drying of foods: modeling and numerical simulation. **Solar Energy** 60 (3-4), 151-157.
- Sökand, R., Quave, C. L., Pieroni, A., Pardo-de-Santayana, M., Tardío, J., Kalle, R. & Mustafa, B. (2013). Plants used for making recreational tea in Europe: a review based on specific research sites. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine** 9, 1-13.
- Hou WenChi, H. W., Lin RongDih, L. R., Lee TzongHuei, L. T., Huang YingHua, H. Y., Hsu FengLin, H. F., & Lee MeiHsien, L. M. (2005). The phenolic constituents and free radical scavenging activities of *Gynura formosana* Kiamnra.
- ธวัชชัย อ่องประเสริฐ และกมลวรรณ จิตจักร. (2563). การศึกษาประสิทธิภาพโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริมจากอินฟราเรดสำหรับการอบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่อิ่ม. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต** 10(3), 62-83.
- ปองพล สุริยะกันทร และฤทธิชัย อัศวราชันย์. (2557). อิทธิพลของอุณหภูมิและความหนาของชั้นวัสดุต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของดอกคาโมไมล์อบแห้ง. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 45 (3/1 พิเศษ), 441-444. 2557.
- ปอนเตซา และพลวัฒน์. (2020). การอบแห้งปลานิลด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก. **วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย** 26(2), 7-7.
- พนิดา บุญฤทธองไชย์, ชลิดาฉิมวาริ และรัตนา รุ่งศิริสกุล. (2563). การเปรียบเทียบปริมาณ สารออกฤทธิ์ในชาดอกคาโมไมล์ที่อบแห้งโดยพลังงานแสงอาทิตย์และเตาต้นแบบที่ได้รับการ พัฒนาแล้ว.
- รัตนา รุ่งศิริสกุล และพนิดา บุญฤทธองไชย์. (2557). การหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบดอกคาโมไมล์เพื่อให้ได้ชาคาโมไมล์ที่มีคุณภาพ. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** 45 (3/1 พิเศษ): 389 - 392. 2557.

วัฒนพงษ์ รัชวิเชียร และสังวาล เพ็งพัด. (2544). เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เพื่อใช้ใน

การแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร, พิษณุโลก ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ฤทธิ์ชัย อัคราชนย์ . (2564). การแปรรูปด้วยความร้อนและไม่ใช้ความร้อนด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่. (พิมพ์ครั้งที่

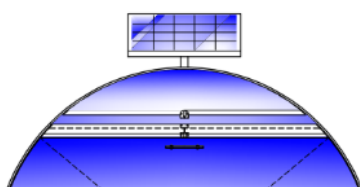
ที่ 3). สำนักพิมพ์ โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮาส์. กรุงเทพมหานคร. 336 หน้า

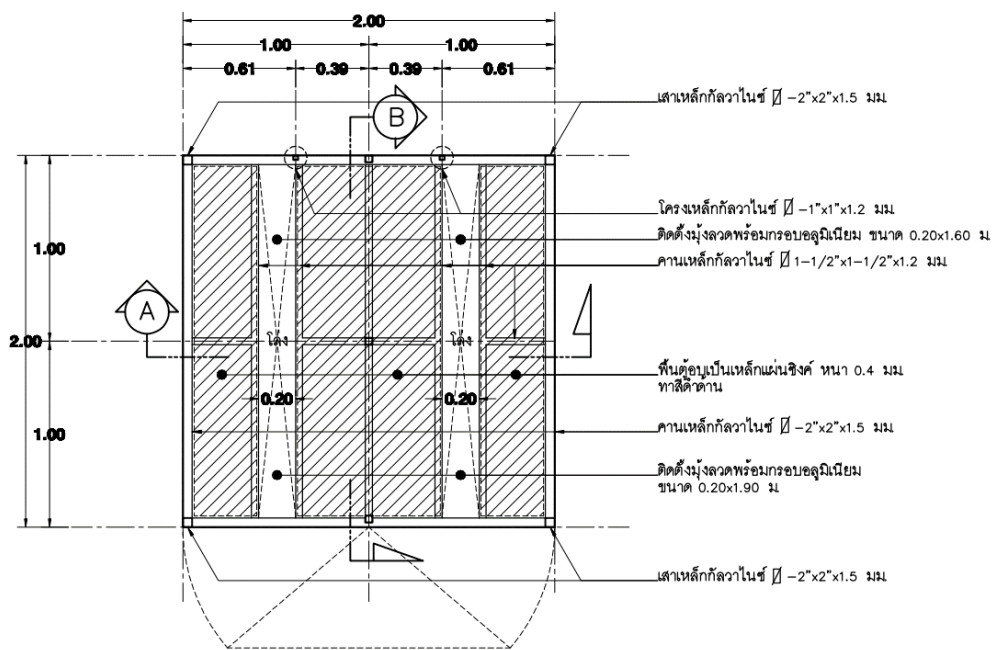
ฮาจิเม ทามอน และคณะ. (2548). เทคโนโลยีอบแห้งในอุตสาหกรรม. แปลโดยวิรุฬห์ ตันตะพานิชกุล

และคณะ. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น.

ภาคผนวก ก.

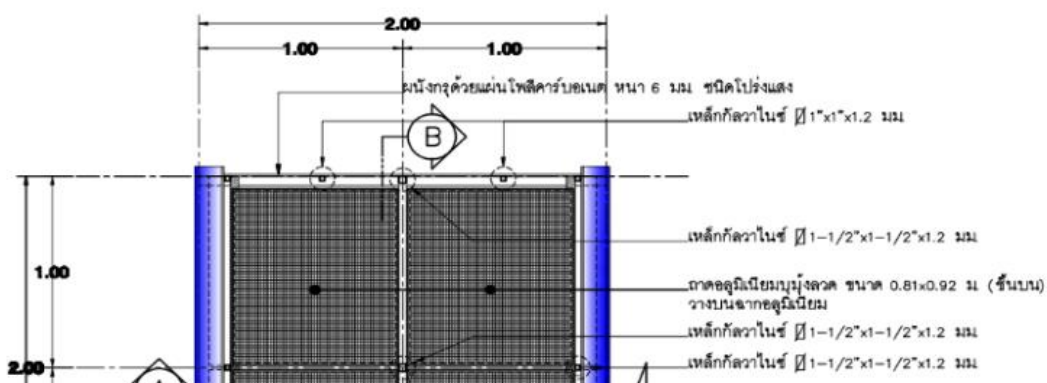
แบบวิศวกรรมโรงอบแห้งแสงอาทิตย์ขนาดวิสาหกิจชุมชน และ ขั้นตอน

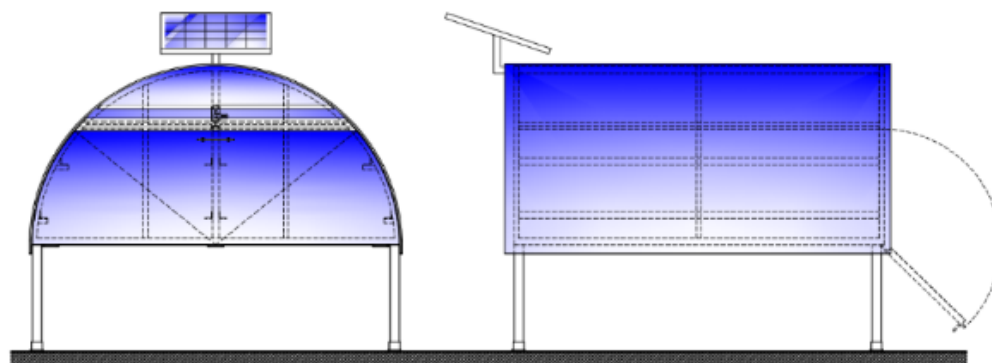




แปลนตู้บ่มแห้ง (ระดับพื้นตู้บ่ม)
มาตราส่วน 1:25

กระทรวงพลังงาน MINISTRY OF ENERGY	
คณะกรรมการควบคุมคุณภาพงาน สาขาวิชาวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร สำนักงานพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
แบบ ระบบบ่มแห้งแบบธรรมชาติ ขนาด 2.00 x 2.00 ม.	
ปรับปรุงแก้ไขจาก แบบโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ สำนักวิทยบริการพลังงานทดแทน 3	
ผู้จัดทำ อ. น. น.	ตรวจสอบ อ. น. น.
เห็นชอบ อ. น. น.	
แบบแสดง - แปลนตู้บ่มแห้ง	
แบบครั้งที่ ว. 02	1 7
แบบทั้งหมด จำนวน 7 แผ่น	

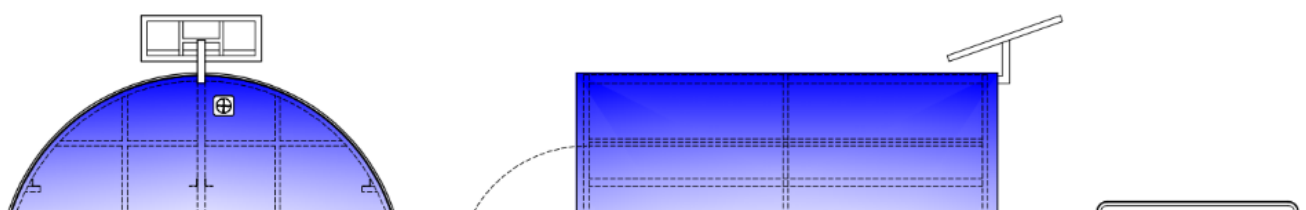


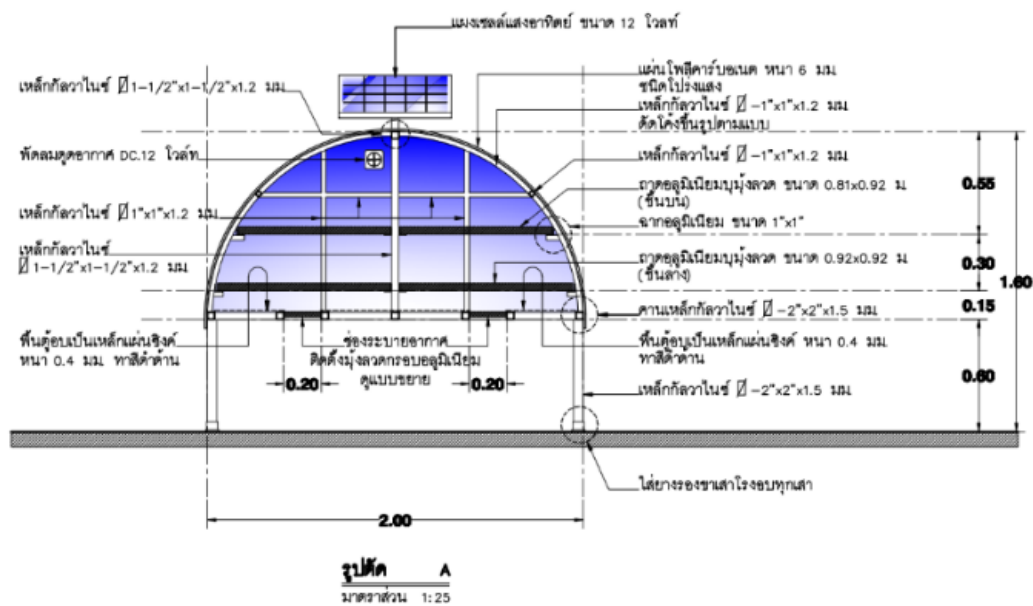


รูปด้านหน้า
มาตราส่วน 1:25

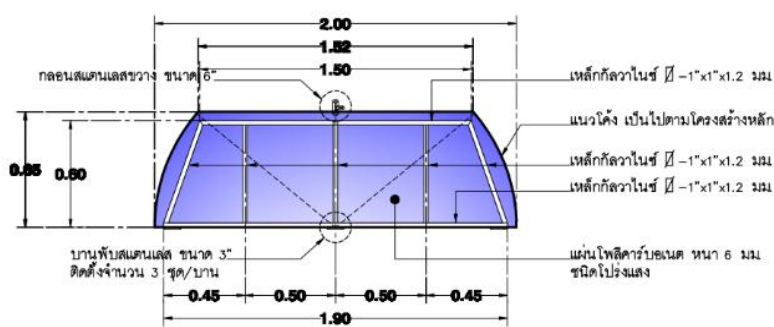
รูปด้านข้างซ้าย
มาตราส่วน 1:25

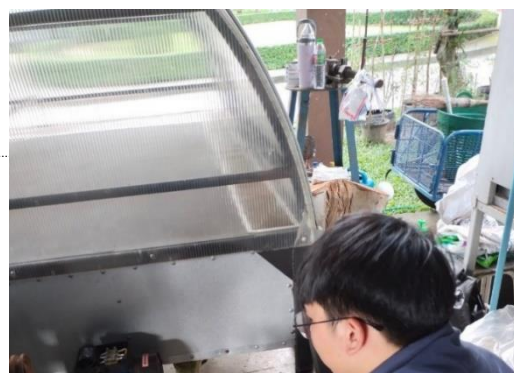
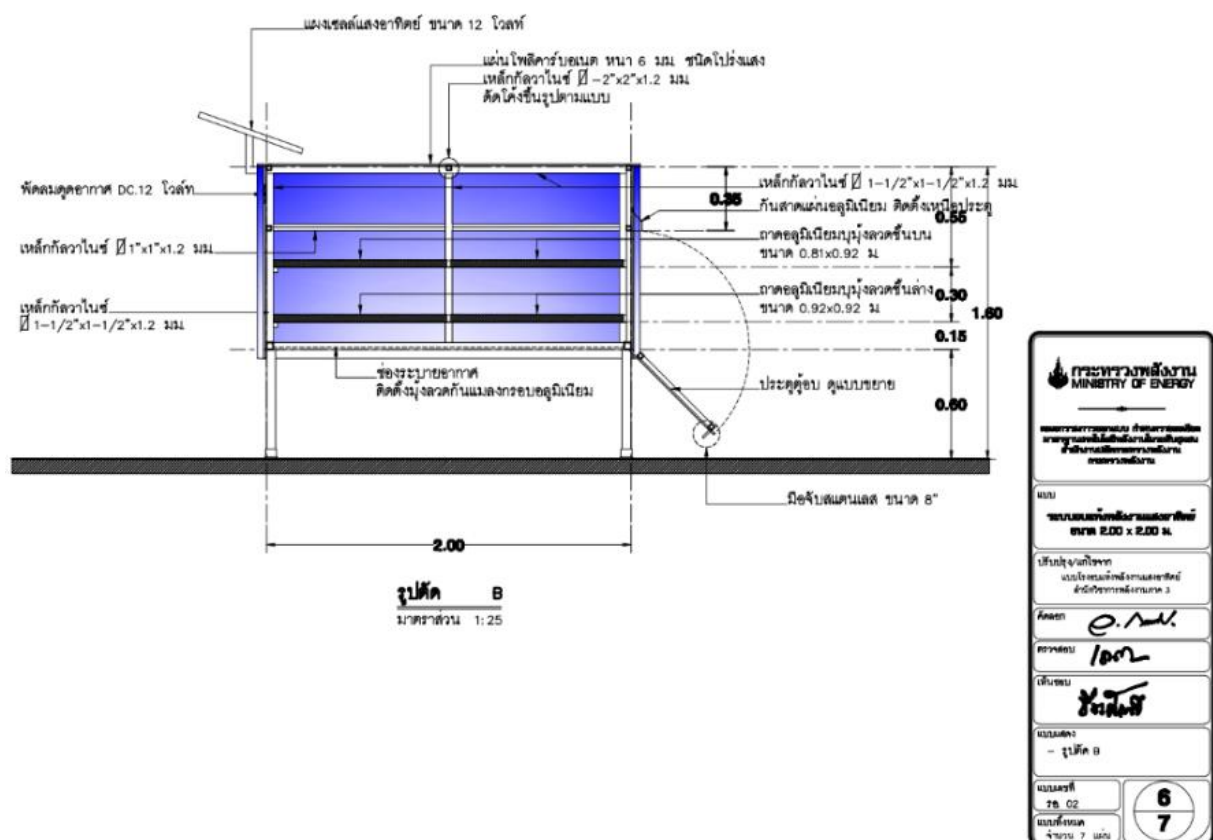
 กระทรวงพลังงาน MINISTRY OF ENERGY	
คณะกรรมการพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำนักงานพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	
แบบ แบบแปลนพลังงานทดแทน ขนาด 2.00 x 2.00 ม.	
ปีการศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2564 ปีการศึกษา 64	
ผู้จัดทำ	อ. น. น.
ตรวจสอบ	10/11
แก้ไข	10/11
แบบแปลน - รูปด้านหน้า และด้านข้างซ้าย	
แบบแปลน รศ. 02	3
แบบแปลน จำนวน 7 แผ่น	7





กระทรวงพลังงาน MINISTRY OF ENERGY	
สถาบันเทคโนโลยีการเกษตร วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่	
แบบ	แบบแปลนเครื่องเรือนอาหาร
ขนาด	ขนาด 2.00 x 2.00 ม.
เป็นรูป/แก้ไขจาก	แบบแปลนเครื่องเรือนอาหารและสัตว์
ผู้จัดทำ	อ. น. น.
ตรวจสอบ	10/11
เขียน	ก. น. น.
แบบแปลน	- รูปตัด A
แบบแปลน	78. 02
จำนวน	จำนวน 7 แผ่น
5 7	







ภาพ ก.1 (ก) เชื้อทำความสะอาดแผ่นโพลีคาร์บอเนต (ข) ประกอบสายไฟเพื่อป้อนหลอดความร้อนเสริม (ค) ตัวควบคุมระบบความร้อนเสริม (ง) ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน





ภาพ ก.2 (ก) เชื้อระบบลมร้อนเสริมและปรับปริมาณของเหมาะสมของแก๊ส (ข) ตู้ควบคุมระบบความร้อนเสริม
และวัดอุณหภูมิของโรงอบ (ค) ทาสีเพื่อป้องกันสนิม

ภาคผนวก ข.

บัญชีวิศวกรรม (BoQ: Bill of Quantities) แสดงราคากลางของ
ชิ้นส่วนของส่วนประกอบทางวิศวกรรม

บัญชีแสดงปริมาณวัสดุ

รายการประมาณการ โครงการวิศวกรรม (ผลิตคูปองพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 2.00x2.00 ม.)

แบบ ปร.4

สถานที่ดำเนินการ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

แผ่นที่ 1 / 2

ประมาณราคาโดย หลักสูตรวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร

ประมาณราคาเมื่อวันที่ 7 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2566

แบบเลขที่ พน. รอ.01

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุของ		ค่าแรงงาน		ยอดรวมค่าวัสดุ และแรงงาน (บาท)	หมายเหตุ
				ราคาหน่วยละ (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)	ราคาหน่วยละ (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)		
1	คูปองพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 2 x 2 เมตร								
	งานโครงสร้างคูปอง								
	1.1 เหล็กกล่องกัลวาไนซ์ 1"x1"หนา 1.2 มม. พร้อมตัดโค้งยาว 2.94 ม.	6.00	ท่อน	235.00	1,410.00	-	-	1,410.00	
	1.2 เหล็กกล่องกัลวาไนซ์ 1"x1"หนา 1.2 มม.	6.00	ท่อน	145.00	870.00	-	-	870.00	
	1.3 วัสดุอื่น ๆ	6.00	ท่อน	220.00	1,320.00			1,320.00	

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร (ต่อเนื่อง)

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บัญชีแสดงปริมาณวัสดุ

รายการประมาณการ โครงการส่งเสริมใช้นวัตกรรมเพื่อสร้างอาชีพให้กับกลุ่มเกษตรกร (ผลิตตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 2 ตู้)

แบบ ปร.4

สถานที่ดำเนินการ องค์การบริหารส่วนตำบลเวียงสะอาด อำเภอพยุหะภูมิพิสัย และองค์การบริหารส่วนตำบลหนองสิม อำเภอบรบือ

แผ่นที่ 2 /2

ประมาณราคาโดย สำนักงานพลังงานจังหวัดมหาสารคาม

ประมาณราคาเมื่อวันที่ 8 เดือน มกราคม พ.ศ. 2563

แบบเลขที่ พน. รอ.01

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุสิ่งของ		ค่าแรงงาน		ยอดรวมค่าวัสดุ และแรงงาน (บาท)	หมายเหตุ
				ราคาหน่วยละ (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)	ราคาหน่วยละ (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)		
	ยอดยกมา (รวมงาน 1+2+3)				20,420.00		-	20,420.00	
4	งานอื่นๆ								
	4.1 ยางรองขาเสา	8.00	อัน	15.00	120.00	-	-	120.00	
	4.2 กลอนขวางสแตนเลส ขนาด 6"	2.00	อัน	140.00	280.00	-	-	280.00	
	4.3 มือจับสแตนเลส ขนาด 8"	2.00	อัน	115.00	230.00	-	-	230.00	
	4.4 บานพับสแตนเลส ขนาด 3"	6.00	อัน	70.00	420.00	-	-	420.00	
	4.5 สกรูยึดแผ่นโพลีคาร์บอเนต	2.00	กล่อง	180.00	360.00	-	-	360.00	
	4.6 ซิลิโคน	3.00	หลอด	245.00	735.00	-	-	735.00	
	4.7 ฟิล์มเบอร์ ขนาด 2.21 ลิตร	2.00	กป.	185.00	370.00	-	-	370.00	
	4.8 สีดำด้าน ขนาด 3 ลิตร	1.00	กป.	600.00	600.00	-	-	600.00	
	4.9 ไม้ตัดเหล็ก ขนาด 4"	4.00	ใบ	15.00	60.00	-	-	60.00	
	4.10 ไม้ตัดเหล็ก ขนาด 14"	2.00	ใบ	117.00	234.00	-	-	234.00	
	4.11 ลวดเชื่อม	2.00	กล่อง	150.00	300.00	-	-	300.00	
	รวมงาน 4				3,709.00			3,709.00	
	รวมงาน 1+2+3+4				24,129.00			24,129.00	
คิดเป็นเงินประมาณ								24,000.00	
ตัวอักษร								(สองหมื่นสี่พันบาทถ้วน)	

ประวัติผู้ทำโครงการงาน

ชื่อ-สกุล นางสาว พรรณนิชา ศรีวิชัย
รหัสนักศึกษา 6515125039
วัน เดือน ปี เกิด 26 กรกฎาคม 2545



ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษาที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพะเยา	2565
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนประชาราชาวิทยา	2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนไชยชุมพลศึกษา	2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนไชยชุมพลศึกษา	2556

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 78 หมู่ 8
ตำบล ปงเตา อำเภอ งาว
จังหวัด ลำปาง
รหัสไปรษณีย์ 52110
เบอร์โทรศัพท์ : 0932479237
Email Address : MJU6515125039@mju.ac.th
Facebook : Pannisa Sriwichai

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นายภูวฤทธิ์ อุปปิง
รหัสนักศึกษา 6515125045
วัน เดือน ปี เกิด 2 มกราคม 2545



ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษาที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพะเยา	2565
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพะเยา	2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนชุมชนบ้านแม่ใส	2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านแม่มาเรือใต้	2556

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 206 หมู่ 17
ตำบล แม่มาเรือ อำเภอ เมือง
จังหวัด พะเยา
รหัสไปรษณีย์ 56000
เบอร์โทรศัพท์ : 0946281401
Email Address : MJU6515125045@mju.ac.th
Facebook : Benz Phuwarit

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นางสาว อิชยา ขวัญธนพีรยศ
รหัสนักศึกษา 6515125066
วัน เดือน ปี เกิด 16 กรกฎาคม 2543



ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษาที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพะเยา	2565
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนประชารัฐธรรมคุณ	2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบ่อสีห์เหลี่ยมวิทยา	2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ่อสีห์เหลี่ยมวิทยา	2556

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 13 หมู่ 6
ตำบล ปงเตา อำเภอลำปาง
จังหวัด ลำปาง
รหัสไปรษณีย์ 52110
เบอร์โทรศัพท์ : 0839753405
Email Address : MJU6515125066@mju.ac.th
Facebook : Isaya Khwanthanapeerayot