บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การอบแห้งลำไยด้วยเครื่องอบแห้งในปัจจุบัน มีการผลิตตั้งแต่ระดับครัวเรือนไปจนถึงระดับอุตสาหกรรม เครื่องอบแห้งส่วนใหญ่จะใช้พลังงานในการอบแห้งจากไฟฟ้า น้ำมัน หรือแก๊สหุงต้มซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงและเป็นพลังงานสิ้นเปลืองส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูง และจากการสังเกตลักษณะการใช้งานจะเห็นว่าเกษตรกรจะใช้เครื่องอบแห้งลำไยเฉพาะช่วงฤดูกาลของลำไยเท่านั้นซึ่งเป็นระยะเวลาสั้นๆ เพียง 30-60 วันต่อปีเท่านั้น จะส่งผลให้ระยะเวลาในการคืนทุนของระบบมีระยะเวลานาน จึงเป็นแนวคิดในการทำงานวิจัยเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องอบแห้งลำไยในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรที่มีนอกฤดูการผลิตลำไย เพื่อให้เกิดการใช้งานเครื่องอบแห้งอย่างคุ้มค่า และต่อเนื่องตลอดปี ซึ่งทำให้ระยะเวลาการคืนทุนของเครื่องอบแห้งลำไยสั้นลง โดยการทดลองจะคำนึงถึงฤดูกาลและระยะเวลาของผลผลิตแต่ละชนิดที่เลือกใช้ในการทดลอง ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด โดยพิจารณาที่อุณหภูมิ ความหนาของชั้นผลิตภัณฑ์ และอัตราส่วนการนำอากาศร้อนที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ทำการปรับปรุงเครื่องอบแห้งโดยการเพิ่มระบบการอุ่นอากาศก่อนนำมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง (air preheating) โดยการออกแบบและติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ (solar collector) แล้วนำอากาศร้อนที่ได้มาใช้ ในการศึกษานี้ได้เลือกผลิตผลทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่พริก ใบมะกรูด และตะไคร้ ในการอบแห้งโดยการใช้เครื่องอบแห้งลำไยพลังงานชีวมวลซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งที่มีการพัฒนาร่วมกันระหว่างกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งสามารถกำหนดสภาวะการอบแห้งในส่วนของอุณหภูมิ และอัตราการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ สำหรับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด นี้ จะพิจารณาจาก ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งเป็น

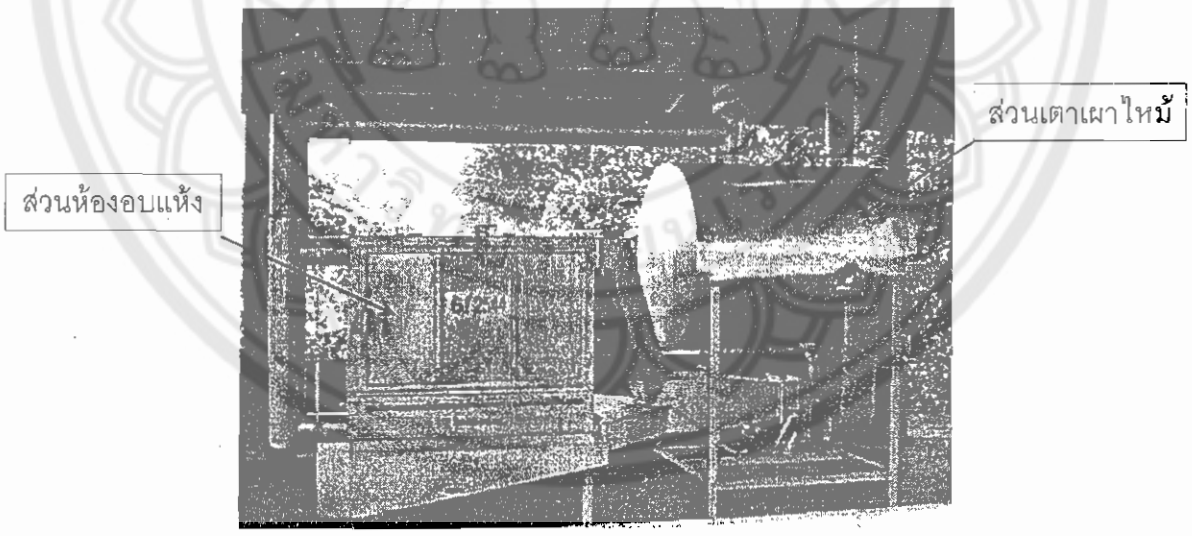
(1) ขั้นตอนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่พริกชี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ในการอบแห้งแต่ละผลิตภัณฑ์

(2) ขั้นตอนการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง โดยการออกแบบและติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ (solar collector) เพื่ออุ่นอากาศก่อนนำไปใช้ในกระบวนการอบแห้ง และทำการทดลองอบแห้งซ้ำเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลอบแห้งก่อนและหลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

(3) การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาต้นทุนในการอบแห้งลำไยเพียงอย่างเดียวเปรียบเทียบกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์นอกฤดูกาลแบบต่อเนื่องและหาระยะเวลาคืนทุนของเครื่องอบแห้ง

1. เครื่องอบแห้งลำไยพลังงานชีวมวล

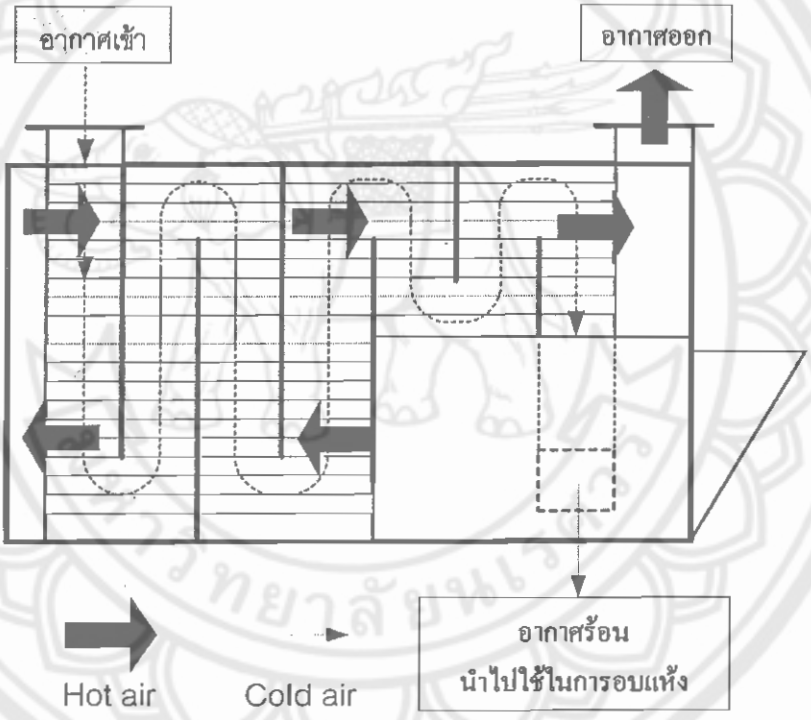
เครื่องอบแห้งลำไยพลังงานชีวมวล ดังแสดงในภาพ 9 เป็นเครื่องต้นแบบที่พัฒนาร่วมกันระหว่างมหาวิทยาลัยแม่โจ้และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (ชื่อเดิมกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน) เครื่องอบแห้งมีขนาดความจุลำไย 300 กิโลกรัม แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนกำเนิดความร้อน (เตาเผาไหม้) และส่วนห้องอบแห้ง โดยมีรายละเอียดและส่วนประกอบดังต่อนี้



ภาพ 9 เครื่องอบแห้งลำไยพลังงานชีวมวล

1.1 <u>ส่วนกำเนิดความร้อน</u>

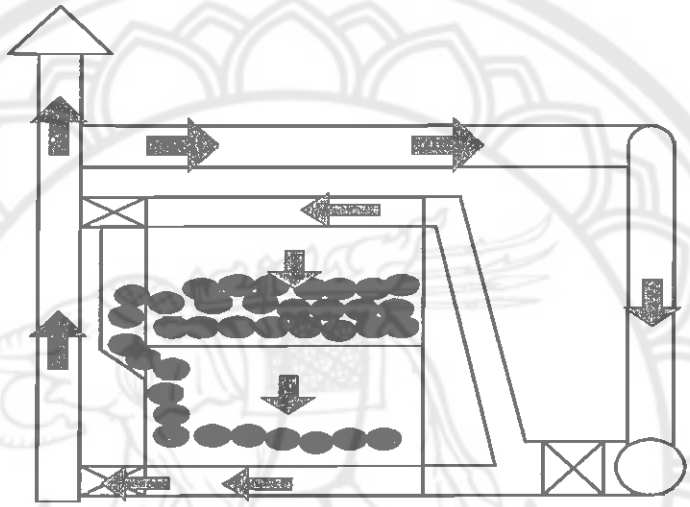
ส่วนเตากำเนิดความร้อน ประกอบด้วยห้องเผาไหม้และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (shell and tube) โดยอากาศร้อนไหลอยู่ภายในท่อส่วนอากาศเย็นจะไหลขวางผ่านกลุ่มท่อ ดังแสดงการทำงานในภาพ 10 อากาศร้อนและอากาศเย็นเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านผิวท่อ และนำความร้อนที่ได้ไปใช้ในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีโครงสร้างเป็นเหล็กแผ่นขึ้นรูปเป็นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 100 cm ยาว 120 cm



ภาพ 10 ไดอะแกรมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

1.2 <u>ส่วนห้องอบแห้ง</u>

ส่วนห้องอบแห้งประกอบด้วยห้องอบแห้ง 2 ชั้น แสดงในภาพ 11 มีตะแกรงกั้นระหว่างห้องด้านหลังของห้องอบแห้งชั้นบนจะมีกล่องพร้อมลิ้นปิดเปิดสำหรับกลับลำไยจากห้องอบชั้นบนลงสู่ห้องอบแห้งชั้นล่าง อากาศร้อนจากส่วนกำเนิดความร้อนสามารถไหลเข้าสู่ห้องอบแห้งได้ทั้งด้านบนและด้านล่างโดยผ่านแดมเปอร์สลับลม ซึ่งสามารถบังคับให้ลมเข้าทางด้านบนหรือด้านล่างได้ แสดงดังภาพ 11



ภาพ 11 ห้องอบแห้ง

1.3 <u>ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งลำไย</u> มีรายละเอียดดังนี้

1.3.1 ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง เป็นห้องสี่เหลี่ยมติดตั้งอยู่ภายในด้านหน้าของเตาเผาไหม้ มีขนาด 50x50x50 cm ดังแสดงในภาพ 12 (หมายเลข 1)

3.1.2 ประตูใส่เชื้อเพลิง ทำหน้าที่เปิดสำหรับใส่เชื้อเพลิงตอนเริ่มติดเตาอยู่ด้านหน้าห้องเผาไหม้ มีขนาด 40 x40 cm

3.1.3 ช่องใส่เชื้อเพลิง สำหรับป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ติดตั้งอยู่ที่ประตูด้าน หน้าห้องเผาไหม้มีขนาด 40x40x30 cm ดังแสดงในภาพ 12 (หมายเลย 8)

3.1.4 ช่องดูเชื้อเพลิง เพื่อสังเกตการเผาไม้ของเชื้อเพลิงติดตั้งอยู่ที่ประตูใส่เชื้อเพลิงมีขนาด 20x30 cm

3.1.5 ปล่องเทเถ้า จะติดตั้งอยู่ด้านล่างของห้องเผาไม้ ใช้เทเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้ ซึ่งจะมีลิ้นชักเปิดปิดเพื่อให้อากาศเข้าห้องเผาไม้ ขนาด 20x50x50 cm

3.1.6 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) ทำจากท่อเหล็กติดอยู่กับห้องเผาไหม้โดยให้ก๊าซ ไหลในท่อและถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศเย็นที่ไหลผ่านกลุ่มท่อ

3.1.7 พัดลมดูดอากาศ ใช้ดูดอากาศร้อนจากอุปกรณ์และเปลี่ยนความร้อนผ่าน เข้ามายังตู้อบ ติดอยู่ระหว่างกล่องสลับลมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มีขนาด 18 นิ้ว ดังแสดงในภาพ 12 (หมายเลข 3)

3.1.8 แดมป์เปอร์สลับทิศทางลม ใช้สลับทิศทางการไหลของลมร้อนให้ไหลผ่านเข้าด้านบนหรือด้านล่าง ติดตั้งอยู่ระหว่างกล่องสลับลมและพัดลมดูดอากาศ มีขนาด 30x45 cm ดังแสดงในภาพ 12 (หมายเลข 5)

3.1.9 มอเตอร์ ติดตั้งอยู่ที่โครงมอเตอร์ใกล้กับแดมป์เปอร์ ใช้เป็นตัวต้นกำลังในการหมุนพัดลมเพื่อดูดลมร้อน ขนาด 1 แรงม้า

3.1.10 ปล่องควัน ทำหน้าที่นำควันที่เกิดจากการเผาไหม้ออกไปทิ้งด้านนอก ติดตั้งอยู่ด้านบนของห้องเผาไหม้ ดังแสดงในภาพ 12 (หมายเลข 12)

3.1.11 ห้องอบแห้ง เป็นห้องอบแห้ง 2 ชั้น ด้านบนและด้านล่างซ้อนกันอยู่ มีตะแกรงกั้นระหว่างชั้น มีขนาด 40x120x120 cm ดังแสดงในรูปที่ 12 ตำแหน่งที่ 2

3.1.12 กล่องสลับลม ทำหน้าที่สลับลมร้อนให้ลมร้อนผ่านเข้าด้านบนหรือด้านล่างของผลิตผลทางการเกษตร ซึ่งติดอยู่ด้านข้างระหว่างเตาอบและแดมป์เปอร์สลับทิศทางลม ขนาด 30x120x30 cm

3.1.13 ประตูเพื่อบรรจุผลิตผลทางการเกษตร ติดตั้งอยู่ส่วนบนของตู้อบมีขนาด 50x40 cm

3.1.14 ตะแกรงพื้นเป็นรูรูปวงรี ติดตั้งระหว่างห้องอบบนและล่าง ติดตั้งเอียงเข้าหากล่องกลับลำไยประมาณ 15 องศา และตะแกรงล่างให้ติดตั้งแนวเอียงเข้าหาประตูนำลำไยออก

3.1.15 ท่ออากาศออก ติดอยู่ด้านหลังของตู้อบทำหน้าที่ระบายลมร้อนที่อยู่ในห้องอบแห้งออก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm และยาว 150 cm ดังแสดงในภาพ 12 (หมายเลข 11)

3.1.16 ท่อนำอากาศกลับ ติดอยู่กับท่อระบายลมซึ่งท่อนำอากาศกลับนี้จะทำหน้าที่นำอากาศที่ท่อระบายลมกลับมาใช้อีกโดยส่งมายังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm ดังแสดงในภาพ 12 (หมายเลข 10)

3.1.17 ประตูนำผลิตภัณฑ์ออก ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของห้องอบแห้ง มีขนาด 80x40 cm

3.1.18 รางรับผลิตภัณฑ์ จะติดอยู่ด้านล่างของประตู้นำผลิตภัณฑ์ออก มีขนาด120x30 cm ดังแสดงในภาพ 12 (หมายเลข 13)

ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งลำไยพลังงานชีวมวลมีส่วนประกอบและรายละเอียดดังภาพ 12

ภาพ 12 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้งลำไยพลังงานชีวมวล

1	ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง	8	ช่องใส่เชื้อเพลิง
2	ห้องอบแห้ง	9	ท่ออากาศออกจากห้องอบแห้ง
3	พัดลมดูดอากาศ (blower)	10	ท่อนำอากาศร้อนกลับมาใช้
4	ท่ออากาศเข้าห้องอบแห้งรวม	11	ท่ออากาศเข้า
5	แดมเปอร์ (damper)	12	ปล่องควัน (chimney)
6	ท่ออากาศเข้าห้องอบแห้งด้านบน	13	รางนำผลิตภัณฑ์ออก
7	ท่ออากาศเข้าห้องอบแห้งแห้งล่าง	14	วาล์วสลับลม

2. อุปกรณ์และการบันทึกข้อมูล

2.1 เครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่

2.1.1 สายวัดอุณหภูมิ สำหรับการวัดอุณหภูมิในการทดลองแสดงผลเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}C$) อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิล แบบ เค (thermocouple type K) แสดงดังภาพ 13 (ข) วัดอุณหภูมิได้ในช่วง -200 $^{\circ}C$ ถึง 1370 $^{\circ}C$ ต่อเข้ากับช่องสัญญาณของเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (data logger)

2.1.2 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (data logger) จำนวน 20 ช่องสัญญาณ บริษัท YOKOGAWA โมเดล HR 3100 Hybrid Recorder แสดงดังภาพ 13 (ก)

2.1.3 เครื่องวัดอัตราการไหลอากาศแบบขดลวดความร้อน (hotwire anemometer) บริษัท TSI INCORPORATION โมเดล 8345 สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง แสดงดังภาพ 13 (ฉ)

2.1.4 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (temperature and relative humidity data logger) บริษัท testo โมเดล T175-H2 จำนวน 2 เครื่องสำหรับวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมและอากาศออกจากห้องอบแห้ง แสดงดังภาพ 13 (ช)

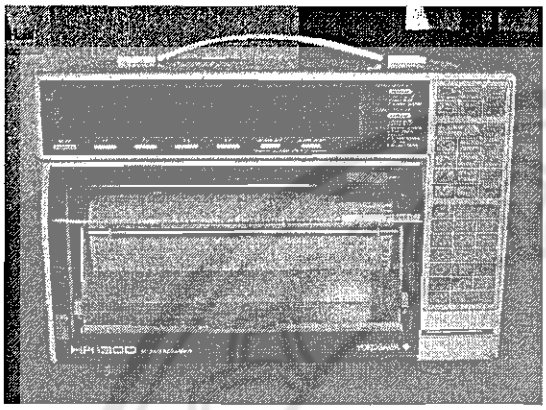
2.1.5 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล sartorius MC1 Analytic โมเดล AC 210S ความละเอียด $\pm$ 0.0001 สำหรับชั่งน้ำหนักตัวอย่างจากการทดลอง แสดงดังภาพ 13 (จ)

2.1.6 ไพรานอมิเตอร์ สำหรับวัดรังสีอาทิตย์รวม (global radiation) บริษัท KIPP & ZONNEN โมเดล CM 11 มีค่า collection factor 9.92 x 10^{-6} V/W m^{-2} ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (data logger) แสดงดังภาพ 13 (ง)

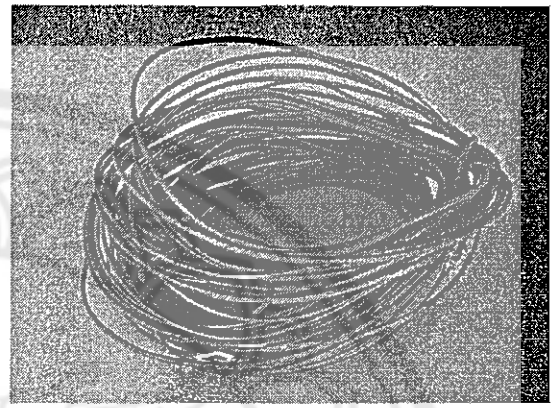
2.1.7 มาตรวัดไฟฟ้า (kilowatt-hour meter) สำหรับวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศ มาตรวัดไฟฟ้าเป็นแบบ 1 phase 2 wire 220volt 1200 reV/kWh ของบริษัท Mitsubishi โมเดล MF-63E

2.1.8 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ (oven) ใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาค่าความชื้นตามมาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้ง D06061 model 500 **บริษัท** Memmert **แสดงดังภาพ 13 (ค)**

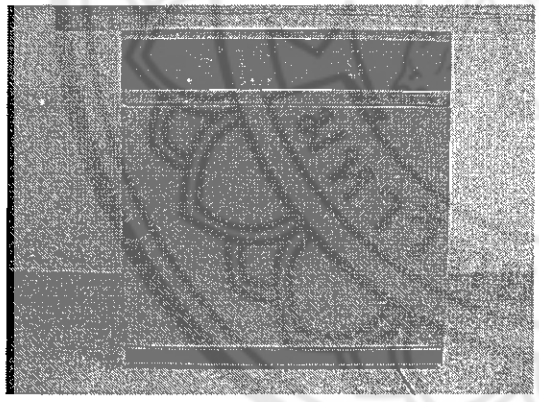
ในการเก็บข้อมูลการทดลอง เครื่องมือสำหรับวัดและบันทึกข้อมูลแสดงดังภาพ 13 และตำแหน่งการวัดเป็นไปดังภาพ 14



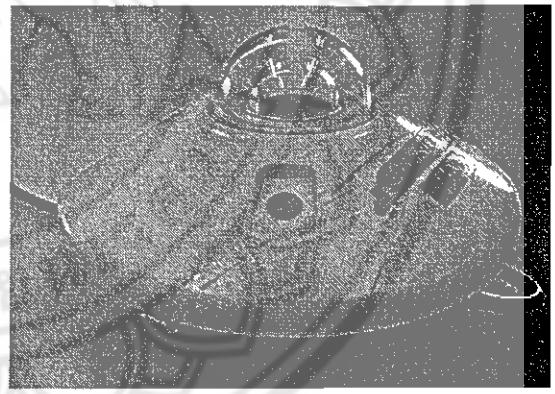
(ก) เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ
(data logger HR 1300)



(ข) เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค
(thermocouple type K)

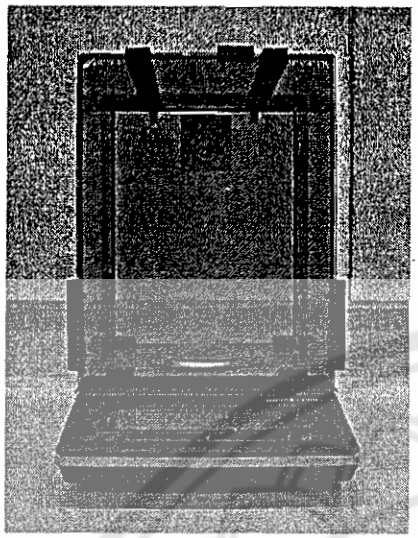


(ค) ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
(oven)

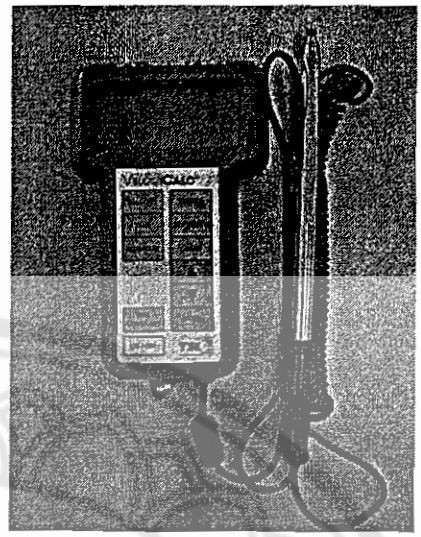


(ง) ไพรานอมิเตอร์
(pyranometer)

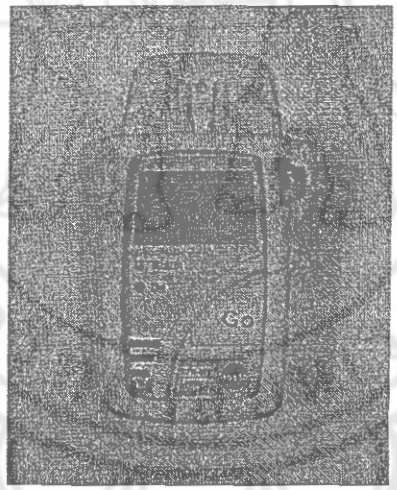
ภาพ 13 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง



(จ) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล
(weight balance)

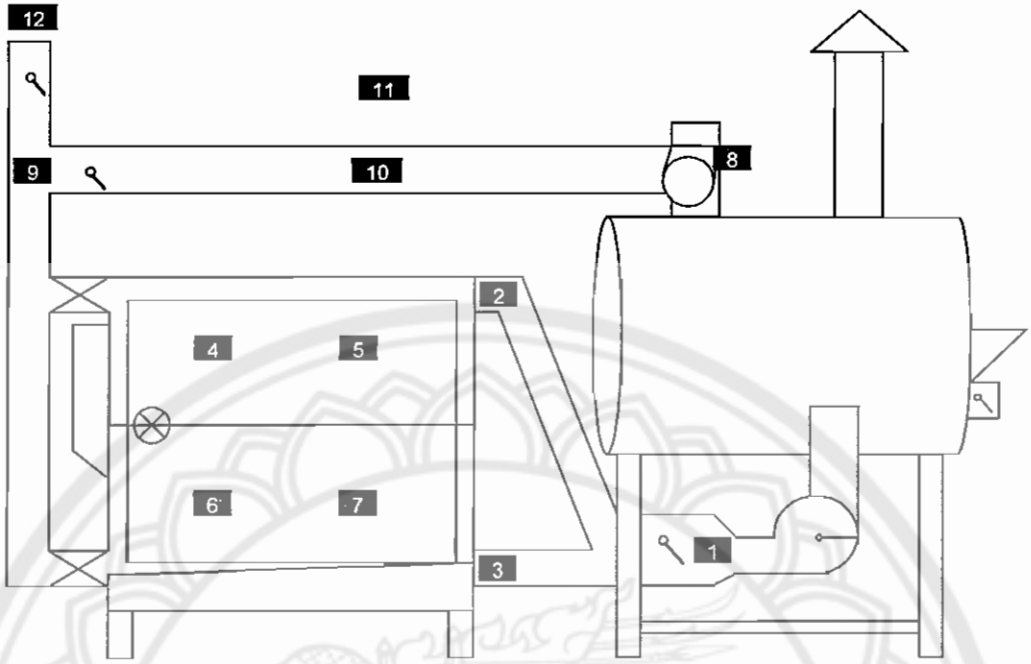


(ฉ) เครื่องวัดอัตราการไหลอากาศแบบขดลวดความร้อน
(hotwire anemometer)



(ช) เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
(temperature and relative humidity data logger)

ภาพ 13 (ต่อ) อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง



1 T_{i1} = อุณหภูมิอากาศเข้าห้องอบแห้ง

2 T_{i2} = อุณหภูมิอากาศเข้าห้องอบแห้งด้านบน

3 T_{i1} = อุณหภูมิอากาศเข้าห้องอบแห้งด้านล่าง

4 T_{d1} = อุณหภูมิอบแห้ง ณ ห้องอบแห้งด้านบน

5 T_{d2} = อุณหภูมิอบแห้ง ณ ห้องอบแห้งด้านบน

6 T_{d3} = อุณหภูมิอบแห้ง ณ ห้องอบแห้งด้านล่าง

7 T_{d4} = อุณหภูมิอบแห้ง ณ ห้องอบแห้งด้านล่าง

8 T_m = อุณหภูมิอากาศผสม

9 T_o = อุณหภูมิอากาศออกจากห้องอบแห้ง (กระเปาะแห้ง, กระเปาะเปียก)

10 T_{RC} = อุณหภูมิอากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่

11 T_a = อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (กระเปาะแห้ง, กระเปาะเปียก)

12 $\dot{m}$ = อัตราการไหลของอากาศ

ภาพ 14 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศ

2.2 ข้อมูลที่ต้องการและการบันทึกข้อมูล

ในการทดลองการอบแห้งจะทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ ทั้งด้านอุณหภูมิและความชื้น โดยมีวิธีและรายละเอียด ดังนี้

2.2.1 วัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิเข้าห้องอบแห้ง อุณหภูมิห้องอบแห้ง อุณหภูมิออกจากห้องอบแห้ง อุณหภูมิอากาศผสม อุณหภูมิอากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่ และอุณหภูมิแวดล้อม ตามตำแหน่งดังภาพ 14 โดยทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที

2.2.2 วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ของอากาศแวดล้อม และอากาศที่ออกจากห้องอบแห้ง เพื่อเปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ของอากาศที่เข้าและออกจากห้องอบแห้ง บันทึกข้อมูลทุกๆ 15 นาที

2.2.3 วัดอัตราการไหลอากาศ ของอากาศออกจากห้องอบแห้ง เพื่อนำมาคำนวณอัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่

2.2.4 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งทุก 1 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด ที่ห้องอบแห้งบน 2 จุดและห้องอบแห้งล่าง 2 จุด เพื่อหาอัตราการอบแห้ง

2.2.5 หาความชื้นของผลิตภัณฑ์ ก่อนและหลังทำการทดลอง โดยการนำตัวอย่างเข้าตู้อบแห้งควบคุมอุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำการหาความชื้นของผลิตภัณฑ์

2.2.6 พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

- พลังงานความร้อน (ฟืน) หาโดยการชั่งหาน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง โดยคิดอัตราการสิ้นเปลืองเป็น กิโลกรัม/ชั่วโมง
- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง จากมอเตอร์ของพัดลมดูดอากาศ (blower) สามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้โดยใช้มาตรวัดไฟฟ้า

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรนอกฤดูกาลผลิตลำไย 3 ชนิด ได้แก่พริกชี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ เพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมกับแต่ละผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องอบแห้งลำไย เป็นเครื่องอบแห้งแบบสลับลมร้อน และมีการวางผลิตภัณฑ์แบบชั้นหนา สำหรับอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าเท่ากับ 608 m^3/hr โดยการอบแห้งจะพิจารณาถึง เวลา และความสิ้นเปลือง

พลังงานในการอบแห้ง เนื่องจากแต่ละผลิตภัณฑ์มีเงื่อนไขและสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการ อบแห้ง ดังนี้

- ความหนาของชั้นผลิตภัณฑ์

มีผลกระทบต่อกระบวนการอบแห้งด้านการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศร้อนกับผลิตภัณฑ์ ซึ่งการอบแห้งแต่ละผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันด้านรูปร่าง ลักษณะเฉพาะของผิววัสดุ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาความเหมาะสมเฉพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อให้กระบวนการอบแห้งมีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับการทดลองจะแปรค่าความหนาที่ 10 20 และ 30 เซนติเมตร

- อัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่

ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ จะพบว่าอากาศที่ผ่านการอบแห้งแล้วนั้นยังมีอุณหภูมิที่สูงอยู่และอาจมีความชื้นสัมพัทธ์ไม่มากนัก ดังนั้นจึงมีการนำเอาอากาศบางส่วนที่ใช้แล้วมาผสมกับอากาศใหม่แล้วทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับที่ต้องการใช้ในการอบแห้ง โดยการทดลองจะใช้อัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ที่ร้อยละ 60 และ 80 ของอากาศอบแห้งทั้งหมด

โดยการทดลองจะเริ่มทดลองอบแห้งที่การแปรค่าความหนาก่อน เริ่มที่ 30 เซนติเมตร เพื่อหาความหนาของชั้นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม แล้วจึงทดลองการอบแห้งแบบมีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่โดยใช้อัตราการเวียนกลับของอากาศที่ 80 เปอร์เซ็นต์ก่อน เช่นกัน โดยขั้นตอนการทดลองและเก็บข้อมูลเป็นไปตามภาพ 15

3.1 <u>ขั้นตอนการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรอื่นๆ 3 ชนิด</u>

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองการอบแห้งพริกชี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งและตัวแปรที่เหมาะสมกับการอบผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดลอง ในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดลองจะคำนึงถึงระยะเวลาหรือฤดูการให้ผลผลิต ซึ่งจะเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลิตผลไม่ตรงกันหรือเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีผลผลิตตลอดทั้งปี เพื่อจะสามารถวางแผนการอบแห้งให้**สามารถใช้เครื่องอบแห้งได้อย่างต่อเนื่อง ขั้นตอนการดำเนินการทดลองและวิธีเก็บข้อมูล แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ**

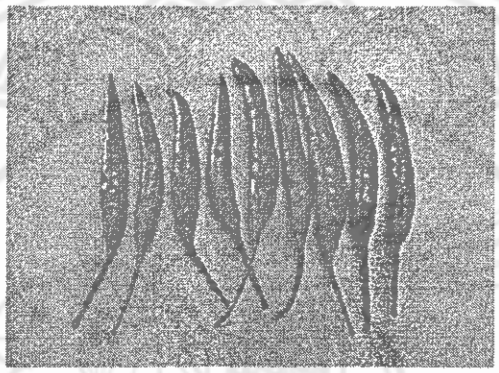
ภาพ 15 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.1.1 การอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยไม่นำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ (without air recycling)

(1) การเตรียมวัสดุอบแห้ง

- พริกชี้ฟ้าแดง

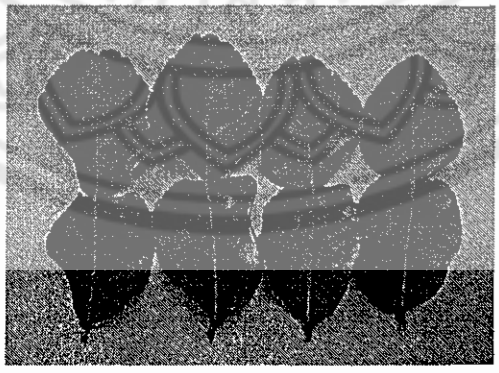
เลือกพริกชี้ฟ้าแดงสด คัดเมล็ดเสียออก นำมาลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 70°C เวลาประมาณ 20-30 วินาที ตักขึ้นผึ่งให้แห้งใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง ทำการอบแห้งที่ความหนา 10 20 และ 30 เซนติเมตร ใช้พริกชี้ฟ้า 100 200 และ300 กิโลกรัมตามลำดับ



ภาพ 16 พริกชี้ฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

- ใบมะกรูด

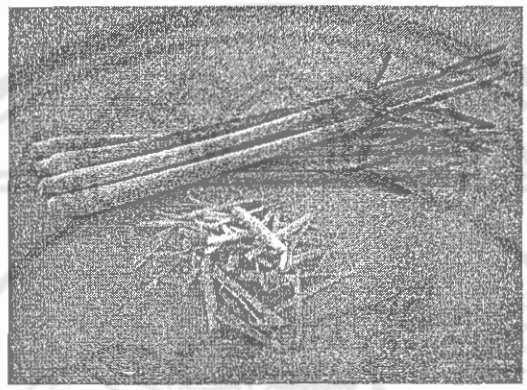
คัดใบมะกรูดโดยตัดกิ่งก้าน และเลือกใบอ่อนออก นำมาลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 70 °C เวลาประมาณ 1 นาที หลังจากตักขึ้นแช่น้ำเย็นทันที แล้วนำไปผึ่งให้สะเด็ดน้ำ ใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมงทำการอบแห้งที่ความหนา 10 20 และ 30 เซนติเมตร ใช้ใบมะกรูด 8 16 และ 25 กิโลกรัมตามลำดับ



ภาพ 17 ใบมะกรูดที่ใช้ในการทดลอง

- ตะไคร้

เลือกตะไคร้สดประมาณ 100 ต้น ได้น้ำหนักประมาณ 3 กิโลกรัม นำมาหั่นแบ่งตามลำต้นเป็น 4 ส่วน แล้วหั่นตามยาวเป็นท่อน ยาวประมาณ 3-4 เซนติเมตร หลังจากหั่นแล้วยีตะไคร้เพื่อให้ก้านแยกจากกัน ทำการอบแห้งที่ความหนา 10 20 และ 30 เซนติเมตร ใช้ตะไคร้ 25 55 และ 80 กิโลกรัม ตามลำดับ



ภาพ 18 ตะไคร้ที่ใช้ในการทดลอง

โดยการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดจะทดลองที่ความหนา 30 เซนติเมตรก่อนเป็นอันดับแรก

(2) การเตรียมเครื่องอบแห้ง สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการอบแห้ง โดยที่การควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งโดยการปรับวาล์วอากาศที่ท่ออากาศเข้าห้องอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งผลิตภัณฑ์แต่ละอย่างจะมีความเหมาะสมในการใช้อุณหภูมิอบแห้งต่างกัน โดยจะทำการทดลองที่อุณหภูมิที่เหมาะสมตามงานวิจัยที่มีการศึกษามาและทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์มาแล้ว

- พริกขี้ฟ้า ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 80 °C .
- ใบมะกรูด ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 °C
- ตะไคร้ ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 70 °C

(3) นำผลิตภัณฑ์เข้าห้องอบแห้ง โดยการแบ่งใส่เป็น 2 ชั้นทั้งห้องอบแห้งบนและห้องอบแห้งล่าง ในการอบแห้งเป็นการอบแห้งแบบไม่กลับผลิตภัณฑ์ ทำการสลับลมร้อนทุก 1 ชั่วโมงตลอดการทดลอง

(4) บันทึกข้อมูล ทำการบันทึกข้อมูลในการอบแห้ง ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามข้อ 2.2

3.1.2 การอบแห้งผลิตภัณฑ์แบบมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ (with air Recycling)

ในขั้นตอนนี้จะทำการอบแห้งโดยใช้ตัวแปร คือความหนาที่เหมาะสมจากการทดลองในข้อ 3.1.1 มาใช้โดยทำการอบแห้งพริกซี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ โดยการทดลองจะใช้อัตราการเวียนกลับของอากาศที่ 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ของอากาศอบแห้งทั้งหมด โดยเริ่มทำการทดลองที่ 80 เปอร์เซ็นต์ก่อน การเก็บข้อมูลจะทำการเก็บข้อมูลตามข้อ 2.2 ส่วนของข้อมูลที่ต้องเก็บเพิ่มเติมคือ

- อุณหภูมิอากาศที่นำกลับมาใช้ ระหว่างอากาศร้อนที่นำกลับมาใช้กับอากาศใหม่ ก่อนนำกลับไปใช้ในห้องอบแห้ง เพื่อหาความสัมพันธ์และคุณสมบัติของอากาศที่นำกลับมาใช้

- อัตราการไหลของอากาศออกจากห้องอบแห้ง ใช้หาอัตราส่วนในการนำอากาศกลับมาใช้ โดยการปรับวาล์วทั้ง 2 ทางที่ท่อทางออกและท่อนำอากาศกลับเพื่อให้ได้อัตราส่วนที่ต้องการในการทดลอง

3.1.3 ขั้นตอนการทดลองอบแห้งหลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

ทำการทดลองอบแห้งพริกซี้ฟ้า ใบมะกรูด และตะไคร้ ด้วยเครื่องอบแห้งที่ปรับปรุงแล้วโดยการออกแบบและติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ ในส่วนของการออกแบบและติดตั้งรายละเอียดอยู่ในบทที่ 4 ในการอบแห้งจะใช้ตัวแปรที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 คือ ความหนาของชั้นผลิตภัณฑ์ และอัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ และทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม คือ

- วัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มของอุณหภูมิที่แผงรับรังสีอาทิตย์สามารถทำได้ในแต่ละช่วงเวลาที่ค่ารังสีดวงอาทิตย์ต่างกัน

- วัดอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงรับรังสีอาทิตย์ เพื่อทราบอุณหภูมิอากาศร้อนที่แผงรับรังสีอาทิตย์สามารถทำได้ในแต่ละช่วงเวลา

- วัดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอบแห้ง บริเวณท่อซึ่งต่อระหว่างแผงรับรังสีอาทิตย์กับเครื่องอบแห้ง เพื่อทราบค่าการสูญเสียความร้อน

การเก็บข้อมูลการทดลองในส่วนนี้ ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและติดตั้งเครื่องวัด มีรายละเอียดดังภาพ 20 ในบทที่ 4

3.2 <u>การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์</u>

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีการประเมินอัตรามูลค่าเงินลงทุนรายปี ต่ออัตราผลตอบแทนรายปี เพื่อหาระยะเวลาคืนทุนของระบบ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลที่มีสมมติฐานเบื้องต้น โดยแบ่งเป็น ต้นทุนคงที่ (fix costs) และ ต้นทุนแปรผัน (variable costs)

3.2.1 <u>ต้นทุนคงที่ (fix costs)</u>

(1) เงินทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง 60,000 บาท

การกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง 10 ปี

การกำหนดอัตราดอกเบี้ยตลอดอายุการใช้งาน 9.75 % [16]

(อัตราดอกเบี้ยลูกค้าทั่วไป ธนาคารกรุงเทพ จำกัด (มหาชน))

มูลค่าซาก คิดเป็น 10 % ของเงินทุนสร้างเครื่องอบแห้ง 6,000 บาท

(2) ค่าบำรุงรักษาเครื่องอบแห้ง 2,540 บาท/ปี

เงินค่าบำรุงรักษาในส่วนนี้จะเป็นค่าวัสดุสิ้นเปลือง ค่าบำรุงรักษา และซ่อมแซมส่วนต่างๆ มีรายละเอียดดังตาราง 1

ตาราง 1 รายละเอียดค่าใช้จ่ายของการบำรุงรักษาเครื่องอบแห้ง

รายการ	มูลค่า (บาท/ปี)
ตะแกรงวางผลิตภัณฑ์ (อายุการใช้งาน 3 ปี)	1,000
พูลเลย์ (pulley) ขับสายพาน (อายุการใช้งาน 3 ปี)	70
สายพาน (อายุการใช้งาน 3 เดือน)	320
อุปกรณ์ไฟฟ้า (สายไฟ ปลั๊ก ฯลฯ)	150
ค่าทาสี ซ่อมแซม และทำความสะอาดส่วนต่างๆ	1,000
รวม	2,540

3.2.2 ต้นทุนแปรผัน (variable costs)

ต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง คิดจากการวางแผนการอบแห้งอย่างต่อเนื่องคิดตามต้นทุนของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ใช้ในการอบแห้ง โดยเฉลี่ยการทำงาน 6 วันต่อสัปดาห์ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งเสร็จภายใน 24 ชั่วโมง รายละเอียดต้นทุนของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดแสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 ข้อมูลและสมมติฐานสำหรับการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ในการอบแห้ง

รายการ	พริก	ตะไคร้	ลำไย	ใบมะกรูด
1. ช่วงเวลาการอบแห้ง	ธ.ค.- ก.พ.	พ.ค.- มิ.ย.	ก.ค.- ส.ค.	ก.ย.- พ.ย.
2. ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมง/ครั้ง)	17	7	27.5	6
3. จำนวนครั้งที่ทำการอบแห้ง (ครั้ง/ปี)	78	54	30	72
4. ข้อมูลผลิตภัณฑ์				
น้ำหนักผลิตภัณฑ์สด (กก./ปี)	15,600	4,320	9,000	1,800
น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง (กก./ปี)	4,496	1,093	3,000	709
ราคาผลิตภัณฑ์สด (บาท/กก.)	12	5	15	20
ราคาผลิตภัณฑ์แห้ง (บาท/กก.)	80	65	55	125
5. ค่าแรง (บาท/กก.สด)	1	2	0	1
5. มูลค่าผลิตภัณฑ์				
มูลค่าผลิตภัณฑ์สด (บาท/ปี)	187,200	21,600	135,000	36,000
มูลค่าผลิตภัณฑ์แห้ง (บาท/ปี)	359,680	71,045	165,000	88,625
7. ปริมาณน้ำที่ระเหย (กก./ปี)	11,104	3,227	6,000	1,091

* ค่าพลังงานในการอบแห้ง

ไม้ฟืน = 3 บาท/kg

ไฟฟ้า = 2.70 บาท/kW-hr [17]

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาเปรียบเทียบถึงจุดคุ้มทุนของระบบก่อนและหลังการวางแผนให้มีการใช้เครื่องอบแห้งตลอดทั้งปี

<u>สมการที่ใช้ในการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้ง</u>

จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้ง สามารถคำนวณได้จาก [18]

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (SPB)} = \frac{\text{มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิต่อปี}}$$

โดยที่มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปีคำนวณได้จาก

มูลค่ารวมของเงินลงทุนรายปี = เงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งรายปี
+ ค่าบำรุงรักษารายปี + ค่าแรง
+ เงินลงทุนค่าพลังงานรายปี (ฟืน+ไฟฟ้า)
- มูลค่าซากรายปี

ในการคำนวณหาเงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งรายปี สามารถหาได้จาก [19]

$$FCA = (FC)(CRF)$$

เมื่อ

FCA = First Cost on Annual basis
= มูลค่าเงินลงทุนเบื้องต้นรายปี (บาท)

FC = First Cost
= มูลค่าเงินลงทุนเริ่มต้น (บาท)

CRF = Capital Recovery Factor

$$= \frac{[i(1+i)^n]}{[(1+i)^n - 1]}$$

โดยที่ (i = อัตราดอกเบี้ย, %) และ (n = จำนวนปี)

และมูลค่าซากรายปี สามารถคำนวณได้จาก การหามูลค่าเงินในปัจจุบัน (Present Worth, PW) **จากมูลค่าเงินในอนาคต** (Future Worth, FW) **คำนวณจากสมการ** [19]

$$PW = (FW)(SFF)$$

เมื่อ

PW = Present Worth

= มูลค่าเงินปัจจุบัน, (บาท)

FW = Future Worth

= มูลค่าเงินในอนาคต, (บาท)

SFF = Sinking Fund Factor

$$= \frac{i}{[(1+i)^n - 1]}$$

โดยที่ (i = อัตราดอกเบี้ย, %) และ (n = จำนวนปี)