



โครงการ

เรื่อง

การศึกษากระบวนการแปรรูปพลับก๊ิงแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบ 2 ขั้นตอนของ
เครื่องอบแห้งระบบถาดหมุน

กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

Study of Semi-Dried Persimmon Process using 2-Stage
Temperature using Rotary Tray Dryer (*Diospyros kaki* L.): Mae Hae
Center of Development Royal Project, Chiang Mai Province

โดย

นายชีวิพัฒน์ แวนบอเซอร์	รหัสนักศึกษา 6415125003
นางสาวณัฐธิดา สำราญ	รหัสนักศึกษา 6415125005
นายวสันต์ อามง	รหัสนักศึกษา 6415125009
นายกฤษฎิน กุณาธรรม	รหัสนักศึกษา 6415125013

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร (ต่อเนื่อง)

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีการศึกษา 2566



โครงการงาน

เรื่อง

การศึกษากระบวนการแปรรูปพลับก๊ิงแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบ 2 ขั้นตอนของ
เครื่องอบแห้งระบบถาดหมุน

กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

(Study of Semi-Dried Persimmon Process using 2-Stage
Temperature using Rotary Tray Dryer (*Diospyros kaki* L.): Mae Hae
Center of Development Royal Project, Chiang Mai Province

โดย

นายชีวิพัฒน์ แวนบอเซอร์

รหัสนักศึกษา 6415125003

นางสาวณัฐริดา ลำราญ

รหัสนักศึกษา 6415125005

นายวสันต์ อามง

รหัสนักศึกษา 6415125009

นายกฤษฎิน กุณาธรรม

รหัสนักศึกษา 6415125013

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร (ต่อเนื่อง)

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปีการศึกษา 2566



การศึกษากระบวนการแปรรูปพลับกึ่งแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบ 2 ขั้นตอนของเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุน
กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่
(Study of Semi-Dried Persimmon Process using 2-Stage Temperature using Rotary Tray Dryer
(Diospyros kaki L.): Mae Hae Center of Development Royal Project, Chiang Mai Province

นายชีวะพัฒน์ แวนบอเซอร์	รหัสนักศึกษา 6415125003
นางสาวณัฐธิดา ลำราญ	รหัสนักศึกษา 6415125005
นายวสันต์ อามง	รหัสนักศึกษา 6415125009
นายกฤษฎิน กุณาธรรม	รหัสนักศึกษา 6415125013

โครงการนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานทดแทน

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คณะกรรมการสอบโครงการ

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัครวราชันย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์อุทัยวรรณ ศรีวิชัย)

..... กรรมการ

(อาจารย์ทัศนีย์ ชัยยา)

..... คณบดีวิทยาลัยพลังงานทดแทน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง)

วัน เดือน ปี ที่ทำการสอบ

.....

@ ลิขสิทธิ์ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัครราชันย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยให้คำปรึกษาคำแนะนำและความช่วยเหลือในทุกด้าน ตลอดจนตรวจสอบโครงการนี้จนเสร็จสมบูรณ์ รวมไปถึงบทความวิชาการทุกบทความที่นำมาอ้างอิงและนำมาศึกษา ผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล อาจารย์อุทัยวรรณ ศรีวิชัย และอาจารย์ทัศนีย์ ชัยยา ที่กรุณามาเป็นกรรมการสอบโครงการในครั้งนี้ ทั้งยังให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่ผู้จัดทำโครงการ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มอบทุนสนับสนุนเพื่อทำโครงการพลังงานทดแทน เทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตรสมัยใหม่ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ งบประมาณสนับสนุน "โครงการยกระดับวิสาหกิจชุมชนและผู้ประกอบการใหม่ด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตรสมัยใหม่ (ภายใต้กิจกรรม : พัฒนากำลังคนด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมอัจฉริยะ)" สำหรับนักศึกษาปริญญาตรีประจำปีงบประมาณ 2564 สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ หากผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำโครงการขออภัยไว้ ณ ที่นี้

นายชีวพัฒน์	แวนบอเซอร์
นางสาวณัฐธิดา	สำราญ
นายวสันต์	อามง
นายกฤษฎิน	กุนาธรรม

บทคัดย่อ

ชื่อโครงการ การศึกษากระบวนการแปรรูปปลั๊กกิ่งแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบ 2 ขั้นตอนของเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุน กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

ผู้ทำโครงการ

1. นายชีวพัฒน์ แวนบอเซอร์	รหัสนักศึกษา 6415125003
2. นางสาวณัฐธิดา สำราญ	รหัสนักศึกษา 6415125005
3. นายวสันต์ อามง	รหัสนักศึกษา 6415125009
4. นายกฤษฏิน กุณาธรรม	รหัสนักศึกษา 6415125013

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัครวราชันย์

กรรมการ

1. รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล
2. อาจารย์อุทัยวรรณ ศรีวิชัย
3. อาจารย์ทัศนีย์ ชัยยา

โครงการวิศวกรรมมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนากระบวนการแปรรูปปลั๊กกิ่งแห้ง แบ่งขั้นตอนการดำเนินโครงการวิจัยออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบ rapid convective แบ่งเป็นการคำนวณความชื้นและ ปริมาณน้ำอิสระ และสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) ขั้นตอนการดำเนินโครงการที่สอง ดำเนินการพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุนด้วยการออกแบบลักษณะหลักการของ (conceptual design) และการสร้างต้นแบบ (construct prototype) ขั้นตอนที่สามดำเนินติดตั้งเครื่องอบแห้ง ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮจำนวน 3 เครื่อง เพื่อทดลองการอบแห้งและศึกษาค่าพารามิเตอร์ของการอบแห้งปลั๊ก ที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิแบบ 2 ขั้นตอน แบ่งเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิในขั้นที่หนึ่งที่ 3 ระดับอุณหภูมิ ได้แก่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำขึ้นปลั๊กมานวดจนนิ่ม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนเหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์น้ำเปียก เปรียบเทียบอัตราการอบแห้ง สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของปลั๊กกิ่งแห้ง สารประกอบ TPC และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปปลั๊กขึ้นที่การอบแห้งที่อุณหภูมิในขั้นที่หนึ่งที่ 60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในขั้นที่สอง ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด มีค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 20.39 ± 1.63 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก ปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.52 ± 0.08 มีสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ในระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ ที่ดีที่สุดเท่ากับ 27.2 ± 3.44 , 8.4 ± 2.42 และ 30.4 ± 4.27 ตามลำดับ มีสารประกอบ TPC เท่ากับ 63.20 ± 4.52 mg_{GAE}/ 100g และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เท่ากับ 59.99 ± 5.01 และ 61.42 ± 3.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การดำเนินโครงการวิจัยในขั้นตอนสุดท้ายได้นำข้อมูลของการดำเนินกิจการของกลุ่มวิสาหกิจแปรรูปผักผลไม้ปลอดภัย บ้านแม่แฮเหนือ มาคำนวณต้นทุนการผลิตเบื้องต้น พบว่า ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 0.5 ปี และอัตราผลตอบแทนเงินลงทุนเท่ากับ 217.34 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

คำสำคัญ: ปลั๊ก, การอบแห้ง, เครื่องอบแห้งระบบถาดหมุน, ระยะเวลาในการคืนทุน, อัตราผลตอบแทนเงินลงทุน

ABSTRACT

Project Title	Study of Semi-Dried Persimmon Process using 2-Stage Temperature using Rotary Tray Dryer (Diospyros kaki L.): Mae Hae Center of Development Royal Project, Chiang Mai Province	
Author	1. Mr. Chevapatra vanborsel	Student ID 6415125003
	2. Miss Natthida Samran	Student ID 6415125005
	3. Mr. Vasan Among	Student ID 6415125009
	4. Mr. Kritsadin Kunatum	Student ID 6415125013
Adviser	Associate Professor Dr.Rittichai Assawarachan	
Committee	1. Associate Professor Samerkhwan Tantikul	
	2. Teacher Uthaiwan Sriwichai	
	3. Teacher Tasanee Chaiya	

This engineering project endeavors to revolutionize persimmon processing by introducing a novel semi-dried persimmon processing method. The research project unfolds in four pivotal phases, each contributing to the optimization of the process. The first phase delves into the meticulous examination of persimmon drying parameters, focusing on moisture content, water activity (aw), and optical properties. Subsequently, the project advances to the second phase, where a rotary tray dryer is conceptually designed and a prototype is constructed to facilitate the persimmon drying process.

In the third phase, the project transitions to practical testing by installing three dryers at the Mae Hae Royal Project Development Center. This stage features a two-step drying process. Initially, persimmon pieces are subjected to varying temperature levels, including 50°C, 60°C, and 70°C, for an 8-hour duration. Following this, the persimmon pieces are kneaded until soft and further dried at 50°C until they reach a final moisture content of 20% w.b. The study also extensively investigates the optical properties of semi-dried persimmons, total phenolic content (TPC) compounds, and antioxidant capabilities (DPPH and ABTS).

Notably, the research reveals that the most favorable conditions for persimmon processing involve an initial drying stage at 60°C and a subsequent drying stage at 50°C, achieving a final moisture content of $20.39 \pm 1.63\%$. In addition, the persimmons exhibit a wet weight free water content of 0.52 ± 0.08 and exhibit exceptional optical properties in the CIE Lab* color system, with

values of 27.2 ± 3.44 , 8.41 ± 2.42 , and 30.4 ± 4.27 , respectively. The TPC compounds are measured at $63.20 \pm 4.52 \text{ mg}_{\text{GAE}}/100\text{g}$, and the antioxidant capacities, as determined by DPPH and ABTS, yield values of $59.99 \pm 5.01 \%$ and $61.42 \pm 3.71 \%$, respectively.

In its concluding phase, the research project delivers essential insights into the operation of the Safe Fruit and Vegetable Processing Enterprises Group. This knowledge allows for the preliminary calculation of production costs, revealing a remarkably breakeven point (BP) of 0.5 years and rate of return of 217.34 %.

Keyword: persimmon, drying, characteristics, principle, breakeven point, rate of return

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
ABSTRACT	ค
สารบัญ.....	จ
สารบัญภาพ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.5 ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินงาน	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1.1 พื้นฐานการอบแห้ง.....	6
2.1.2 พารามิเตอร์การอบแห้ง และสมบัติทางเคมีกายภาพของผลไม้อบแห้ง.	8
2.1.3 ค่าความชื้น (Moisture content).....	8
2.1.4 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, aw)	11
2.1.5 ค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture, Me).....	14
2.1.6 วิธีเชิงสถิติ	15
2.1.7 วิธีจลน์ (Dynamic sorption method).....	16
2.1.8 วิธีการวัดจุดกลั่นตัวของน้ำ (Dynamic dewpoint isotherm method).....	16
2.1.9 สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งของอาหาร	18

2.1.10 สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) ในระบบสี CIE-L*a*b*	21
2.1.11 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเบื้องต้น.....	23
2.1.12 ความหมายของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering economy).....	23
2.1.13 หลักการเกี่ยวกับต้นทุน (Cost concept).....	23
2.1.14 อัตราผลตอบแทน (Rate of Return : ROR).....	25
2.1.15 การวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงาน.....	25
2.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ.....	29
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	30
3.1.1 ดำเนินการศึกษาเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุนด้วยการออกแบบลักษณะหลักการของ (Conceptual design) และขั้นตอนการสร้างต้นแบบ (Construct prototype)	31
3.1.2 การพัฒนาเครื่องอบแห้งลูกพลับขนาดอุตสาหกรรม	35
3.1.3 ทดลองการอบแห้งเพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ของการอบแห้งพลับ.....	40
3.1.4 สถานที่ดำเนินงานวิจัย	50
3.1.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษา	50
3.1.6 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	50
3.1.7 นำเสนอการดำเนินงานและผลดำเนินงาน	50
3.2 แผนการดำเนินงาน.....	51
บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์ผล	52
4.1 การวิเคราะห์สมดุลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง	52
4.2 การทดสอบการอบแห้งเนื้อพลับขึ้นในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง.....	55
4.3 การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสร้างเครื่องอบแห้ง และการผลิต	58
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลโครงการ	62
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	63

เอกสารอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก.....	67
ประวัติผู้ทำโครงการ นายชีวิพัฒน์ แวนบอเซอร์	75
ประวัติผู้ทำโครงการ นางสาวณัฐธิดา สำราญ	76
ประวัติผู้ทำโครงการ นายวสันต์ อามง	77
ประวัติผู้ทำโครงการ นายกฤษฏิน กุณาธรรม.....	78

สารบัญภาพ

ภาพ 1.1	พลัหมาดอบแห้งของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แอ	2
ภาพ 1.2	ผลิตภัณฑ์พลัหมาดอบแห้งของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แอ	2
ภาพ 2.1	เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ Tunnel dryer	6
ภาพ 2.2	ภาพถ่ายขั้นตอนการวิเคราะห์หาความชื้นด้วยตามมาตรฐาน AOAC (2010)	9
ภาพ 2.3	ภาพถ่ายขั้นตอนการวิเคราะห์หาความชื้นสำหรับอาหารที่มีน้ำตาลสูงด้วยตามมาตรฐาน AOAC (2010)	10
ภาพ 2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า aw กับค่าความชื้นของอาหารชนิดชนิดต่างๆ	13
ภาพ 2.5	ภาพถ่ายการหาค่าความชื้นสมดุลด้วยวิธีเชิงสถิติ	15
ภาพ 2.6	การทำงานของชุดอุปกรณ์และการหาค่าความชื้นสมดุลด้วยวิธีจลน์	17
ภาพ 2.7	ไอโซเทอมการดูด-คายซับ ประเภทต่างๆ	18
ภาพ 2.8	แผนผังการวิเคราะห์พื้นฐานสมดุลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง	19
ภาพ 2.9	เส้นโค้งความสัมพันธ์ของเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง ที่มา: Idris และคณะ (2004)	21
ภาพ 2.10	การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ : Hue และ Chroma บรรยายถึงความ ม่นาว หรือความเข้มของโทนสี	22
ภาพ 2.11	การบรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ)	22
ภาพ 3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	30
ภาพ 3.2	ลักษณะของแนวคิด (Conceptual design) ของเครื่องอบแห้งระบบอัตโนมัติเพื่อแปรรูปพลัหมาด (1)	31
ภาพ 3.3	ลักษณะของแนวคิด (Conceptual design) ของเครื่องอบแห้งระบบอัตโนมัติเพื่อแปรรูปพลัหมาด (2)	32
ภาพ 3.4	ลักษณะของแนวคิด (Conceptual design) ของเครื่องอบแห้งระบบอัตโนมัติเพื่อแปรรูปพลัหมาด (3)	33
ภาพ 3.5	ลักษณะของแนวคิด (Conceptual design) ของระบบควบคุม	34
ภาพ 3.6	ไดอะแกรมวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้ง	34
ภาพ 3.7	กล่องวงจรควบคุมเครื่องอบแห้ง	35
ภาพ 3.8	ขั้นตอนการขึ้นโครงสร้าง และผนังของเครื่องอบแห้ง (1)	36
ภาพ 3.9	ขั้นตอนการขึ้นโครงสร้าง และผนังของเครื่องอบแห้ง (2)	37
ภาพ 3.10	ขั้นตอนการขัดเคลือบเงาทำความสะอาดโครงสร้าง และผนังของเครื่องอบแห้ง	38
ภาพ 3.11	ขั้นตอนการติดตั้งหัวแก๊ส และระบบตู้ควบคุมของเครื่องอบแห้ง	39

ภาพ 3.12	วัตถุพลัสสายพันธุ์ P2 ที่ใช้ในโครงการวิจัย	40
ภาพ 3.13	การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพของลูกพลัสเบื้องต้น	41
ภาพ 3.14	ส่วนประกอบต่างๆ ของลูกพลัส	42
ภาพ 3.15	การวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้น	43
ภาพ 3.16	การวิเคราะห์ค่าความชื้นสมดุลของเนื้อพลัสโดยใช้วิธีการทางสถิติ	44
ภาพ 3.17	การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ	45
ภาพ 3.18	การวิเคราะห์ค่าสีด้วย เครื่อง Spectrophotometer (Hunter LabModel MiniScan XE PLUS)	46
ภาพ 3.19	ขั้นตอนการวิเคราะห์การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม	47
ภาพ 3.20	วัดสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยเครื่อง Microplate Reader	47
ภาพ 4.1	แผนผังการวิเคราะห์พื้นฐานสมดุลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้งสมดุลรวม	52
ภาพ 4.2	การติดตั้งเครื่องอบแห้งในโครงการวิจัย ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่	54
ภาพ 4.3	ภาพขั้นตอนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของเกษตร โครงการจัดตั้งกลุ่มวิสาหกิจ แปรรูปผักและผลไม้ปลอดภัย บ้านแม่แฮเหนือ	55
ภาพ 4.4	กราฟแสดงค่าความชื้นและระยะเวลาอัตราการอบแห้ง	56
ภาพ 4.5	เปรียบเทียบคุณภาพสีของพลัสอบแห้ง	57

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ปริมาณน้ำอิสระ (aw) ต่ำสุดสำหรับการเจริญ หรือการสร้างสปอร์ของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ -----	14
ตารางที่ 2.2 ชนิดสารละลายเกลือเข้มข้น และค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ใช้ในการหาค่าความชื้นสมดุลของอาหาร ----	16
ตารางที่ 3.1 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหนือสารละลายเกลืออิมิตัวชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ -----	44
ตารางที่ 3.2 แผนการดำเนิน -----	51
ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบผลการศึกษาคูณภาพของฟลั๊บอบแห้ง -----	57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

หมู่บ้านแม่แฮและหมู่บ้านบริเวณใกล้เคียง ในเขตตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง และตำบลแม่นาจร อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ราษฎรที่อาศัยอยู่ส่วนใหญ่เป็นชาวเขาเผ่ากะเหรี่ยง ม้ง และจีนยูนาน ประกอบอาชีพทำนาและทำไร่เลื่อนลอย ปลูกฝิ่น ข้าวไร่ ข้าวโพดและเลี้ยงสัตว์ตามธรรมชาติ มักจะอพยพเคลื่อนย้ายหาที่เพาะปลูกใหม่เพื่อต้องการความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยการบุกเบิกผืนป่าไม้ทุกปี อีกทั้งมีสภาพความเป็นอยู่ค่อนข้างยากจน ผลิตอาหารไม่เพียงพอแก่การบริโภค ไม่มีเส้นทางคมนาคมติดต่อกับพื้นที่ราบหรือเชื่อมระหว่างหมู่บ้าน ปี พ.ศ.2521 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงมีพระราชดำริให้พัฒนาอาชีพของประชากรชาวเขาหมู่บ้านแม่แฮและหมู่บ้านใกล้เคียง หม่อมเจ้าภีศเดช รัชนี ประธานมูลนิธิโครงการหลวง ขอให้สำนักเกษตรภาคเหนือ เป็นผู้ดำเนินงาน “โครงการหลวงพัฒนาเกษตรที่สูงแม่แฮ” ซึ่งต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น “ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ” ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ตั้งอยู่บนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 1,300 เมตร มีพื้นที่รับผิดชอบทั้งหมด 33 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในพื้นที่ 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอแม่วาง อำเภอแม่แจ่ม และอำเภอสะเมิง ครอบคลุม 24 หมู่บ้าน 1,750 ครัวเรือน พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเนินเขาและภูเขาสลับซับซ้อน มีที่ราบแคบตามแนวเหนือ-ใต้ของห้วยแม่แฮและห้วยแม่เตียน อุณหภูมิเฉลี่ย 24 องศาเซลเซียส (ที่มา: <https://www.topchiangmai.com/royalproject/>) มูลนิธิโครงการหลวง ได้ดำเนินการทดสอบใช้โรงอบแสงอาทิตย์ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ พบว่าโรงอบแสงอาทิตย์นั้นไม่เหมาะสมในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ เนื่องจากผิวของผลิตภัณฑ์หลังการปลดปล่อยนั้นมียางเหนียวเหนียวซึ่งมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางชีวเคมีโดยมีแสงเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาสึ้นน้ำตาลส่งผลให้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ได้รับแสงแดดส่องเต็มที่มีสีดำดำและตำแหน่งที่ไม่โดนแสงผิวผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลน้อยส่งผลให้ลูกพลับมีสีไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการลดความชื้นและการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยโรงอบแสงอาทิตย์จึงไม่เหมาะสม สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Karakasova และคณะ (2010) พบว่าลูกพลับที่อบแห้งด้วยโรงอบแสงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลพลับอย่างรุนแรงเมื่อโดนแสงแดด ดังนั้นการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยโรงอบแสงอาทิตย์การแปรรูปผลิตภัณฑ์จึงไม่เหมาะสมในการใช้โรงอบแสงอาทิตย์ ปัจจุบันมูลนิธิโครงการหลวง และศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮได้ดำเนินการแปรรูปผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องอบแห้งลมร้อน ที่พัฒนาเครื่องอบแห้งขึ้นมาใช้เอง ตามที่แสดงในภาพ 1.1 ทำให้เครื่องอบแห้งที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮได้ใช้ในปัจจุบันนี้มีประสิทธิภาพต่ำ และไม่สอดคล้องกับลักษณะการแปรรูป และความปลอดภัยในการแปรรูปอาหาร ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ ตามที่แสดงในภาพ 1.2 แสดงการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์พลับหมาดอบแห้งของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮเมื่อเวลาผ่านไป 30 วันพบว่าพลับหมาดมีสีน้ำตาลเข้ม คล้ำดำ และมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด และ เชื้อรา ยีสต์ เกินกว่ามาตรฐานความปลอดภัย ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่นิยม และไม่สามารถจำหน่ายได้



(ก)



(ข)

ภาพ 1.1 พลับหมาดอบแห้งของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ

(ก) การอบแห้งพลับสด (ข) พลับอบแห้งเป็นเวลา 72 ชั่วโมง



(ก)



(ข)

ภาพ 1.2 ผลิตภัณฑ์พลับหมาดอบแห้งของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ

(ก) อายุการเก็บรักษา 0 เดือน (ข) อายุการเก็บรักษา 1 เดือน

ผลการดำเนินกิจการแปรรูปพลับหมาดของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ในช่วงปี 2563-2564 นั้นได้รับผลกระทบจากปัจจัยลบจากโควิด 19 อย่างรุนแรง ส่งผลให้ผลผลิตพลับในพื้นที่ หมู่บ้านบวรราชของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮเกิดความเสียหายประมาณ 900 ตันต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่าที่เสียหาย 6.5 ล้านบาทต่อปี (ราคาประเมินกิโลกรัมละ 30 บาท) ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ (Economic shock) ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาผลผลิตพลับที่มีปริมาณมาก และมีระยะเวลาการเก็บเกี่ยวสั้นๆ ในช่วงเดือนสิงหาคม วิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาผลผลิตล้นตลาดในระยะเวลานั้นๆ ได้คือการแปรรูปพลับ เช่น พลับหมาด (พลับอบแห้งทั้งลูก) อย่างไรก็ตามการทำพลับ

หมาดในพื้นที่โครงการหลวงยังพบปัญหาเรื่องกระบวนการผลิตที่ไม่มีมาตรฐานปลอดภัยจากผลของปัจจัยการผลิตที่ไม่เพียงพอ และการแปรรูปผลิตภัณฑ์นั้นไม่เหมาะสมในการใช้โรงอบแสงอาทิตย์เพราะเกิดผลกระทบต่อสีของผลิตภัณฑ์เนื่องจากแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

โดยในปีงบประมาณ 2562 ทางศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แอ้ ได้รับเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุนในการอบแห้งปลั้ขึ้นกิ่งแห้ง จากโครงการวิจัยเรื่องเครื่องอบแห้งระบบลมร้อนระบบถาดหมุน (เลขที่อนุสิทธิบัตร 18896) มาช่วยแก้ไขปัญหการกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากโรงอบแสงอาทิตย์

ดังนั้น เพื่อให้กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัยระดับวิสาหกิจชุมชน และการวิเคราะห์หาแนวทางที่เหมาะสมในการใช้ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ภายใต้แนวคิดที่ต้องการลดปริมาณขยะให้เหลือน้อยที่สุด (Zero waste) อันเป็นแนวทางการพัฒนา BCG ภายใต้ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง จึงจัดทำโครงการ การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุนในการอบแห้งปลั้ขึ้นกิ่งแห้ง เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุนในการอบแห้งปลั้ขึ้นกิ่งแห้ง และ ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุนในการอบแห้งปลั้ขึ้นกิ่งแห้ง ประกอบด้วย (1) ผลกระทบของอุณหภูมิ Drying condition ที่ความเร็วลมคงที่ ที่ 1.5 เมตรต่อวินาทีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของปลั้ ได้แก่ ปริมาณน้ำอิสระ สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (Optical properties) ในระบบสี CIE-L*a*b*, ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ TPC , DPC , ABTS และ (2) การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเบื้องต้น (ระบบถาดหมุนในการอบแห้งปลั้ขึ้นกิ่งแห้ง) ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แอ้

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุนในการอบแห้งปลั้ขึ้นกิ่งแห้ง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความชื้น และอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุน
- เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ Drying condition ที่ความเร็วลมคงที่ ที่ 1.5 เมตรต่อวินาทีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ปริมาณน้ำอิสระ สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (Optical properties) ในระบบสี CIE-L*a*b*, ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ TPC , DPPH , ABTS
- เพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเบื้องต้นของการอบแห้ง (การอบแห้งปลั้ขึ้นกิ่งแห้ง) ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แอ้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- ศึกษาการออกแบบลักษณะของแนวคิด (Conceptual design) และขั้นตอนการสร้างต้นแบบ (Construct prototype) ของเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุน
- วัดค่าพารามิเตอร์ในการอบแห้ง ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้น สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ในระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ ของลูกพลับสด และวัดค่าความชื้นของเนื้อลูกพลับในขณะการอบแห้งด้วยลมร้อนด้วยเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุน ที่ใช้ในการแปรรูปพลับขึ้นกึ่งแห้ง ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ
- ทำการทดลองแปรรูปพลับขึ้นกึ่งแห้งด้วยการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบสองขั้นตอน ได้แก่ การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วงของการอบแห้ง ในช่วงอัตราการทำความแห้งคงที่ (Constant drying rate period) ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปนวด และอบแห้งในช่วงของอัตราการทำความแห้งลดลง (Falling drying rate period) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทั้งสามสภาวะการอบแห้ง จนมีความชื้นสุดท้าย เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก โดยใช้ความเร็วลมคงที่ ที่ 1.5 เมตรต่อวินาที ตลอดการทดลอง
- วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของผลผลิต ได้แก่ ปริมาณน้ำอิสระ สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) ในระบบสี CIE- $L^*a^*b^*$ ของพลับกึ่งแห้ง ทั้ง 3 สภาวะ ที่กล่าวในข้างต้น (1.3.3)
- วิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเบื้องต้นของการอบกึ่งแห้งของลูกพลับ ประกอบด้วย ต้นทุนการผลิต เบื้องต้น, ระยะเวลาในการคืนทุน, และอัตราผลตอบแทนเงินลงทุน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ข้อมูลเชิงวิศวกรรมของการเปลี่ยนแปลงความชื้น อัตราการอบแห้งระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน ทั้งรูปแบบการใช้อุณหภูมิแบบสองขั้นตอน ที่อุณหภูมิ ที่ 50 ตามด้วย 50, 60 ตามด้วย 50 และ 70 และตามด้วย 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ความเร็วลมคงที่ ที่ 1.5 เมตรต่อวินาที เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาต่อไป
- ได้ข้อมูลผลกระทบของอุณหภูมิในการอบกึ่งแห้งของลูกพลับ เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบกึ่งแห้ง เพื่อเป็นประโยชน์สามารถรักษาคุณภาพสี และคงไว้ทางโภชนาการและข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อนำไปประเมินต้นทุนการผลิต

1.5 ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินงาน

ระยะเวลาในการดำเนินงาน 4 เดือน

ตั้งแต่ 3 เดือน กรกฎาคม 2566

เสร็จ 6 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2566

สถานที่ดำเนินงาน

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

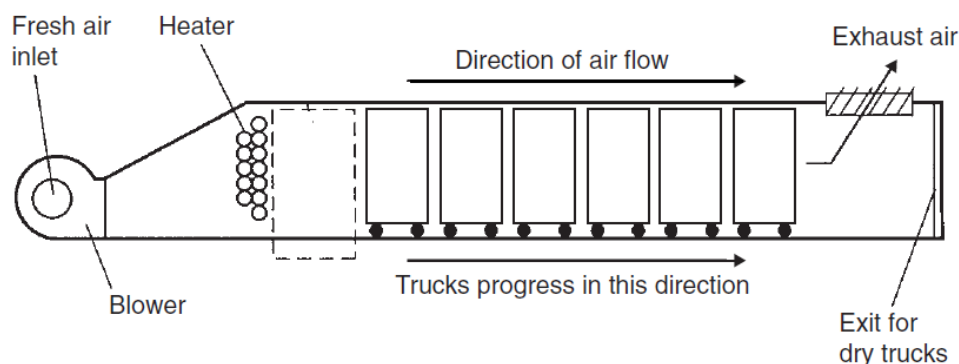
บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 พื้นฐานการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารด้วยการลดปริมาณน้ำจากอาหาร ด้วยกลไกการแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบต่างๆ ผ่านการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อนและมวล ความชื้นไปกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ตัวอย่างการอบแห้งสำคัญ ได้แก่ การอบแห้งด้วยลมร้อนของเครื่องอบแห้งแบบ อุโมงค์ Tunnel dryer มีกลไกการทำงานโดยการที่ Blower ดูดอากาศสดไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หรือ แหล่งกำเนิดความร้อนโดยตรง (Heater) เกิดการเปลี่ยนสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลงในที่นี้เรียกอากาศร้อนโดยการอบแห้งจะเริ่มจากการที่ลมร้อนสัมผัสในลักษณะการไหล ผ่านวัสดุอาหารที่วางเรียงในถาดในลักษณะการไหลผ่านทิศทางเดียวหรือ Direction of air flow ส่งผลให้วัสดุ อาหารเกิดการเพิ่มอุณหภูมิเนื่องจากวัสดุอาหารดูดซับพลังงานความร้อน และเมื่อวัสดุอาหารดูดซับพลังงานความร้อนถึงระดับหนึ่งปริมาณน้ำในอาหารก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอน้ำ และระเหยออกจากวัสดุอาหารไปกับลมร้อนขึ้นออกจากระบบ (Exhaust air) ผลของปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอาหารส่งผล ให้ค่าความชื้นในอาหารลดลง วัสดุอาหารจะแห้งได้มากน้อยจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัสดุ-อาหารในการแลกเปลี่ยน ความร้อนและมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วย เมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอจะได้ผลิตภัณฑ์ ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลงซึ่งนอกจากจะมีกรณีที่วัตถุดิบมีสภาพเป็นของแข็งที่เปียกชื้นแล้วยังมีกรณีที่อบ ของเหลวข้นหรือของเหลวใสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงอีกด้วย Singh และ Paul (2001)



ภาพ 2.1 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ Tunnel dryer (ที่มา: Singh และ Heldman, 2010)

หลักการพื้นฐานของการอบแห้งประกอบด้วยสัดส่วนของปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปจากวัสดุอาหารและการ คำนวณความชื้นก่อนและหลังการอบแห้ง (ความชื้นเริ่มต้น และความชื้นสุดท้าย) เพื่อที่นำข้อมูลไปคำนวณหา

ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกจากระบบ (Water remove) เพื่ออบแห้งวัสดุผักและผลไม้ที่ระดับความชื้นที่ต้องการ และควบคุมการอบแห้งอย่างเหมาะสมสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศ ในระหว่างการอบแห้ง แบ่งเป็นกระบวนการสร้างลมร้อน (Heating process) นำไปสู่การคำนวณพลังงานของแหล่งกำเนิดความร้อน และกระบวนการถ่ายเทมวลความชื้น (Drying Process) ซึ่งสามารถคำนวณเวลาที่ใช้ในการอบแห้งได้ โดยสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศที่สภาวะต่างๆ นั้น สามารถใช้แผนภูมิไซโครเมตรี (Psychrometry) หรือโปรแกรมการคำนวณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศสำเร็จรูป

เทคโนโลยีการอบแห้งมีความสำคัญต่อการแปรรูปเป็นอย่างมาก เช่น การแปรรูปผลไม้อบแห้ง สามารถช่วยลดปัญหาผลผลิตล้นตลาด และมีราคาตกต่ำได้ นอกจากนี้ยังสามารถอบแห้งเพื่อนำไปเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่นๆ เช่น การอบแห้งผลไม้อวกาศได้สุกจัด ไม่สามารถนำไปจำหน่ายได้จัดเป็นของเสียที่เกิดขึ้น ดังนั้นการนำไปอบแห้งเพื่อไล่น้ำออกแล้วนำไปสกัดน้ำมันเป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง หรือการขึ้นรูปเป็นอาหารเสริม น้ำมันอวกาศได้พร้อมรับประทาน ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าของเสีย (Chimsook และ Assawarachan, 2017) เช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในโครงการพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบพาหะลมสำหรับการอบแห้งกากมะพร้าว (Assawarachan, 2013) การอบแห้งจึงนับเป็นหน่วยปฏิบัติการทางวิศวกรรมที่สำคัญของอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทั้งในระดับเล็กถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารโดยตรง เช่น การอบแห้งสมุนไพร การแปรรูปชาดอกไม้วี การพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการอบแห้งเพื่อให้สามารถนำไปต่อยอดในการพัฒนากระบวนการผลิตที่สามารถใช้ผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรมจำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้หลากหลาย เช่น การหากระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อการลดการสูญเสียคุณภาพผัก ผลไม้ และสมุนไพร การใช้เทคโนโลยีการอบแห้งที่เหมาะสม รวมถึงการพัฒนาเครื่องอบแห้งให้เกิดความเหมาะสมในการผลิต (ฤทธิชัย, 2562) ข้อดีของการอบแห้งนอกจากลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หรือปริมาตรของอาหารแล้วยังสะดวกในการขนย้ายและลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง รวมทั้งผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน ปัจจุบันจึงนิยมพัฒนากระบวนการอบแห้งในบริเวณที่ใกล้เคียงกับสถานที่เพาะปลูกทางการเกษตร เพื่อสามารถนำไปอบแห้งทันที และนำผลิตภัณฑ์อบแห้งขนส่งไปบรรจุในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ช่วยลดต้นทุนในด้านการขนส่ง และช่วยลดอัตราการเน่าเสียในระหว่างรอการอบแห้ง (Jongyingcharoen และคณะ 2019)

การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งจัดเป็นวิชาเฉพาะทางด้านสำหรับการออกแบบพัฒนางานที่เกี่ยวข้องกับระบบเชิงพลังงานและความร้อนสอดคล้องกับมาตรฐาน Accreditation Board of Engineering and Technology (ABET) เพื่อให้วิชาเทคโนโลยีการอบแห้งจัดเป็นหนึ่งในการบูรณาการความรู้พื้นฐานด้านวิศวกรรมเพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้ง ดังที่กล่าวมาในบทนำโดยอธิบายโครงการวิจัยที่มีการดำเนินการพัฒนาเครื่องอบแห้งเพื่อใช้ในการผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรมนั้น เทคโนโลยีการอบแห้งจำเป็นต้องใช้พื้นฐานของวิชาพื้นฐานวิศวกรรมด้านต่างๆ ในกลุ่ม พื้นฐานเชิงพลังงาน ความร้อน และของไหลของการอบแห้งเป็นหลักการพื้นฐาน เพื่อให้ผู้อ่าน หรือนักศึกษาเกิดความเข้าใจ พื้นฐานของพลังงานความร้อน พื้นฐานเทอร์โมไดนามิกส์ และการถ่ายเทความร้อนสำหรับ

เทคโนโลยีการอบแห้งเพื่อนำไปสู่การออกแบบห้องอบแห้งที่เหมาะสม รวมถึงลักษณะห้องอบแห้งนำไปสู่การการพัฒนากระบวนการไหลของไหลหรือลมร้อน เพื่อใช้ในการเลือกการเลือกอุปกรณ์ขับเคลื่อนของไหล

2.1.2 พารามิเตอร์การอบแห้ง และสมบัติทางเคมีกายภาพของผลไม้อบแห้ง

การศึกษาเทคโนโลยีการอบแห้งจำเป็นต้องเข้าใจองค์ประกอบพื้นฐานของอาหาร โดยอาหารมีโครงสร้างในลักษณะของเซลล์ขนาดใหญ่ ซึ่งภายในเซลล์อาหารประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ น้ำ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ลิพิด สารประกอบกลืน สี รส และเอนไซม์ ภายในเซลล์อาหารสามารถแบ่งออกเป็น 2 สถานะ ได้แก่ สถานะที่เป็นของแข็ง และสถานะที่เป็นของเหลว ดังนั้นจากหลักการอบแห้งที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 1.2 นั้นได้อธิบายหลักการพื้นฐานในการอบแห้ง โดยการดึงน้ำออกจากอาหารผ่านกลไกการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่างๆ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้อธิบายค่าพารามิเตอร์การอบแห้ง ออกเป็น 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าความชื้น (Moisture content, M.C.) ค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, M_e) และปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ตามลำดับ โดยแบ่งเป็นรายละเอียดดังนี้

2.1.3 ค่าความชื้น (Moisture content)

ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหารและผลิตภัณฑ์ทางเกษตรมีทั้งความชื้นที่เกาะติดที่ผิวของวัสดุ (Unbound moisture) ซึ่งสามารถไล่ความชื้นนี้ออกไปได้หมดโดยการให้ความร้อน ความชื้นอาจเกาะติดอยู่ภายในผนังด้านในท่อเล็กที่อยู่ภายในเนื้อวัสดุ (Bound moisture) โดยไม่สามารถไล่ความชื้นภายในวัสดุนี้ได้หมด ปริมาณความชื้นในวัสดุสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียกซึ่งใช้สัญลักษณ์สากล คือ %w.b. และค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งซึ่งใช้สัญลักษณ์สากลคือ %d.b. โดย อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุขึ้นเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นดังนี้ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียกมีค่าเท่ากับมวลของน้ำที่ระเหยออก ในที่นี้คือผลต่างของน้ำหนักตัวอย่าง (Mass of moist sample) ก่อนและหลังการอบแห้งจนตัวอย่างเหลือน้ำหนักแห้ง (Mass of dry solids) โดยสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งใช้ที่อุณหภูมิ เท่ากับ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานการวิเคราะห์ค่าความชื้นตามหลักการของ Association of Analytical Communities โดยแบ่งการวิเคราะห์หาความชื้นด้วยตามมาตรฐาน AOAC (2010) นั้นมีขั้นตอนในการเตรียมอุปกรณ์ โดยเริ่มจากอบ moisture can ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำ moisture can เก็บในโถดูดความชื้นที่มีสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ปลอยทิ้งจน moisture can เย็นจากนั้น เตรียม นำ moisture can ไปชั่งน้ำหนัก (บันทึกข้อมูล และใส่ตัวอย่างอาหาร หรือวัตถุดิบที่ต้องการหาจากนั้นชั่ง น้ำหนักเริ่มต้นเมื่อเตรียมตัวอย่าง (mass of moisture sample) นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบมาตรฐานที่อุณหภูมิ เท่ากับ เท่ากับ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือ เท่ากับ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (สามารถใช้ได้ทั้งสองสภาวะ) และนำกระป๋องอูมิเนียม (Moisture can) ที่บรรจุตัวอย่างที่แห้งสนิทชั่งน้ำหนัก

(บันทึกน้ำหนักแห้งโดยลบค่าน้ำหนักของ moisture can ตามที่แสดงในภาพ 2.2 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความชื้น



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพ 2.2 ภาพถ่ายขั้นตอนการวิเคราะห์หาความชื้นด้วยตามมาตรฐาน AOAC (2010)

(ก) การเตรียม moisture can (ข) การอบแห้ง Moisture can (ค) การนำ moisture can ที่ให้เย็นในตู้ความชื้น (ง) การเตรียมตัวอย่างอาหาร (จ) การอบแห้งตัวอย่างอาหารและ moisture can ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือ เท่ากับ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (ฉ) ตัวอย่างอาหารที่แห้งสนิท

การวิเคราะห์หาความชื้นด้วยตามมาตรฐาน AOAC (2010) ตามที่กล่าวมานั้นนิยมใช้กับตัวอย่างอาหาร และวัตถุทางการเกษตรทั่วไป อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัด เนื่องจากใช้อุณหภูมิสูงไม่เหมาะกับการใช้ศึกษาอาหาร และวัตถุเกษตรที่มีน้ำตาลสูง การหาค่าความชื้นจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส ดังนั้น การหาค่าความชื้นของอาหาร และวัตถุเกษตรที่มีน้ำตาลสูงจึงใช้สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะการอบแห้งสุญญากาศ ภาพ 2.3 แสดงขั้นตอนการหาค่าความชื้นของเนื้อปลั้วที่มีปริมาณน้ำตาลสูงอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศ



ภาพ 2.3 ภาพถ่ายขั้นตอนการวิเคราะห์หาความชื้นสำหรับอาหารที่มีน้ำตาลสูงด้วยตามมาตรฐาน AOAC (2010)

(ก) เตรียมตัวอย่างเนื้อปลับ (ข) นำตัวอย่างเนื้อปลับเข้าตู้อบแบบสุญญากาศ (ค) เอาตัวอย่างออกจากตู้อบแห้ง หลังจากอบแห้งเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

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}	คือ	ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก (%w.b.)
	W	คือ	น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชิ้น (กรัม)
	D	คือ	น้ำหนักของวัสดุแห้ง (กรัม)

ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง คือ ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่าง (mass of moisture sample) ก่อนและหลังการอบแห้งจนตัวอย่างเหลือน้ำหนักแห้งหารด้วยน้ำหนักของตัวอย่างแห้ง อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้งซึ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

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

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

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

การแสดงการวิเคราะห์ค่าความชื้นจากวัสดุเกษตร โดยใช้น้ำหนักเริ่มต้น และน้ำหนักสุดท้ายของอาหารที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรืออบที่อุณหภูมิเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ของซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการวิเคราะห์ค่าความชื้นของ Association of Analytical Communities หรือ American Association of Cereal Chemists ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเปียก และค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการที่ (2.2) และ (2.3)

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

ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้งซึ่งหาค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

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

2.1.4 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) ต่อดัชนีความดันไอสมมูลน้ำ (p_w) ที่อุณหภูมิเดียวกันโดยมีรูปแบบความสัมพันธ์

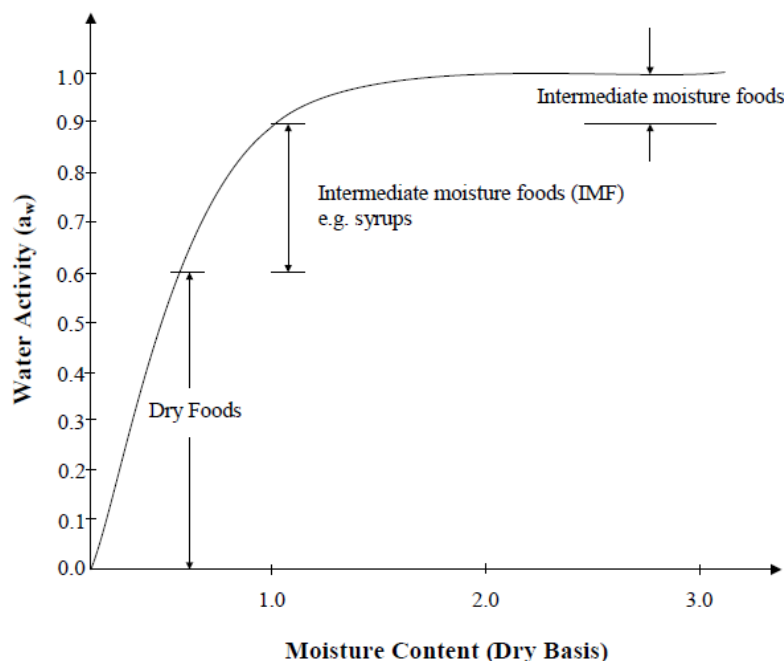
$$a_w = \frac{P_{\text{water above food}}}{P_{\text{pure water}}} = \frac{p}{p_w} \quad (2.5)$$

ปริมาณอิสระสามารถวัดได้จากความชื้นสัมพัทธ์เหนืออาหารในสภาวะสมดุล (Equilibrium relative humidity, ERH) ทหาร 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 สภาวะการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ยังส่งผลต่ออายุการเก็บด้วยเช่นกัน การควบคุมค่า a_w ด้วยการลดความชื้นในวัสดุแล้ว ยังมีการควบคุมค่า a_w แล้วยังสามารถใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า Hurdle Technology ซึ่งเป็นการผสมผสานเทคนิคการถนอมอาหารแบบต่าง ๆ มาใช้ร่วมกัน เช่น การใช้อุณหภูมิสูง การควบคุมค่า pH การใช้สารกันเสีย การเติมส่วนผสม (Ingredient) และอื่นๆซึ่งไม่ได้กล่าวรายละเอียดในตำราฉบับนี้ ดังนั้นค่า a_w เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร และการประเมินอายุการเก็บรักษา โดยแบ่งค่า a_w ออกเป็น 3 กลุ่มตัวอย่าง

- อาหารสด (Fresh food) เป็นอาหารที่เน่าเสียง่าย (Perishable food) ที่มีค่า water activity มากกว่า 0.85 เช่น เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ อาหารทะเล
- อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) หมายถึง อาหารที่มีค่า water activity ระหว่าง 0.6 - 0.85 เช่น นมข้นหวาน ผลไม้แช่อิ่ม กุ้งปรุงรส
- อาหารแห้ง (dried food) หมายถึงอาหารที่มีค่า water activity น้อยกว่า 0.6 เช่น นมผง ผัก ผลไม้อบแห้ง กุ้งแห้ง น้ำผลไม้ผง เก็กฮวยอบแห้ง หมูหยอง



ภาพ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับค่าความชื้นของอาหารชนิดชนิดต่างๆ (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, ม.ป.ป.)

เนื่องจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารทั้งหมดประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของน้ำที่เกาะติดกับอาหารหรือถูกใช้ไปในการสร้างพันธะต่าง ๆ เช่น พันธะไอออนิก พันธะไฮโดรเจน และปริมาณน้ำอิสระที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการเกิดพันธะใดๆ และอยู่ภายในช่องว่างของอาหาร ปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารเป็นค่าความชื้นในอาหาร ในขณะที่ ค่า a_w เป็นโมเลกุลของน้ำที่พร้อมจะเปลี่ยนสภาวะจากของเหลวไปเป็นไอซึ่งเป็นส่วนของน้ำอิสระเท่านั้น ตามที่กล่าวมาข้างต้น โดยความสัมพันธ์ของค่าความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ และมีค่าแวนโนมในทิศทางเดียวกัน เช่น มีค่าความชื้นของอาหารมีค่าลดลง ก็จะทำให้ค่า a_w ลดลงด้วย

แต่รูปแบบความสัมพันธ์ในการลดลงไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และค่า a_w ของผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ ต้องได้จากการทดลองวัดค่าทั้งสองของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ณ อุณหภูมิที่คงที่ค่าหนึ่งเท่านั้นเรียกกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ว่า Sorption isotherms โดยวิธีการหาค่าความสัมพันธ์ของค่าความชื้น และปริมาณน้ำอิสระได้อธิบายเนื้อหาในหัวข้อการวิเคราะห์ค่าความชื้นสมดุล

ตารางที่ 2.1 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต่ำสุดสำหรับการเจริญ หรือการสร้างสปอร์ของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

จุลินทรีย์	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)
Organisms producing slime on meat	0.98
แบคทีเรียแกรมลบ	0.97
Pseudomonas, Bacillus cereus spores	0.95
B. subtilis, C. botulinum spores	0.93
C. botulinum, Salmonella	0.93
Most bacteria	0.90
Most yeast	0.88
Aspergillus niger	0.85
Most molds	0.80
Halophilic bacteria	0.75
Xerophilic fungi	0.61
Osmophilic yeast	0.62

(ที่มา: สักกมน, 2555)

2.1.5 ค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture, M_e)

ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) คือปริมาณความชื้นของเนื้อวัสดุ (ของแข็ง) ซึ่งอยู่ในสภาวะสมดุลกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีความดันไอจากความชื้นของของแข็งเท่ากับความดันไอของสิ่งแวดล้อมจึงทำให้ไม่เกิดการแพร่มวลความชื้นระหว่างกัน สำหรับในกระบวนการอบแห้ง ปริมาณความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์คือ ค่าความชื้นสมดุลสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เมื่อสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง ซึ่งค่าปริมาณสมดุลขึ้นกับโครงสร้างของอาหาร และลักษณะของน้ำหนัที่เกาะกับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ หรือสามารถอธิบายความหมายของความชื้นสมดุล ปริมาณความชื้นของวัสดุที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับสิ่งแวดล้อมภายนอก วัสดุขึ้นจะไม่มี การดูดและคายความชื้นจากอากาศรอบๆ จึงมีอัตราการแห้ง (Drying rate) เป็นศูนย์ มีค่าความชื้นคงที่ ความชื้นจะไม่ลดลงอีก สภาวะสมดุลจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัตถุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ถ้าต้องการให้ความชื้นลดลงจากนี้ต้องเปลี่ยนสภาวะการอบ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัตถุ เช่น ลดขนาด

การศึกษาความชื้นสมดุลของวัสดุที่แลกเปลี่ยนความชื้นได้ดีสามารถทำได้หลายวิธี มีทั้งวิธีที่ใช้เวลายาวนาน ด้วยอุปกรณ์พื้นฐานอย่างง่าย และประหยัดค่าใช้จ่ายไปจนถึงวิธีที่ใช้เวลาสั้นๆ ด้วยอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงแต่ มักมีราคาแพง ทั้งนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

ชนันท์ และ สุนทร (2555) ได้อธิบายหลักการหาความชื้นสมดุลของอาหาร ได้แก่ วิธีสถิตย (Static desiccator isotherm method) ซึ่งทำได้โดยการใส่วัสดุ (แห้งหรือชื้น) ในภาชนะปิดสนิทที่ควบคุมให้มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลายๆ ค่า ณ อุณหภูมิหนึ่ง แล้ววัดค่าน้ำหนักที่แตกต่างกันไปเมื่อวัสดุเข้าสู่จุดสมดุลในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน, วิธีจลน (Dynamic sorption method) เป็นวิธีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าวอเตอร์แอกติวิตี้แบบอัตโนมัติพร้อมๆ กับการวัดค่าน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเข้าสู่จุดสมดุลในระดับที่ยอมรับได้ และวิธีการวัดจุดกลั่นตัวของน้ำ (Dynamic dewpoint isotherm (DDI) method) โดยเซนเซอร์ Chilled mirror dewpoint พร้อมๆ กับการวัดค่าความชื้นของวัสดุซึ่งวัดได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้องรอให้วัสดุเข้าสู่จุดสมดุลกับสภาวะแวดล้อม

2.1.6 วิธีเชิงสถิติ

เป็นวิธีที่วัสดุเข้าสู่จุดสมดุลกับสภาพแวดล้อมโดยปราศจากการรบกวนทางด้านพลศาสตร์ของอากาศ นั่นคือการปล่อยให้ผลผลิตสัมผัสกับอากาศแวดล้อมจนกว่าจะถึงจุดสมดุลหลังจากนั้นจึงมีการวัดความชื้นของวัสดุ ณ จุดสมดุล โดยนิยมนำสารเคมีที่มีความสามารถในการดูดความชื้นส่วนเกินมาใช้ได้แก่ สารละลายเกลืออิ่มตัวหรือสารละลายกรด สำหรับการหาความชื้นสมดุลของอาหารโดยทั่วๆ ไปนิยมใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวเพราะการกีดกร่อนน้อยและราคาถูกกว่า ส่วนสารละลายกรดนั้นกีดกร่อนโลหะง่ายจึงไม่นิยม สารละลายเกลืออิ่มตัวที่จะนำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติคือสามารถรักษาความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหนือสารละลายเกลือโดยไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ความสามารถของสารละลายเกลืออิ่มตัวแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน ชนิดสารละลายเกลือเข้มข้น และค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้ในการหาค่าความชื้นสมดุลของอาหาร แสดงในตารางที่ 2.2 นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ และอุณหภูมิรอบๆ สารละลาย ตัวอย่างสารละลายเกลืออิ่มตัวที่ใช้ในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในการทดลองหาความชื้นสมดุล



(ก)



(ข)

ภาพ 2.5 ภาพถ่ายการหาค่าความชื้นสมดุลด้วยวิธีเชิงสถิติ

(ก) เกลือ แมกนีเซียม คลอไรด์ (ข) สารละลายเกลืออิ่มตัว

ตารางที่ 2.2 ชนิดสารละลายเกลือเข้มข้น และค่าความชื้นสัมพัทธ์ ที่ใช้ในการหาค่าความชื้นสมดุลของอาหาร

Saturated salt solution	%RH	Saturated salt solution	%RH
Sodium hydroxide (NaOH)	6.0	Strontium chloride (SrCl ₂)	70.9
Potassium hydroxide (KOH)	8.0	Sodium nitrate (NaNO ₃)	74.3
Sodium nitrate (NaNO ₃) 7	11.3	Sodium chloride (NaCl)	75.3
Lithium chloride (LiCl)	22.5	Ammonium sulphate	81.0
Sodium chloride (NaCl)	32.8	Potassium chloride (KCl)	84.3
Potassium acetate	44.0	Strontium nitrate (Sr(NO ₃) ₂)	85.1
Magnesium nitrate (Mg(NO ₃) ₂)	52.8	Barium chloride (BaCl ₂)	90.2
Sodium bromide (NaBr)	57.6	Potassium nitrate (KNO ₃)	93.6
Cobalt chloride (CoCl ₂)	64.9	Zinc sulphate (ZnSO ₄)	95.0
Magnesium acetate	65.0	Potassium sulphate (K ₂ SO ₄)	97.3
Potassium iodide (KI)	68.9	Copper sulphate (CuSO ₄)	98.0

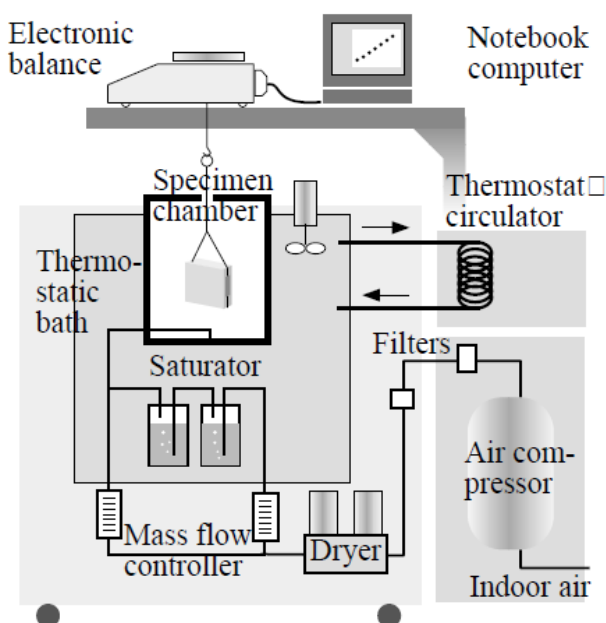
ที่มา: ชนนท์ และสุนทร (2555)

2.1.7 วิธีจลน์ (Dynamic sorption method)

การหาความชื้นสมดุลด้วยวิธีจลน์ เป็น การปล่อยให้วัสดุสัมผัสกับอากาศแวดล้อมโดยทำให้อากาศหรือผลผลิตเกิดการเคลื่อนไหวแล้วตรวจวัดน้ำหนักของวัสดุเพื่อหาค่าความชื้นสมดุลโดยความชื้นของอากาศจะถูกวัดด้วยเซนเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์ (RH sensor) วิธีนี้การเข้าสู่จุดสมดุลจะเป็นไปอย่างรวดเร็วจึงเหมาะกับวัสดุที่มีความชื้นสูงเพราะการใช้วิธีสถิตยผลผลิตอาจจะเสียหายได้จากการเจริญเติบโตของเชื้อรา ค่าความชื้นที่วัดได้อาจจะไม่ถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ค่อนข้างซับซ้อนและมีความเที่ยงตรงสูงซึ่งส่วนมากมีราคาแพง

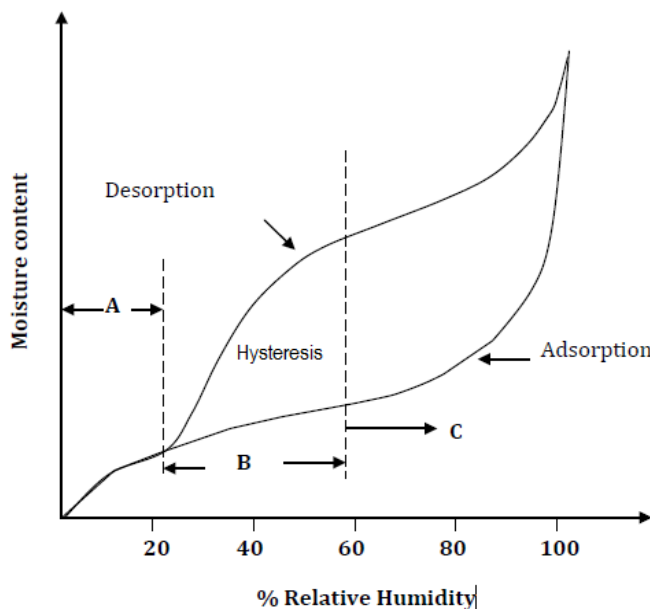
2.1.8 วิธีการวัดจุดกลั่นตัวของน้ำ (Dynamic dewpoint isotherm method)

วิธีนี้วัสดุจะอยู่ในห้องควบคุมที่สามารถจำลองสภาวะอากาศได้ทั้งสภาวะเปียกและแห้ง และมีการวัดค่า a_w และค่าความชื้นของวัสดุ ซึ่งสามารถกระทำได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้องรอให้วัสดุเข้าสู่จุดสมดุลกับสภาวะอากาศโดยใช้เซนเซอร์ Chilled mirror dewpoint วัดค่า a_w ส่วนการวัดความชื้นของวัสดุ สามารถวัดได้จากเครื่องชั่งน้ำหนักเชิงเลข (Electronic balance) วิธีดังกล่าวใช้ศึกษาความชื้นสมดุลโดยวิธีนี้ใช้เวลาสั้นที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสองวิธีแรก



ภาพ 2.6 การทำงานของชุดอุปกรณ์และการหาค่าความชื้นสมดุลด้วยวิธีจลน์
(ที่มา: Tada 2006)

สักกมน (2555) ได้อธิบายความหมายของค่าความชื้นสมดุล คือความชื้นของวัสดุ (ของแข็ง) ซึ่งอยู่ในสภาวะสมดุลกับอากาศ (หรือตัวกลางการอบแห้งอื่น) ที่อุณหภูมิและความชื้น (สัมพัทธ์) ค่าหนึ่งๆ ทั้งนี้แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของอากาศที่อุณหภูมิหนึ่งๆ เรียกว่า ไอโซเทิร์มการดูด-คายซับ (Sorption isotherm) โดยไอโซเทิร์มซึ่งได้จากการให้ของแข็งสัมผัสกับอากาศที่มีความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ เรียกความสัมพันธ์ในลักษณะดังกล่าวว่าไอโซเทิร์มของการดูดซับ (Absorption isotherm) ในขณะที่ไอโซเทิร์มซึ่งได้จากการให้ของแข็งสัมผัสกับอากาศที่มีความชื้นลดลงเป็นลำดับ เรียกว่าไอโซเทิร์มของการคายซับ (Desorption isotherm) ดังนั้นในกรณีการอบแห้งไอโซเทิร์มของการคายซับเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งมากกว่าไอโซเทิร์มการดูดซับ เนื่องจากความชื้นของวัสดุอาหารจะมีค่าลดลงในระหว่างกระบวนการอบแห้งในลักษณะเดียวกับการคายซับความชื้น โดยทั่วไป ไอโซเทิร์มทั้งสองแบบของแต่ละวัสดุมีค่าไม่เท่ากันมีการย้อนกลับไม่ซ้ำเส้นทางเดิม ลักษณะดังกล่าวเรียกว่าลักษณะฮิสเทอรีซิส (Hysteresis)



ภาพ 2.7 ไอโซเทอมการดูด-คายซับ ประเภทต่างๆ (ดัดแปลงมาจาก: Okos และคณะ., 2007)

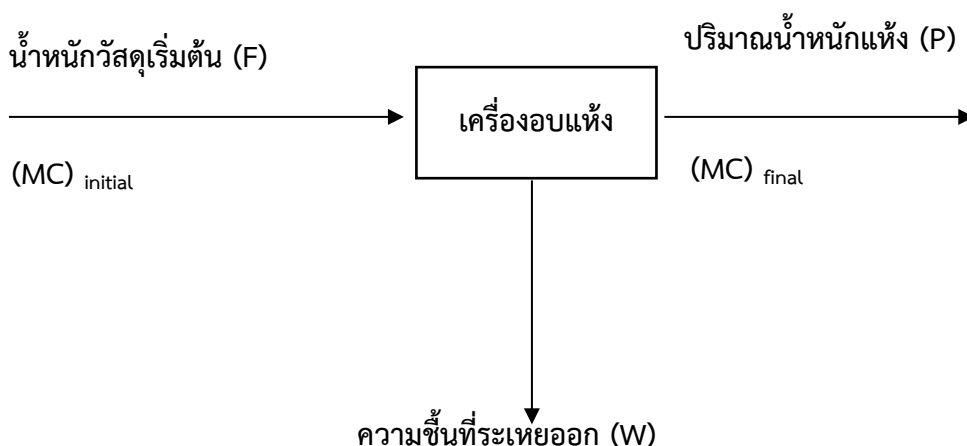
ภาพ 2.7 แสดงลักษณะของไอโซเทอมการดูด-คายซับ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ไอโซเทอมการดูด-คายซับในช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงต่ำ โดยน้ำในส่วน A เป็นน้ำในวัสดุที่ยึดติดกับโครงสร้างของแข็งอย่างเหนียวแน่น ทำให้ไม่สามารถมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาต่างๆ ได้ ไอโซเทอมการดูด-คายซับในช่วงเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ น้ำในส่วน B ยังยึดติดกับโครงสร้างของแข็ง แต่ไม่เหนียวแน่นสามารถร่วมในการเกิดปฏิกิริยาเคมี และชีวเคมี และส่วนสุดท้ายในเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงสูง น้ำในส่วน C เป็นน้ำที่ยึดติดกับโครงสร้างของแข็งแบบหลวมๆ หรือไม่มีการยึดติดกับโครงสร้าง จึงสามารถมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ดี โดยเฉพาะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ที่มา: Fortes และ Okos, 1980; van den Berg และ Bruin, 1981 Kinsella และ Fox, 1986; Mohsenin, 1986; Andrade และคณะ, 2011)

2.1.9 สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งของอาหาร

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน โดยการลดปริมาณความชื้นหรือน้ำอิสระ (Water activity) ให้ต่ำในระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในอาหาร นอกจากนั้นการลดความชื้นหรือปริมาตรของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายและสะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่ง ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งในรูปแบบของการผสมผสาน เช่นการใช้พลังงานความร้อนผสมกับคลื่นไมโครเวฟ และการใช้พลังงานความร้อนผสมผสานพลังงานกลเพื่อช่วยเร่งอัตราการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิต่ำทั้งสองกลไกของอบแห้งแบบการผสมผสานจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว และ

สามารถรักษาสสมบัติทางกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ และผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ยังคงกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการไว้ใกล้เคียงกับผลผลิตสด ฤทธิชัย และคณะ (2559)

การวิเคราะห์สมดุลความร้อนของการอบแห้ง หมายถึงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนในระหว่างการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นของอาหารซึ่งพื้นฐานการวิเคราะห์สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งมากขึ้นซึ่งสามารถคำนวณได้จากการหาผลเฉลี่ยของสมการ 2 ตัวแปร โดยกำหนดตัวแปรจากสมการสมดุลมวลรวม สมดุลมวลความชื้น และสมดุลของแข็ง มีรายละเอียดตามที่แสดงใน ภาพ 2.8



ภาพ 2.8 แผนผังการวิเคราะห์พื้นฐานสมดุลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง

สมดุลมวลรวม

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

จากสมการสมดุลมวลรวมมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำหนักรวมของอาหารเริ่มต้น มีค่าเท่ากับผลรวมของน้ำหนักรวมสุดท้ายของอาหารแห้งและปริมาณน้ำที่ระเหย 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

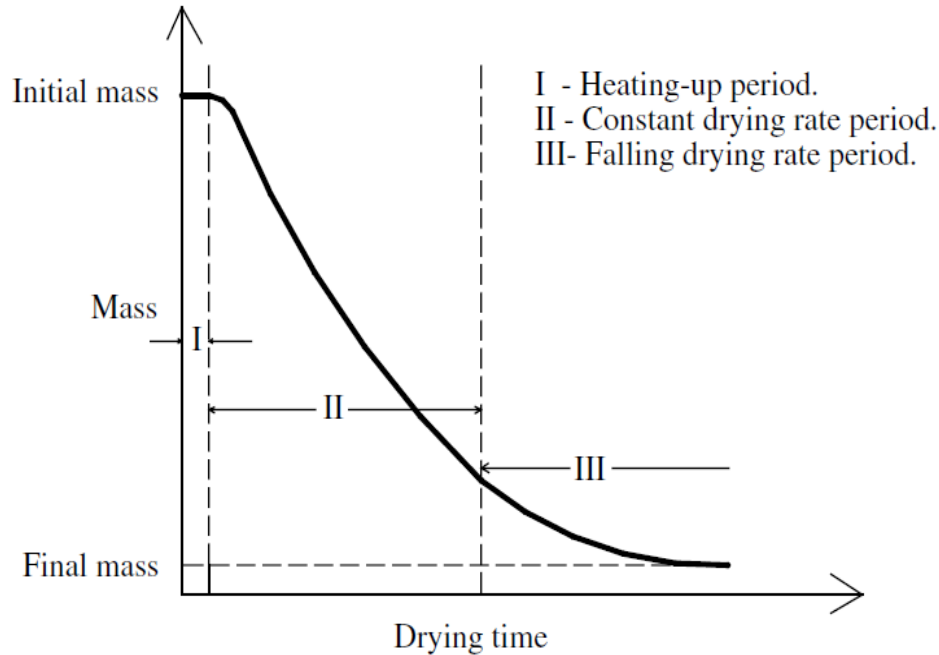
$$F(M.C)_{w.b} = P(M.C)_{w.b} + W \quad (2.10)$$

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

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน โดยการลดปริมาณความชื้นหรือน้ำอิสระ (Water activity) ให้ต่ำในระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในอาหาร นอกจากนั้นการลดความชื้นหรือปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายและสะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่ง ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งในรูปแบบของการผสมผสาน เช่น การใช้พลังงานความร้อนผสมกับคลื่นไมโครเวฟ และ การใช้พลังงานความร้อนผสมผสานพลังงานกลเพื่อช่วยเร่งอัตราการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิต่ำทั้งสองกลไกของอบแห้งแบบการผสมผสานจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว และสามารถรักษาสสมบัติทางกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ และผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ยังคงกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการไว้ใกล้เคียงกับผลผลิตสด ฤทธิชัย และคณะ (2559)

Idris และคณะ (2004) อธิบายกลไกการเปลี่ยนแปลงมวลของผลผลิตเกษตรในระหว่างกระบวนการอบแห้งเป็น 3 คาบเวลา ได้แก่ คาบเวลาที่ 1 เกิดปรากฏการณ์ถ่ายเทพลังงานความร้อนให้ผลผลิตเกษตรจนถึงอุณหภูมิของการระเหย หรือเรียกว่าการให้ความร้อนช่วงต้น (Heating up period) จากนั้นน้ำอิสระบริเวณผิวหน้าของผลผลิตจะเกิดการระเหย โดยถ่ายเทมวลไปยังตัวกลางทางความร้อน เมื่อน้ำหรือความชื้นที่ผิวลดลง น้ำในโครงสร้างชั้นในเซลล์จะเคลื่อนที่มาแทนที่ผิวหน้าเพื่อทดแทนความชื้นที่เสียไป โดยที่อัตราการระเหยน้ำที่ผิวหน้าจะเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำภายในโครงสร้างเซลล์ชั้นใน เรียกคาบเวลานี้ว่า คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) ซึ่งจะดำเนินต่อเนื่องไปจนกระทั่งค่าความชื้นเข้าสู่ความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content) ซึ่งอัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำภายในโครงสร้างเซลล์ชั้นใน เกิด

เป็นชั้นของความแห้ง (Drying front) กระบวนการอบแห้งจะเข้าสู่คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period)



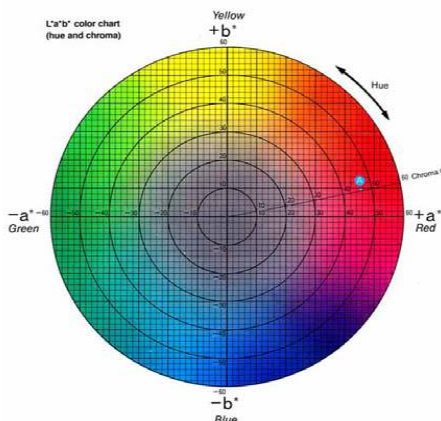
ภาพ 2.9 เส้นโค้งความสัมพันธ์ของเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง ที่มา: Idris และคณะ (2004)

2.1.10 สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) ในระบบสี CIE-L*a*b*

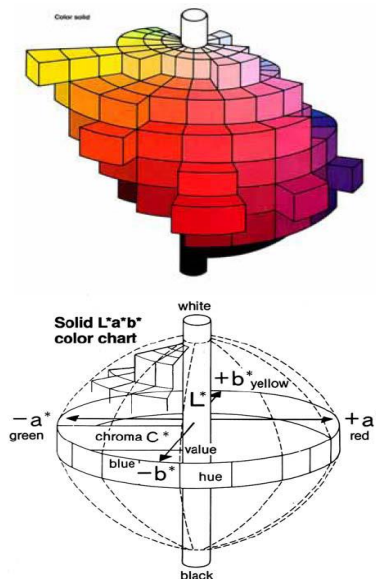
สีมีความสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลผลิตทางการเกษตรอบแห้งในด้านความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค บางครั้งสีอาจใช้เป็นดัชนีชี้วัดในการคัดเลือกวัตถุดิบควบคุมขั้นตอนการผลิต และจัดแบ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ปัจจุบันนิยมใช้ระบบสีในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ผลผลิตทางการเกษตรอบแห้งด้วยมาตรฐานด้านสีคือ Commission International de l'Eclairage (CIE) ซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างในวงการวิชาการ หรือระบบ CIE (L^* - a^* - b^*) ซึ่งประกอบด้วยค่า L^* -value แสดงถึงความสว่าง (Lightness) จากค่า $(+L^*)$ คือ สีขาว ถึง $(-L^*)$ คือ สีดำ, a^* -value แสดงถึงแกนสีที่ไล่สีจากเขียว $(-a^*)$ ไปถึงสีแดง $(+a^*)$, b^* -value แสดงถึงแกนสีที่ไล่สีจากน้ำเงิน $(-b^*)$ ไปถึงสีเหลือง $(+b^*)$ และมาตรฐานระบบมุนเซล (munsell color system) ระบบสีของมุนเซลเป็นระบบที่มีชื่อเสียงและได้รับความนิยมสูงในการวัดค่าสีของผักและผลไม้ ซึ่งประกอบด้วย Hue-value เป็นสีที่สะท้อนมาจากสีของวัตถุ ซึ่งแตกต่างกันตามความยาวคลื่นแสงที่กระทบวัตถุและสะท้อนกลับมาที่ตา ค่า hue ในมุนเซล, ค่า value เป็นค่าที่ใช้อบอกความมืดหรือความสว่าง และ Chroma เป็นค่าที่บอกถึงความเข้มหรือความจางของสี (Saturation) ในสัดส่วนของสี (Hue) ที่มีอยู่ในสีเทา วัดค่าเปอร์เซ็นต์จาก 0% (สีเทา) จนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ สีเป็นคุณสมบัติเชิงแสงที่สามารถใช้บรรยายคุณลักษณะของวัตถุเกษตรได้ง่ายที่สุดวิธีหนึ่งในการอธิบายสี

ของวัตถุด้วยคำพูดมาตรฐานการบรรยายลักษณะสีอาจจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประสบการณ์ ลักษณะทางกายภาพของตาผู้บรรยาย ลักษณะแสงที่ตกกระทบ เป็นต้น

ดังนั้นการวัดและการบรรยายสีในเชิงวิชาการจึงต้องมีการจัดมาตรฐานเพื่อเป็นการลดความไม่เป็นกลาง (Bias) ของผู้บรรยายสีของวัตถุนั้นในโครงการวิจัยนี้ใช้การวัดค่าสีในระบบ $L^*a^*b^*$ ซึ่งเป็นระบบบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงสีแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$) ลักษณะการบรรยายสีของ CIE (ภาพ 2.14-2.15)



ภาพ 2.10 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ : Hue และ Chroma บรรยายถึงความมันวาวหรือความเข้มของโทนสี (ที่มา : <https://repository.rmutp.ac.th>)



ภาพ 2.11 การบรรยายสี่พื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ

(ที่มา : <https://repository.rmutp.ac.th>)

2.1.11 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเบื้องต้น

การออกแบบงานทางวิศวกรรม นอกจากจะมุ่งหวังให้โครงการเป็นโครงการที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลแล้ว ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงการพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์อีกด้วย โดยการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพตามแนวทางของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering economy) บ่อยครั้งที่วิศวกรมักจะมองการออกแบบและการใช้งานเพียงอย่างเดียว ขาดการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการลงทุน และอาจยังผลให้ไม่ประสบความสำเร็จได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว นอกจากนั้น การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ยังสามารถใช้เป็นตัววัดถึงผลประโยชน์ของการลงทุนได้อีกด้วย ดังนั้นการศึกษาในวิชานี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการตัดสินใจในการลงทุนอย่างมีหลักเกณฑ์และถูกต้องสำหรับวิศวกร

2.1.12 ความหมายของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering economy)

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

2.1.13 หลักการเกี่ยวกับต้นทุน (Cost concept)

ในการวิเคราะห์ทางเลือก จะต้องมีความเกี่ยวข้องกับต้นทุนต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งต้นทุนที่พิจารณาในที่นี้จะแบ่งตามความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง ในการแยกประเภทต้นทุนที่แบ่งตามวัตถุประสงค์สามารถแบ่งได้ดังนี้

แบ่งตามการเปลี่ยนแปลงในกิจกรรม ได้แก่

- ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) คือต้นทุนที่มีจำนวนเท่ากันตลอดช่วงเวลาของกิจกรรมที่พิจารณา เช่น ค่าเช่าสำนักงาน และค่าเช่าที่ดิน เป็นต้น
- ต้นทุนแปรผัน (Variable cost) คือต้นทุนแปรผันซึ่งจะเปลี่ยนไปตามกำลังการผลิต เช่น ค่าวัสดุ ค่าแรง ค่าไฟฟ้า เป็นต้น

แบ่งตามสายการผลิตผลิตภัณฑ์ ได้แก่

ต้นทุนทางตรง (Direct cost) คือค่าใช้จ่ายที่จ่ายไปเพื่อเปิดกิจกรรม โดยสามารถระบุได้ว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นเนื่องกิจกรรมใด เช่น ค่าวัสดุทางตรง (Direct material cost) คือค่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตสินค้านั้นโดยตรง และค่าแรงทางตรง (Direct labor cost) คือแรงที่ใช้ในการผลิตสินค้านั้นโดยตรง

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

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

แบ่งตามการวิเคราะห์ต้นทุนทั้งหมดทางบัญชี ได้แก่

- ค่าใช้จ่ายในการผลิต (Production cost) คือค่าวัสดุทางตรง ค่าแรงทางตรง และค่าโสหุ้ยในการผลิต
- ค่าใช้จ่ายเนื่องจากการขาย (Selling expense) คือค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการจำหน่ายสินค้า เช่น ค่าตอบแทน (Commission) ค่าอุปกรณ์สำนักงาน ค่ายานพาหนะ และค่ารับรองลูกค้า เป็นต้น
- ค่าใช้จ่ายเนื่องจากการบริการ (Administration expense) คือค่าใช้จ่ายที่เกิดจากเงินเดือนของผู้บริหาร พนักงาน ค่าเช่าสำนักงาน และค่าใช้จ่ายในสำนักงาน เป็นต้น

แบ่งตามการตัดสินใจ ได้แก่

- ต้นทุนจม (Sunk cost) คือต้นทุนในอดีตที่ไม่สามารถเรียกกลับคืนได้ในปัจจุบัน เช่น เครื่องจักรซื้อ มา 200,000 บาท ถ้าต้องการเปลี่ยนเครื่องจักรใหม่ ปัจจุบันมูลค่าทางบัญชี ของเครื่องจักรนี้มีค่า 20,000 บาท แต่เราสามารถขายได้ในราคา 12,000 บาทเท่านั้น เพราะนั้นต้นทุนจมมีค่าเท่ากับ 8,000 บาท
- ต้นทุนเสียโอกาส (Opportunity cost) คือมูลค่าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการที่เราไม่ได้เลือกทางเลือกที่ดีที่สุด เช่น ถ้านำเงินมาลงทุนแล้วได้ผลตอบแทน 2 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี แต่ในขณะเดียวกันถ้านำเงินไปฝากธนาคาร จะได้รับดอกเบี้ยเงินฝาก 5 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี ดังนั้นต้นทุนเสียโอกาสจะมีค่าเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี
- ต้นทุนเพิ่ม (Incremental cost) คือต้นทุนที่เพิ่มจากการเปรียบเทียบระหว่างทางเลือกหนึ่งกับอีก ทางเลือกหนึ่ง ต้นทุนชนิดนี้มีประโยชน์ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบการลงทุนที่เพิ่มขึ้น ผลประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นจะต้องคุ้มค่างับต้นทุนที่เพิ่มขึ้น
- ต้นทุนเพิ่มต่อหน่วย (First cost or Initial cost) คือต้นทุนเพิ่มต่อหน่วยผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ เพิ่มขึ้นต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์

2.1.14 อัตราผลตอบแทน (Rate of Return : ROR)

ถ้ามีการกู้ยืมเงินเกิดขึ้น อัตราผลตอบแทนจะถูกนำมาคิดกับเงินในบัญชีที่ยังไม่ได้มีการจ่ายเงิน ดังนั้นเงินที่กู้ มาทั้งหมด กับส่วนของดอกเบี้ยจะถูกจ่ายเงินเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการยืม สำหรับในมุมมองของผู้ลงทุน เมื่อเงินถูก ลงทุนไป จะเกิดมูลค่าในบัญชีที่มีทั้งส่วนของเงินต้นและดอกเบี้ยที่ยังไม่ได้กลับคืนในช่วงเวลานั้นๆ ซึ่งมูลค่ารวม ทั้งหมดและดอกเบี้ยจะถูกคืนกลับที่ช่วงเวลาสุดท้ายของการรับหรือจ่ายเงิน อัตราผลตอบแทน (Rate of Return : ROR) คืออัตราดอกเบี้ยที่จะได้รับเนื่องจากการลงทุนที่ยังไม่ได้รับเงินคืน หรือดอกเบี้ยที่จะต้องจ่ายเนื่องจากยังไม่ได้ จ่ายเงินคืน ดังนั้นเงินที่จะได้รับในที่สุดท้ายหรือที่จะต้องจ่ายเงินในที่สุดท้ายจะเท่ากับจำนวนเงินที่ทำให้มูลค่าสมดุล กันและเท่ากับศูนย์พอดีภายใต้ดอกเบี้ยที่พิจารณา

2.1.15 การวิเคราะห์ต้นทุนการดำเนินงาน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของมูลค่าการลงทุนหรือค่าใช้จ่ายทั้งหมด และรายได้ของ โครงการที่แปรผันตามปริมาณการผลิตว่า ณ จุดตัดระหว่างกราฟของค่าใช้จ่ายและรายได้นี้เป็นจุดที่จะทำให้กำไร

ของการลงทุนมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งเรียกว่า จุดคุ้มทุน จากการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนจะทำให้ทราบว่าปริมาณต่ำสุดที่ต้องทำการผลิตคือเท่าใดจึงจะทำให้เกิดกำไรซึ่งเป็นประโยชน์ในการกำหนดแผนการดำเนินงานการผลิตในอนาคต นอกจากนั้นยังสามารถใช้เปรียบเทียบต้นทุนของ 2 ทางเลือกได้ โดยจุดตัดของเงินลงทุนของทั้ง 2 ทางเลือกจะเป็นจุดที่บอกได้ว่าควรตัดสินใจเลือกทางเลือกอย่างไร

- ค่าจุดคุ้มทุนของตัวแปร (Break-even value of a variable) ในการหาจุดคุ้มทุนจะเป็นการหาจำนวนของตัวแปรที่ทำให้รายได้และค่าใช้จ่ายมีค่าเท่ากัน เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณกำไรขาดทุน ปริมาณที่ทำให้รายได้และค่าใช้จ่ายเท่ากันนี้เรียกว่า จุดคุ้มทุน (Break-even point : QBE) ในการพิจารณาจะใช้ความสัมพันธ์ของรายได้และค่าใช้จ่ายในรูปของฟังก์ชันของปริมาณ (Q) ขนาดของ Q อาจจะบอกเป็นจำนวนหน่วยต่อปี เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการผลิตหรือชั่วโมงต่อเดือน และอาจจะอยู่ในหน่วยอื่นๆ ก็ได้ แต่โดยมากจะใช้เป็นจำนวนหน่วยต่อปี
- ค่าใช้จ่าย (Cost) อาจมีฟังก์ชันเป็นแบบเชิงเส้นหรือแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 อย่างคือ
 - ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed cost : FC) เช่น ค่าก่อสร้าง ค่าประกัน ค่าเสียหยา ค่าใช้จ่ายทางอ้อม
 - ค่าใช้จ่ายแปรผัน (Variable cost : VC) เช่น ค่าแรงทางตรง ค่าวัสดุ ค่าแรงทางอ้อม ค่า การตลาด สำหรับการลงทุนในสินทรัพย์ เช่น อุปกรณ์ คอมพิวเตอร์ ยานพาหนะ อาคาร และเครื่องจักร จะต้องมีการคิดค่าเสื่อมราคา (Depreciation) ในแต่ละปีจนครอบคลุมเงินทุนทั้งหมดที่ได้ลงทุนไปตามเวลาการใช้งานของสินทรัพย์นั้นๆ ตามวิธีที่กำหนดขึ้นทางบัญชี ถึงแม้ว่าสินทรัพย์นั้นจะอยู่ในสภาพที่ยังสามารถใช้งานได้อยู่ก็ตาม ค่าเสื่อมราคามีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมอย่างมาก เนื่องจากค่าเสื่อมราคาสามารถนำมาใช้เป็นส่วนลดหย่อนภาษีได้ การคิดค่าเสื่อมราคามีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสินทรัพย์นั้นๆ

2.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารด้วยการลดปริมาณน้ำจากอาหาร ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านมวลความชื้น ด้วยกลไกการแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบต่างๆ การอบแห้งประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นไปกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อให้ นักศึกษา และผู้อ่านตำราวิชาเทคโนโลยีการอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร เข้าใจพื้นฐานของการอบแห้งอาหาร ดังนั้นตัวอย่างการอบแห้งสำคัญได้แก่ การอบแห้งด้วยลมร้อนด้วยลมร้อนของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ Tunnel dryer มีกลไกการทำงานโดยการที่ Blower ดูดอากาศสดไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หรือแหล่งกำเนิดความร้อนโดยตรง (Heater) เกิดการเปลี่ยนสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลง ในที่นี้เรียกอากาศร้อนโดยการอบแห้งจะเริ่มจากการที่ลมร้อนสัมผัสในลักษณะการไหลผ่านวัสดุ

อาหารที่วางเรียงในถาดในลักษณะการไหลผ่านทิศทางเดียว (Direction of air flow) ส่งผลให้วัสดุอาหารเกิดการเพิ่มอุณหภูมิเนื่องจากวัสดุอาหารดูดซับพลังงานความร้อน และเมื่อวัสดุอาหารดูดซับพลังงานความร้อนถึงระดับหนึ่ง ปริมาณน้ำในอาหารก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลว กลายเป็นไอน้ำและระเหยออกจากวัสดุอาหารไปกับลมร้อนขึ้นออกจากระบบ (Exhaust air) ผลของปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอาหารส่งผลให้ค่าความชื้นในอาหารลดลง วัสดุอาหารจะแห้งได้มาก-น้อยจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของมันด้วยในการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง เมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอ จะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลง

BÖLEK และ OBUZ (2014) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ และวิธีการเตรียมข้างต้นในการแปรรูปพลับหมัด สายพันธ์ Trabzon (Diospyros kaki 'Fuyu') ที่อุณหภูมิ 50, 65 และ 80 องศาเซลเซียส และการใช้สารละลาย sodium metabisulfite และสารละลาย ascorbic acid ในขั้นตอนการเตรียมขั้นต้น จากผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 65 องศาเซลเซียส ให้เนื้อสัมผัสที่เหมาะสมต่อการเคี้ยว ในขณะที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นั้นอาจจะส่งผลเนื้อสัมผัสมีความแข็งมากเกินไป แต่มีปริมาณ Total phenolics มากกว่าการทดสอบในกลุ่มอื่น เนื่องจากมีอัตราการอบแห้งที่เร็ว อย่างไรก็ตามปริมาณ Ascorbic acid นั้นพบว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 65 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนั้นมีค่าลดลง 48 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลของการแช่ในสารละลาย sodium metabisulfite และสารละลาย ascorbic acid ก่อนนำไปอบแห้งสามารถช่วยลดอัตราการสูญเสีย Total phenolics และ Ascorbic acid สามารถช่วยลดความสูญเสียได้ทุกช่วงอุณหภูมิ

Hurmasinin และคณะ (2015) ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ (40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส) ความเร็วลม 3 ระดับ (0.5, 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที) ต่ออัตราการแพร่ของมวลความชื้น และสัมประสิทธิ์ผล (D_{eff}) ของการแปรรูปพลับหมัดด้วยการลดความชื้น (พลับทั้งลูก) ผลการศึกษาพบว่า The two-term exponential and Henderson-Pabis models เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการทำนายอัตราการอบแห้งของพลับหมัดที่ดีที่สุด

นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยที่ศึกษาการอบแห้งแบบชั้นบางของพลับแผ่นในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน งานวิจัยของ Vivek และคณะ (2021) ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ (50-70 องศาเซลเซียส) ความเร็วลม (0.5-1.5 เมตรต่อวินาที) และความหนาของเนื้อพลับแผ่น (4-8 มิลลิเมตร) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อพลับแผ่นอบแห้ง จากผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปพลับแผ่นอบแห้งที่ อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.4 เมตรต่อวินาที และความหนาที่ 4 มิลลิเมตรมีอัตราการอบแห้งที่เร็วที่สุด มีปริมาณ ascorbic acid เท่ากับ 8.61 มิลลิกรัมต่อกรัม Dry matter, Browning index เท่ากับ 0.396 absorbance unit), และ rehydration ratio เท่ากับ 5.47 เปอร์เซ็นต์

ธนิดา และคณะ (2016) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการอบแห้งพลับ โดยพารามิเตอร์ประกอบไปด้วยความชื้นสมดุล ความร้อนแฝงในการระเหยน้ำออกจากพลับ ความร้อนจำเพาะ และความหนาแน่น ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จำเป็นสำหรับการนำไปใช้วิเคราะห์และจำลองการอบแห้งพลับ ในส่วนของการหาค่า ความชื้นสมดุลของพลับทำการทดลองโดยใช้วิธีทางสถิติ โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในช่วง 0.112-0.959 ที่ช่วงอุณหภูมิ 45-65 องศาเซลเซียสส่วนการหาค่าความร้อนแฝงในการระเหยน้ำออกจาก พลับใช้แบบจำลองความชื้นสมดุลที่ทำการพัฒนาขึ้นในการคำนวณ การหาค่าความร้อนจำเพาะโดยใช้แคลอรีมิเตอร์ และความหนาแน่นจากความสัมพันธ์ระหว่างมวลต่อปริมาตร ผลจากการทดลองพบว่าค่าความชื้นสมดุลจะมีค่าลดลงเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำลงและอุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น โดยมีแบบจำลองตามรูปแบบของ Modified Oswin เป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด ส่วนความร้อนแฝงของการระเหยน้ำออกจากพลับจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าความชื้นของพลับต่ำลง และในส่วนของค่าความร้อนจำเพาะและความหนาแน่น จะมีค่าลดลงเมื่อพลับมีค่าความชื้นต่ำลง สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Akbari และ Reza (2017)

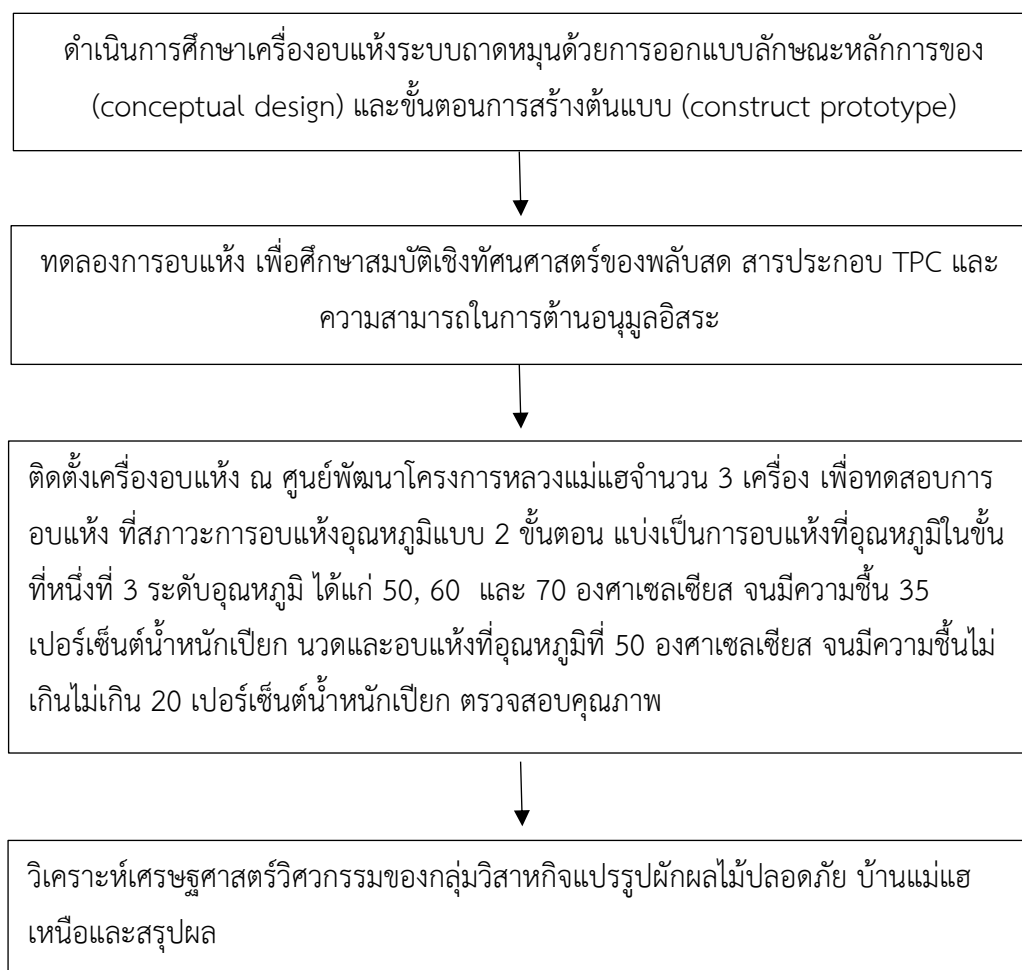
บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

การดำเนินโครงการวิจัยแบ่งเป็นงาน 3 ส่วน ได้แก่ การศึกษาการทำงานของเครื่องอบแห้งลมร้อนขนาด 20 ถาด เป็นเครื่องที่ถูกพัฒนาต่อจากเครื่องอบแห้งระบบลมร้อนระบบถาดหมุน (เลขที่อนุสิทธิบัตร 18896) โดยการศึกษาเขียนขึ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องอบแห้งด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดขนาดเครื่องอบแห้ง และพัฒนาจากแบบเครื่องอบแห้งทางวิศวกรรมที่ได้กำหนดระบุในข้อเสนอโครงการเพื่อเหมาะสมกับการใช้งานของผู้ใช้ หรือ เจ้าหน้าที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮเพื่อให้เกิดความเข้าใจในการทำงานเพื่อกำหนดรูปร่าง และขนาดเบื้องต้นของ ลักษณะของ (Conceptual design) และการออกแบบในลักษณะที่ก่อให้เกิดรูปร่าง (embodiment design) ติดตั้งเครื่องอบแห้ง ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ การดำเนินงานส่วนที่สองดำเนินการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุนในการอบแห้งปลั้ขึ้นกิ่งแห้ง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความชื้น อัตราการอบแห้ง พลังงานจำเพาะในการอบแห้ง และประสิทธิภาพรวมของเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุน และการดำเนินโครงการวิจัยขั้นตอนสุดท้ายศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ปริมาณน้ำอิสระ สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) ในระบบสี CIE-L*a*b*, ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเบื้องต้น

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินงานการศึกษากระบวนการแบบรูปหลักทั้งนี้ด้วยการใช้อุณหภูมิแบบ 2 ขั้นตอนของเครื่องอบแห้งระบบภาคหมุนโดยมีกระบวนการดำเนินงานและขั้นตอน ดังแสดงภาพที่ 3.1



ภาพ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

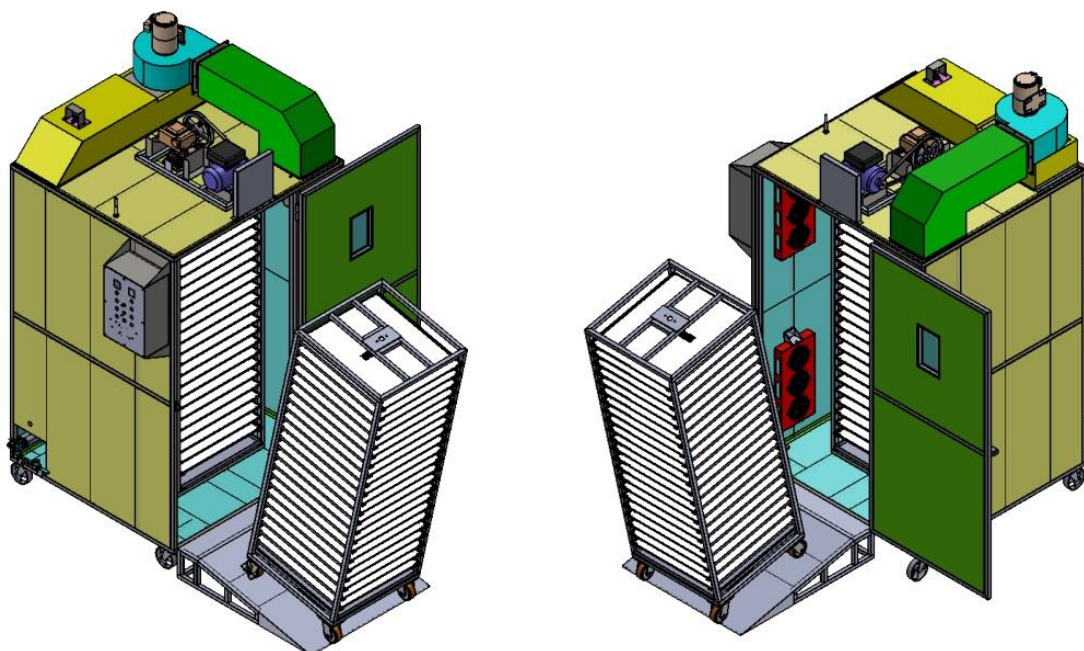
ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอันประกอบไปด้วยหัวข้อต่างๆดังต่อไปนี้ การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบภาคหมุน โดยการพัฒนาเครื่องอบแห้งลูกปล้นขนาดอุตสาหกรรม ทดลองการอบแห้งเพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ของการอบแห้งพลาสติก การวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้น การวิเคราะห์ค่าขึ้นสมดุล การวัดปริมาณน้ำอิสระ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (Optical properties)

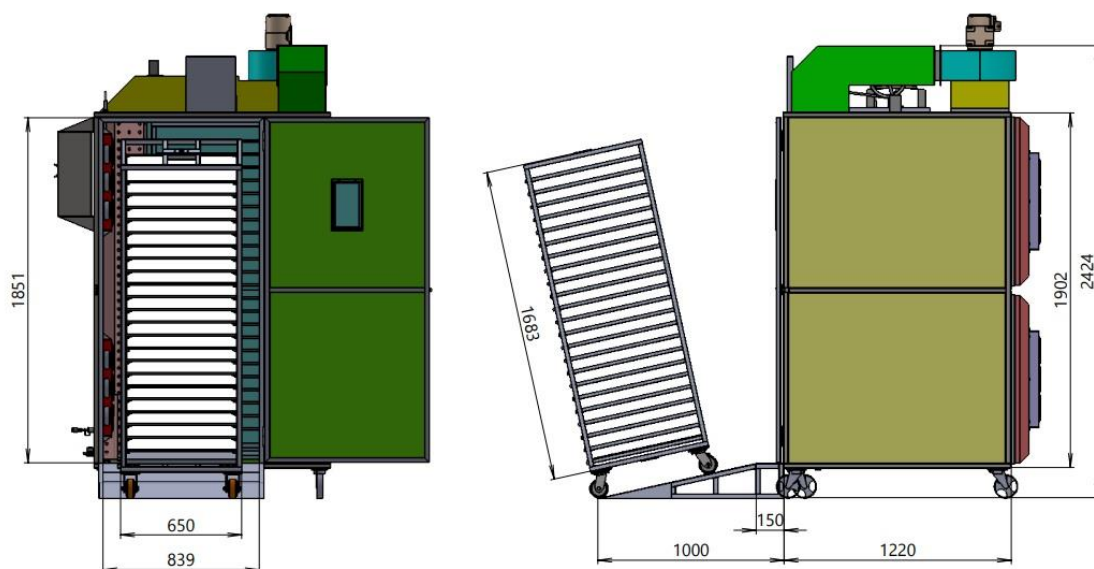
เครื่องวัดค่าสีในระบบ CIE L*a*b* การวิเคราะห์สารประกอบพีนอลิกรวม การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3.1.1 ดำเนินการศึกษาเครื่องอบแห้งระบบถาดหมุนด้วยการออกแบบลักษณะหลักการของ (Conceptual design) และขั้นตอนการสร้างต้นแบบ (Construct prototype)

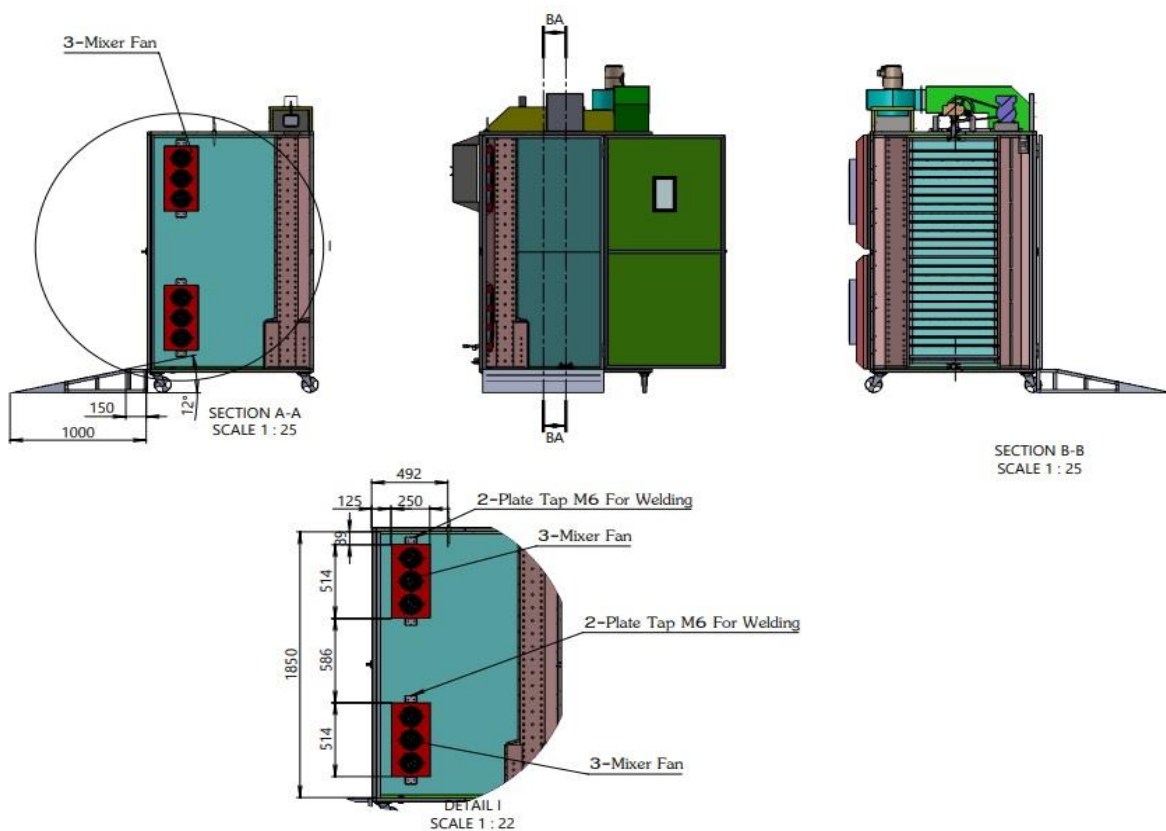
ขั้นตอนการออกแบบเครื่องอบแห้งถาดหมุนขนาด 20 ถาด เป็นเครื่องที่ถูกพัฒนาต่อจาก เครื่องอบแห้งระบบลมร้อนระบบถาดหมุน (เลขที่อนุสิทธิบัตร 18896) โดยการเขียนชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องอบแห้งด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดขนาดเครื่องอบแห้งใหม่ โดยการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์โดยพัฒนาจากแบบเครื่องอบแห้งทางวิศวกรรมที่ได้กำหนดระบุในข้อเสนอโครงการ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานของผู้ใช้ หรือ เจ้าหน้าที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮเพื่อให้เกิดความเข้าใจในการทำงานดั่งนั้น ภาพ 3.1-3.2 ได้ยกตัวอย่างการเขียนแบบ 3D เพื่อกำหนดรูปร่าง และขนาดเบื้องต้นของ ลักษณะของ (Conceptual design) หลังจากทีปรับแบบเครื่องอบแห้งให้เหมาะสม ติดตั้งภายในห้องอบแห้งเพื่อช่วยดึงอากาศชื้นออกจากระบบได้เร็วขึ้น และสามารถใช้เป็นระบบเป่าเย็นหลังจากอบแห้ง

ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องอบแห้งเพื่อใช้ในระดับอุตสาหกรรม เริ่มจากการออกแบบในลักษณะ และการออกแบบในลักษณะที่ก่อให้เกิดรูปร่าง (Embodiment design) ตามความเหมาะสมของโรงอบแห้งของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ภาพ 3.1 แบบร่างทางวิศวกรรมที่ลงรายละเอียด (detail design)



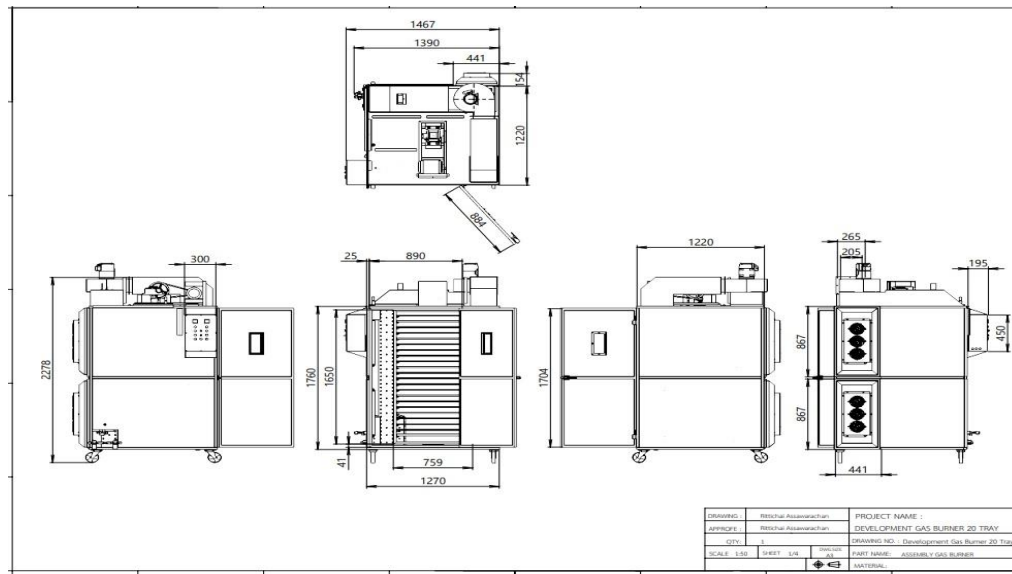


ภาพ 3.2 ลักษณะของแนวคิด (Conceptual design) ของเครื่องอบแห้งระบบอัตโนมัติเพื่อแปรรูปปลั้หมาด (1)

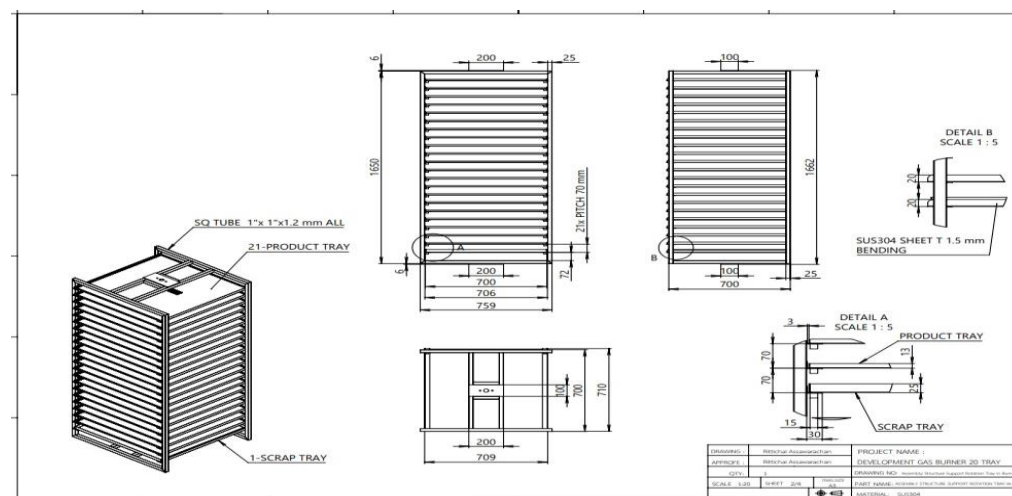


ภาพ 3.3 ลักษณะของแนวคิด (conceptual design) ของเครื่องอบแห้งระบบอัตโนมัติเพื่อแปรรูปพลับพมาด (2)

ภาพ 3.2 และ 3.3 แสดงแบบลักษณะของ (Conceptual design) ของระบบควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้ง และไดอะแกรมการทำงานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบต่างๆ เพื่อให้ระบบการทำงานของระบบอัตโนมัติ แบ่งเป็นระบบควบคุมแหล่งควบคุมการทำงาน รระบบไหลเวียนลมร้อน ระบบควบคุมความร้อนโดยใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบ PID controller ในควบคุมการทำงานของ Solenoid valve (อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซ LPG ของหัวเผา) และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ timer ใช้สำหรับตั้งเวลาในการควบคุม จากนั้นดำเนิน การสร้างต้นแบบและทดสอบ (Construct prototype and prototype testing)



(ก)



(ข)

ภาพ 3.4 ลักษณะของแนวคิด (Conceptual design) ของเครื่องอบแห้งระบบอัตโนมัติเพื่อแปรรูปพลับพมาด (3)

[illegible]

ภาพ 3.6 ไดอะแกรมวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้ง

3.1.2 การพัฒนาเครื่องอบแห้งลูกปลั๊กขนาดอุตสาหกรรม

การดำเนินการรอบสองเดือนการพัฒนาแบบพร้อมก่อสร้างเครื่องอบแห้งขนาด 20 ถาด เพื่อรองรับการอบแห้งได้ 80-100 กิโลกรัม ส่งรายละเอียดของชิ้นส่วนต่างๆ ก่อนถูกนำแบบพร้อมก่อสร้างส่งไปสู่งานผลิตชิ้นส่วนพร้อมจัดทำบัญชีวิศวกรรม จากนั้นดำเนินการศึกษาเครื่องอบแห้ง และร่วมประกอบเครื่องอบแห้งจำนวน 3 เครื่อง และนำไปติดตั้ง ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ และดำเนินการปรับปรุงโรงอบแห้ง โดยมีภาพ แสดงกิจกรรมการพัฒนาเครื่องอบแห้งตามภาพ 3.7 - 3.11



(ก)



(ข)

ภาพ 3.7 กล่องวงจรควบคุมเครื่องอบแห้ง (ก) กล่องควบคุม (ข) วงจรภายในกล่องควบคุม



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ 3.8 ขั้นตอนการขึ้นโครงสร้าง และผนังของเครื่องอบแห้ง (1) (ก) โครงสร้างเครื่องอบแห้ง (ข) เชื่อมโครงสร้างเครื่องอบแห้ง (ค) การเชื่อมแบบอาร์กอาร์กอน (ง) การประกอบฝาหลังเครื่องอบแห้ง



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ 3.9 ขั้นตอนการขึ้นโครงสร้าง และผนังของเครื่องอบแห้ง (2) (ก) ติดตั้งมอเตอร์พัดลม (ข) เครื่องอบแห้งที่ติดตั้งมอเตอร์ (ค) เชื่อมติดตั้งตู้ควบคุม (ง) ติดตั้งตู้ควบคุม



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ 3.10 การขัดเคลือบเงาทำความสะอาดโครงสร้าง และผนังของเครื่องอบแห้ง (ก) การเจาะประกอบเครื่องอบแห้ง (ข) การเจาะแผ่นเครื่องอบแห้ง (ข) การเจาะแผ่นเครื่องอบแห้ง (ง) การชุดรอยเชื่อม



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ 3.11 ขั้นตอนการติดตั้งหัวแก๊ส และระบบตู้ควบคุมของเครื่องอบแห้ง (ก) ติดตั้งวาล์วแก๊ส (ข) ปรับและติดตั้งระบบหัวเผา (ค) จุดไฟระบบแก๊ส (ง) ทดสอบระบบตู้ควบคุม

3.1.3 ทดลองการอบแห้งเพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ของการอบแห้งพลับ

ทดลองการอบแห้งเพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ของการอบแห้งพลับแบ่งเป็นการค่าความชื้นและ ปริมาณน้ำอิสระ และสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) สารประกอบ TPC และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ คือ ผลพลับพันธุ์ P2 เป็นลูกพลับที่ตกเกรดจากการคัดบรรจุของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาเท่ากับ 5.41 ± 0.83 , 5.08 ± 0.43 และ 3.21 ± 0.73 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 10.4 ± 1.72 กรัมต่อลูก (ประมาณ 10-12 ลูกต่อหนึ่งกิโลกรัม) ซึ่งเป็นลูกพลับที่ไม่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ไม่สามารถนำไปขายเป็นผลสดได้ อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาของ ฝ่ายงานวิจัยและพัฒนาไม้ผลของศูนย์พัฒนาโครงการหลวง พบว่าผลผลิตของลูกพลับ 1 ต้นจะมีลูกพลับเท่ากับ 150-200 กิโลกรัม โดยแบ่งเป็นพลับที่ได้มาตรฐาน มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักเฉลี่ย 130-150 กรัมต่อลูก โดยคิดเป็นร้อยละ 60 ของผลผลิตทั้งหมด ดังนั้นผลพลับที่นำมาใช้ในการศึกษาทดลองนี้มีร้อยละ 30 คิดเป็นผลผลิตต่อต้นเท่ากับ 45-60 กิโลกรัม สามารถประเมินเป็นปริมาณลูกพลับที่ตกเกรดในพื้นที่เท่ากับ 1,260 ตัน (หมายเหตุ ลูกพลับร้อยละ 10 เป็นลูกพลับที่มีผลลีบ ลูกเล็กมาก และเน่าเสีย) ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้ใช้ลูกพลับตกเกรดดังกล่าวเพื่อใช้ในการศึกษา ผลพลับที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นผลพลับที่ความสุกโดยด้วยวิธีการบ่มสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สัดส่วนสารละลายเอทานอล 15 มิลลิตรต่อการบ่มลูกพลับจำนวน 5 กิโลกรัมเป็นเวลา 3 วัน ตามที่แสดงในภาพ 3.11 แสดงการเปรียบเทียบผลพลับก่อนและหลังการบ่มให้สุก



(ก)



(ข)

ภาพ 3.12 วัตถุดิบสายพันธุ์ P2 ที่ใช้ในโครงการวิจัย (ก) พลับดิบ (ข) พลับบ่มสุก

จากนั้นสุ่มตัวอย่างลูกพลับวัดความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก (องศาบริกซ์) เพื่อควบคุมความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายของลูกพลับ เท่ากับ 18.5 ± 1.32 องศาบริกซ์ นำตัวอย่างพลับไปปั่นละเอียด ดูนํ้ามาหยดลงเครื่องวัดความหวาน Refractometer เพื่อวัดค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลาย ตามที่แสดงขั้นตอนในภาพ 3.12



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพ 3.13 การตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพของลูกพลับเบื้องต้น

การตรวจวัดสมบัติทางเคมีกายภาพของลูกพลับสด (ก) ลูกพลับสด (ข) การวัดขนาด (ค) การวัดน้ำหนัก (ง) การบดเนื้อลูกพลับ (จ) หยดตัวอย่างลงเครื่องวัดความหวาน refractometer (ฉ) การวัดค่าบริกซ์ของลูกพลับสด

การดำเนินการวิเคราะห์เนื้อพลับที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้นำพลับที่ป่มความสุก โดยควบคุมระดับความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลายของลูกพลับ เท่ากับ 18-20 องศาบริกซ์ เพื่อใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป จากผลการเตรียมลูกพลับ ได้นำลูกพลับไปปอกเปลือก และนำส่วนที่เป็นเนื้อลูกพลับไปอบแห้ง ผลการวิเคราะห์สมมูลมวลชิ้นพื้นฐาน พบว่า ผลการทดสอบอบแห้งพลับสดจำนวน 10 กิโลกรัม (คัดเฉพาะลูกสวย) หลังจากการปอกแล้ว แบ่งเป็นเนื้อพลับเท่ากับ 8.07 ± 0.91 กิโลกรัม เปลือกนอก เท่ากับ 1.42 ± 0.84 กิโลกรัม และส่วนที่ถูกตัดแต่งบริเวณขั้ว เท่ากับ 0.34 ± 0.31 กิโลกรัม และส่วนที่สูญหายในระหว่างกระบวนการปอกเปลือก



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ 3.14 ส่วนประกอบต่างๆ ของลูกพลับ

(ก) พลับสด (ข) เนื้อพลับที่ปอกแล้ว (ค) เปลือกพลับ (ง) ส่วนที่ถูกตัดแต่งบริเวณขั้ว

การวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้น

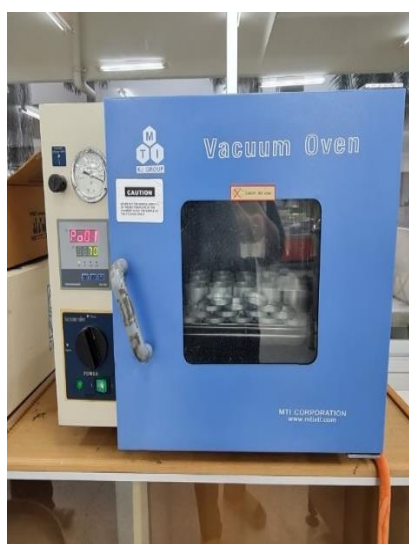
นำเนื้อพลับสดจำนวน 1 กิโลกรัม นำมาปอกเปลือก จากนั้นนำมาแบ่งบรรจุลงในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนที่มีซิปล็อคเก็บไว้ในตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 10 องศาเซลเซียส เนื้อเนื้อพลับสดมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 84.7 ± 2.04 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก และวิเคราะห์หาค่าความชื้นเริ่มต้นของเนื้อพลับสด ด้วยวิธีมาตรฐานใช้เนื้อลูกพลับ จำนวน 5.0 กรัมใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมขนาด 3 ออนซ์ ที่ผ่านการอบเพื่อไล่ความชื้น จำนวน 25 ตัวอย่าง และทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบแห้งระบบสุญญากาศ (500/108I, Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 70 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (AOAC, 2010) จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิตอล (CP2245, Sartorius analytical, Switzerland) ความชื้นของเนื้อพลับสด (กรัมน้ำ/กรัมน้ำหนักแห้ง) ถูกคำนวณโดยใช้สมการ (2.1)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 3.15 การวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้น

(ก) เตรียมตัวอย่าง (ข) นำตัวอย่างเข้าเครื่องอบ (ค) อบแห้งด้วยระบบสุญญากาศ

การวิเคราะห์ค่าความชื้นสมดุลของเนื้อผลไม้โดยใช้วิธีการทางสถิติ โดยหั่นเนื้อผลไม้วางไว้ในขวดโหลทนความร้อนสามารถปิดได้สนิทโดยมีแผ่นยางกันการรั่วซึมภายในมีตะแกรงสำหรับวางตัวอย่าง จากนั้นนำสารละลายเกลือทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ ลิเทียมคลอไรด์ (LiCl), แมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), แมกนีเซียมไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), โซเดียมคลอไรด์ (NaCl), โพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) จากนั้นวางตัวอย่างเนื้อผลไม้วางไว้ในขวดโหล ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในขวดโหล

ทำการทดลองโดยนำตัวอย่างผลไม้มาสไลด์ให้เป็นแผ่นบางๆ วางลงบนตะแกรงเหนือสารละลายเกลืออิ่มตัวที่บรรจุไว้ในขวดโหลแสดงดังภาพ 3.16 โดยสารละลายเกลืออิ่มตัวแต่ละชนิดจะถูกควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากับ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่องอบแห้งเพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหนือสารละลายเกลืออิ่มตัว จากนั้นนำน้ำหนักกลับในแต่ละขวดโหลทุกๆ 24 ชั่วโมง จนกว่าน้ำหนักของผลไม้จะมีค่าคงที่ ซึ่งแสดงว่าถึงสภาวะสมดุลแล้ว จึงนำผลกลับดังกล่าวไปหาค่ามวลแห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นจำนวน 3 ชั่วโมง นำค่าน้ำหนักเนื้อผลไม้กลับที่สภาวะสมดุลกับค่ามวลแห้งมาคำนวณหาค่าความชื้นสมดุล



(ก)



(ข)

ภาพ 3.16 การวิเคราะห์ค่าความชื้นสมดุลของเนื้อปล้โดยใช้วิธีการทางสถิติ

ตารางที่ 3.1 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหนือสารละลายเกลืออิมิตัวชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ

สารละลายเกลืออิมิตัว	อุณหภูมิ		
	45	55	65
สารละลายเกลือลิเทียมคลอไรด์ (LiCl)	0.116	0.114	0.112
สารละลายเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (MgCl ₂ ·6H ₂ O)	0.319	0.313	0.457
สารละลายเกลือแมกนีเซียมไนเตรตเฮกซะไฮเดรต (Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O)	0.484	0.457	0.431
สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	0.751	0.745	0.737
สารละลายเกลือโพแทสเซียมไนเตรต (KNO ₃)	0.863	0.830	0.793
สารละลายเกลือโพแทสเซียมซัลเฟต (K ₂ SO ₄)	0.959	0.955	0.951

(ที่มา สมชาติ 2540)

การวัดปริมาณน้ำอิสระ

ปริมาณน้ำอิสระหรือวอเตอร์แอกติวิตี (water activity) เขียนย่อว่า a_w เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ มีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษา และความปลอดภัยอาหาร นำเนื้อปลั้บอบหมามาปั่นละเอียด จากนั้นนำเข้าเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ หรือวอเตอร์แอกติวิตีด้วยเครื่อง rotronic เทคนิคการวัดแบบ Dew Point Technique ซึ่งได้รับการรับรองจาก AOAC ทำการทดลองวัดปริมาณน้ำอิสระตัวอย่างละ 5 ซ้ำ



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 3.17 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

(ก) เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (ข) ขั้นตอนการเตรียมวัดปริมาณน้ำอิสระ (ค) ลักษณะตัวอย่าง

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง

นำตัวอย่างเนื้อปลั้บที่ผ่านการปอกเปลือก ที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (แช่ในสารละลาย KMS ทั้งสามความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม) แล้วนำมาศึกษาอัตราการการเปลี่ยนแปลงความชื้น ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด ซึ่งถูกออกแบบและสร้างในโครงการวิจัยการพัฒนาระบบการแปรรูปปลั้บหมาด (PRP6505031890) ควบคุมอุณหภูมิของอากาศร้อนด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิระบบ PID (TOHO Model: TTM J4/J5 ประเทศญี่ปุ่น) นำตัวอย่างวัดค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงทุกทุก 1 ชั่วโมง (ยี่ห้อ CST รุ่น CDR-3 ผลิตโดยประเทศจีน) สำหรับวัดและบันทึกค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของเนื้อลูกปลั้บและบันทึกค่าและนำไปคำนวณเป็นค่าความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยชุดทดสอบการอบแห้งแบบถาด Drying condition เพื่อหาอัตราการอบแห้ง ช่วงของอัตราการทำแห้งคงที่ (Constant drying rate period) และช่วงของอัตราการทำแห้งลดลง (Falling drying rate period) ซึ่งจะนำไปสู่การศึกษาในขั้นตอนต่อไปการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วที่ระดับต่างๆ

สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) เครื่องวัดค่าสีในระบบ CIE L*a*b*

นำตัวอย่างเนื้อปลาสด และอบแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิทั้งสามระดับ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสจน ปลั้มหามีค่าความชื้นสุดท้าย 22-25 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียกด้วยเครื่องวัดพลังงานรุ่น KM-07-A-2 (Primus company limited, Thailand) และวัดค่าสี ของเนื้อ ลูกปลั้มอบแห้งด้วยเครื่องวัดสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer (HunterLab ModelMiniScan XE PLUS) ครั้งละ 100±15 กรัม โดยวัดค่าสีในระบบ CIE-Lab scale ในรูปแบบของค่าความสว่าง/ความมืด (L^*) ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (a^*) ค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน (b^*)



(ก)



(ข)

ภาพ 3.18 การวิเคราะห์ค่าสีด้วย เครื่อง Spectrophotometer (Hunter LabModel MiniScan XE PLUS)

(ก) วิเคราะห์ค่าสี โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (ข) บรรจุตัวอย่างลูกปลั้ม หลังจากวิเคราะห์ค่าสี

การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกรวม

วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (total phenolic content) โดยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric Method ตามวิธีการของ Sachindra et al. (2010) ใช้สารมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid) ที่ 5 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 กรัมต่อลิตร และเตรียมปลั้ม ที่ผ่านการบดจำนวน 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จำนวน 5 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอน ที่ ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที นำมาทดสอบดั่งนี้ นำตัวอย่างสารสกัดน้ำของปลั้มอบแห้งที่ ละลายในน้ำกลั่น (supernatant) ความเข้มข้น 10 มิลลิลิตรต่อมิลลิกรัมจำนวน 0.2 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย folin-ciocalteu ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์จำนวน 1 มิลลิลิตรและเติมสารละลายโซเดียม

คาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์จำนวน 0.8 มิลลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นอ่านค่าจากการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร จากนั้นนำข้อมูลไปคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก



(ก)



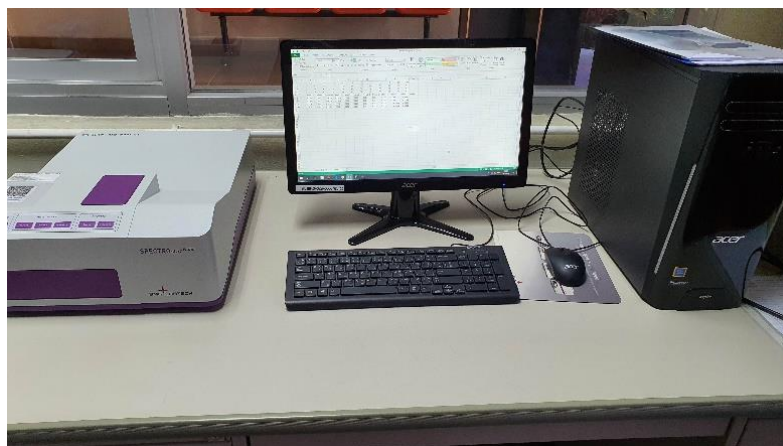
(ข)



(ค)

ภาพ 3.19 ขั้นตอนการวิเคราะห์การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

(ก) เติมน้ำสารละลายสำหรับสกัด Flavonoids ซึ่งมีส่วนผสมของ 0.3% (w/v) AlCl_3 และ 0.03 M potassium acetate ปริมาตร 100 μl ลงใน Microplate (ข) วัดปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกรวม เติมน้ำสารละลายสำหรับสกัดสารประกอบฟีนอลิกรวมซึ่งมีส่วนผสมของ 0.3% (w/v) AlCl_3 และ 0.03 M potassium acetate ปริมาตร 100 μl ลงใน Microplate (ค) วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารผสม



ภาพ 3.20 วัดสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยเครื่อง Microplate Reader

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

■ วิธี Scavenging activity of ABTS radical

นำฟลัรบอบแห้งที่ผ่านการบด ชั่งน้ำหนักแห้งประมาณ 0.5 กรัมเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตรผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาทีดูดตัวอย่างสารสกัดน้ำของฟลัรบไว้ การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวิธี ABTS ได้ดัดแปลงจากวิธีของ Re *et al.* (1999) ดังนี้ เตรียมสาร ABTS [2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] ที่มีความเข้มข้น 7 มิลลิโมล ที่ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และสาร potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ที่มีความเข้มข้น 140 มิลลิโมล ปริมาตร 88 มิลลิลิตร จากนั้นผสมสารละลาย 7 มิลลิโมล ABTS และ 140 mM $K_2S_2O_8$ ในขวดสีชา ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 16 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จะได้ ABTS radical cation stock solution หลังจากนั้นทำการเจือจาง ABTS radical cation stock solution ด้วยน้ำกลั่นให้ค่าดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร เท่ากับ 0.700 ± 0.020 เตรียมสารละลาย ABTS radical cation ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง และใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุมจากนั้นเติมตัวอย่างสารสกัดน้ำของฟลัรบที่ละลายใน dimethyl sulfoxide ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรที่ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา % inhibition หรือการยับยั้งอนุมูลอิสระดังสมการที่ (3.2) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของฟลัรบสภาวะต่างๆ เทียบกับความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน Trolox ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวิตามินอี หรือเรียกว่าค่า TECA (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) รายงานผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (mg TEAC/100 g_{dry matter})

$$\%inhibition = [(A_{734 \text{ control}} - A_{734 \text{ test sample}}) / A_{734 \text{ control}}] \times 100 \quad (3.2)$$

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

วิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity

วิธี DPPH radical scavenging ได้ดัดแปลงมาจาก Hou *et al.* (2001) ดังนี้ ทำการเจือจาง DPPH radical ด้วยเอทานอลให้ค่าดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร เท่ากับ 1.40 ± 0.05 นำตัวอย่างฟลัรบแห้งที่ผ่านการบด จำนวน 0.5 กรัมละลายในน้ำกลั่นที่ปริมาตร 10 มิลลิลิตรผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาทีแล้วดูดตัวอย่างสารสกัดน้ำของฟลัรบที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรที่ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลอง เตรียมสาร 1 M Tris-HCl buffer (pH เท่ากับ 7.9) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และเติม 5 มิลลิกรัม ของ DPPH ในเอทานอลปริมาตร 1.2 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 20 นาที

วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรนำค่าที่ได้ไปคำนวณหา % inhibition จากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างพลับอบแห้ง

โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Trolox รายงานผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (mg TEAC/100 g_{dry matter})

สารเคมีและอุปกรณ์

วัตถุดิบอาหาร

- โปตัสเซียมเมตไบซัลไฟต์ (KMS, Food grade)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

- เมทานอล (Methanol, RCI Labscan, A.R. grade)
- สาร Folin-ciocalteu reagent (RCI Labscan, A.R. grade)
- กรดแกลลิก (Sigma-Aldrich, A.R. grade)
- โซเดียมคลอไรด์ (Sigma-Aldrich, A.R. grade)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

- ไดฟิซิลไฮดราซิล (2,2-Dipheny-1-picrylhydrazyl; DPPH, Aldrich, A.R. grad)
- ไทรพริดีลเทรียซีน (2,4,6-tripyridyl-s-triazine; TPTZ, Fluka, A.R. grade)
- สารเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl₃, LobaChemie, A.R. grade)

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าขึ้นสมดุล

- สารลิเทียมคลอไรด์ (LiCl, Merck, A.R. grade)
- สารแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (MgCl₂-6H₂O, Merck, A.R. grade)
- สารแมกนีเซียมไนเตรตเฮกซะไฮเดรต (Mg(NO₃)₂-6H₂O, Merck, A.R. grade)
- สารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl, Merck, A.R. grade)
- สารโพแทสเซียมไนเตรต (KNO₃, Merck, A.R. grade)
- สารโพแทสเซียมซัลเฟต (K₂SO₄, Merck, A.R. grade)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance, Sartorius model CP 224S)
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath, Memmert model WNB22)
- เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, Metrohm model 744)
- เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (water activity meter)

- เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge, Sorvall model RC-5 plus)
- เครื่องเขย่าสารแนวราบ (orbital shake, Ratek model OM8)
- เครื่องวัดสีในระบบ CIE L*a*b*
- อุปกรณ์เครื่องมือวัด เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความเร็วลม ตาชั่งน้ำหนัก เกจความดันแก๊ส LPG
- ตู้ป้อน (incubator, Termaks M8000)

3.1.4 สถานที่ดำเนินงานวิจัย

ห้องปฏิบัติการด้านนวัตกรรมเกษตร วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

3.1.5 สรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษา

การดำเนินโครงการวิจัยในขั้นตอนสุดท้าย โดยการนำข้อมูลของการดำเนินกิจการของกลุ่มวิสาหกิจแปรรูปผักผลไม้ปลอดภัย บ้านแม่แฮเหนือ มาคำนวณต้นทุนการผลิตเบื้องต้นและวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเบื้องต้น

3.1.6 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

จัดทำรายงานโครงการตามแบบฟอร์มของหลักสูตรปริญญา สาขาวิชาวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร (ต่อเนื่อง) วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

3.1.7 นำเสนอการดำเนินงานและผลดำเนินงาน

นำเสนอรายงานโครงการ การดำเนินงาน และผลการดำเนินงานต่อคณะกรรมการ รวมทั้งทำการแก้ไขปรับปรุงโครงการตามข้อเสนอแนะของคณะกรรมการสอบโครงการ

3.2 แผนการดำเนินงาน

ระยะเวลาดำเนินงานวิจัยการศึกษากระบวนการแบบรูปปลั๊กกิ่งแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบ 2 ขั้นตอนของ เครื่องอบแห้งระบบถาดหมุน กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ ใช้เวลาประมาณ 4 เดือนซึ่งจะมีรายละเอียดแผนการดำเนินงาน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 แผนการดำเนิน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ขั้นตอนการดำเนินงาน			
	1	2	3	4
ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง				
ศึกษาสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของปลั๊กกิ่งแห้ง				
ติดตั้งเครื่องอบแห้ง				
ทดสอบการอบแห้ง				
ทำการทดลอง				
วิเคราะห์ผลการทดลอง				
สรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษา				
จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์				
นำเสนอการดำเนินงานและผลดำเนินงาน				

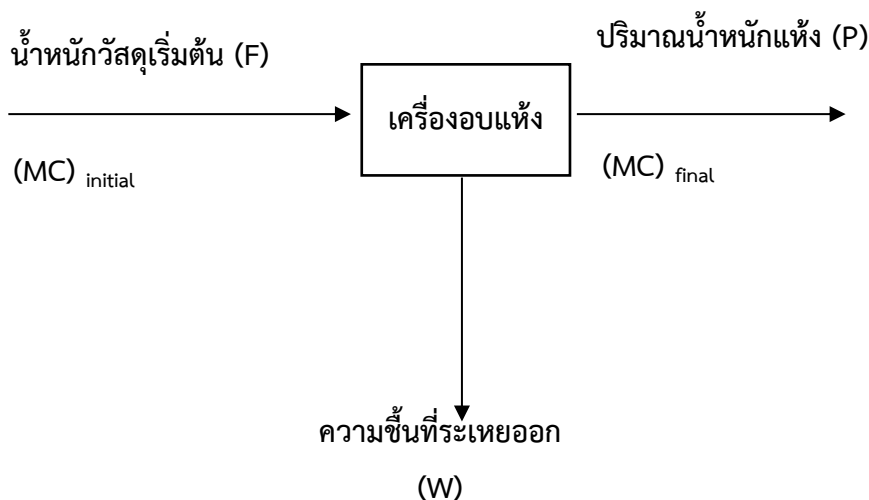
บทที่ 4

ผลและวิเคราะห์ผล

โครงการวิศวกรรมครั้งนี้มีการพัฒนาและวิเคราะห์กระบวนการแปรรูปปลั๊บกึ่งแห้ง นำข้อมูลของการดำเนินการของกลุ่มวิสาหกิจแปรรูปผักผลไม้ปลอดภัย บ้านแม่แฮเหนือ มาคำนวณต้นทุนการผลิตเบื้องต้น พบว่าระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 0.5 ปี และอัตราผลตอบแทนเงินลงทุนเท่ากับ 217.34 เปอร์เซ็นต์ต่อปี มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การวิเคราะห์สมดุลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง

การวิเคราะห์สมดุลความชื้นของการอบแห้ง หมายถึงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในระหว่างการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นของลูกพลับ พื้นฐานการวิเคราะห์สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งมากขึ้นซึ่งสามารถคำนวณได้จากการหาผลเฉลี่ยของสมการ 2 ตัวแปร โดยกำหนดตัวแปรจากสมการสมดุลมวลรวม สมดุลมวลความชื้น และสมดุลของแข็ง มีรายละเอียดตามที่แสดงใน ภาพ 4.1



ภาพ 4.1 แผนผังการวิเคราะห์พื้นฐานสมดุลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้งสมดุลมวลรวม

$$F = P + W$$

จากสมการสมดุลมวลรวมมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำหนักรวมของอาหารเริ่มต้นมีค่าเท่ากับผลรวมของน้ำหนักสุดท้ายของอาหารแห้งและปริมาณน้ำที่ระเหยจากสมการสมดุลมวลรวมนั้นพบว่าติดค่าตัวแปร 2 ตัว ดังนั้นจำเป็นต้องใช้สมการสมดุลของแข็งพบว่าตัวแปรของสมการเหลือเพียงตัวแปรของสมการ W และ P

สมดุลของแข็ง

$$F (1-M.C)_{in} = P (1-M.C)_{final} \quad (4.1)$$

$$P = (F) (1-M.C)_{final}$$

$$(1-M.C)_{in}$$

สมดุลความชื้น

$$P = (F) (1-M.C)_{final} + W \quad (4.2)$$

$$F (M.C)_{w.b} = \frac{P (M.C)_{w.b} + W}{(1-M.C)_{w.b}}$$

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

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน โดยการลดปริมาณความชื้นหรือน้ำอิสระ (water activity) ให้ต่ำในระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในอาหาร นอกจากนั้นการลดความชื้นหรือปริมาตรของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายและสะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่ง ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งในรูปแบบของการผสมผสาน เช่น การใช้พลังงานความร้อนผสมกับคลื่นไมโครเวฟ และการใช้พลังงานความร้อนผสมผสานพลังงานกลเพื่อช่วยเร่งอัตราการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิต่ำทั้งสองกลไกของอบแห้งแบบการผสมผสานจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว และสามารถรักษาสสมบัติทางกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ และผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ยังคงกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการไว้ใกล้เคียงกับผลผลิตสด ฤทธิชัย และคณะ (2559)

$$(1\text{ kg}) (1-0.847) = P (1-0.207)$$

$$P = \frac{(1\text{ kg}) (1-0.847)}{(1-0.20)}$$

$$P = 0.193\text{ kg}$$

ดังนั้นปริมาณน้ำที่ระเหยออกไป

$$F = P+W$$

$$1\text{ kg} = 0.193\text{ kg} + W$$

$$W = 0.807\text{ kg}$$

ดังนั้น การอบแห้งเนื้อปลั้ที่ความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 84.7 ± 2.45 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก ลดลงเหลือความชื้นไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก จะต้องระเหยนํ้าออกจากเนื้อปลั้เท่ากับ 807 กรัม ต่อการทดสอบอบแห้งเนื้อปลั้ 1 กิโลกรัม



ภาพ 4.2 การติดตั้งเครื่องอบแห้งในโครงการวิจัย ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่

การดำเนินโครงการวิจัย แม้ว่าจะได้ใช้ลูกปลั้ตกรวด แต่มีลูกปลั้บางส่วนที่มีการเสียหายบางส่วนไม่สามารถนำมาแปรรูปเป็นปลั้หมาดทั้งใบได้ แต่ส่วนที่ยังไม่เสียหายยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นทีมผู้วิจัยเสนอแนะให้

นำเนื้อพลับมาแปรรูปเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป ทีมผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อพลับชิ้นอบแห้ง (Dried persimmon slices) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นกำลังเป็นที่นิยมในตลาดต่างประเทศ เช่น เกาหลีใต้ และได้หวัน

4.2 การทดสอบการอบแห้งเนื้อพลับชิ้นในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

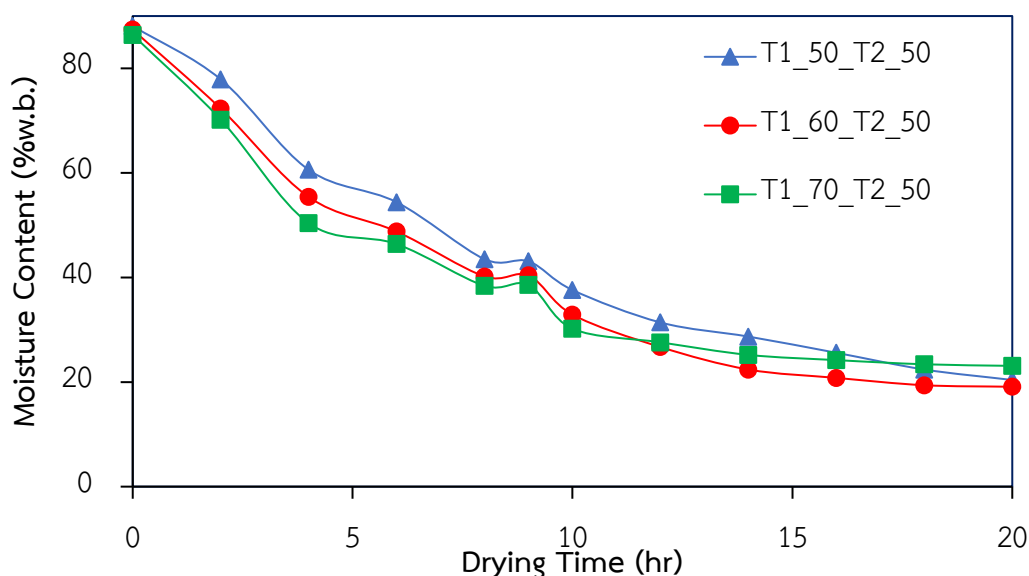


(จ)



(ฉ)

ภาพ 4.3 ภาพขั้นตอนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของเกษตรกร โครงการจัดตั้งกลุ่มวิสาหกิจ แปรรูปผักและผลไม้ปลอดภัยบ้านแม่แฮเหนือ (ก) หั่นลูกพลับ (ข) ปอกลูกพลับ (ค) จัดเรียงชิ้นพลับใส่ถาด (ง) เรียงชิ้นพลับ (จ) เรียงชิ้นพลับ (ฉ) ถาดพลับในเครื่องอบแห้ง



ภาพ 4.4 กราฟแสดงค่าความชื้นและระยะเวลาอัตราการอบแห้ง

จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นเนื้อปลับในระหว่างการอบแห้งที่สภาวะลมร้อน 3 ระดับ โดยอบแห้งจากความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 84.7 เปอร์เซ็นต์น้ำเปียกเหลือความชื้นสุดท้าย 20 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียกโดยแบ่งการอบแห้งเป็นการใช้อุณหภูมิ 2 ช่วงหรือการอบแห้งแบบสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการอบแห้งในช่วงอัตราการระเหยแบบคงที่ ที่มีอุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาตามลำดับ ซึ่งในระหว่างขั้นตอนนี้อัตราการระเหยน้ำ ที่ผิวของปลับมีอัตราเท่ากับการแพร่หรือการถ่ายเทมวลความชื้นจากผนังเซลล์ด้านใน มาทดแทนความชื้นที่ระเหยไปที่ผิวด้านนอกจึงเรียกช่วงนี้ว่า อัตราการทำให้แห้งคงที่ (Constant drying rate period) โดยมีปัจจัยที่ควบคุมการดึงน้ำออกจากอาหารคือ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นและความเร็วของอากาศที่ใช้ในการทำแห้งเป็นต้น เมื่อทำแห้งต่อไปจนกระทั่งถึงความชื้นในระดับหนึ่ง อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารที่แพร่มาที่ผิวด้านหน้าช้ากว่าอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวด้านหน้าอาหาร ทำให้อัตราการทำให้แห้งลดลง ซึ่งเรียกช่วงนี้ว่าช่วงของอัตราการทำให้แห้งลดลง (Falling drying rate period) ดังนั้นเมื่อความชื้นของเนื้อปลับลดลงถึงในช่วง 35 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก จะเกิดการเสียสมดุลระหว่างอัตราการระเหยน้ำที่ผิวด้านหน้าและอัตราถ่ายเทมวลความชื้นจากโครงสร้างเซลล์ภายใน เนื่องจากสัดส่วนของเหลวในโครงสร้างเซลล์ภายในเกิดการสะสมของสารละลายน้ำตาลเข้มข้นมากขึ้น โดยผลของความเข้มข้นน้ำตาล จะทำให้เกิดการตกผลึกบล็อกการถ่ายเทมวลความชื้นเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า กำแพงน้ำตาลจากการตกผลึก (Sugar wall crystallization) ดังนั้นจำเป็นต้องนำเนื้อปลับมานวดเพื่อทำลายผลึกน้ำตาล เพื่อให้โครงสร้างเซลล์ชั้นในสามารถแพร่น้ำมายังหน้าผิวได้เหมือนเดิม อย่างไรก็ตามการระเหยในช่วงนี้จะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ดังนั้นการอบแห้งในขั้นตอนที่ 2 จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิต่ำที่ 50 องศาทุกสภาวะการทดลอง จากกราฟจึงพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งในขั้นตอนที่ 1 จะส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นในขณะที่การอบแห้งในช่วงที่ 2 อัตราการอบแห้งไม่มีการเปลี่ยนแปลง



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 4.5 เปรียบเทียบคุณภาพสีของพลับอบแห้ง

(ก)-(ค) การอบแห้งพลับในช่วง อัตราการทำแห้งคงที่ ที่อุณหภูมิที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบผลการศึกษาคูณภาพของพลับอบแห้ง

Physical and chemical properties	T1@50C T2@50C	T1@60C T2@50C	T1@70C T2@50C
Initial moisture content (Mi)	81.72±2.68	82.39±2.43	81.42±3.61
Final moisture (Mf)	21.72±1.81	20.39±1.63	21.42±2.43
a _w	0.54±0.08	0.52±0.08	0.51±0.08
L*-value	11.43±2.14	27.2±3.44	4.22±3.58
a*-value	17.2±3.44	8.4±2.42	16.5±3.24
b*-value	8.4±3.42	30.4±4.27	2.33±2.82
TPC (mgGAE/ 100g)	54.63±3.64	63.20±4.52	60.10±11.2
DPPH (%)	43.20±3.75	59.99±5.01	61.2±3.68
ABTS (%)	50.25±6.35	61.42±3.71	62.35±2.82

หลังจากที่ได้ทำการอบแห้งพลับเรียบร้อยแล้วได้มีการนำส่งกลุ่มตัวอย่างพลับอบแห้งไปตรวจสอบคุณภาพและทางเคมีกายภาพที่สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าจากตาราง T1@50C T2@50C และ T1@70C T2@50C ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีระยะสัมผัสรวมไปถึงค่าปริมาณน้ำอิสระที่ไม่มีความแตกต่างเช่นกัน สิ่งที่แตกต่างกันคือในเรื่องของค่าสี คือ L*-value และค่า b*-value พบว่าการอบแห้งจาก ภาพ 4.9 การแสดงค่าความชื้นและระยะเวลาอัตราการทำแห้งมี

สภาวะที่เหมาะสมของอัตราการอบแห้งและการรักษาคุณภาพสี โดย T1@60C T2@50C ซึ่งมีค่า L*-value 27.2 ± 3.44 และ b*-value 30.4 ± 4.27 ซึ่งมีความสูงกว่า T1@50C T2@50C และ T1@70C T2@50C ในขณะการตรวจสอบทางด้านเคมีจะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งสูงกว่าที่อุณหภูมิที่ 60 70 และ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งสมบัติทางกายภาพหรือสารต้านอนุมูลอิสระในรูปแบบของ TPC (mgGAE/ 100g) จะเห็นได้ว่าผลของความร้อนสูง มีผลกระทบน้อยกว่าความร้อนต่ำแต่เวลานาน ในส่วนของภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบคุณภาพสีของพลับอบแห้ง (ก) มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลแดง เนื้อสัมผัสนุ่ม (ข) มีเนื้อสัมผัสนุ่มและตึง (ค) มีเนื้อสัมผัสที่หยาบกระด้าง ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาที่เรียกว่าการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์เมื่อได้รับความร้อนนานเกินไป สังเกตได้จากตารางที่ 4.1 T1@50C T2@50C และ T1@70C T2@50C ตลอดการอบแห้งที่อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียสตลอดการอบแห้ง ผลการการอบแห้งนานเกินไป ค่าความชื้นสุดท้ายซึ่งไม่สามารถต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสได้ ในขณะที่ (ค) มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้มแดงเนื่องจากการเกิดเป็นสีน้ำตาลจากการได้รับความร้อนนานเกินไป มีลักษณะผิวแห้งและผลึกน้ำแข็งเคลือบอยู่บริเวณผิวอย่างชัดเจน ซึ่งในส่วนนี้เป็นกลไกทางเคมี

4.3 การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสร้างเครื่องอบแห้ง และการผลิต

การคำนวณการเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อประเมินต้นทุนการผลิตพลับอบแห้ง (พลับหมาด) ด้วยเครื่องอบแห้ง โดยทดสอบแปรรูปผลิตภัณฑ์เต็มรูปแบบในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน 2566 (จำนวนการผลิต 30 ครั้ง) เพื่อทดสอบตลาด โดยกลุ่มวิสาหกิจแปรรูปผักและผลไม้ปลอดภัยบ้านแม่แฮเหนือเป็นผู้ดำเนินการผลิตพบว่า สามารถสามารถอบแห้งได้สัปดาห์ละ 45 กิโลกรัมแห้ง จำนวน 30 สัปดาห์ คิดเป็นปริมาณผลิตภัณฑ์พลับอบแห้ง เท่ากับ 1,350 กิโลกรัม สามารถจำหน่ายราคา 300 บาทต่อ กิโลกรัมแห้ง ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปพลับอบแห้ง (พลับหมาด) มีรายรับเท่ากับ 405,000 บาท หรือมีรายได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 135,000 บาทต่อเดือน

ต้นทุนการผลิตเครื่องอบแห้งจำนวน 3 เครื่อง	750,000	บาท
ต้นทุนผันแปรของพลับสด (กิโลกรัมละ 15 บาท) จำนวน 13,500 กิโลกรัม	202,500	บาท
ต้นทุนผันแปรของพลังงานความร้อน (LPG) ขนาด 48 กิโลกรัม จำนวน 9 ถัง	22,500	บาท
ต้นทุนผันแปรของค่าไฟฟ้า จำนวน 430 หน่วย (kW-hr)	4,150	บาท
ต้นทุนผันแปร ค่าจ้างแรงงานจำนวน 10 คน (จ้างเหมา)	27,000	บาท
ต้นทุนผันแปร ต้นทุนบรรจุภัณฑ์ จำนวน 5,000 กล่อง	60,000	บาท
ต้นทุนผันแปร ต้นทุนทางการตลาด และเก็บรักษา	298,500	บาท
ต้นทุนผันแปร (รวม)	614,650	บาท
จำลองเป็นรายได้ต่อปี		

รายได้จากการจำหน่ายปลั๊กบ็อกซ์แก๊ส (ปลั๊กหมาด)	1,620,000	บาท
จำลองเป็นรายได้ต่อปี		
มูลค่าซาก	7,000	บาท
อายุการใช้งาน	8	ปี
ดอกเบี้ย	10	เปอร์เซ็นต์

ต้นทุนคงที่

- ค่าเสื่อมราคาเครื่อง (F_1)

ใช้สมการคำนวณค่าเสื่อมราคาเครื่องอบแห้งระบบภาคหมุนแบบเส้นตรง

$$F_1 = \frac{P - L}{N}$$

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

$$F_1 = \frac{750,000 - 7,000}{8}$$

$$F_1 = 92,875 \quad \text{บาทต่อปี}$$

$$F_1 = 92,875 \quad \text{บาทต่อปี}$$

- ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน (F_2)

ใช้สมการคำนวณค่าดอกเบี้ยในการลงทุนของการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้ง

$$FC + OC = 130,725 + 614,650$$

เมื่อ i คือ อัตราดอกเบี้ย (บาทต่อปี)

$$F_2 = \frac{(750,000 + 7,000)(0.1)}{2}$$

$$F_2 = 37,850 \quad \text{บาทต่อปี}$$

ดังนั้นต้นทุนคงที่รวม ($F_1 + F_2$) มีค่าเท่ากับ

$$(F_1 + F_2) = 92,875 + 37,850 \quad \text{บาทต่อปี}$$

$$= 130,725 \quad \text{บาทต่อปี}$$

ดังนั้น ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการความร้อนเสริมติดตั้งในโรงอบแสงอาทิตย์เท่ากับ 130,725 บาทต่อปี

การวิเคราะห์ต้นทุนการอบแห้งปลั๊กแห้ง (ปลั๊กหมาด) ทั้งหมดของการทำงานของเครื่องอบแห้งในโครงการวิจัยนั้นเท่ากับ

$$FC + OC = 130,725 + 614,650 \quad \text{บาท}$$

$$= 745,375 \quad \text{บาท}$$

ดังนั้นการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเบื้องต้นของการแปรรูปปลั๊กอบแห้ง (ปลั๊กหมาด) ค่าเท่ากับ 300 บาทต่อกิโลกรัม รายได้หลังจากการดำเนินโครงการวิจัยพบว่า กลุ่มวิสาหกิจแปรรูปผักและผลไม้ปลอดภัยบ้านแม่แฮเหนือมีรายได้ในการจำหน่ายปลั๊กอบแห้ง (ปลั๊กหมาด) เท่ากับ 1,620,000 บาท เกิดกำไรเท่ากับ 1,620,000 - 745,375 เท่ากับ 874,675 บาทต่อปี

การคำนวณจุดคุ้มทุน คำนวณเฉพาะส่วนในการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยเครื่องอบแห้งในโครงการ

รายได้ในการดำเนินการผลิตการแปรรูปปลั๊กอบแห้ง (ปลั๊กหมาด) มีค่าเท่ากับ 1,620,000 บาทต่อปี ดังนั้นการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของโครงการมีค่าเท่ากับต้นทุนการอบแห้งต่อหน่วยรายได้ที่เกิดขึ้น คิดเป็นสัดส่วนของผลผลิตเปรียบเทียบกับรายได้ในการจำหน่าย

$$\text{ระยะเวลาในการคืนทุน} = (\text{ต้นทุนการอบแห้งต่อปี/รายได้})$$

$$= 745,375 / 1,620,000$$

$$= 0.5 \text{ ปี}$$

การคำนวณอัตราผลตอบแทนเงินลงทุนการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยเครื่องอบแห้ง

อัตราผลตอบแทนเงินลงทุนหาได้จากความสัมพันธ์

$$\begin{aligned}\text{อัตราผลตอบแทนเงินลงทุน} &= (\text{รายได้/ต้นทุนการอบแห้ง}) \\ &= 1,620,000 / 745,375 \\ &= 217.34 \text{ เปอร์เซ็นต์ต่อปี}\end{aligned}$$

ดังนั้นการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเบื้องต้น เมื่อนำไปใช้กับการแปรรูปปลั้หมาด พบว่ามีต้นทุนการผลิตรวมเท่ากับ 745,375 แต่สามารถสร้างรายได้ เท่ากับ 1,620,000 บาท สามารถวิเคราะห์เป็นระยะเวลาในการคืนทุนในการคืนทุน เท่ากับ 0.5 ปี และมีอัตราผลตอบแทนเงินลงทุน เท่ากับ 217.34 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ตามลำดับ

$FC + OC$

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลจากการศึกษากระบวนการแบบรูปหล่อแข็งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบ 2 ขั้นตอนของเครื่องอบแห้งระบบ ถาดหมุน กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ ข้อสรุปและข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลโครงการ

จากการศึกษากระบวนการแบบรูปหล่อแข็งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบ 2 ขั้นตอนของเครื่องอบแห้งระบบ ถาดหมุน กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ มีข้อสรุปดังนี้

1. การวิเคราะห์สมดุลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง การอบแห้งเนื้อปลั้วที่ความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 84.7 ± 2.45 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก ลดลงเหลือความชื้นไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก จะต้องระเหยน้ำออกจากเนื้อปลั้วเท่ากับ 807 กรัม ต่อการทดสอบอบแห้งเนื้อปลั้ว 1 กิโลกรัม
2. การทดสอบการอบแห้งเนื้อปลั้วขึ้นในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งโดยสภาวะการอบแห้ง อุณหภูมิแบบ 2 ขั้นตอน แบ่งเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิในชั้นที่หนึ่งที่ 3 ระดับอุณหภูมิ ได้แก่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำขึ้นปลั้วมานวดจนนิ่ม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนเหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก เปรียบเทียบอัตราการอบแห้ง สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของปลั้วอบกึ่งแข็ง สารประกอบ TPC และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปปลั้วขึ้นที่การอบแห้งที่อุณหภูมิในชั้นที่หนึ่งที่ 60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในชั้นที่สอง ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด มีค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 20.39 ± 1.63 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก ปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.52 ± 0.08 มีสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ในระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ ที่ดีที่สุดเท่ากับ 27.2 ± 3.44 , 8.4 ± 2.42 และ 30.4 ± 4.27 ตามลำดับ มีสารประกอบ TPC เท่ากับ 63.20 ± 4.52 mgGAE/ 100g และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เท่ากับ 59.99 ± 5.01 และ 61.42 ± 3.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
3. การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสร้างเครื่องอบแห้ง ได้นำข้อมูลของการดำเนินกิจการของกลุ่มวิสาหกิจแปรรูปผักผลไม้ปลอดภัย บ้านแม่แฮเหนือ มาคำนวณต้นทุนการผลิตเบื้องต้น พบว่าระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 0.5 ปี และอัตราผลตอบแทนเงินลงทุนเท่ากับ 217.34 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษากระบวนการแบบรูปหล่อที่กึ่งแห้งด้วยการใช้อุณหภูมิแบบ 2 ขั้นตอนของเครื่องอบแห้งระบบ ถาดหมุน กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ จังหวัดเชียงใหม่ มีข้อเสนอแนะดังนี้

- ควรมีการศึกษาการอบแห้งที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิและระยะเวลาที่ต่างกันเพิ่มเติม เพื่อที่จะศึกษาว่า ช่วงสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่ต่างกันนั้น จะส่งผลต่อการเปรียบเทียบสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของพลาสติกชีวภาพ สารประกอบ TPC และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันอย่างไร เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ทางเศรษฐวิศวกรรมสำหรับการพัฒนาต่อยอดเป็นวิสาหกิจแปรรูปผักผลไม้ปลอดภัยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ชนันท์ ราชัญนิยม และสุนทร สืบคำ. (2555). การหาไอโซเทอมความชื้นของวัสดุที่ แลกเปลี่ยนความชื้นได้ดี. **วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย**, 18(1), 43-51.
- ธนิดา เกตุวิจิตรชัยอารีย์, อัจฉริยวิริยะ และศิวัช อัจฉริยวิริยะ. 2016. สมบัติทางกายภาพและเชิงความร้อนของ พลับ. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่** 23(1): 73-84.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนูปนนท์. ม.ป.ป. **แอคติวิตีของน้ำ**. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0551/water-activity-> (สืบค้นเมื่อ 12 ตุลาคม 2566)
- ฤทธิชัย อัครราชันย์. 2562. **เครื่องอบแห้งระบบพาด้วยความร้อนแบบบังคับ ของ ม.แม่โจ้**. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <https://today.line.me/th/v2/article/zyK2ED>. (สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2566)
- ฤทธิชัย อัครราชันย์, อุมาร อนุประ , เสมอขวัญ ตันติกุล และพัชรณิ อุณหพิพัฒพงศ์. (2559). จลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อลำไยสีทองด้วยการใช้อุณหภูมิแบบขั้นเดียวและอุณหภูมิแบบหลายขั้น. **วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย**. (22) : 30-40
- วีระศักดิ์ อุดมโชค, พูลศิริ ชูชีพ, นวลปรารค์ ไชยตะขบ, วรวิทย์ ยี่สวัสดิ์ และ พงศกร จิราภรณ์คุปต์. 2552. การเจริญเติบโตทางลำต้นของพลับ (*Diospyros kaki* L.) บนพื้นที่สูงของจังหวัดเชียงใหม่. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาพืช. **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47**. (หน้า 327-334). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ลักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. 2555. การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ, สำนักพิมพ์ท็อป, กรุงเทพฯ, 324 น.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน), มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2564. สิทธิบัตร ไทย เลขที่ 18896. กรุงเทพฯ: กรมทรัพย์สินทางปัญญา.
- สมชาติ ไสภณรณฤทธิ. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- AACC. 2010. **Approved methods of Analysis. 11th Edition**. AACC International, St. Paul, Minnesota, USA.
- Akbari, S and A.C. Reza. 2017. Moisture content modelling of thermal properties of persimmon (cv. 'Kaki'). **Research in Agricultural Engineering** 63(2): 71-78.
- Andrade, P. R. D., Lemus, M.R., Pérez C. C. E. 2011. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. **Vitae**, 18(3), 325–334
- AOAC. 2010. **Official Methods of Analysis. (18th ed.)**, Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.: USA.

-
- Assawarachan, R. 2013. Drying Kinetics of coconut residue in fluidized bed. **International Journal of Agriculture Innovations and Research**. 2, 263-266.
- Bölek, S and E. Obuz. 2014. Quality characteristics of Trabzon persimmon dried at several temperatures and pretreated by different methods. **Turkish Journal of Agriculture and Forester**. 38,242-249.
- Chimsook, T. & Assawarachan, R. 2017. Effect of Drying Methods on Yield and Quality of the Avocado Oil. **Key Engineering Materials**, 735, 127-131
- Fortes, M. & Okos, M.R. 1980. Drying theories: Their bases and limitations as applied to foods and grains. In: Mujumder, A.S., Ed., **Advances in Drying**, 1, Hemisphere, Washington DC, 119-154.
- Hou, W.C., M.H., Lee, H.J., Chen, W.L., Liang, C. H., Han, Y.W., Liu and Y. H. Lin. 2001. Antioxidant activities of dioscorin, the storage protein of yam (*Dioscorea batatas* Decne) tuber. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 49: 4956-4960.
- Hurmasinin, T., Kaki, L and D Incelenmesi,. 2015. Experimental investigation of drying kinetics of Trabzon persimmon (*Diospyros kaki* L.). **GIDA-Journal of Food**. 40 (1): 15-21.
- Idris, A., Khalid, K. and Omar, W. 2004. Drying of silica sludge microwave heating. **Applied Thermal Engineering** 24, 905-918.
- Jongyingcharoen, J.S., Wuttigarn, P. and Assawarachan, R. 2019. Hot Air Drying of Coconut Residue: Shelf Life, Drying Characteristics, and Product Quality. **IOP Conf. Ser.:** Earth Environ. Sci, 301, 012033
- Karakasova L, Babanovska-Milenkovska F, Lazov M, Karakasov B and Stojanova M. 2010. Quality properties of solar dried persimmon (*Diospyros kaki*). **Journal of Hygienic Engineering and Design**, 4: 54–59.
- Kinsella, J. E., & Fox, P. F. 1986. Water sorption by proteins: milk and whey proteins. **Critical reviews in food science and nutrition**, 24(2), 91–139.
- Mohsenin, N.N. 1986. **Physical properties of plant and animal materials**. 2nd ed. New York, United States: Gordon and Breach; 62 p.
- Okos, M.R, Campanella, O., Narsimhan, G., Singh, R.K., & Weitnauer, A.C. 2007. **Food Dehydration**. In: **Handobook of Food Engineering**, Second Edition. Edited by Heldman, D.R., and Lund, D.B. CRC press, 601-744.
- Singh, R. Paul 2001. **Introduction to food engineering, (3rd ed.)**. London: Academic Press.
-

- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2010). **Introduction to Food Engineering (4th ed.)**. China: Elsevier
- Tada, S. 2006. Simultaneous Determination of Sorption Isotherm and Water Diffusivity of Cement Based Materials. **Workshop on Performance Based Evaluation and Indicators for Concrete**. Volume: 1
- van den Berg, C., & Bruin, S. 1981. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. In L. B. Rockland, & G. F. Stewart (Eds.), **Water activity**: Influences on food quality (pp. 2-61). Academic Press.
- Vivek, K., Subbarao, K V and B. Srivastava. 2021. Effect of Thin-Layer Drying on the Quality Parameters of Persimmon Slices. **International Journal of Fruit Science** 21: 587-598.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก



พลับจุกจัด



ชิ้นพลับที่นำมาแปรรูป



นำพลับเข้าเครื่องอบแห้ง



การอบแห้งพลับชิ้น



การอบแห้งขึ้นฟลัปจำนวน 20 ถาด



การทดสอบตู้ควบคุมเครื่องอบแห้ง



การปรับตำแหน่งมอเตอร์ถาดหมุน



การเชื่อมแบบอาร์กอน



การทดสอบหัวเชื่อมแบบอาร์กอน



การเชื่อมติดตั้งตู้ควบคุม



ติดตั้งพัดลมดูดอากาศชุดที่ 1



ติดตั้งพัดลมดูดอากาศชุดที่ 2



วางตำแหน่งฝาครอบพัดลมดูดอากาศ



เจาะตำแหน่งน็อตยึดพัดลมดูดอากาศ



ติดตั้งตำแหน่งมอเตอร์พัดลม



ทดสอบนำพัดลมใส่ภายในเครื่องอบแห้ง

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร (ต่อเนื่อง)
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ทดลองระบบถาดหมุน



ทดลองระบบถาดหมุน



ขัดเก็บรอยตู้อบแห้ง



วางตำแหน่งตู้ควบคุม



ทดสอบปุ่มเปิดไฟภายในเครื่องอบแห้ง



ทดสอบปุ่มปิดไฟภายในเครื่องอบแห้ง



ทดสอบปุ่ม เริ่มการทำงาน



เปิดวาล์วแก๊สทดสอบการทำงาน



จุดไฟเลี้ยง ภายในเครื่องอบแห้ง



จุดไฟเลี้ยงเครื่องอบแห้ง



อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของแก๊ส



ปรับตั้งไฟหัวเผาภายในเครื่องอบแห้ง



ปรับตั้งไฟเลี้ยงหัวเผาภายในเครื่องอบแห้ง



ขันล็อกตำแหน่งเมื่อปรับตั้งได้ที่แล้ว

ภาคผนวก

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ-สกุล นายชีวพัฒน์ แวนบอเซอร์

รหัสนักศึกษา 6415125003

วัน เดือน ปี เกิด 14 สิงหาคม 2539



ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษา ที่สำเร็จการศึกษา
ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	2562
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม	2557
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเทพศิรินทร์ นนทบุรี	2554
ประถมศึกษา	โรงเรียนศรีอุบลรัตนาราม	2550

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 12 หมู่ 3

ตำบล ท่าทอง อำเภอ เมือง

จังหวัด พิษณุโลก

รหัสไปรษณีย์ 65000

เบอร์โทรศัพท์ : 088 797 7972

Email Address : chevapatra@gmail.com

Facebook : kento robertson

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นางสาวณัฐธิดา สำราญ

รหัสนักศึกษา 6415125005

วัน เดือน ปี เกิด 11 เมษายน 2544

ประวัติการศึกษา



ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษา ที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยโปลิเทคนิคลานนา เชียงใหม่	2562
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยโปลิเทคนิคลานนา เชียงใหม่	2560
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสันทรายวิทยาคม	2557
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดแม่แก้วน้อย	2554

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 135 หมู่ 3

ตำบล ป่าไผ่ อำเภอ สันทราย

จังหวัด เชียงใหม่

รหัสไปรษณีย์ 50210

เบอร์โทรศัพท์ : 091 852 0307

Email Address : Natthida.samran44@gmail.com

Facebook : Natthida Samran

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นายวสันต์ อามง

รหัสนักศึกษา 6415125009

วัน เดือน ปี เกิด 1 เมษายน 2543

ประวัติการศึกษา



ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษา ที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพะเยา	2564
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพะเยา	2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนผาแดงวิทยา	2557
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านแม่จาวใต้	2554

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 59 หมู่ 7

ตำบล บ้านร้อง อำเภอ จาว

จังหวัด ลำปาง

รหัสไปรษณีย์ 52110

เบอร์โทรศัพท์ : 061 340 3629

Email Address : vasanamong999@gmail.com

Facebook : Vasan Among

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นายกฤษณิน กุณาธรรม

รหัสนักศึกษา 6415125013

วัน เดือน ปี เกิด 28 พฤษภาคม 2542

ประวัติการศึกษา



ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษา ที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์เชียงใหม่	2562
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยการอาชีพบ้านโฮ้ง	2560
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนธีรภานุรักษ์บ้านโฮ้ง	2557
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านโฮ้งศิลาภรณ์	2554

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 182/4 หมู่ 6

ตำบล บ้านโฮ้ง อำเภอ บ้านโฮ้ง

จังหวัด ลำพูน

รหัสไปรษณีย์ 51130

เบอร์โทรศัพท์ : 096 956 4767

Email Address : sexylove_1150@hotmail.com

Facebook : จิ๊ก ก๊วย