



โครงการทางวิศวกรรม

เรื่อง

ผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดอกเก๊กฮวยแห้ง
กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย

Effects of Temperature on the Physical and Chemical Properties of
Dried Chrysanthemum flower (*Chrysanthemum indicum* Linn.)
Case study: Sago Center of Development Royal Project,
Chiangrai Province

นาย	วายุ บำรุงผล	รหัสนักศึกษา	6515125052
นางสาว	อภิญญา ชมเชย	รหัสนักศึกษา	6515125064
นางสาว	ศุภนุช แซ่ซุ่น	รหัสนักศึกษา	6515125072

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร (ต่อเนื่อง)
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ปีการศึกษา 2566



โครงการทางวิศวกรรม

เรื่อง

ผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดอกเก๊กฮวยแห้ง
กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโงะ จังหวัดเชียงราย

Effects of Temperature on the Physical and Chemical Properties of
Dried Chrysanthemum flower (*Chrysanthemum indicum* Linn.)
Case study: Sago Center of Development Royal Project,
Chiangrai Province

นาย	วายุ บำรุงผล	รหัสนักศึกษา	6515125052
นางสาว	อภิญญา ชมเชย	รหัสนักศึกษา	6515125064
นางสาว	ศุภนุช แซ่ซุ่น	รหัสนักศึกษา	6515125072

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร (ต่อเนื่อง)
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ปีการศึกษา 2566



ผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดอกเก๊กฮวยแห้ง

กลุ่มวิสาหกิจชุมชน

กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะเเงะ จังหวัดเชียงราย

Effects of Temperature on the Physical and Chemical Properties of Dried

Chrysanthemum flower (*Chrysanthemum indicum* Linn.)

Case study: Sago Center of Development Royal Project, Chiangrai Province

นาย	วายุ บำรุงผล	รหัสนักศึกษา	6515125052
นางสาว	อภิญญา ชมเชย	รหัสนักศึกษา	6515125064
นางสาว	ศุภนุช แซ่ซุ่น	รหัสนักศึกษา	6515125072

โครงการนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานทดแทน

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คณะกรรมการสอบโครงการ

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัครวราชันย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ทัศนีย์ ชัยยา)

..... คณบดีวิทยาลัยพลังงานทดแทน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง)

วันที่ 10 เดือนมกราคม พ.ศ 2567

@ ลิขสิทธิ์ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงการวิศวกรรม เรื่อง ผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดอกเก๊กฮวย
แห่งกรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย และลุล่วงไปด้วยดีก็เพราะได้รับการช่วยเหลือ
จากรองศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัครราชันย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำปรึกษา และแนะนำวิธีการเขียน
ข้อเสนอโครงการบรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

คณะผู้จัดทำขอเสนอโครงการฯ ขอขอบคุณอาจารย์ทัศนีย์ ชัยยา และรองศาสตราจารย์เสมอขวัญ
ตันติกุล คณะอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตรวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร ที่กรุณามาเป็นกรรมการ
ข้อสอบโครงการในครั้งนี้

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มอบทุนสนับสนุนเพื่อทำโครงการพลังงาน
ทดแทน เทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตรสมัยใหม่ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้งบประมาณ
สนับสนุน "โครงการยกระดับวิสาหกิจชุมชนและผู้ประกอบการใหม่ด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรมการเกษตร
สมัยใหม่ (ภายใต้กิจกรรม : พัฒนากำลังคนด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมอัจฉริยะ)" สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี
ประจำปีงบประมาณ 2565 สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่
สนใจ หากผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำโครงการขออภัยไว้ ณ ที่นี้

นายวายุ	บำรุงผล
นางสาวอภิญญา	ชมเชย
นางสาวศุภนุช	แซ่ซัน

บทคัดย่อ

ชื่อโครงการ ผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดอกเก๊กฮวยแห้ง ภูมิศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย

ผู้ทำโครงการ	1 นายวายุ	บำรุงผล	รหัสนักศึกษา	6515125052
	2 นางสาวอภิญญา	ชมเชย	รหัสนักศึกษา	6515125064
	3 นางสาวศุภนุช	แซ่ซัน	รหัสนักศึกษา	6515125072

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัครราชันย์

กรรมการ 1. รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ต้นตึกุล
2. อาจารย์ทัศนีย์ ชัยยา

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อคุณภาพของดอกเก๊กฮวย (*Chrysanthemum indicum* Linn.). อบแห้ง คุณลักษณะของการเปลี่ยนแปลงสี และสมบัติทางเคมีของดอกเก๊กฮวยอบแห้ง ค่าความสว่าง (L^* -values) และค่าสีเขียว-เหลือง (b^* -values) ลดลงเมื่ออุณหภูมิ และเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง-น้ำเงิน (a^* -values) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การศึกษาเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งของดอกเก๊กฮวยอบแห้งด้วยเปรียบเทียบปริมาณฟีนอลิก ปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบ ABTS และ DPPH ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า เวลาการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสี และการรักษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80, 70 และ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 330, 450 และ 630 นาที ตามลำดับ ปริมาณฟีนอลิก ปริมาณฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบ ABTS และ DPPH มีค่าเท่ากับ 769.8 ถึง 1,122 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ($\text{mg}_{\text{GAE}}/100 \text{ g}_{\text{DM}}$), 208.1 to 272.45 มิลลิกรัมเคอร์ซีตินต่อน้ำหนักที่สกัด 100 กรัม ($\text{mg}_{\text{CE}}/100 \text{ g}_{\text{extract}}$) และ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบ ABTS และ DPPH เท่ากับ was 2,138 ถึง 2,705 และ 2,138.62 to 2,705.2339 มิลลิกรัมTroloxต่อมิลลิลิตรของการสกัด ($\text{mg}_{\text{TEAC}}/\text{ml}$) ตามลำดับ ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการทดลอง พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งดอกเก๊กฮวยคือ อุณหภูมิที่ 70 และ 60 องศาเซลเซียส และนำผลการศึกษาไปขยายผลที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ

คำสำคัญ: ดอกเก๊กฮวย, การอบแห้ง, ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง

Abstract

Project Title	Effects of Temperature on the Physical and Chemical Properties of Dried Chrysanthemum flower (<i>Chrysanthemum indicum</i> Linn.) Case study: Sago Center of Development Royal Project, Chiangrai Province	
Author	1. Mr. Wayu Bamrungphon	Student ID 6515125052
	2. Miss Apinya Chomchoei	Student ID 6515125064
	3. Miss Suphanuch Saesan	Student ID 6515125072
Adviser	Associate Professor Dr.Rittichai Assawarachan	
Committee	1. Associate Professor Samerkhwan Tantikul	
	2. Miss Tasanee Chaiya	

The objective of this study was to investigate the effect of three drying temperatures on quality attributes of dried chrysanthemum flower (*Chrysanthemum indicum* Linn.). The investigated quality attributes were: color change and chemical properties of dried chrysanthemum flower. Result showed that drying temperatures had great effect on the quality attributes of dried chrysanthemum flower. The L*-values and b*-values were found to decrease as affected by drying temperature and drying time, whereas a* parameter increases. Besides that, the was the study to determine appropriate drying temperature of using comparison of dried chrysanthemum flowers with total phenolic and flavonoid content methodology, and antioxidant activity by ABTS and DPPH assays respectively. Results also indicated that drying time has significant effect on color change and antioxidant content. The lowest total color change and highest antioxidant content retention were obtained at drying air temperature of 80°C then 70°C and finally 60°C with drying time of 330, 450 and 630 mins, respectively. The total phenolic, flavonoid content and antioxidant activity (ABTS. DPPH) were in a range of 769.8 to 1,122 mg GAE/100 g DM., 208.1 to 272.45 mg CE/g extract and antioxidant activity was 2,138 to 2,705 and 2,138.62 to 2,705.2339 mg_{TEAC} /ml, respectively. Consequently, the results showed that the appropriate drying temperature of chrysanthemum flowers and identical to 70 °C and 60 °C and the results were applied to the drying of the Sa-Ngo Royal Project Development Center.

Keywords: Chrysanthemum flower, Drying technology, Royal Project Development Cent

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของการดำเนินโครงการงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	5
2.1 ข้อมูลพื้นฐานของดอกเก๊กฮวย	5
2.2 พื้นฐานการอบแห้งด้วยลมร้อน	7
2.3 สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งของอาหาร	13
บทที่ 3 วิธีการวิจัย สถานที่ดำเนินงานวิจัย	16
3.1 การวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้น	16
3.2 ผลของอุณหภูมิลมร้อนต่อคุณลักษณะการอบแห้ง	19
3.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (aw)	23
3.4 การวิเคราะห์คุณภาพสี	24
3.5 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกรวม	25
3.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	31
4.1 แผนการวิจัยโครงการงานวิศวกรรม	31
4.2 สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งดอกเก๊กฮวย	32
4.3 ผลของอุณหภูมิต่อสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (Optical properties) ของดอกเก๊กฮวย	35
4.4 ผลของวิธีการอบแห้งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารฟลาโวนอยด์ และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ	37
4.5 ผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของดอกเก๊กฮวย	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการทดลอง	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	41
ลักษณะที่ก่อให้เกิดรูปร่าง (Embodiment design) ตามความเหมาะสมของโรงอบแห้ง	
ขนาด 100 ถาด	41
ประวัติผู้ทำโครงการ นายวายุ บำรุงผล	53
ประวัติผู้ทำโครงการ นางสาวกัญญา ชมเชย	54
ประวัติผู้ทำโครงการ นางสาวศุภนุช แซ่ซุ่น	55

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 พุ่มดอกเก๊กฮวย ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโงะ จังหวัดเชียงราย	1
1.2 ไร่ดอกเก๊กฮวยและดอกเก๊กฮวยหลังการเก็บเกี่ยวของศูนย์ฯ สะโงะ จังหวัดเชียงราย	2
1.3 ดอกเก๊กฮวยอบแห้งที่รอการอบแห้งเดือนธันวาคม 2562	2
1.4 ดอกเก๊กฮวยอบแห้ง และโรงเก็บดอกเก๊กฮวยอบแห้ง ณ โรงคัดบรรจุของศูนย์ฯ สะโงะ จังหวัดเชียงราย	2
2.1 ลักษณะของดอกเก๊กฮวยเหลือง สายพันธุ์สะโงะ	5
2.2 โครงสร้างหลักที่สำคัญของกลุ่มฟลาโวนอยด์	6
2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความชื้นด้วยตามมาตรฐาน AOAC (2010)	9
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า aw กับค่าความชื้นของอาหารชนิดต่างๆ	12
2.5 แผนผังการวิเคราะห์พื้นฐานสมดุลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้งสมดุลมวลรวม	13
2.6 เส้นโค้งความสัมพันธ์ของเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง	15
3.1 การนึ่งดอกเก๊กฮวยด้วยไอน้ำ	16
3.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อหาค่าความชื้นเริ่มต้นตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2010)	17
3.3 การวิเคราะห์ค่าความชื้นของดอกเก๊กฮวยด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (2010)	17
3.4 การตรวจวัดความชื้นสุดท้ายด้วยเครื่องวัดค่าความชื้นด้วยระบบหลอดฮาโลเจน ของดอกเก๊กฮวยอบแห้ง	18
3.5 เครื่องอบแห้งแบบถาดขนาดห้องปฏิบัติการ	19
3.6 เครื่องอบแห้งขนาด 500 กิโลกรัม หรือขนาด 100 ถาด	20
3.7 การนำตัวอย่างชาดอกไม้ม้เข้าห้องอบแห้ง	21
3.8 การเปิดระบบทำความร้อน Spark gap burner switch	22
3.9 การเปิดระบบควบคุม	22
3.10 หน้าจอระบบควบคุมเครื่องการอบแห้ง แบบ ระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง	23
3.11 การตรวจวัดการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำอิสระของดอกเก๊กฮวยอบแห้งด้วยเครื่องAQUALab	23
3.12 การเตรียมตัวอย่างดอกเก๊กฮวยอบแห้งสำหรับการวัดสี	24
3.13 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Spectrophotometer ยี่ห้อ HunterLab รุ่น MiniScan XE PLUS	24

สารบัญภาพ (ต่อ)

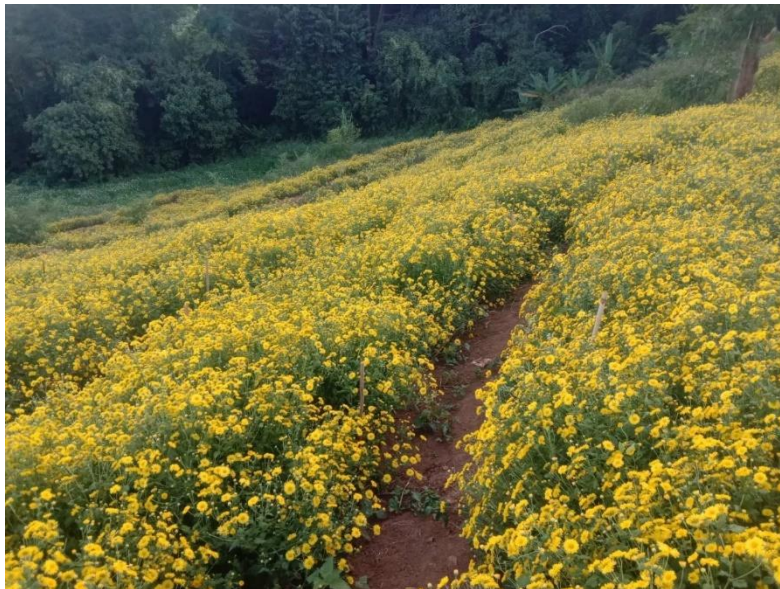
ภาพ	หน้า
3.14 การเตรียมตัวอย่างเพื่อตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม	25
3.15 ขั้นตอนการวิเคราะห์การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม.....	26
3.16 ขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในดอกเก็กฮวยอบแห้งด้วยลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส	26
3.17 ขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์หาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในดอกเก็กฮวยอบแห้ง ด้วยลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส	27
3.18 วัดสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยเครื่อง Microplate reader	28
3.19 ตัวอย่างสารสกัดน้ำของดอกเก็กฮวยที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	29
3.20 ตัวอย่างสารสกัดน้ำของดอกเก็กฮวยที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถ ในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS	30
3.21 ตัวอย่างสารสกัดน้ำของดอกเก็กฮวยที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถ ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	30
4.1 แผนการดำเนินโครงการวิศวกรรม.....	31
4.2 แผนผังการวิเคราะห์พื้นฐานสมดุลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง	32
4.3 แผนผังการวิเคราะห์สมดุลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้งของดอกเก็กฮวยสด	33
4.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกเก็กฮวยในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อนของเครื่องอบแห้ง	34
4.5 สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ ของดอกเก็กฮวยอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง ที่อุณหภูมิเท่ากับ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ.....	35
4.6 ถ่ายดอกเก็กฮวยสด และดอกเก็กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ	36
4.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของดอกเก็กฮวยสด และดอกเก็กฮวยอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของการดำเนินโครงการงานวิจัย

ดอกเก๊กฮวย(Chrysanthemum) หรือดอกเบญจมาจ ชื่อวิทยาศาสตร์ Chrysanthemnm indicum Linn.ชื่อวงศ์ Compositae มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่นและจีน ดอกเก๊กฮวย มีคุณสมบัติละลายในไขมัน นอกจากนั้น ยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ที่ช่วยต้านโรคมะเร็งและโรคหัวใจ ปัจจุบันมีการสนับสนุนการเพาะปลูกต้นดอกเก๊กฮวยเชิงพาณิชย์สำหรับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในพื้นที่เกษตรพื้นที่สูงของประเทศไทย อย่างไรก็ตามดอกเก๊กฮวยสดเป็นพืชที่เน่าเสียง่าย มีอายุการเก็บรักษาสั้นนิยมนำผลผลิตทั้งหมดมาอบแห้งเพื่อยืดระยะเวลาเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2560)

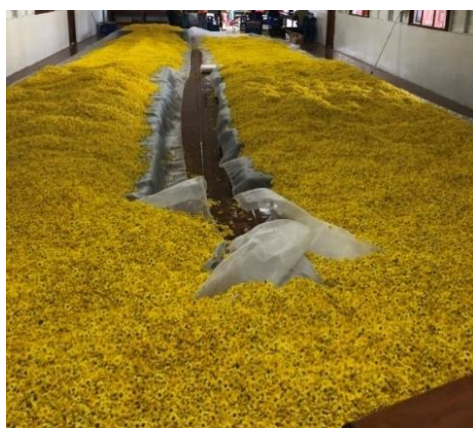


ภาพ 1.1 พุ่มดอกเก๊กฮวย ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยลดปริมาณน้ำในอาหารให้เหลือในระดับที่ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตในอาหารและทำให้เกิดการเน่าเสียได้และช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เป็นสาเหตุการเสื่อมสภาพของอาหาร เช่น การเสื่อมเสียของสมบัติทางกายภาพเช่น สี ขนาด เนื้อสัมผัส และการเสื่อมเสียของสมบัติทางเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมถึงปฏิกิริยาทางเคมีอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการสลายตัวของสารอาหารที่สำคัญ การอบแห้งนับเป็นหน่วยปฏิบัติการทางวิศวกรรมที่สำคัญของอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทั้งในระดับเล็กถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยวัตถุประสงค์ของการอบแห้งนั้นเพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารโดยตรง



ภาพ 1.2 ไร่ดอกเก๊กฮวยและดอกเก๊กฮวยหลังการเก็บเกี่ยวของศูนย์ฯ สะโงะ จังหวัดเชียงราย



ภาพ 1.3 ดอกเก๊กฮวยอบแห้งที่รอการอบแห้งเดือนธันวาคม 2562



ภาพ 1.4 ดอกเก๊กฮวยอบแห้ง และโรงเก็บดอกเก๊กฮวยอบแห้ง ณ โรงคัดบรรจุของศูนย์ฯ สะโงะ จังหวัด
เชียงราย

ศูนย์ฯ สะโงะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตดอกเก๊กฮวยอบแห้งมากขึ้น ลดปัญหาเรื่องผลผลิตดอกเก๊กฮวยเสียหายเนื่องจากไม่สามารถอบแห้งได้ทัน และผลการดำเนินการอบแห้งดอกเก๊กฮวยในฤดูกาลผลิต พ.ศ. 2557 มีกำไรมากกว่าฤดูกาลผลิต พ.ศ. 2556 มากถึง 293.91 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคิดเป็นอัตราผลตอบแทนเงินลงทุน 270 เปอร์เซ็นต์ต่อปี และจุดคุ้มทุนในการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง เท่ากับ 8 เดือน (อัตราดอกเบี้ยที่ 8%) ค่า net present value (NPV) โครงการวิจัยระยะที่ 1 สามารถเกิดมูลค่าโครงการ เท่ากับ 4,98,241.8 บาท โดยรายได้ที่เกิดขึ้นกลับไปสู่การปรับเพิ่มราคารับซื้อดอกเก๊กฮวย ให้แก่กลุ่มเกษตรกร ซึ่งในปี พ.ศ. 2557 สามารถเพิ่มราคารับซื้อดอกเก๊กฮวยจากเดิมราคา 20 บาท เพิ่มขึ้น 30-35 บาท คิดเป็นราคารับซื้อที่เพิ่มขึ้น 43.97% และ 42.25% สามารถผลิตดอกเก๊กฮวยอบแห้งได้เพิ่มขึ้น เป็น 5,000-5,500 กิโลกรัมแห้ง (ปองพล และฤทธิชัย, 2557) ได้ผลิตภัณฑ์ชาดอกไม้อบแห้งที่มีคุณภาพ ส่งผลให้เกิดผลกำไรเป็นที่สนใจให้กับเกษตรกรในการเพาะปลูกพืชสมุนไพร โดยผลสัมฤทธิ์ของโครงการดังกล่าวส่งผลให้เกษตรกรเพิ่มจำนวนในการเพาะปลูกพืชสมุนไพรดอก ดอกเก๊กฮวยมากขึ้น 430 เปอร์เซ็นต์ จาก 27 ครอบครัว เพิ่มขึ้นเป็น 104 ครอบครัว หรือประมาณ 500 คน และมีปริมาณผลผลิตพืชสมุนไพรสดไม่ต่ำกว่า 35,000 กิโลกรัมสด (ฤทธิชัย, 2564) ปริมาณการอบแห้งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3,900 กิโลกรัมแห้งต่อฤดูกาลผลิต ดังนั้นโครงการวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อคุณภาพดอกเก๊กฮวยอบแห้งโดยศึกษาการใช้เครื่องอบแห้งขณะ 500 กิโลกรัมเปรียบเทียบ อัตราการอบแห้ง ค่าพลังงานจำเพาะ สมบัติทางเคมี-กายภาพ สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS และ DPPH) ของดอกเก๊กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิเท่ากับ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในการอบแห้งดอกเก๊กฮวย ของเครื่องอบแห้งขนาด 500 กิโลกรัม ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโงะ จังหวัดเชียงราย

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบ อัตราการอบแห้ง (dM/dt) สมบัติทางเคมี-กายภาพ สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ในระบบสี $CIE-L^*a^*b^*$ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS และ DPPH) ของดอกเก๊กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิเท่ากับ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 วิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้น (Initial moisture content, M_i), และค่าความชื้นสุดท้ายของดอกเก๊กฮวยอบแห้ง (Final moisture content, M_f) การวิเคราะห์อัตราการอบแห้ง (dm/dt)

1.3.2 วิเคราะห์สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ ในระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ ปริมาณน้ำอิสระ (a_w), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (TPC, $mg_{GAE}/100g$), ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%) และ ABTS (%) ของดอกเก๊กฮวย อบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 60 ถึง 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลมคงที่ ที่ 1.5 เมตรต่อวินาที ด้วยเครื่องอบแห้งขนาด 500 กิโลกรัม ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยนี้จะทำให้ทราบถึงข้อมูลพื้นฐานของพารามิเตอร์การอบแห้งดอกเก๊กฮวย ได้แก่ ค่าความชื้นเริ่มต้น ค่าความชื้นสุดท้าย ปริมาณอิสระ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 ได้ข้อมูลเชิงวิศวกรรมของการเปลี่ยนแปลงความชื้น อัตราการการอบแห้งของดอกเก๊กฮวย ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

1.4.2 ได้ข้อมูลผลกระทบของการอบแห้งดอกเก๊กฮวยเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบ เพื่อเป็นแนวทางการอบแห้งรักษาคุณภาพสี และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (TPC, $mg_{GAE}/100g$), ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%) และ ABTS (%) ของดอกเก๊กฮวยอบแห้งที่ความชื้น 8 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก และปริมาณน้ำอิสระไม่เกิน 0.4

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 ข้อมูลพื้นฐานของดอกเก๊กฮวย

ดอกเก๊กฮวย (*Chrysanthemum*) หรือ “ดอก เบญจมาศ” มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Chrysanthemum Indicum* Linn. ชื่อวงศ์ Compositae ชื่ออื่นๆ เบญจมาศสวน, เบญจมาศหนู (ไทยภาคกลาง) เก๊กฮวย (จีน) เป็นไม้ตัดดอกอีกชนิดหนึ่งที่นิยมปลูกเลี้ยงและใช้กันมีการซื้อขายมากที่สุดเป็นอันดับ 2 ของโลก รองจากกุหลาบ เนื่องจากเป็นดอกไม้ที่มีรูปทรงสวยงาม สีสด สดใส ปลูกเลี้ยงง่าย และมีหลากหลายพันธุ์ให้เลือก มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่นและจีน เก๊กฮวยได้จากดอกเบญจมาศสวน เก็บเมื่อบาน นำมาตากแห้งแล้วต้มกับน้ำ น้ำเก๊กฮวยที่ได้จะมีสีเหลือง และสีเหลืองดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นสารจำพวก “คาโรทีนอยด์” (Caratenoids) ที่มีคุณสมบัติละลายในไขมัน นอกจากนี้ยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ที่ช่วยต้านโรคมะเร็งและโรคหัวใจ ในผักใบเขียวคาโรทีนอยด์จะอยู่ในคลอโรพลาสต์ ซึ่งมีคลอโรฟิลล์อยู่ด้วย สีเขียวของคลอโรฟิลล์ จะกลบสีเหลืองของคาโรทีนอยด์จนมองไม่เห็น คาโรทีนอยด์เป็นสารพวกไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว ส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอน 40 อะตอม แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ แคโรทีน และเบต้าแคโรทีน แคโรทีนมีคุณค่าทางโภชนาการบางครั้งเรียกว่า “โปรวิตามินเอ” และสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ที่ลำไส้เล็ก

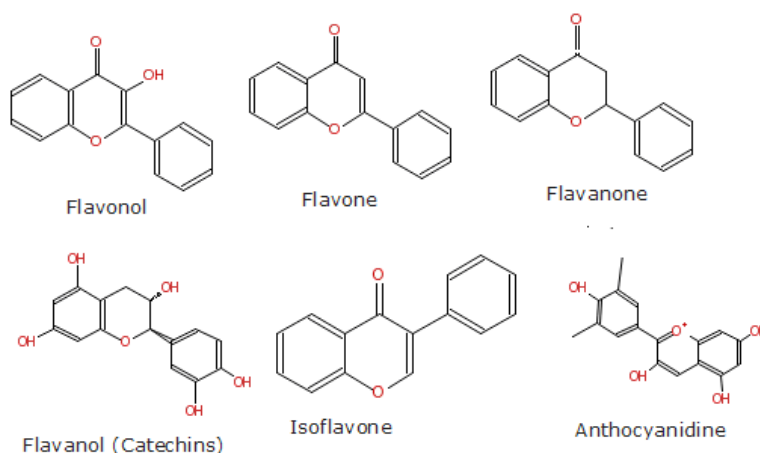


ภาพ 2.1 ลักษณะของดอกเก๊กฮวยเหลือง สายพันธุ์สะงะ

ชนัญ และศรีณู (2562) ศึกษากระบวนการเตรียมสารสกัดสมุนไพรไทยที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากการสกัดสมุนไพรไทย ได้แก่ แก่นฝาง ผลสมอไทย ผลสมอพิเภก ผลมะขามป้อม และลำต้นบอระเพ็ด ด้วยวิธีการแช่ในเอทานอล เพื่อคัดกรองพืชสมุนไพรที่มี ศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสารสกัดแก่นฝางและสารสกัดผลมะขามป้อมมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงกว่าสารสกัดสมุนไพรชนิดอื่น เมื่อสกัดด้วยเมทานอล เอทานอล และ เอทิลอะซิเตท เพื่อคัดเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมพบว่าเอทานอลยังคงเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม เนื่องจากทำให้ได้สารสกัดที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูง และมีปริมาณฟลาโวนอยด์รวมสูง แม้ว่าการสกัดด้วยเอทานอลจะทำให้มี

ผลได้การสกัดน้อยกว่าสารสกัดด้วยเมทานอล อย่างไรก็ตาม เมทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีความเป็นพิษต่ำ และมีราคาถูก จึงมีความเหมาะสมต่อการ สกัดสารออกฤทธิ์จากแก่นฝางและผลมะขามป้อมด้วยวิธีการแช่ ทั้งในระดับชุมชนและระดับอุตสาหกรรม

สารประกอบฟีนอลิก จัดเป็นสารต้านอนุมูลที่ได้รับจากภายนอก และพบได้มากในธรรมชาติ ได้แก่ พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ ซ็อกโกแลต และไวน์แดง เป็นต้น ในปัจจุบันพบสารประกอบฟีนอลิกมากกว่า 8,000 ชนิด ในธรรมชาติ ตั้งแต่โมเลกุลอย่างง่าย เช่น กรดฟีนอลิกฟีนอล โพรพานอยด์ และฟลาโวนอยด์ ไปจนถึงโครงสร้างโพลีเมอร์ที่ซับซ้อน เช่น ลิกนิน เมลานิน และแทนนิน เป็นต้น แม้ว่าปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกในธรรมชาติจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน แต่พบว่าปริมาณโดยเฉลี่ยที่คนได้รับต่อวันจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.02-1 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าปริมาณวิตามินอีที่ได้รับต่อวัน สารโพลีฟีนอลิกเป็นสารที่บ่งชี้ถึงสุขภาพที่สำคัญเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ต้านไวรัส ต้านการอักเสบ ต้านการแพ้ และมีคุณสมบัติในการสลายลิ่มเลือด รวมเป็นสารต้านการก่อมะเร็ง และสามารถลดความดันโลหิตในการสลายลิ่มเลือด เหล่านี้เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติ การเป็นสารต้านอนุมูลโครงสร้างทั่วไปของสารประกอบ ฟีนอลิก ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติก และมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซี อย่างน้อย 1 หมู่ ในที่นี้จะกล่าวถึงสารกลุ่มที่สำคัญได้แก่ ฟลาโวนอยด์



ภาพ 2.2 โครงสร้างหลักที่สำคัญของกลุ่มฟลาโวนอยด์

ที่มา: <http://www.emolecules.com/cgi-bin/search>

สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้หลายกลุ่ม ตามความแตกต่างของสูตรโครงสร้าง โดยเฉพาะวงที่มีอะตอมออกซิเจนอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น อีเทอร์ คีโตน รวมทั้งการมีหมู่ไฮดรอกซีแทนที่บนวงอะโรมาติกในโมเลกุล ตัวอย่างของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ได้แก่ ฟลาแวน (Flanvanes), ฟลาวานอล (Flavanols), ฟลาวานอล (Flavanols) ฟลาโวนอล (Flavonols) ฟลาโวน (Flavonoies) และแอนโทไซยานิน (Anthocyanidins) เป็นต้น ภาพ 2.3 แสดงโครงสร้างหลักที่สำคัญของกลุ่มฟลาโวนอยด์ (โอภา และคณะ, 2549)

2.2 พื้นฐานการอบแห้งด้วยลมร้อน

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยการลดปริมาณน้ำในอาหารลงในระดับที่ส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียไม่สามารถเจริญเติบโตในอาหาร และช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เป็นสาเหตุการเสื่อมสภาพของอาหาร เช่น การเสื่อมเสียของสมบัติทางกายภาพ เช่น สี ขนาด เนื้อสัมผัส และการเสื่อมเสียของสมบัติทางเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมถึงปฏิกิริยาทางเคมีอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการสลายตัวของของสารอาหารที่สำคัญ การอบแห้งนับเป็นหน่วยปฏิบัติการทางวิศวกรรมที่สำคัญของอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทั้งในระดับเล็กถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยวัตถุประสงค์ของการอบแห้งนั้น เพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารโดยตรง เช่น การผลิตที่เหมาะสมต่อการลดการสูญเสียคุณภาพผักและผลไม้ การใช้เทคโนโลยีการอบแห้งที่เหมาะสม รวมถึงการพัฒนาเครื่องอบแห้งให้เกิดความเหมาะสมทั้งด้านการผลิต และด้านเศรษฐศาสตร์

2.2.1 หลักการพื้นฐานของการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารด้วยการลดปริมาณน้ำจากอาหาร ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านมวลความชื้น ด้วยกลไกการแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบต่างๆ การอบแห้งประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นไปกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อให้นักศึกษา และผู้อ่านตำราวิชาเทคโนโลยีการอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร เข้าใจพื้นฐานของการอบแห้งอาหาร ดังนั้นตัวอย่างการอบแห้งสำคัญได้แก่ การอบแห้งด้วยลมร้อนด้วยลมร้อนของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ Tunnel dryer มีกลไกการทำงานโดยการที่ Blower ดูดอากาศสดไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หรือแหล่งกำเนิดความร้อนโดยตรง (Heater) เกิดการเปลี่ยนสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของอากาศมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลง ในที่นี้เรียกอากาศร้อนโดยการอบแห้งจะเริ่มจากการที่ลมร้อนสัมผัสในลักษณะการไหลผ่านวัสดุอาหารที่วางเรียงในถาดในลักษณะการไหลผ่านทิศทางเดียว (Direction of air flow) ส่งผลให้วัสดุอาหารเกิดการเพิ่มอุณหภูมิเนื่องจากวัสดุอาหารดูดซับพลังงานความร้อน และเมื่อวัสดุอาหารดูดซับพลังงานความร้อนถึงระดับหนึ่งปริมาณน้ำในอาหารก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลว กลายเป็นไอน้ำและระเหยออกจากวัสดุอาหารไปกับลมร้อนขึ้นออกจากระบบ (Exhaust air) ผลของปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอาหารส่งผลให้ค่าความชื้นในอาหารลดลงวัสดุอาหารจะแห้งได้มากขึ้น

จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของมันด้วยในการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง เมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอ จะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลง ซึ่งนอกจากจะมีกรณีที่วัตถุดิบมีสภาพเป็นของแข็งที่เปียกชื้นแล้ว ยังมีกรณีที่อบของเหลวข้น (Slurry) หรือของเหลวใสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงอีกด้วย

2.2.2 ค่าพารามิเตอร์การอบแห้ง

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

2.2.3 ค่าความชื้น (Moisture content)

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

ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียกมีค่าเท่ากับมวลของน้ำที่ระเหยออก ในที่นี้คือผลต่างของน้ำหนักตัวอย่าง (Mass of moist sample) ก่อนและหลังการอบแห้งจนตัวอย่างเหลือน้ำหนักแห้ง (Mass of dry solids) โดยสถานะที่ใช้ในการอบแห้งใช้ที่ที่อุณหภูมิ เท่ากับ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเป็นวิธีมาตรฐานการวิเคราะห์ค่าความชื้นตามหลักการของ Association of analytical communities (AOAC, ที่มา: <http://www.aoac.org>) โดยแบ่งการวิเคราะห์หาความชื้นด้วยตามมาตรฐาน AOAC (2010) นั้นมีขั้นตอนในการเตรียมอุปกรณ์ โดยเริ่มจากอบ Moisture can ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำ Moisture can เก็บในโถดูดความชื้นที่มีสารดูดความชื้นซิลิกาเจล ปลอ่ยทิ้งจน Moisture can เย็น จากนั้น เตรียมนำ Moisture can ไปชั่งน้ำหนัก (บันทึกข้อมูล และใส่ตัวอย่างอาหาร หรือวัตถุดิบที่ต้องการหาจากนั้นชั่งน้ำหนักเริ่มต้นเมื่อเตรียมตัวอย่าง (Mass of moisture sample) นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบมาตรฐานที่อุณหภูมิเท่ากับ เท่ากับ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือสภาวะการอบแห้ง

ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (สามารถใช้ได้ทั้งสองสภาวะ) และนำ Moisture can ที่บรรจุตัวอย่างที่แห้งสนิทชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักแห้งโดยลบค่าน้ำหนักของ Moisture can ภาพ 2.3 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความชื้น



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพ 2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความชื้นด้วยตามมาตรฐาน AOAC (2010)

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

สมการหาค่าความชื้นที่ได้จากการวิเคราะห์

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

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

เมื่อ MC_{wb} = ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก (%w.b.)
 w = น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น (กรัม)
 d = น้ำหนักของวัสดุแห้ง (กรัม)

ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง คือ ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่าง (Mass of moisture sample) ก่อนและหลังการอบแห้งจนตัวอย่างเหลือน้ำหนักแห้งหารด้วยน้ำหนักของตัวอย่างแห้ง อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้งซึ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

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

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

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

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

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

ค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้งซึ่งหาค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

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

2.2.4 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 และเชื้อเพลิงให้เป็น

พลังงานในการดำเนินกระบวนการของเซลล์ เป็นค่าที่แสดงระดับพลังงานของน้ำ มีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร ทั้งนี้ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของค่าความดันย่อย (Partial pressure) ของน้ำเหนือวัสดุนั้น (p) ต่อค่าความดันไอสมดุลน้ำ (p_w) ที่อุณหภูมิเดียวกันโดยมีรูปแบบความสัมพันธ์ (พิมพ์เพ็ญ,ม.ป.ป.)

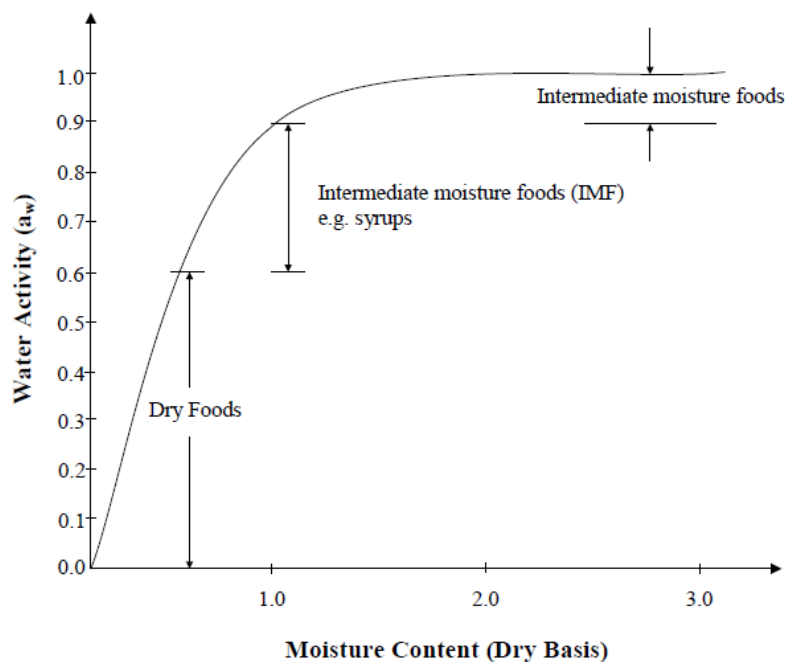
$$a_w = \frac{p_{\text{water above food}}}{p_{\text{pure water}}} = \frac{p}{p_w} \quad (2.5)$$

ปริมาณอิสระสามารถวัดได้จากความชื้นสัมพัทธ์เหนืออาหารในสถานะสมดุล (Equilibrium relative humidity, ERH) ทหาร 100

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

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 สภาพการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ยังส่งผลต่ออายุการเก็บด้วยเช่นกัน การควบคุมค่า a_w ด้วยการลดความชื้นในวัสดุแล้ว ยังมีการควบคุมค่า Water activity แล้วยังสามารถใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า Hurdle technology ซึ่งเป็นการผสมผสานเทคนิคการถนอมอาหารแบบต่าง ๆ มาใช้ร่วมกัน เช่น การใช้อุณหภูมิสูง การควบคุมค่า pH การใช้สารกันเสีย การเติมส่วนผสม (Ingredient) และอื่น ๆ ซึ่งไม่ได้กล่าวรายละเอียดในตำราฉบับนี้ ดังนั้นค่า a_w เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร และการประเมินอายุการเก็บรักษา โดยแบ่งค่า a_w ออกเป็น 3 กลุ่มตัวอย่าง

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



ภาพ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a_w กับค่าความชื้นของอาหารชนิดต่างๆ

2.2.5 ค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture, M_e)

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

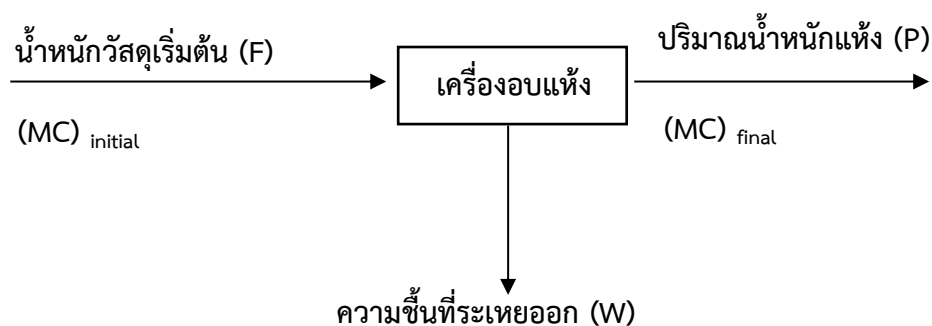
การศึกษาความชื้นสมดุลของวัสดุที่แลกเปลี่ยนความชื้นได้ดีสามารถทำได้หลายวิธี มีทั้งวิธีที่ใช้เวลานานด้วยอุปกรณ์พื้นฐานอย่างง่าย ๆ และประหยัดค่าใช้จ่ายไปจนถึงวิธีที่ใช้เวลาสั้นๆ ด้วยอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงแต่ก็มีราคาแพง

สุทธศรี (2563) การทดสอบหาปริมาณความชื้นในวัสดุเป็นสิ่งที่สำคัญเนื่องจากความชื้นมีผลต่อคุณภาพการผลิต การจัดส่งสินค้า การจัดเก็บหรือจำหน่ายสินค้า จากประสบการณ์กับการตรวจสอบความชื้นในวัสดุจำนวนมาก การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นเป็นองค์ประกอบสำคัญของคุณภาพของวัสดุและเป็นหน้าที่ของการควบคุมคุณภาพในโรงงานผลิตและห้องปฏิบัติการ องค์กรวิจัยทางชีววิทยา ผู้ผลิตยา ผู้ผลิตอาหารและผู้บรรจุหีบห่อ การควบคุมปริมาณความชื้นมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์และวัสดุเกือบทั้งหมดในทุกขั้นตอนของการแปรรูปและผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

2.3 สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งของอาหาร

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน โดยการลดปริมาณความชื้นหรือน้ำอิสระ (Water activity) ให้ต่ำในระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในอาหาร นอกจากนั้นการลดความชื้นหรือปริมาตรของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายและสะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่ง ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งในรูปแบบของการผสมผสาน เช่นการใช้พลังงานความร้อนผสมกับคลื่นไมโครเวฟและการใช้พลังงานความร้อนผสมผสานพลังงานกลเพื่อช่วยเร่งอัตราการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิต่ำทั้งสองกลไกของอบแห้งแบบการผสมผสานจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว และสามารถรักษาสสมบัติทางกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ และผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ยังคงกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการไว้ใกล้เคียงกับผลผลิตสด (ฤทธิชัย, 2564)

การวิเคราะห์สมดุลความชื้นของการอบแห้ง หมายถึงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในระหว่างการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นของอาหารซึ่งในลำดับต่อไปนักศึกษา และผู้อ่านตำราพื้นฐานเทคโนโลยีการอบแห้งในงานวิศวกรรมอาหารเล่มนี้เกิดความเข้าใจพื้นฐานการวิเคราะห์สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งมากขึ้นซึ่งสามารถคำนวณได้การหาผลเฉลยของสมการ 2 ตัวแปร โดยกำหนดตัวแปรจากสมการสมดุลมวลรวม สมดุลมวลความชื้น และสมดุลของแข็ง มีรายละเอียดตามที่แสดงใน ภาพ 2.5



ภาพ 2.5 แผนผังการวิเคราะห์พื้นฐานสมดุลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้งสมดุลมวลรวม

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

จากสมการสมดุลมวลรวมมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำหนักของอาหารเริ่มต้น มีค่าเท่ากับผลรวมของน้ำหนักสุดท้ายของอาหารแห้งและปริมาณน้ำที่ระเหย จากสมการสมดุลมวลรวมนั้นพบว่า ติดค่าตัวแปร 2 ตัว ดังนั้น จำเป็นต้องใช้สมการสมดุลของแข็งพบว่า 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

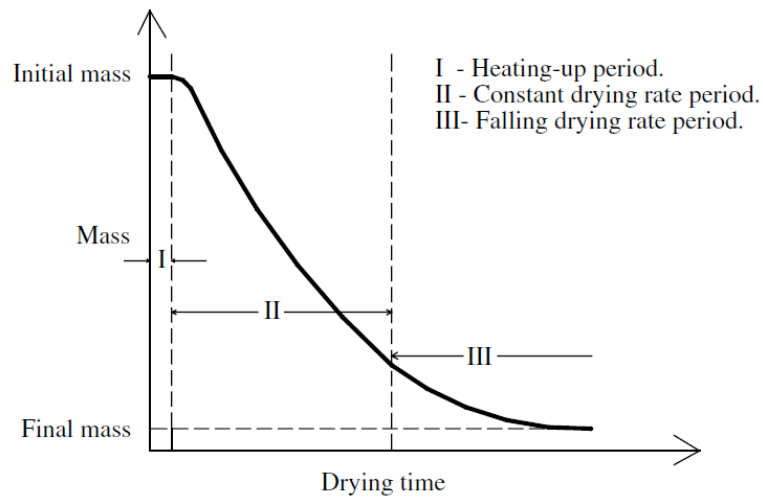
$$F (M.C)_{w.b} = P (M.C)_{w.b} + W \quad (2.10)$$

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

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน โดยการลดปริมาณความชื้นหรือน้ำอิสระ (Water activity) ให้ต่ำในระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในอาหาร นอกจากนี้การลดความชื้นหรือปริมาตรของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายและสะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่ง ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งในรูปแบบของการผสมผสาน เช่น การใช้พลังงานความร้อนผสมกับคลื่นไมโครเวฟ และการใช้พลังงานความร้อนผสมผสานพลังงานกลเพื่อช่วยเร่งอัตราการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิต่ำทั้งสองกลไกของอบแห้งแบบการผสมผสานจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว และสามารถรักษาสสมบัติทางกายภาพ-เคมีของผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ และผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ยังคงกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการไว้ใกล้เคียงกับผลผลิตสด (ฤทธิชัย, 2560)

Idris *et al.* (2004) อธิบายกลไกการเปลี่ยนแปลงมวลของผลผลิตเกษตรในระหว่างกระบวนการอบแห้งเป็น 3 คาบเวลา ได้แก่ คาบเวลาที่ 1 เกิดปรากฏการณ์ถ่ายเทพลังงานความร้อนให้ผลผลิตเกษตรจนถึงอุณหภูมิของการระเหย หรือเรียกว่าการให้ความร้อนช่วงต้น (Heating up period) จากนั้นน้ำอิสระบริเวณผิวหน้าของผลผลิตจะเกิดการระเหย โดยถ่ายเทมวลไปยังตัวกลางทางความร้อน เมื่อน้ำหรือความชื้นที่ผิวลดลง น้ำในโครงสร้างชั้นในเซลล์จะเคลื่อนที่มาแทนที่ผิวหน้าเพื่อทดแทนความชื้นที่สูญเสียไป โดยที่อัตราการระเหยน้ำที่ผิวหน้าจะเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำภายในโครงสร้างเซลล์ชั้นใน เรียกคาบเวลานี้ว่า

คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) ซึ่งจะดำเนินต่อเนื่องไปจนกระทั่งค่าความชื้นเข้าสู่ความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content) ซึ่งอัตราการถ่ายเทมวลของไอน้ำที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำภายในโครงสร้างเซลล์ชั้นใน เกิดเป็นชั้นของความแห้ง (Drying front) กระบวนการอบแห้งจะเข้าสู่คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period)



ภาพ 2.6 เส้นโค้งความสัมพันธ์ของเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้ง
ที่มา: Idris และคณะ (2004)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย สถานที่ดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้การดำเนินโครงการวิศวกรรมบรรลุตามวัตถุประสงค์มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้ ดังนี้ ดำเนินการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับช่อง ได้แก่ ค่าความชื้นเริ่มต้น ค่าความชื้นสุดท้าย ปริมาณน้ำอิสระ ค่าสีในระบบ CIE-L*a*b* ตามวิธีมาตรฐานที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 จากนั้นดำเนินงานศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการอบแห้ง เพื่อหาค่าในการอบแห้งสมบัติทางเคมี-กายภาพเบื้องต้นและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเบื้องต้นของดอกเก๊กฮวยอบแห้งในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการอบแห้ง และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเบื้องต้นของดอกเก๊กฮวยอบแห้งในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งตัวแปรควบคุมในการศึกษาแบ่งเป็น ชนิดของวัสดุทางการเกษตรที่ใช้ในการศึกษา แบ่งเป็นดอกเก๊กฮวย (ลวก) ตัวแปรต้นได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อนที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เพื่อศึกษาผลของตัวแปรตาม สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเบื้องต้นของดอกเก๊กฮวยอบแห้งในห้องปฏิบัติการ

3.1 การวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้น

การวิเคราะห์หาค่าความชื้นเริ่มต้นดอกเก๊กฮวย ได้นำผลผลิตจากศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโงะ จังหวัดเชียงใหม่มาศึกษาหาค่าความชื้นเริ่มต้นของดอกเก๊กฮวยที่ผ่านการลวก โดยสภาวะที่เหมาะสมในการลวกดอกเก๊กฮวยด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.74 นาที และชั้นความหนาของดอกเก๊กฮวยอยู่ที่ 2.0 เซนติเมตร จากนั้นปล่อยให้เย็นก่อนนำไปหาค่าความชื้นเริ่มต้น โดยวัตถุประสงค์ในการนึ่งดอกเก๊กฮวยเพื่อ ลดกลิ่นเหม็นเขียว และช่วยรักษาสีดอกเก๊กฮวย รวมทั้งเป็นขั้นตอนสำคัญในการลดการปนเปื้อนหรืออันตรายจากไซยาไนด์ ซึ่งเป็นองค์ความรู้ที่เกิดจากการดำเนินโครงการวิจัย การพัฒนากระบวนการแปรรูปดอกเบญจมาศป่า (เก๊กฮวย)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 3.1 การนึ่งดอกเก๊กฮวยด้วยไอน้ำ (ก) ดอกเก๊กฮวยสด (ข) ดอกเก๊กฮวยที่ผ่านการนึ่ง (ค) ดอกเก๊กฮวยที่ยังไม่ผ่านการนึ่ง

ภาพที่ 3.2 และ 3.3 แสดงการเตรียมดอกเก๊กฮวยใส่ใน Moisture can ที่ผ่านการอบไล่ความชื้น โดยทดสอบตัวอย่างละ 30 ตัวอย่าง โดยนำไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำฟลา Moisture can มาปิด ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำมาชั่งน้ำหนักหลังการอบแห้ง เพื่อหาปริมาณน้ำทั้งหมด



ภาพ 3.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อหาค่าความชื้นเริ่มต้นตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2010)



(ก)



(ข)

ภาพ 3.3 การวิเคราะห์ค่าความชื้นของดอกเก๊กฮวยด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (2010)

(ก) การเตรียมวัดค่าความชื้นดอกเก๊กฮวย (लग) (ข) ภาพตู้อบลมร้อน

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของดอกเก๊กฮวย ในขั้นตอนแรก ได้แก่ การตรวจวัดปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสมดุลของดอกเก๊กฮวยสดที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำ (ภาพ 3.1) เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการวิเคราะห์สมดุลมวลและสมดุลความร้อนในระหว่างการอบแห้ง ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประมาณขนาดของเครื่องอบแห้งและกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ การศึกษาค่าความชื้นเริ่มต้นของดอกเก๊กฮวยใช้ตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2010) โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ความชื้นเริ่มต้นของดอกเก๊กฮวยที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกมีค่าเท่ากับ 88.63 ± 0.92 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของดอกเก๊กฮวยสด ด้วยเครื่อง AQUAlab เทคนิคการวัดแบบ Dew point technique พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.72 และ 0.76 ตามลำดับ โดยค่าเก๊กฮวยที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำมีปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.94 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ความชื้นสุดท้ายของดอกเก๊กฮวยอบแห้งใช้เครื่องวัดค่าความชื้นระบบหลอดฮาโลเจนซึ่งผ่านสอบเทียบความแม่นยำในการวัดค่าความชื้น และสามารถทราบผลได้ภายใน 5 นาที แบ่งเป็นการวัดค่าความชื้นสุดท้ายที่เวลาต่างๆ ในระหว่างการอบแห้ง และค่าความชื้นสุดท้ายหลังจากการอบแห้ง (ภาพ 3.2-3.3)



ภาพ 3.4 การตรวจวัดความชื้นสุดท้ายด้วยเครื่องวัดค่าความชื้นด้วยระบบหลอดฮาโลเจนของดอกเก๊กฮวยอบแห้ง

3.2 ผลของอุณหภูมิลมร้อนต่อคุณลักษณะการอบแห้ง

3.2.1 การวิเคราะห์เส้นโค้งความชื้นในระดับห้องปฏิบัติการ

การศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนต่อคุณลักษณะการอบแห้งของดอกเก๊กฮวย ใช้เครื่องอบแห้งระบบถาด ขนาด 500 กิโลกรัม โดยวางตัวอย่างที่ทราบค่าความชื้นเริ่มต้นที่ถาดที่ติดตั้งตาข่ายเพื่อบันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป โดยบันทึกน้ำหนัก 5 มิลลิกรัม หรือ 300 วินาที โดยศึกษาเพื่อหาเส้นโค้งความชื้นที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และความเร็วลมเท่ากับ 1.0 เมตร ต่อวินาที นำค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป นำไปคำนวณเป็นค่าความชื้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก (%w.b.) ที่เวลาใดๆ ตามสมการ (2.1) โดยค่าน้ำหนักของดอกเก๊กฮวย (g) ได้จากการวิเคราะห์หาค่าความชื้นเริ่มต้น

ภาพ 3.5 แสดงเครื่องอบแห้งแบบถาดขนาดห้องปฏิบัติการ และการทดสอบเพื่อหาเส้นโค้งแบบถาด ทำการศึกษาจำนวน 3 การทดลอง



ภาพ 3.5 เครื่องอบแห้งแบบถาดขนาดห้องปฏิบัติการ

3.2.2 การวิเคราะห์เส้นโค้งความชื้นของเครื่องอบแห้งลมร้อน ด้วยกลไกการพาความร้อน ขนาดอุตสาหกรรม

การพัฒนา ในการแปรรูปชาดอกไม้ (ดอกเก๊กฮวย) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ผลต่ออัตราการอบแห้ง ค่าพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง คุณภาพทางเคมี-กายภาพของสมุนไพรชาดอกไม้ พร้อมทั้งระบุปัญหาวิศวกรรมสำหรับการประกอบเครื่องอบแห้ง ติดตั้งทางวิศวกรรมและทดสอบการใช้งานเครื่องอบแห้งเพื่อทดสอบการทำงาน ดังนี้

- 1) ออกแบบและจัดทำบัญชีวิศวกรรมของส่วนประกอบเพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งลมร้อน (Tunnel dryer) เพื่อใช้ในการผลิตชาดอกไม้อบแห้ง ดอกไม้สมุนไพรชนิดต่างๆ
- 2) ติดตั้งเครื่องอบแห้งลมร้อน (Tunnel dryer) ในพื้นที่ศูนย์ฯ สะโงะ จังหวัดเชียงราย มีกำลังการผลิตครั้งละ 500 กิโลกรัม^{สด} และทดสอบการทำงาน



ภาพ 3.6 เครื่องอบแห้งขนาด 500 กิโลกรัม หรือขนาด 100 ถาด



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ 3.7 การนำดอกอย่างชาดอกไม้เข้าห้องอบแห้ง

(ก) การเตรียมตัวอย่างบรรจุในถาด (ข) การนำตัวอย่างเข้าตู้อบแห้ง (ค) ขั้นตอนการนำรถเข็นเข้าห้องอบแห้ง
(ง) ขั้นตอนการปิดประตู



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ 3.8 การเปิดระบบทำความร้อน Spark gap burner switch

(ก) ขั้นตอนการวางส่วที่ถึงแก๊ส (ข) ขั้นตอนการเปิด Safety valve (ค) ขั้นตอนการเปิดระบบ Spark gap burner



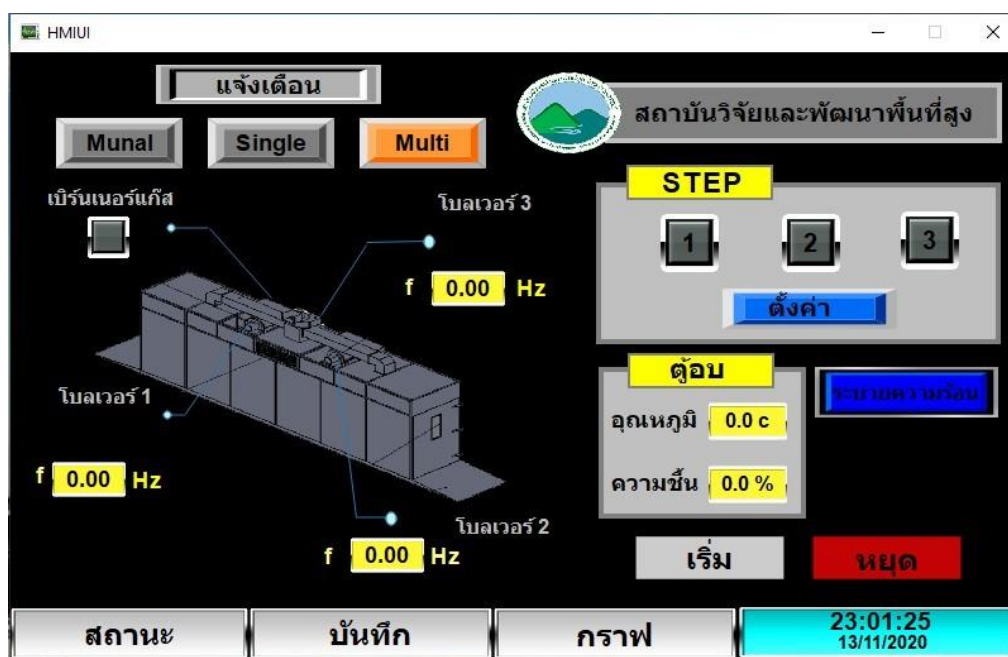
(ก)



(ข)

ภาพ 3.9 การเปิดระบบควบคุม

(ก) การเปิด Breaker switch (ข) การเปิดระบบควบคุมด้านใน



ภาพ 3.10 หน้าจอบริการควบคุมเครื่องอบแห้ง แบบ ระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ มีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษา และความปลอดภัยอาหาร นำดอกเก็กฮวยอบแห้งมาปั่นละเอียด และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20 เมชจากนั้นนำเข้าเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระหรือวอเตอร์แอคทิวิตี ด้วยเครื่อง AQUA lab เทคนิคการวัดแบบ Dew point technique ซึ่งได้รับการรับรองจาก AOAC (2010) ทำการทดลองวัดปริมาณน้ำอิสระตัวอย่างละ 5 กรัม



ภาพ 3.11 การตรวจวัดการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำอิสระของดอกเก็กฮวยอบแห้งด้วยเครื่อง AQUA lab

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพสี

การวัดค่าสีดอกเก๊กฮวยก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่อง Spectrophotometer (ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น MiniScan: XE PLUS) ก่อนการวัดสีแต่ละตัวอย่างจะทำการเทียบกับจานสีขาว-สีดำมาตรฐาน ตามมาตรฐานระบบ CIE Lab เพื่อวัดค่าความสว่าง/มืด (L^*), ค่าความเป็นสีแดง/สีเขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน (b^*) ของและดอกเก๊กฮวย ที่ผ่านการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ โดยเทียบกับค่าสีของเก๊กฮวยสด



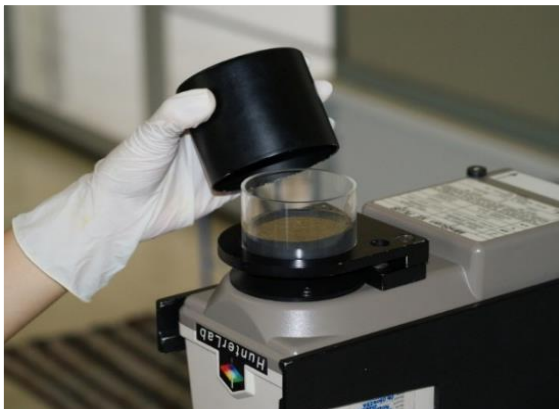
(ก)



(ข)

ภาพ 3.12 การเตรียมตัวอย่างดอกเก๊กฮวยอบแห้งสำหรับการวัดสี

(ก) การบดดอกเก๊กฮวย (ข) ภาพดอกเก๊กฮวยที่ผ่านการร่อน

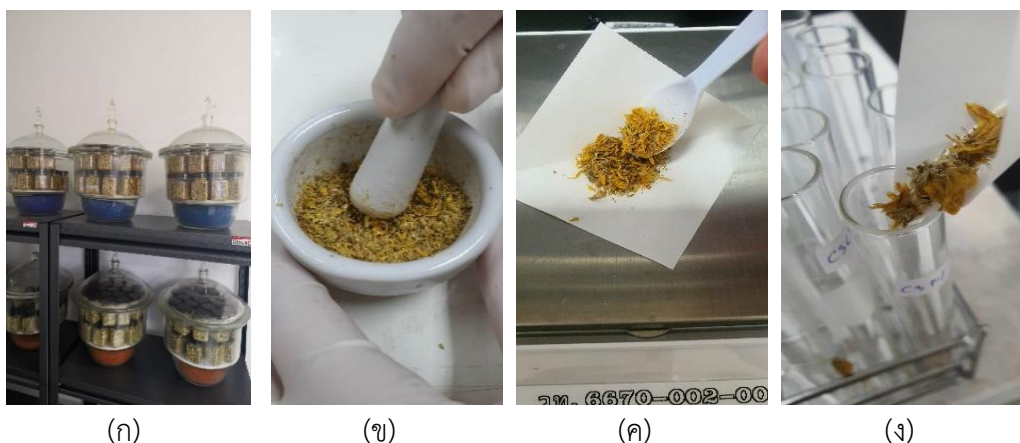


ภาพ 3.13 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี Spectrophotometer

ยี่ห้อ HunterLab รุ่น MiniScan XE PLUS

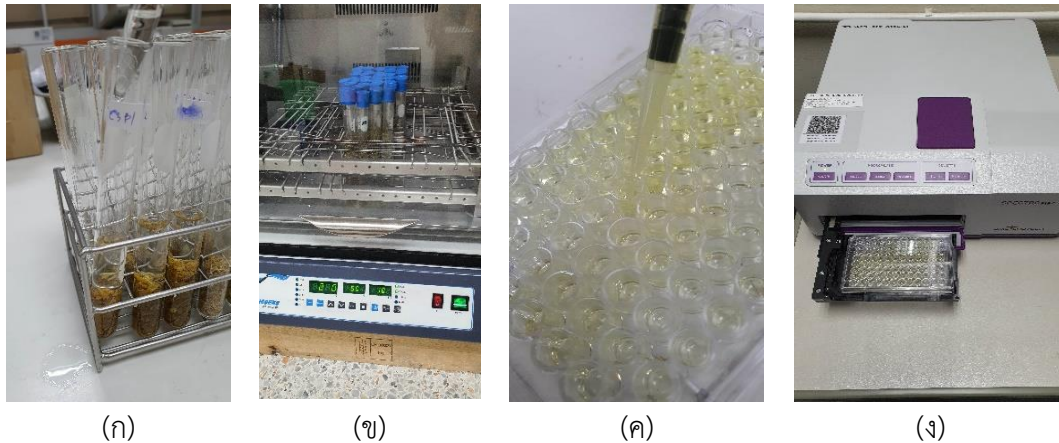
3.5 การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกรวม

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 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และเตรียมดอกเก็กฮวยอบแห้ง ที่ผ่านการบดจำนวน 0.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จำนวน 5 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอน ที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำมาทดสอบดังนี้ นำตัวอย่างสารสกัดน้ำของดอกคาโมมายล์และดอกเก็กฮวยอบแห้ง ที่ละลายในน้ำกลั่น (Supernatant) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย Folin-ciocalteu ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 0.8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นอ่านค่าจากการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก



ภาพ 3.14 การเตรียมตัวอย่างเพื่อตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

(ก) ตัวอย่างดอกเก็กฮวยอบแห้ง (ข) บดตัวอย่าง (ค) ชั่งตัวอย่าง (ง) ใส่ตัวอย่างลงในหลอดทดลอง



(ก)

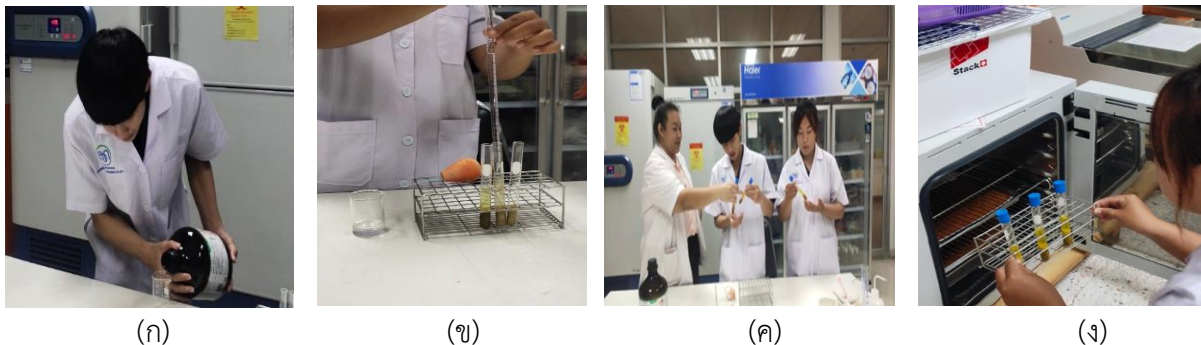
(ข)

(ค)

(ง)

ภาพ 3.15 ขั้นตอนการวิเคราะห์การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

(ก) ขั้นตอนการเติมสารละลาย (ข) เติมสารละลายสำหรับสกัด Flavonoids ซึ่งมีส่วนผสมของ 0.3%(w/v) $AlCl_3$ และ 0.03 M potassium acetate ปริมาตร 100 μ l ลงใน Microplate (ค) วัดปริมาณ Flavonoid เติมสารละลายสำหรับสกัด Flavonoids ซึ่งมีส่วนผสมของ 0.3% (w/v) $AlCl_3$ และ 0.03 M potassium acetate ปริมาตร 100 μ l ลงใน Microplate (ง) วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารผสม



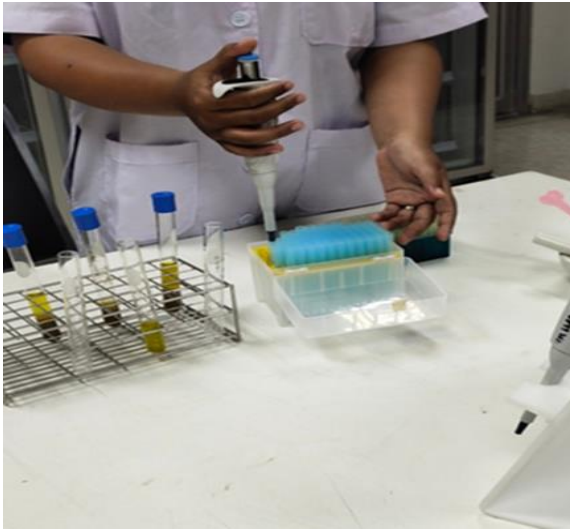
(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

ภาพ 3.16 ขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในดอกเก๊กฮวยอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส (ก) เทสารเมทานอล ใส่บีกเกอร์ (ข) ดูดสารมาใส่ในหลอดทดลอง (ค) เขย่าให้สารเข้ากัน (ง) นำไปใส่ในตู้บ่ม 30 นาที เพื่อให้สารละลายเมทานอลเข้ากัน



(ก)



(ข)

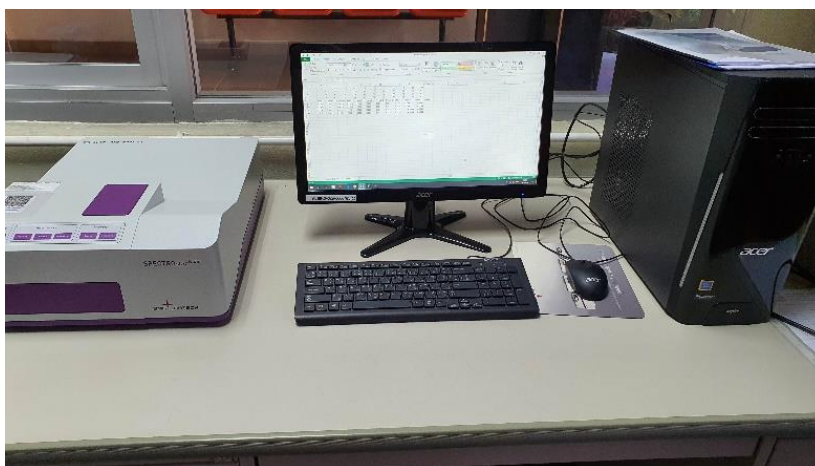


(ค)



(ง)

ภาพ 3.17 ขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์หาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระในดอกเก๊กฮวยอบแห้งด้วย
ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส (ก) ใช้ไมโครปิเปตในการดูดสารละลาย (ข) ดูดสารละลายที่
ได้ใส่ในหลอดทดลองอันใหม่ (ค) ใช้ปิเปตดูดสารละลายที่ได้ย้ายมาใส่ไมโครไทเทอร์เพลท (ง) ดูดสารเมทานอล
มาผสมกับสารละลายที่ได้เพื่อนำไปหาค่าการดูดกลืนแสง หาค่าความยาวคลื่นที่ 517 นาโนเมตรใส่เครื่องสเปก
โตรโฟโตมิเตอร์



ภาพ 3.18 วัดสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยเครื่อง Microplate Reader

3.6 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3.6.1 วิธี Scavenging activity of ABTS radical

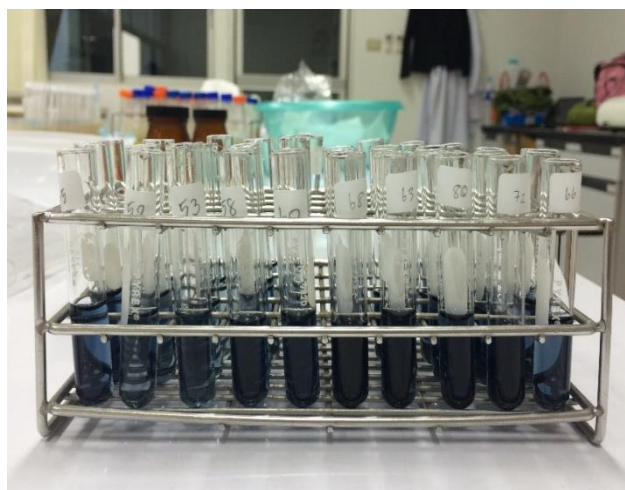
นำดอกเก๊กฮวยอบแห้งที่ผ่านการบด ชั่งน้ำหนักแห้งประมาณ 1 กรัมเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดูดตัวอย่างสารสกัดน้ำของสาหร่ายเตาไว้ การทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระวิธี ABTS ได้ดัดแปลงจากวิธีของ Re et al. (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 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จะได้ ABTS radical cation stock solution หลังจากนั้นทำการเจือจาง ABTS radical cation stock solution ด้วยน้ำกลั่นให้ค่าดูดกลืนแสงที่ 734 nm เท่ากับ 0.700 ± 0.020 เตรียมสารละลาย ABTS radical cation ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง และใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม จากนั้นเติมตัวอย่างสารสกัดน้ำของสาหร่ายเตาที่ละลายใน Dimethyl sulfoxide ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรที่ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย Vortex mixer ตั้งทิ้งไว้ในที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา เปอร์เซ็นต์ Inhibition หรือการยับยั้งอนุมูลอิสระดังสมการที่ (3.1) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายเตาที่สภาวะต่างๆ เทียบกับความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน Trolox ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวิตามินอี หรือเรียกว่าค่า TECA (Trolox equivalent antioxidant capacity) รายงานผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (mg TEAC/100 g_{dry matter})

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

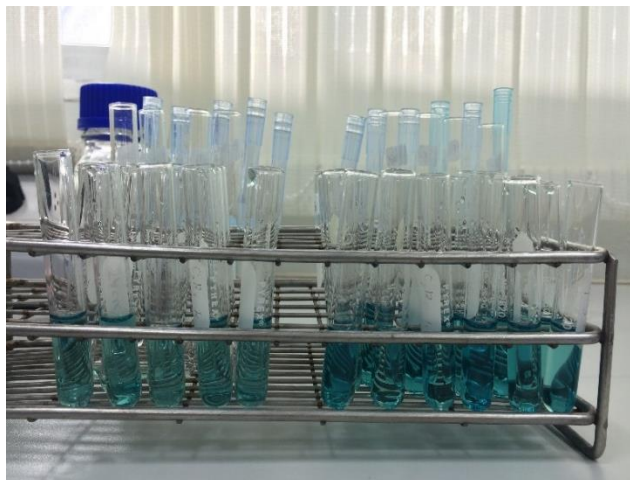
เมื่อ $A_{734 \text{ control}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม
 $A_{734 \text{ test sample}}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างทดสอบ

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

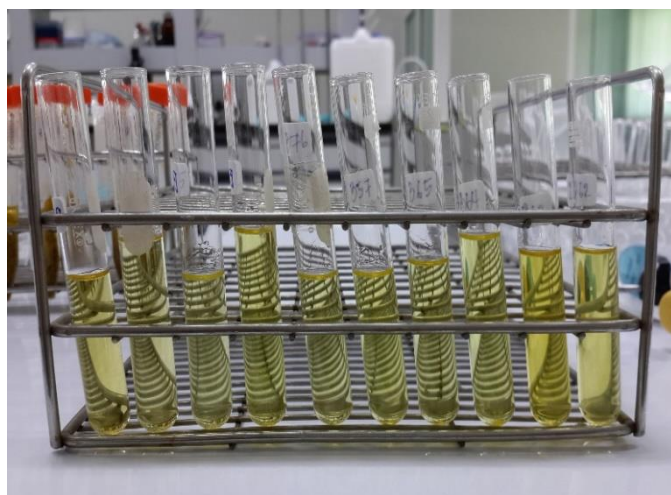
วิธี DPPH radical scavenging ได้ดัดแปลงมาจาก Hou และคณะ (2001) ดังนี้ ทำการเจือจาง DPPH radical ด้วยเอทานอลให้ค่าดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร เท่ากับ 1.40 ± 0.05 นำตัวอย่างดอกเก๊กฮวยอบแห้งที่ผ่านการบดจำนวน 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วดูดตัวอย่างสารสกัดน้ำของดอกเก๊กฮวยที่ ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำ 1 M Tris-HCl buffer (pH เท่ากับ 7.9) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และเติม 5 มิลลิกรัม ของ DPPH ในเอทานอลปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ในที่มืด 20 นาทีวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา เปอร์เซ็นต์ inhibition จากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างดอกเก๊กฮวยและดอกคาโมมายล์อบแห้ง โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Trolox รายงานผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (mg TEAC/100 g_{dry matter})



ภาพ 3.19 ตัวอย่างสารสกัดน้ำของดอกเก๊กฮวยที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด



ภาพ 3.20 ตัวอย่างสารสกัดน้ำของดอกเก๊กฮวยที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถ
ในการต้านอนุมูลอิสระ ABTS



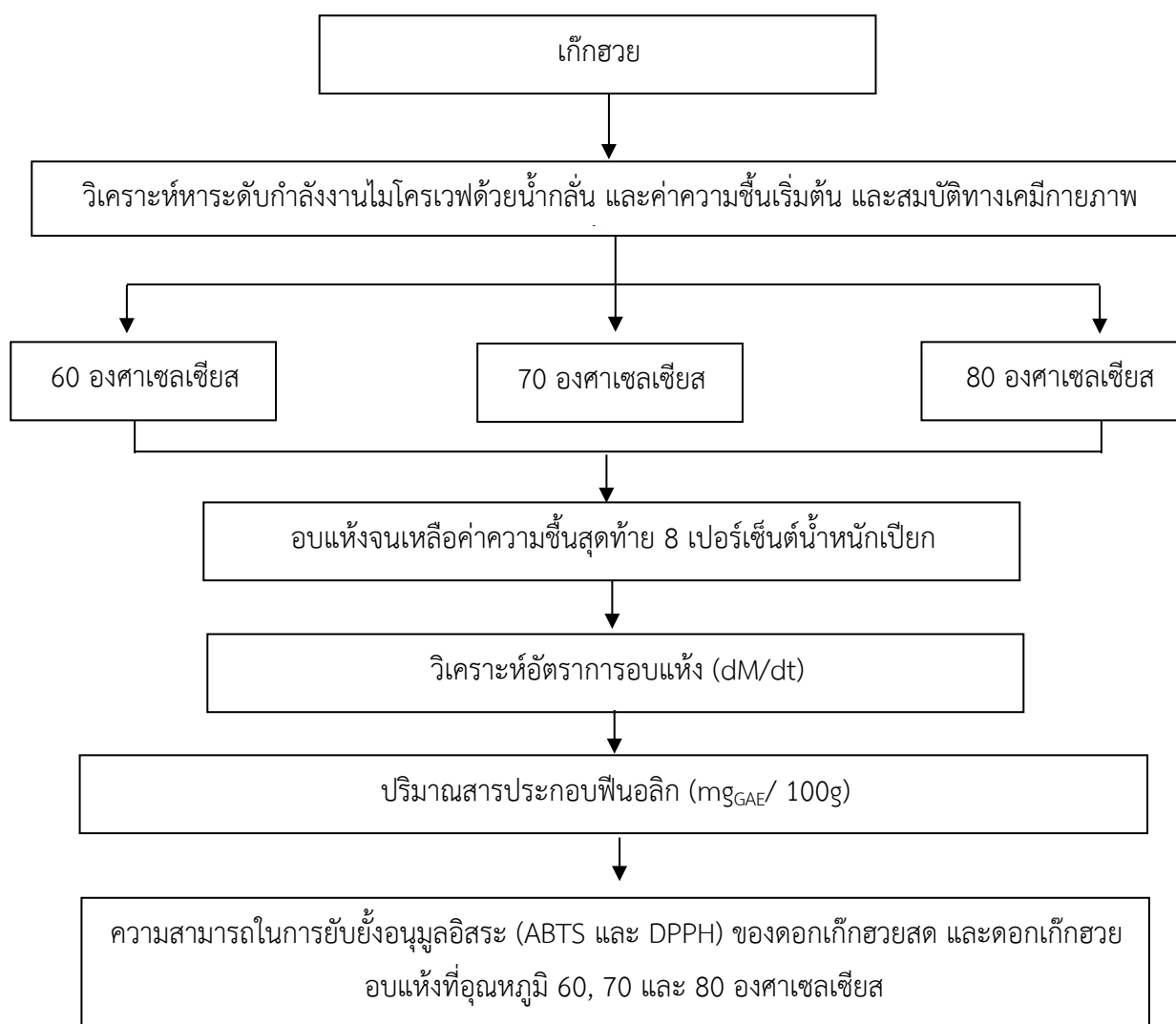
ภาพ 3.21 ตัวอย่างสารสกัดน้ำของดอกเก๊กฮวยที่ใช้ในการวิเคราะห์
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 แผนการวิจัยโครงการวิศวกรรม

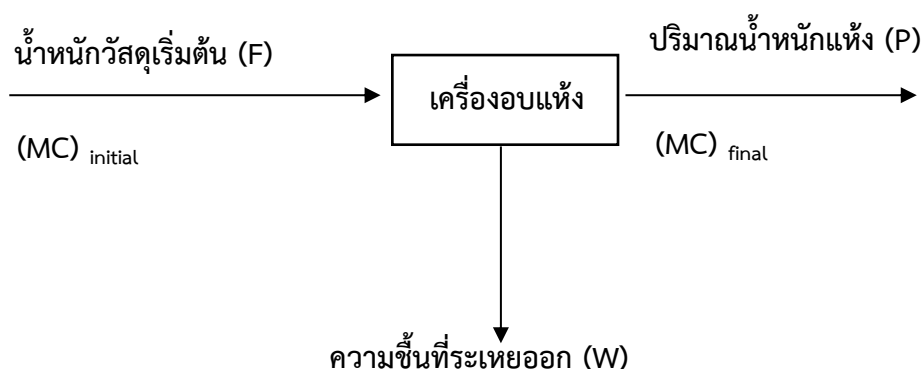
การดำเนินโครงการฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร เรื่องผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดอกเก็กฮวยแห้ง กรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย นั้น ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส จนดอกเก็กฮวยมีค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 8 เปอร์เซนต์น้ำหนักเปียก (%w.b.) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.32 ± 0.04 โดยนำดอกเก็กฮวยอบแห้งมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพ โดยมีแผนการดำเนินโครงการ ตามแผนผังในภาพ 4.1



ภาพ 4.1 แผนการดำเนินโครงการวิศวกรรม

4.2 สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งดอกเก๊กฮวย

เนื้อหาในบทที่ 1 อธิบายพื้นฐานการอบแห้ง และนิยามของค่าพารามิเตอร์ของการอบแห้ง ทำให้ทราบว่าพื้นฐานการวิเคราะห์การอบแห้ง หมายถึงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในระหว่างการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นของอาหารซึ่งในลำดับต่อไปนักศึกษา และผู้อ่านตำราพื้นฐานเทคโนโลยีการอบแห้งในงานวิศวกรรมอาหารเล่มนี้เกิดความเข้าใจพื้นฐานการวิเคราะห์สมดุลมวลความชื้นในระหว่างอบแห้งมากขึ้นซึ่งสามารถคำนวณได้ผลการหาผลเฉลยของสมการ 2 ตัวแปร โดยกำหนดตัวแปรจากสมการสมดุลมวลรวม สมดุลมวลความชื้น และสมการสมดุลของแข็ง มีรายละเอียดตามที่แสดงใน ภาพ 4.2



ภาพ 4.2 แผนผังการวิเคราะห์พื้นฐานสมดุลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง

สมดุลมวลรวม

$$F = P + W \quad (4.1)$$

จากสมการสมดุลมวลรวมมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำหนักของอาหารเริ่มต้น มีค่าเท่ากับผลรวมของน้ำหนักสุดท้ายของอาหารแห้งและปริมาณน้ำที่ระเหย จากสมการสมดุลมวลรวมนั้นพบว่า ติดค่าตัวแปร 2 ตัว ดังนั้น จำเป็นต้องใช้สมการสมดุลของแข็งพบว่ามีตัวแปรของสมการเหลือเพียงตัวแปรของสมการ W และ P

สมดุลของแข็ง

$$F (1-M.C)_{w.b} = P (1-M.C)_{w.b} \quad (4.2)$$

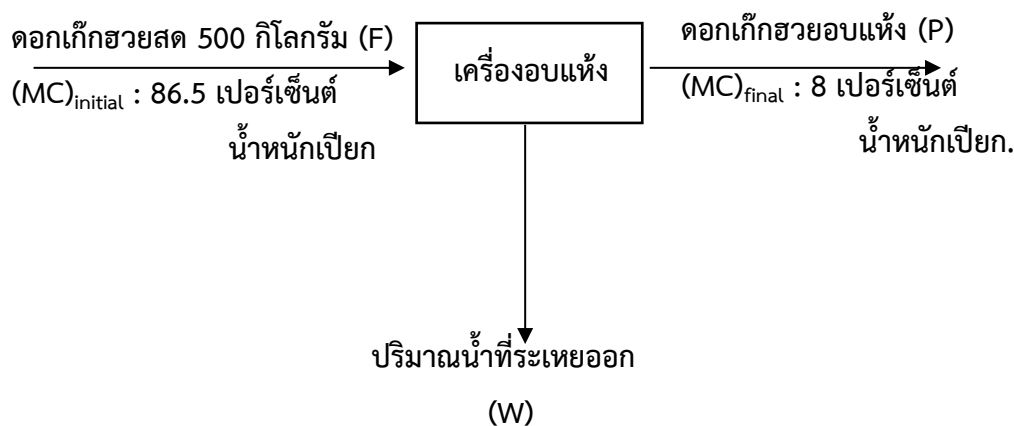
$$P = \frac{(1-M.C)_{w.b} F}{(1-M.C)_{w.b}} \quad (4.3)$$

สมดุลความชื้น

$$F (M.C)_{w.b} = P (M.C)_{w.b} + W \quad (4.4)$$

$$W = F (M.C)_{w.b} - P (M.C)_{w.b} \quad (4.5)$$

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกจากการอบแห้งดอกเก๊กฮวยลวกที่มีปริมาณเริ่มต้นเท่ากับ 50 กิโลกรัม (F) และมีความชื้นเริ่มต้น (MC) เท่ากับ 86.5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก (%wb.) โดยต้องการอบแห้งให้เหลือค่าความชื้นสุดท้ายของดอกเก๊กฮวยอบแห้ง (MC) เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก จงคำนวณน้ำที่ต้องระเหยออกจากระบบ (W) และปริมาณดอกเก๊กฮวยอบแห้ง (P) โดยใช้การวิเคราะห์สมดุลมวล และสมดุลของแข็ง โดยกำหนดให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อน และมวลกับสิ่งแวดล้อม



ภาพ 4.3 แผนผังการวิเคราะห์สมดุลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้งของดอกเก๊กฮวยลวก

จากแผนผังของกระบวนการจึงเขียนสมการสมดุลมวล ตามสมการ (4.7) โดยรวมของระบบนี้ได้ดังนี้

$$F = P + W$$

สมดุลมวลของความชื้นเพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องดึงออกจากอาหารขึ้น

$$(0.865) F = W + (0.08) P$$

การแก้สมการนี้ได้ต้องทราบค่า F และ W ซึ่งค่า F มีค่าเท่ากับ 500 กิโลกรัมสด แต่ค่า P ยังไม่ทราบ จึงต้องคำนวณหาโดยใช้สมดุลของมวลแห้งในอาหารซึ่งมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการเขียนความสัมพันธ์โดยใช้กฎทรงมวลได้ดังนี้

$$(1 - 0.865) F = (1 - 0.08) P$$

$$0.135 F = 0.92 P$$

$$P = 0.146 F$$

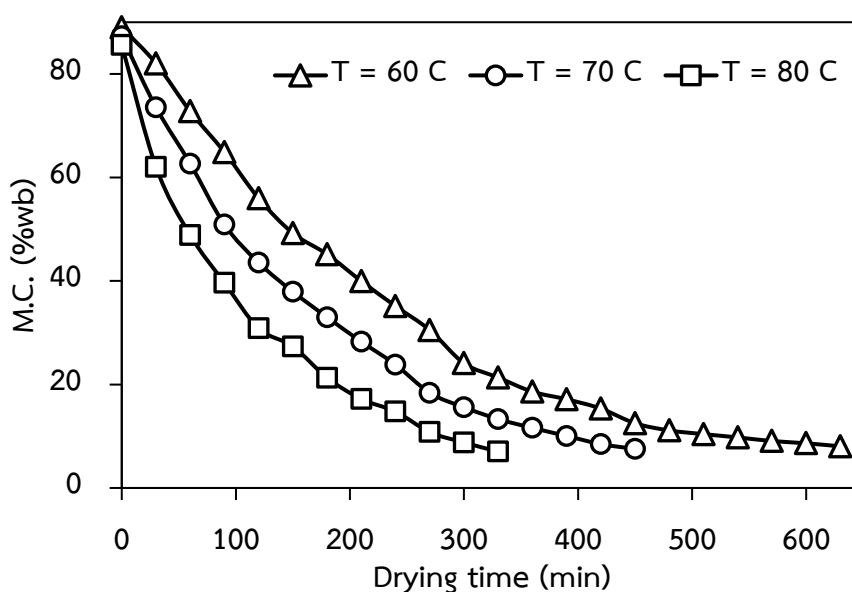
แทนค่า F เท่ากับ 500 กิโลกรัมในสมการ (2.1) เพื่อคำนวณหา P

$$P = 0.146 \text{ (50 kg)}$$

$$= 73 \text{ กิโลกรัมแห้ง}$$

ดังนั้นการอบแห้งดอกเก๊กฮวยรอบละ 500 กิโลกรัมสด อบแห้งได้ดอกเก๊กฮวยแห้งเท่ากับ 73 กิโลกรัมแห้ง นำค่า P ที่คำนวณปริมาณที่ระเหยในระหว่างการอบแห้งเท่ากับ 42.7 กิโลกรัมน้ำที่ระเหยออก

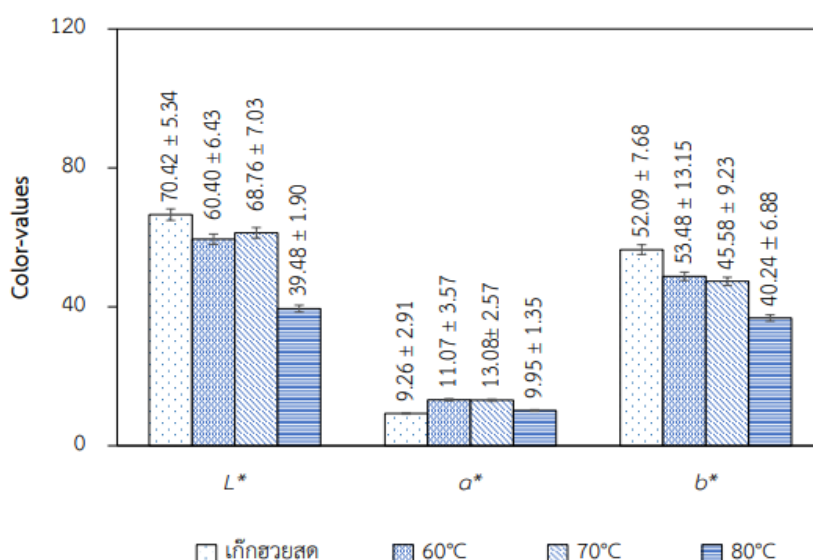
การศึกษาหาค่าอัตราการอบแห้งแบ่งการศึกษาที่ 3 ระดับอุณหภูมิ ที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ด้วยการใช้เครื่องอบแห้งขนาด 500 กิโลกรัม ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ผลการศึกษาพบว่า อัตราการอบแห้งดอกเก๊กฮวย ด้วยเครื่องอบลมร้อน ขนาด 500 กิโลกรัม จากความชื้นเริ่มต้น 86.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเปียกเหลือไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเปียกพบว่า มีเวลาในการอบแห้ง เท่ากับ 630, 450 และ 330 นาที ค่ามวลเป็นอัตราการอบแห้งเท่ากับ 0.1246, 0.1744 และ 0.2378 กรัม ต่อ กรัม น้ำหนัก จากผลการศึกษา พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการอบแห้ง มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส (เพิ่มจาก 60 เป็น 70 องศาเซลเซียส) พบว่ามีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น 28.555 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิในช่วง 70 เป็น 80 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น เท่ากับ 26.661 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบแห้งคือ 70 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม อัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นควรมีข้อมูลในเรื่องของสีในการหาสภาวะที่เหมาะสม



ภาพ 4.4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกเก๊กฮวยในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อนของเครื่องอบแห้ง

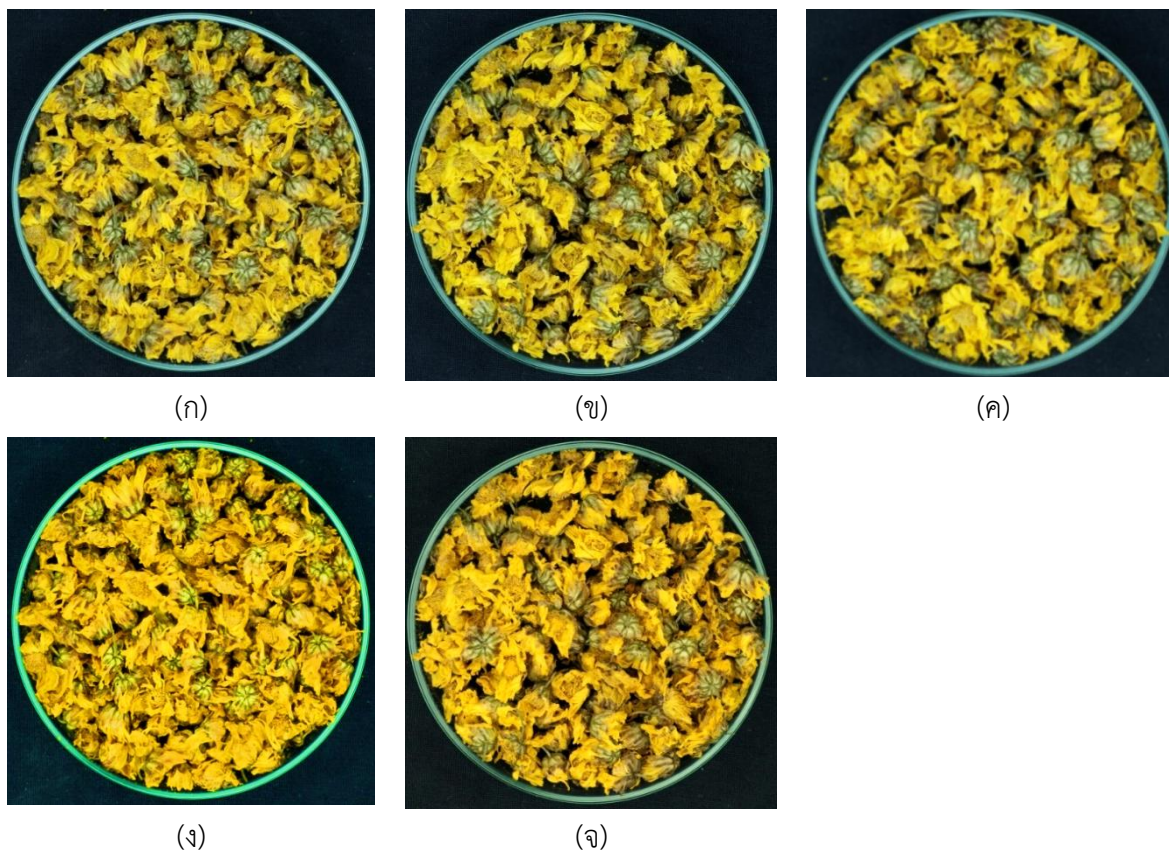
4.3 ผลของอุณหภูมิต่อสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (Optical properties) ของดอกเก็กฮวย

การวิเคราะห์ผลของสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (Optical properties) ของดอกเก็กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เปรียบเทียบกับสีของดอกเก็กฮวยสด พบว่าค่าดอกเก็กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่าง (L^* -value) ที่มากกว่าที่สุด และค่าความสว่างที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากการได้รับความร้อนสูงเกินไปจนเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non enzymatic browning reaction) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนสูง และมีการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) ของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารที่มีกลิ่นและรสเฉพาะตัว เรียกว่า คาราเมล (Caramel) ส่งผลให้ค่าความสว่างมีค่าต่ำสุด ค่าความเป็นสีเหลืองพบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่ามากที่สุดสามารถสื่อความหมายว่ามีการสลายตัวของฟลาโวนอยด์ที่ต่ำสุด โดยมีค่าความเป็นสีเหลืองลดลงจากเท่ากับ 23.39 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ดอกเก็กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนั้นมีค่าความเป็นสีเหลืองลดลง 48.32 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นสีเขียว-น้ำเงินไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพ 4.5 สมบัติเชิงทัศนศาสตร์ ของดอกเก็กฮวยอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง ที่อุณหภูมิเท่ากับ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งของเครื่องอบลมร้อนที่ถูกปรับปรุงระบบไหลเวียนอากาศเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งสูงสามารถลดความชื้นของดอกเก็กฮวยได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศร้อนในกรณีที่ใช้อุณหภูมิลมร้อนสูงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่ช่วงอุณหภูมิอุณหภูมิที่ 60 เพิ่มเป็น 70 องศาเซลเซียสทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิลมร้อนดังกล่าวระเหยน้ำได้เร็วกว่า



ภาพ 4.6 ถ่ายดอกเก็กฮวยสด และดอกเก็กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

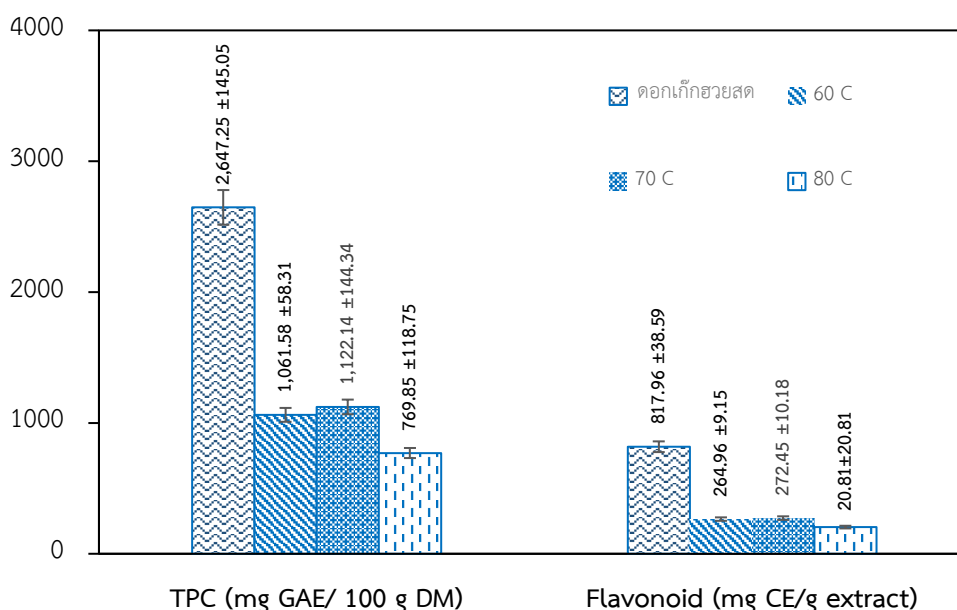
(ก) ดอกดอกเก็กฮวยสด (ข) ดอกดอกเก็กฮวยสด (ค) ดอกเก็กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
(ง) ดอกเก็กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (จ) ดอกเก็กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์ผลของสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (Optical properties) ของดอกเก็กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เปรียบเทียบกับสีของดอกเก็กฮวยสด พบว่าค่าดอกเก็กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่าง (L^* -value) ที่มากกว่าที่สุด และค่าความสว่างที่อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากการได้รับความร้อนสูงเกินไปจนเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non enzymatic browning reaction) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนสูง และมีการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) ของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารที่มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะตัว เรียกว่า คาราเมล (caramel) ส่งผลให้ค่าความสว่างมีค่าต่ำสุด ค่าความเป็นสีเหลืองพบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีค่ามากที่สุดสามารถสื่อความหมายว่ามีการสลายตัวของฟลาโวนอยด์ที่ต่ำสุด โดยมีค่าความเป็นสีเหลืองลดลงจากเท่ากับ 23.39 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ดอกเก็กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนั้นมีค่าความเป็นสีเหลืองลดลง 48.32 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นสีเขียว-น้ำเงินไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นสภาวะในการอบแห้งที่เหมาะสม

4.4 ผลของวิธีการอบแห้งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารฟลาโวนอยด์ และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ

4.4.1 ดอกเก็กฮวย

ผลการศึกษาผลของวิธีการอบแห้งต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของดอกเก็กฮวยด้วยเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ผลการตรวจวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของดอกเก็กฮวยสดพบว่ามีความเท่ากับ $1,076.93 \pm 56.22$ มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ($\text{mg GAE}/100 \text{ g DM}$) และปริมาณสารฟลาโวนอยด์มีความเท่ากับ 798.08 ± 51.79 มิลลิกรัมเคอร์ซีตินต่อน้ำหนักที่สกัด 100 กรัม ($\text{mg CE}/100 \text{ g extract}$) พบว่าดอกเก็กฮวยอบแห้งมีค่าลดลงสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 304.51 ± 40.02 , 433.09 ± 63.19 และ 527.18 ± 78.88 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของดอกเก็กฮวยอบแห้งมีค่า เท่ากับ 115.92 ± 33.62 , 226.51 ± 27.67 และ 274.48 ± 17.94 มิลลิกรัมเคอร์ซีตินต่อน้ำหนักที่สกัด 100 ที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียสตามลำดับ



ภาพ 4.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณสารฟลาโวนอยด์ของดอกเก็กฮวยสด และดอกเก็กฮวยอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส

4.5 ผลของอุณหภูมิการอบแห้งต่อความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของดอกเก็กฮวย

ผลการตรวจวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของดอกเก็กฮวยสด (ABTS) พบว่ามีค่าเท่ากับ 903.08 ± 56.22 มิลลิกรัมTroloxต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ($\text{mg TEAC}/100 \text{ g DM}$) และผลการตรวจวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของดอกเก็กฮวยสด (DPPH) มีค่าเท่ากับ $1,861.10 \pm 51.79$ มิลลิกรัมTroloxต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของดอกเก็กฮวยอบแห้ง พบว่าดอกเก็กฮวยอบแห้งมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (ABTS) ลดลง เท่ากับ 259.85 ± 40.02 , 415.92 ± 63.19 และ 342.81 ± 78.88 มิลลิกรัมTrolox ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (DPPH) ของดอกเก็กฮวยอบแห้งมีค่าเท่ากับ $1,123.08 \pm 33.62$, $1,264.50 \pm 27.67$ และ $1,397.29 \pm 17.94$ มิลลิกรัมTrolox ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของดอกเก็กฮวยอบแห้ง พบว่าดอกเก็กฮวยอบแห้งมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (ABTS) ลดลง เท่ากับ 905.98 ± 21.48 , $1,030.01 \pm 62.01$ และ $1,327.18 \pm 254.25$ มิลลิกรัมTrolox ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการวิศวกรรมฟาร์มอัจฉริยะและนวัตกรรมเกษตร เรื่องผลของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดอกเก๊กฮวยแห้งกรณีศึกษา : ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย โดยศึกษาการอบแห้งดอกเก๊กฮวยด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนขนาด 500 กิโลกรัม ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโง๊ะ จังหวัดเชียงราย โดยศึกษาการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส จนดอกเก๊กฮวยมีค่าความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก (%w.b.) ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.32 ± 0.04 พบว่าค่าดอกเก๊กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่าง (L^* -value) ที่มากกว่าที่สุด และค่าความสว่างที่อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำสุด ต่ำกว่าค่าความสว่างของดอกเก๊กฮวยสดเท่ากับ 76.77 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการได้รับความร้อนสูงเกินไปจนเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non enzymatic browning reaction) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนสูง และมีการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) ของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารที่มีกลิ่นและรสเฉพาะตัว เรียกว่าปฏิกิริยาคาราเมล (Caramel) ส่งผลให้ค่าความสว่างมีค่าต่ำสุด ค่าความเป็นสีเหลือง (b^* -value) พบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่ามากที่สุดสามารถสื่อความหมายว่ามีการสลายตัวของฟลาโวนอยด์ที่ต่ำสุดโดยมีค่าความเป็นสีเหลืองเก๊กฮวยอบแห้งที่อุณหภูมิเท่ากับ 60 และ 70 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับค่าความเป็นสีเหลืองของดอกเก๊กฮวยสด โดยเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบแห้งที่ดอกเก๊กฮวยมีสมบัติทางเคมี-กายภาพที่ 70 องศาเซลเซียส ผลการวัดค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 527.18 ± 78.88 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ($\text{mg}_{\text{GAE}}/100 \text{ g}_{\text{DM}}$) และปริมาณฟลาโวนอยด์มีค่าเท่ากับ 274.48 ± 17.94 มิลลิกรัมเคอร์ซีตินต่อน้ำหนักที่สกัด 100 กรัม ($\text{mg}_{\text{CE}}/100 \text{ g}_{\text{extract}}$) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ (ABTS และ DPPH) เท่ากับ 342.81 ± 43.15 และ $1,397.29 \pm 162.44$ มิลลิกรัมTroloxต่อมิลลิลิตรของการสกัด ($\text{mg}_{\text{TEAC}}/\text{ml}$) ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของดอกเก๊กฮวยอบแห้ง เช่น ความเร็วลมและชั้นความหนาตลอดจนการวิเคราะห์ค่าพลังงานเฉพาะในการอบแห้ง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

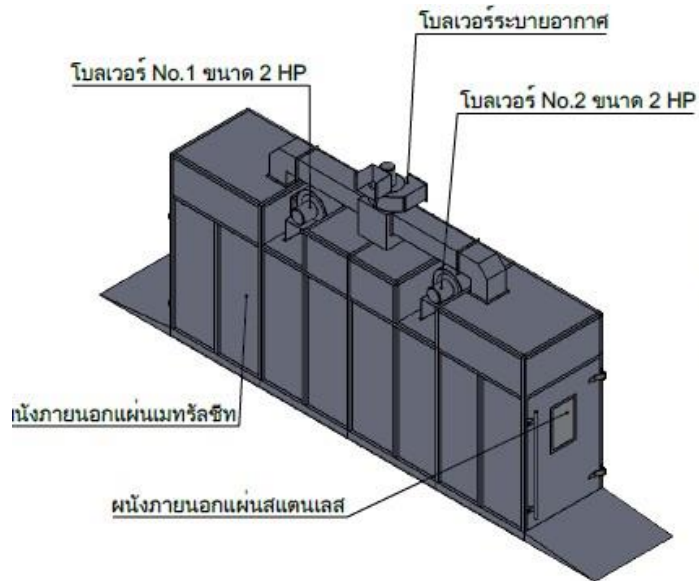
ควรวิเคราะห์สารประกอบหรือสาระสำคัญในดอกเก๊กฮวย เช่น สารประกอบสารสำคัญอื่นๆ ที่มีสรรพคุณทางยา

เอกสารอ้างอิง

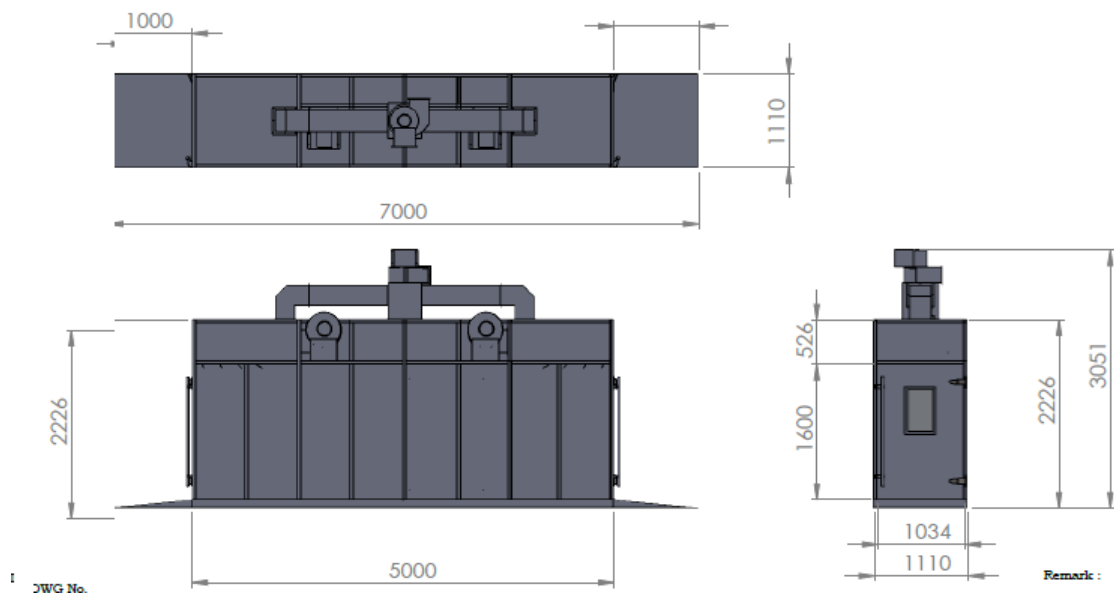
- ชนัญ ผลประไพ, ศรีณยู อุณหวิ. (2562). การพัฒนากระบวนการเตรียมสารสกัดสมุนไพรไทยที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย 8 (5), 479-492.
- ฤทธิชัย อัครราชันย์. (2564). การแปรรูปด้วยความร้อนและไม่ใช้ความร้อนด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ (พิมพ์ครั้งที่ 3). สำนักพิมพ์ โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮาส์. กรุงเทพมหานคร. 336 หน้า
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์. (ม.ป.ป). Water activity / แอคติวิตีของน้ำ.
<https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0551/water-activity>.
วันที่สืบค้น 28 กุมภาพันธ์ 2567.
- สุทธรรศน์ เผ่าผาง. (2563). ความชื้นในวัสดุและอาหาร. แหล่งที่มา : <https://www.neonics.co.th>.
วันที่สืบค้น 28 กุมภาพันธ์ 2567.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). พาไปรู้จักกับ “แก๊สฮวย” มีประโยชน์อย่างไร
ต้องการปลูกมีวิธีไหนบ้าง แหล่งที่มา : <https://www.arda.or.th/detail/6143>.
วันที่สืบค้น 28 กุมภาพันธ์ 2567.
- โอภา วัชรคุปต์, ปรีชา บุญจุง, จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดดีสินทอง. (2549). สารต้านอนุมูลอิสระ. สำนักพิมพ์ พี.เอส.พรีน. กรุงเทพมหานคร.
- Baur, F.J., Enslinger, L.G. The Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Moisture content determination, 171–172 (2012). <https://doi.org/10.1007/BF02670789>
- Idris, K Khali, W Omar. (2004). Drying of silica sludge using microwave heating. 24 (5-6), 905-918.
- Lewicki, P. P. (2004). Water as the determinant of food engineering properties. A review. Journal of food engineering, 61(4), 483-495.

ภาคผนวก ก.

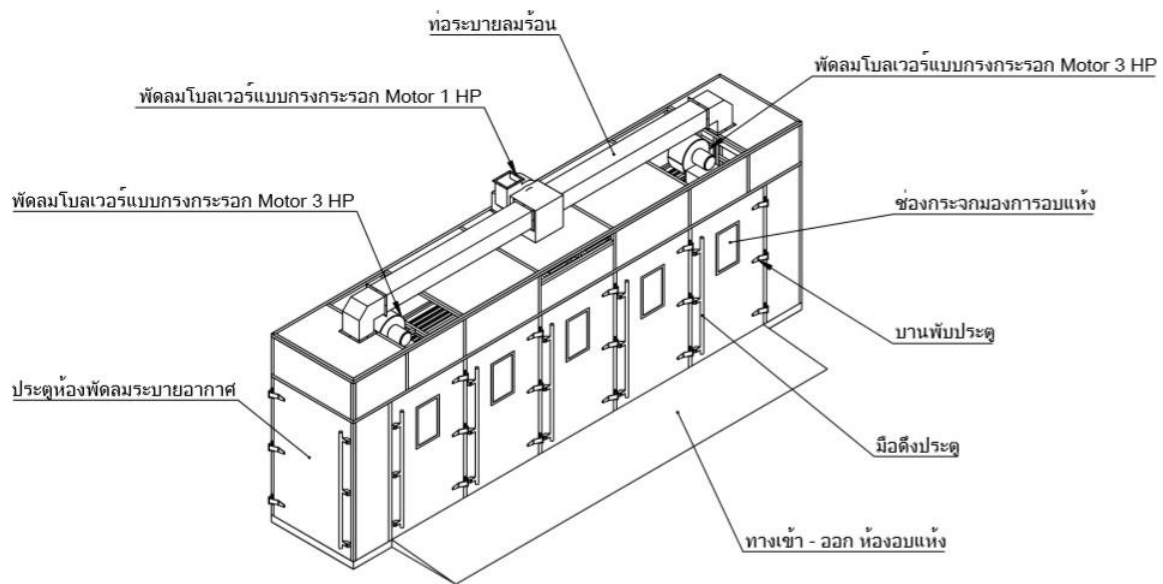
ลักษณะที่ก่อให้เกิดรูปร่าง (Embodiment design) ตามความ
เหมาะสมของโรงอบแห้ง ขนาด 100 ถาด



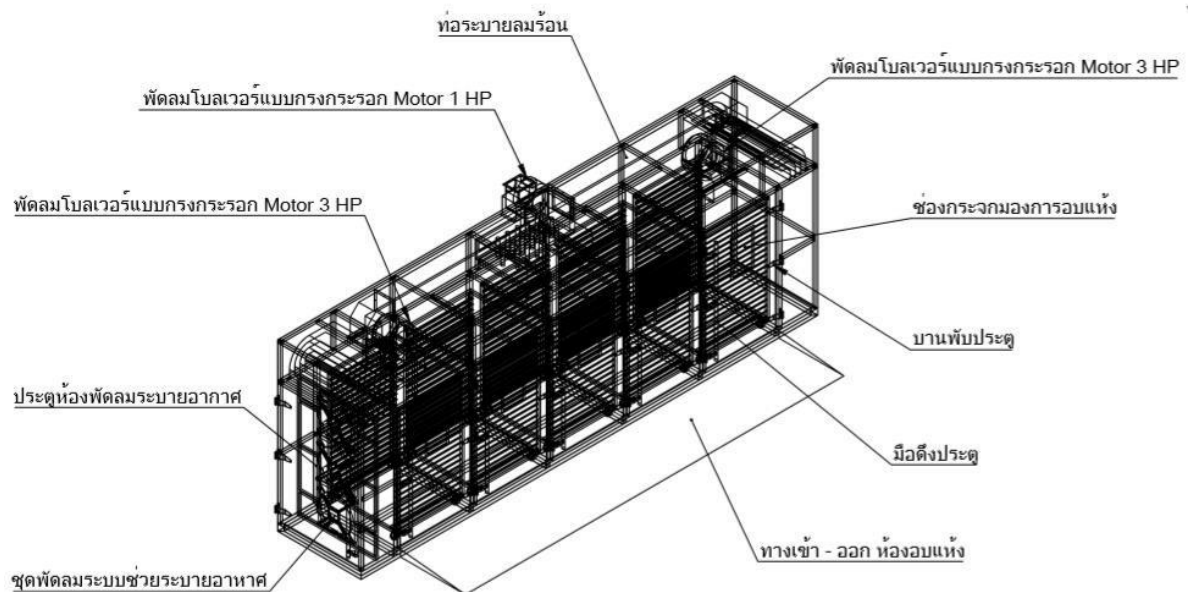
ภาพ ก.1 แบบร่างเครื่องอบแห้งลมร้อนขนาด 500 กิโลกรัมสด (จำนวน 100 ถาด)



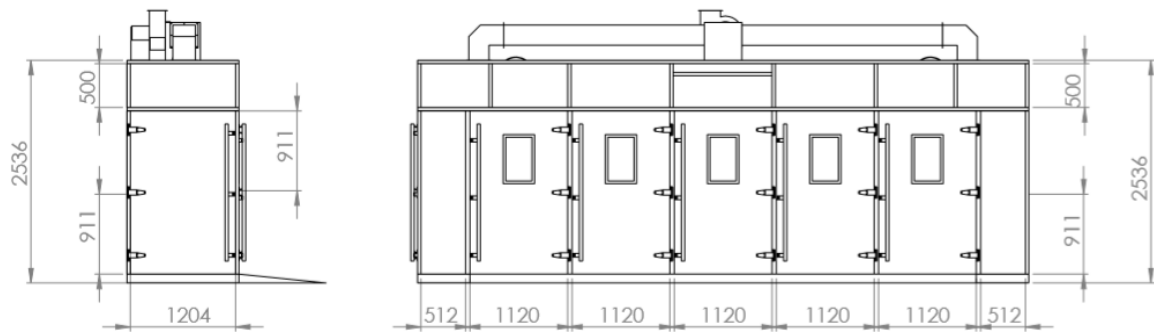
ภาพ ก.2 แบบร่างมิติต่างๆ เครื่องอบแห้งลมร้อนขนาด 500 กิโลกรัมสด



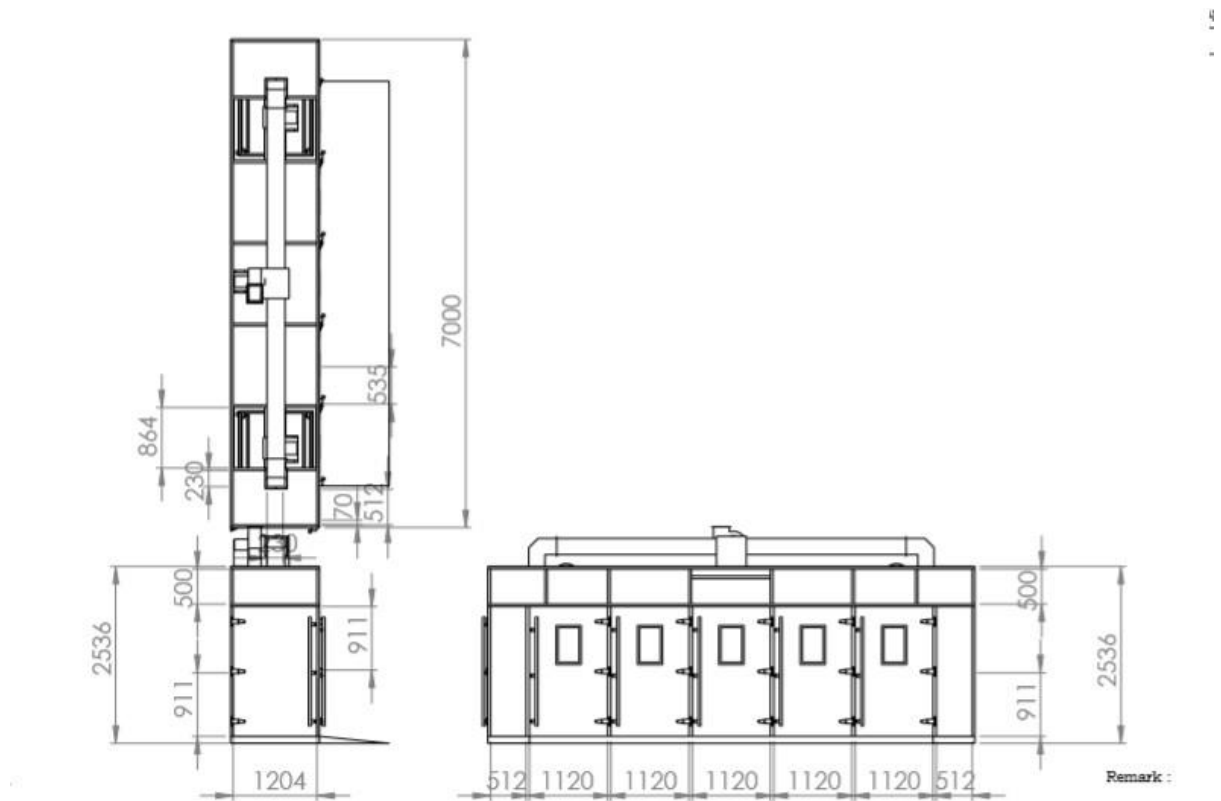
ภาพ ก.3 รายละเอียดของแบบลักษณะที่ก่อให้เกิดรูปร่างของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์



ภาพ ก.4 รายละเอียดของแบบลักษณะที่ก่อให้เกิดรูปร่างของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (ภายใน)

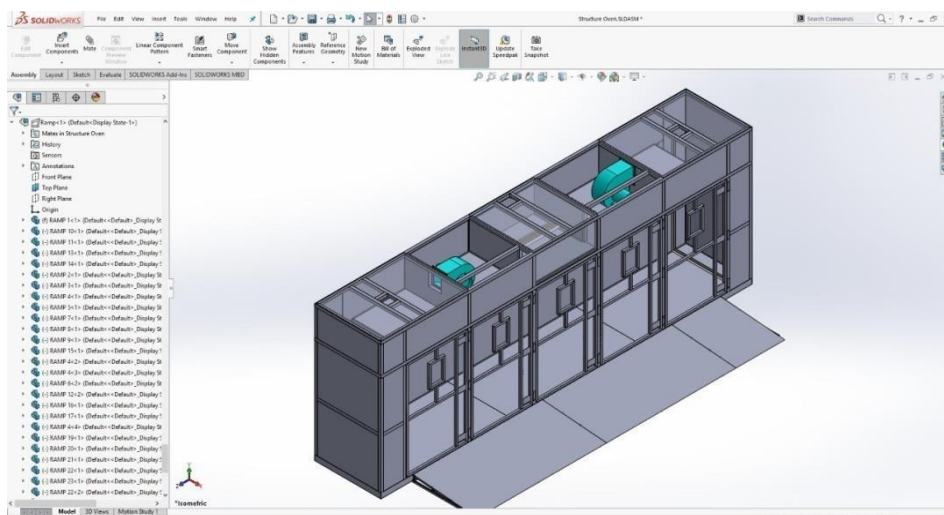


ภาพ ก.5 ขนาดและมิติของแบบลักษณะที่ก่อให้เกิดรูปร่างของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ 1



ภาพ ก.6 ขนาดและมิติของแบบลักษณะที่ก่อให้เกิดรูปร่างของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ 2

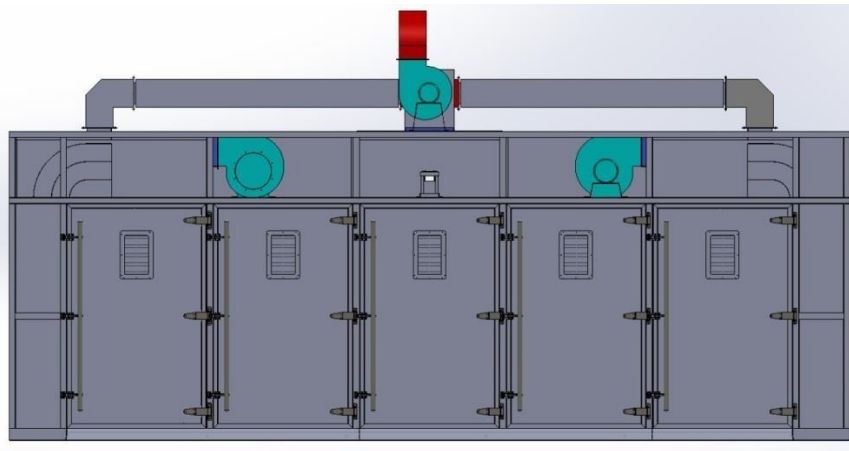
หลังจากที่ดำเนินการออกแบบในลักษณะของแนวคิด และแบบลักษณะที่ก่อให้เกิดรูปร่างของเครื่อง อบแห้งแล้ว ดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งที่มีความเหมาะสมต่อการ ติดตั้งในพื้นที่ ในโรงงานกำหนดหรือไม่ หลังจากการดำเนินงานดำเนินการออกแบบในลักษณะของแนวคิด และ แบบลักษณะที่ ก่อให้เกิดรูปร่างของเครื่องอบแห้งแบบ การดำเนินการในขั้นตอนต่อไปได้แก่ การวิเคราะห์หาแนวทางการติดตั้ง ในพื้นที่โรงงานในพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงสะโงะ ขั้นตอนต่อไปเป็นการหาบริษัทผู้ผลิตเพื่อ สร้างชิ้นส่วน และประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ เพื่อจัดทำ BoQ หรือ Bill of quantities คือเอกสาร แสดงราคากลางในการก่อสร้างที่ใช้ในขั้นตอนการหาผู้รับเหมาก่อนที่จะทำการก่อสร้าง รายละเอียด ด้านในจะเป็นรายการที่แสดงปริมาณงานและราคาวัสดุก่อสร้างที่ถอดมาจากแบบก่อสร้างทั้งหมดของเครื่องอบแห้ง อบแห้ง แบบสถาปัตยกรรม แบบวิศวกรรมโครงสร้าง และแบบวิศวกรรมระบบ เพื่อใช้ BoQ ในการตรวจงาน และ มาตรฐานวัสดุที่ใช้ประกอบเครื่องอบแห้ง เพื่อดำเนินการออกแบบเครื่องอบแห้งดำเนินการจัดทำบัญชีวิศวกรรม เครื่องอบแห้ง และสร้างต้นแบบ (Construct prototype) ต่อไป



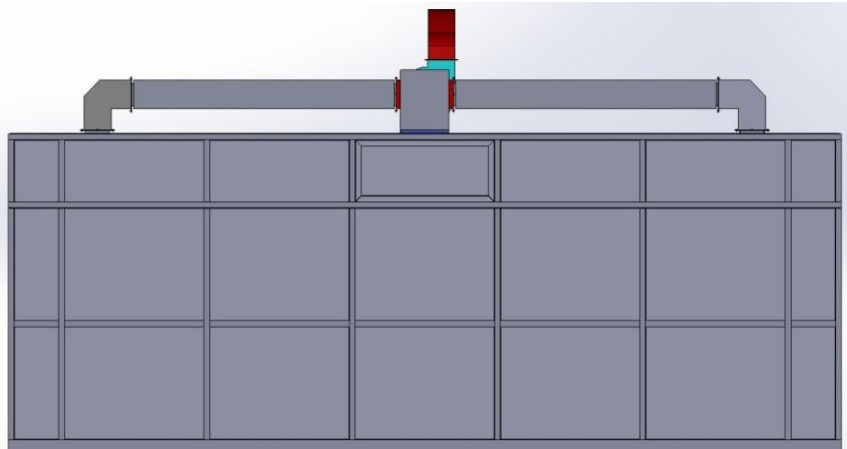
ภาพ ก.7 การออกแบบและลงรายละเอียด ของแบบวิศวกรรมของเครื่องอบแห้ง ขนาด 500 กิโลกรัม หรือ ความ จู 100 ถาด ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การรวบรวมข้อมูล (Gather information), การออกแบบในลักษณะของแนวคิด (Conceptual design) และการออกแบบในลักษณะที่ก่อให้เกิดรูปร่าง (Embodiment design) ซึ่งเป็นการออกแบบตามหลักการพื้นฐาน ของวิศวกรรมของงานทางวิศวกรรมเกี่ยวข้องกับระบบเชิงพลังงานและความร้อน และสอดคล้องตามมาตรฐาน ของ Accreditation board of engineering and Technology (ABET) การดำเนินงานในรายงานความ การศึกษา

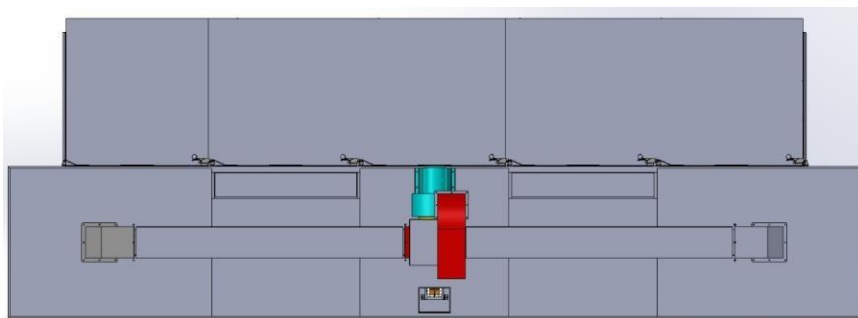
เบื้องต้นแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ การวิเคราะห์สมมูลมวลความชื้นในระหว่างการอบแห้ง การหาขนาดของเครื่องอบแห้งเบื้องต้น และเวลาในการอบแห้งดอกเก๊กฮวยเบื้องต้น จากนั้นดำเนินการพัฒนาการ ออกแบบในลักษณะของแนวคิด (Conceptual design) และการออกแบบในลักษณะที่ก่อให้เกิดรูปร่าง (Embodiment design) โดยพัฒนาจากเครื่องอบลมร้อนแบบอุโมงค์ลมร้อน โดยปรับเปลี่ยนให้มีประตูสำหรับนำ รถเข็นเข้าและออกเป็น 5 ประตู และเพิ่มระบบการเร่งการไหลเวียนอากาศภายในห้องอบแห้ง โดยออกแบบและ พัฒนาชิ้นส่วนของเครื่องอบแห้งใหม่ และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการวางไดอะแกรมการควบคุมระบบการทำงานเพื่อ ส่งให้กับ Supplier engineer เพื่อนำไปออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ และการเขียน PLC-code เพื่อควบคุม การทำงานต่อไป



ภาพ ก.8 แบบวิศวกรรมของเครื่องอบแห้งขนาด 500 kg หรือความจุ 100 ถาด (Front view)

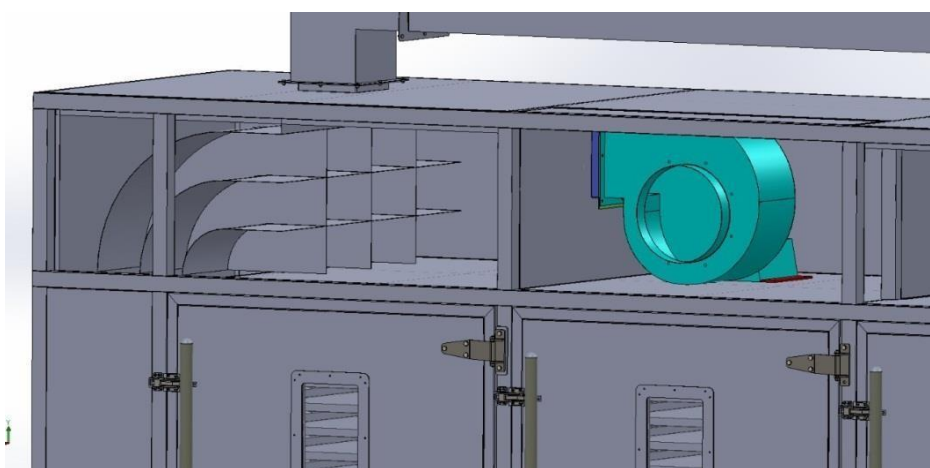


ภาพ ก.9 แบบวิศวกรรมของเครื่องอบแห้งขนาด 500 kg หรือความจุ 100 ถาด (Side view)

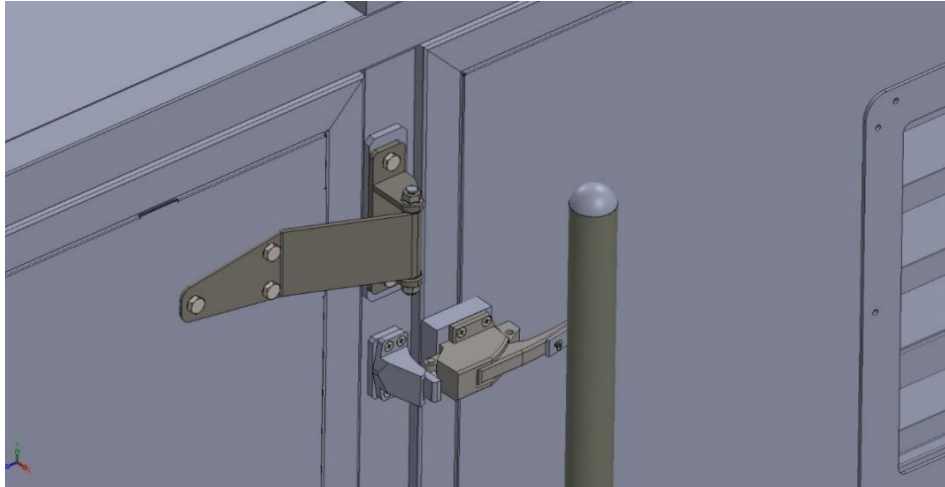


ภาพ ก.10 แบบวิศวกรรมของเครื่องอบแห้งขนาด 500 kg หรือความจุ 100 ถาด (Top view)

ภาพ 4.16 -4.21 แสดงการดำเนินการออกแบบลักษณะที่ก่อให้เกิดเป็นรูปร่าง (Embodiment design) ของเครื่องอบแห้ง โดยมีรายละเอียดที่ปรากฏใน ภาคผนวก ก. แบบวิศวกรรมของเครื่องอบแห้ง มี ส่วนประกอบแบ่งเป็น 12 ส่วนหลัก โดยมีส่วนประกอบรวมประมาณ 142 ชิ้นส่วน ของลักษณะที่ก่อให้เกิดเป็นรูปร่าง (Embodiment design) ของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (Tunnel dryer)



ภาพ ก.11 แบบวิศวกรรมของเครื่องอบแห้งขนาด 500 kg หรือความจุ 100 ถาด แสดงตำแหน่งการติดตั้งมอเตอร์



ภาพ ก.12 แบบวิศวกรรมของเครื่องอบแห้งขนาด 500 kg หรือความจุ 100 ถาด แสดงจุดเชื่อมต่อ (บานพับ) และมือจับ



(ก)



(ข)

ภาพ ก.13 การติดตั้งและทดสอบระบบควบคุม (ก) การติดตั้งระบบควบคุม (ข) การทดสอบระบบควบคุม



ภาพ ก.14 เครื่องอบแห้งขนาด 500 kg หรือขนาด 100 ถาด



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพ ก.15 การนำดอกอย่างชาดอกไม้เข้าห้องอบแห้ง

(ก) การเตรียมตัวอย่างบรรจุในถาด (ข) การนำตัวอย่างเข้าตู้อบแห้ง (ค) ขั้นตอนการนำรถเข็นเข้าห้องอบแห้ง
(ง) ขั้นตอนการปิดประตู



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพ ก.16 การเปิดระบบทำความร้อน Spark gap burner switch

(ก) ขั้นตอนการวางส่วที่ถึงแก๊ส (ข) ขั้นตอนการเปิด Safety valve (ค) ขั้นตอนการเปิดระบบ Spark gap burner



ภาพ ก.17 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ภายในวงจรควบคุมการทำงาน

(1) Main breaker 30A (2) M1 breaker 10A (3) Fuse (4) AC/DC Inverter (5) PLC (6) Relay switch
(7) Fuse (8) Breaker switch (9) M2 breaker 10A (10) M1 Inverter-3HP3P (11) M3 breaker 10A (12) M2
Inverter-3HP3P (13) M4 breaker 10A (14) M3 Inverter-1HP3P (15) Electrical socket



(ก)



(ข)

ภาพ ก.18 การเปิดระบบควบคุม

(ก) การเปิด Breaker switch (ข) การเปิดระบบควบคุมด้านใน

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นายวายุ บำรุงพล
รหัสนักศึกษา 6515125052
วัน เดือน ปี เกิด 18 มีนาคม 2545



ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษา ที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพะเยา	2564
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพะเยา	2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบ้านร่องจั่ว	2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านร่องจั่ว	2556

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 148 หมู่ 7
ตำบล สว่างอารมณ์ อำเภอ ดอกคำใต้
จังหวัด พะเยา
รหัสไปรษณีย์ 56120
เบอร์โทรศัพท์ : 086 349 0655
Email Address : wayu.norossi99@gmail.com
Facebook : W'wayu Bamrungphon

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นางสาวอภิญญา ชมเชย

รหัสนักศึกษา 6515125064

วัน เดือน ปี เกิด 29 มีนาคม 2544

ประวัติการศึกษา



ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษา ที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพะเยา	2564
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนแจ้ห่มวิทยา	2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนแจ้ห่มวิทยา	2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านเปียงใจ	2556

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 4 หมู่ 4

ตำบล ปงดอน อำเภอ แจ้ห่ม

จังหวัด ลำปาง

รหัสไปรษณีย์ 52120

เบอร์โทรศัพท์ : 064 242 4612

Email Address : Apinya152060@gmail.com

Facebook : Apinya Chomchoei

ประวัติผู้ทำโครงการ

ชื่อ-สกุล นางสาวศุภนุช แซ่ซุ่น

รหัสนักศึกษา 6515125072

วัน เดือน ปี เกิด 7 กรกฎาคม 2544

ประวัติการศึกษา



ระดับการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ปีการศึกษา ที่สำเร็จการศึกษา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพะเยา	2564
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนแจ้ห่มวิทยา	2562
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนแจ้ห่มวิทยา	2559
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านเลาสุ	2556

สถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

บ้านเลขที่ 16 หมู่ 8

ตำบล ปงดอน อำเภอ แจ้ห่ม

จังหวัด ลำปาง

รหัสไปรษณีย์ 52120

เบอร์โทรศัพท์ : 063 996 6013

Email Address : Suphanuchnui123@gmail..com

Facebook : Suphanuch Saesan