

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 กลีบกุหลาบ

กลีบกุหลาบ (*Rosa hybrida*) ที่นำมาใช้ในการทดลองมีสีแดง (จากร้านดอกไม้ ตลาดต้นลำไย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่) ซึ่งเป็นดอกกุหลาบที่ผลิตจากสวนเกษตรกร อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ โดยคัดเลือกให้ดอกมีขนาดสม่ำเสมอ จากนั้นนำมาล้างใว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการทดลองทุกครั้ง เพื่อกำจัดหยดน้ำออกจากดอกกุหลาบ กลีบกุหลาบที่ใช้ในการทดลองต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 ลักษณะดอกและกลีบกุหลาบที่ใช้ในการทดลอง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด (spouted bed dryer) รุ่น 50000101 บริษัท Sherwood scientific ประเทศอังกฤษ

3.2.2 เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.2.3 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น PL1502-S บริษัท Mettler-Toledo Group ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.2.4 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น AL204 บริษัท Mettler-Toledo Group ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.2.5 ตู้อบเพื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (hot air oven) รุ่น UM 500 บริษัท Memmert ประเทศเยอรมัน

3.2.6 เครื่องวัดความเร็วลม (anemometer), รุ่น DA-42 บริษัท Digicon ประเทศเยอรมัน

3.2.7 เครื่องวัดสี รุ่น Color Quest XE บริษัท Color Global ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.8 ทรายที่ทิวป์แบบ stainless ที่ประดิษฐ์ขึ้นในห้องปฏิบัติการขนาดต่าง ๆ (ภาพ ก.2)

3.2.9 ลูกบิดพลาสติกแบบเคลือบโลหะและลูกบิดพลาสติกแบบธรรมดา (ภาพ ก.3)

3.2.10 กระจ่างวิเคราะห์หาความชื้น

3.2.11 นาฬิกาจับเวลา

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรมทางสถิติ

- โปรแกรม SPSS 15.0 ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย
- โปรแกรม Origin 7.5 ใช้ในการทำนายแบบจำลองที่เหมาะสมกับการทดลองในครั้งนี้

3.4 สมการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกลีบกุหลาบ มี 5 สมการดังนี้

- แบบจำลองของลิวิอิส

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} = \exp(-kt) \quad (3.1)$$

- แบบจำลองของเพจ

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} = \exp(-kt^n) \quad (3.2)$$

- แบบจำลองของเพจที่มีการปรับปรุง

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} = \exp((-kt)^n) \quad (3.3)$$

- แบบจำลองของเซนเคอร์สันและเพบีส

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} = a \exp(-kt) \quad (3.4)$$

- แบบจำลองของลอกการิทึม

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} = a \exp(-kt) + c \quad (3.5)$$

เมื่อ

MR คือ อัตราส่วนความชื้นผลิตภัณฑ์,

M_0 คือ ความชื้นฐานแห้งในผลิตภัณฑ์เริ่มต้น, $\frac{g_{water}}{g_{dry-solid}}$

M คือ ความชื้นฐานแห้งในผลิตภัณฑ์เริ่ม ณ เวลาใด ๆ, $\frac{g_{water}}{g_{dry-solid}}$

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, $\frac{g_{water}}{g_{dry-solid}}$

k คือ สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดลอง

a, c, n คือ ค่าคงที่

t คือ เวลา, วินาที (s)

3.5 วิธีการดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 5 ตอน ดังนี้

3.5.1 การหาอุณหภูมิและความเร็วลมที่เหมาะสมของการอบแห้งกลีบกุหลาบด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดแบบไม่ติดกราฟทิพย์

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design) โดยทำการอบแห้งกลีบกุหลาบ 10 กรัม ซึ่งได้หาความชื้นเริ่มต้น (M_0) ตามมาตรฐาน AOAC (1995) และวัดสีเริ่มต้นก่อนแล้วนำกลีบกุหลาบไปอบแห้ง ที่ความเร็วลมเท่ากับ 2.5 3.0 3.5 4 4.5 และ 5 m/s และอุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับ 40 45 50 55 60 และ 70 °C ด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบด โดยทำการวัดน้ำหนักของกลีบกุหลาบทุก ๆ 2 นาที จนกระทั่งน้ำหนักของกลีบกุหลาบคงที่ ซึ่งจะได้เป็นความชื้นสมดุล (M_{eq}) โดยแต่ละสภาวะทำการทดลองซ้ำ 4 ครั้ง วิเคราะห์ค่าสีของกลีบกุหลาบหลังการอบแห้ง จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งกลีบกุหลาบ ซึ่งใช้เวลาสั้นที่สุดและกลีบกุหลาบแห้งที่ได้หลังจากการอบแห้งมีสีใกล้เคียงกับสีของกลีบกุหลาบสดมากที่สุด

การบันทึกผลการทดลอง

ก. **น้ำหนัก** น้ำหนักกลีบกุหลาบที่ลดลง ทุก 2 นาที บันทึกโดยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง หน่วยเป็น กรัม (g) ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาความชื้น ณ เวลา ใด ๆ (M) และน้ำหนักที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งหมายถึงความชื้นที่สมดุล (M_0) จำนวนที่ได้แสดงในภาคผนวก ข และความชื้นเริ่มต้นที่หาจากกลีบกุหลาบก่อนการอบแห้ง (M_0) ค่าความชื้นเหล่านี้ มีความสำคัญในการหาแบบจำลองของการทำนายจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นที่เกิดขึ้นกับกลีบกุหลาบในงานวิจัยนี้

ข. **สีของกลีบกุหลาบ** การวัดสีของกลีบกุหลาบหลังจากการอบแห้งของแต่ละสภาวะการทดลอง โดยเครื่องวัดสี Color Quest II Colorimeter (HunterLab) ทำการวัดสีซ้ำ 5 ครั้งในแต่ละสภาวะการทดลอง ค่าเฉลี่ย L^* , a^* และ b^* ที่บันทึกได้ นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับสีของกลีบกุหลาบสด เพื่อให้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด

ค. **การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ** ในการทดลองครั้งนี้ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยโปรแกรม SPSS 15.0 ซึ่งวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ LSD ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่าสถิติ คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาและ ค่าสี L^* , a^* และ b^* ที่บันทึกไว้

3.5.2 การหาระยะความสูงจากทางเข้าลมร้อน อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของกราฟท์ทิวบ์ (D_{DT}) และทางเข้าลมร้อน (D_0) และความพรุนของกราฟท์ทิวบ์ที่เหมาะสมในการอบแห้งกัญชากลอบด้วยเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดแบบติดกราฟท์ทิวบ์

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ระหว่างระยะความสูงของกราฟท์ทิวบ์จากทางเข้าลมร้อน และขนาดของกราฟท์ทิวบ์โดยทำการอบแห้งกัญชากลอบ 10 กรัม ซึ่งได้หาความชื้นเริ่มต้นและค่าสีไว้แล้ว ทำการทดลองกับความเร็วลม และอุณหภูมิของลมร้อนที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 โดยใช้ระยะความสูงของกราฟท์ทิวบ์จากทางเข้าลมร้อน ที่ 1.27 2.54 3.81 5.08 6.35 และ 7.62 ซม. และ อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของกราฟท์ทิวบ์กับทางเข้าลมร้อน (D_{DT}/D_0) ที่ 0.26 0.40 0.53 0.66 และ 0.80 แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ เพื่อหาความสูงของกราฟท์ทิวบ์จากทางเข้าลมร้อน และขนาดของกราฟท์ทิวบ์ที่เหมาะสม แล้วนำไปศึกษาความพรุนของกราฟท์ทิวบ์ที่เหมาะสมต่อไป ศึกษาความพรุนที่ 10% 20% 30% 40% และ 50% ความพรุนของกราฟท์ทิวบ์ในที่นี้คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของรูเปิดและพื้นที่ทั้งหมดของกราฟท์ทิวบ์ จากนั้นทำการบันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1

3.5.3 การหาขนาดและปริมาณอนุภาคเฉื่อยมีสองแบบ คือ ลูกบิดพลาสติกแบบธรรมดาและแบบเคลือบโลหะที่เหมาะสมในการอบแห้งกัญชากลอบด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบดแบบติดกราฟท์ทิวบ์

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์โดยทำการอบแห้งกัญชากลอบ 10 กรัม ซึ่งได้หาความชื้นและค่าสีเริ่มต้นไว้แล้ว แล้วนำผลทดลองความเร็วลม และอุณหภูมิของลมร้อนที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 และการติดกราฟท์ทิวบ์ที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 2 ทำการศึกษาร่วมกับการหาขนาดและปริมาณที่เหมาะสมของลูกบิดพลาสติกทั้ง 2 ชนิด คือลูกบิดพลาสติกแบบธรรมดาและลูกบิดพลาสติกแบบเคลือบโลหะ โดยขนาดที่ศึกษามี 3 ขนาด คือ 0.30 0.59 และ 0.78 ซม. และมีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยคำนวณจากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเม็ดพลาสติกต่อน้ำหนักกัญชากลอบก่อนอบแห้งที่ 10 20 30 40 และ 50 %wt ทำการวัดน้ำหนักของกัญชากลอบทุก ๆ 2 นาที จนกระทั่งน้ำหนักของกัญชากลอบคงที่ ในแต่ละการทดลองทำซ้ำ 4 ครั้ง หลังจากการอบแห้งวิเคราะห์ค่าสีของกัญชากลอบ จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งกัญชากลอบ เพื่อหาขนาดและปริมาณของเม็ดหรือลูกบอลพลาสติกที่เหมาะสม บันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 1 เมื่อได้ชนิด ขนาด และปริมาณของเม็ดพลาสติกที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

3.5.4 การหาแบบจำลองที่สามารถทำนายจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้นของกลีบกุหลาบได้ดีที่สุด

จากการทดลองทั้ง 3 การทดลอง ข้อมูลที่ได้คือความชื้นของกลีบกุหลาบที่เวลาใด ๆ จากค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำแรก สามารถคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) ที่เวลาใด ๆ ได้ จากนั้นใช้แบบจำลองทั้ง 5 แบบจำลอง ดังสมการ (3.1) – สมการ (3.5) เพื่อทำนายจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้นของกลีบกุหลาบ ส่วนค่าคงที่ต่างๆ (a , c , n , k) หาได้จากการใช้โปรแกรมทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองที่ดีที่สุด โดยประเมินจากค่าทางสถิติ 3 ค่าคือ R^2 สูงที่สุด และค่า χ^2 และ RMSE (Root mean square error) ต่ำที่สุด เมื่อได้แบบจำลองที่ดีที่สุดแล้ว จึงนำแบบจำลองนั้นมาทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกลีบกุหลาบระหว่างการอบแห้งที่ได้จากซ้ำที่ 4 ของทุก ๆ การทดลอง เพื่อพิจารณาว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดนั้นสามารถทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งกลีบกุหลาบได้ดีหรือไม่อย่างไร โดยประเมินจากค่าทางสถิติ 3 ค่าคือ R^2 ที่สูงที่สุด และค่า χ^2 และ RMSE ต่ำที่สุด เช่นกัน

3.5.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการอบแห้งโดยเครื่องสเป็คเตดเบดแบบติดกราฟที่ทิวบ์และเครื่องอบพลังแสงอาทิตย์ที่มีสภาวะการอบแห้งที่ใกล้เคียงกัน

นำกลีบกุหลาบสดที่ได้หาคความชื้นและค่าสีเริ่มต้นไว้แล้ว 10 กรัม อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังแสงอาทิตย์ ทำการทดลอง 4 วัน วันละ 3 ชั่วโมง บันทึกผลของน้ำหนักกลีบกุหลาบทุก ๆ 10 นาที จนกระทั่งน้ำหนักของกลีบกุหลาบ มีความชื้นใกล้เคียงกับความชื้นสมดุลของการอบแห้งกลีบกุหลาบโดยเทคนิคสเป็คเตดเบดแบบติดกราฟที่ทิวบ์ จากนั้นทำการเปรียบเทียบทั้ง 2 กรรมวิธี ดังรายละเอียดนี้

ก) เวลาที่ใช้ในการอบแห้งให้เหลือความชื้นใกล้เคียงกัน

ข) การเปรียบเทียบกลิ่นของกุหลาบโดยใช้ Gas Chromatography ทำการเปรียบเทียบกับกลีบกุหลาบสด และกลีบกุหลาบแห้งที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการอบแห้งด้วยเครื่องสเป็คเตดเบดแบบติดกราฟที่ทิวบ์ เพื่อวิเคราะห์หาสาร phenylethyl alcohol ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นกุหลาบ (ประเทือง, 2542)

ค) ค่าสีของกลีบกุหลาบแห้งที่ได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สี Color Quest II Colorimeter

ง) ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งของเครื่องทั้งสองแบบ โดยพิจารณาจากค่าไฟฟ้าเป็นหลัก ดังนี้

- การคำนวณค่าไฟฟ้าของเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ (จิตรกร และคณะ, 2550) จากขนาดกำลังไฟฟ้าของพัดลมตัวละ 0.05 kW ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (unit) เท่ากับ 2.4649 บาท ค่าพลังงานไฟฟ้าหาได้จากสมการ (3.6)

ค่าพลังงานไฟฟ้า (3.6)

$$= \text{ขนาดกำลังไฟฟ้าของพัดลม (kW)} \times \text{ชั่วโมงในการทำงาน} \times \text{ราคาต่อหน่วย}$$

- การคำนวณค่าไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด จากขนาดกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผ่นป้าย (name plate) และในคู่มือการใช้งานเท่ากับ 2 kW คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าจากสมการ (3.6) โดยแทนค่าขนาดกำลังไฟฟ้าของพัดลม