

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ดอกกุหลาบ ในงานวิจัยนี้ดอกกุหลาบที่นำมาทดลอง คือ ดอกกุหลาบสีขาวพันธุ์ชาวฮอลลีวูด ดอกกุหลาบสีแสดพันธุ์แสดตาหวาน และดอกกุหลาบสีชมพูพันธุ์เปอร์เซีย ซึ่งมาจากตลาดวโรรส อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นดอกกุหลาบที่ผลิตจากสวนเกษตรกร อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ระยะเวลาตัดดอกเป็นระยะที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวเพื่อจำหน่ายทางการค้า คัดเลือกดอกที่มีขนาดสม่ำเสมอ นำมาแช่ในน้ำสะอาดประมาณ 1 คืน เพื่อให้ดอกบาน นำดอกกุหลาบออกจากถังแช่ แล้วเช็ดน้ำออกจากก้านดอกกุหลาบให้แห้งก่อนทุกครั้ง และเด็ดกลีบดอกที่เสียออกทิ้ง สลัดน้ำออกจากดอกกุหลาบอย่างเบามือที่สุด หรือใช้สำลีก้าน (cotton buds) ชับน้ำที่เหลือให้แห้ง จากนั้นตัดก้านดอกให้สั้นเหลือประมาณ 2-3 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะดอกกุหลาบที่ใช้ในการทดลอง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

ในการทดลองนี้ใช้เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน ซึ่งส่วนที่เป็นห้องอบแห้งมีขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ $1.22 \times 1.22 \times 1.22$ เมตร ผนังห้องอบแห้ง บุด้วยฉนวนหนาแน่นด้านละ 0.03 เมตร และในส่วนของระบบปั๊มความร้อนได้ดำเนินการสร้างและทดสอบโดยใช้พัดลมหมุนเวียน อากาศของเครื่องอบแห้งที่ใช้กันทั่วไป คือเป็นแบบใบพัดโค้งหน้า (forward curved blade centrifugal fan) ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า ความเร็ว 1430 รอบ/นาที มีปริมาณลม หมุนเวียน (ผลจากการทดลองวัดจริง) ประมาณ 0.512 กิโลกรัม/วินาที ปั๊มความร้อนออกแบบติดตั้ง โดยมีองค์ประกอบเป็นเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (window type air conditioning package) และมีเครื่องทำความเย็นขนาด 9,000 บีทียูต่อชั่วโมง (BTU/h) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

3.2.2 เครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศ ของบริษัท Binder รุ่น VD 53 เป็นเครื่องที่ใช้ในการทดลองทำแห้งดอกกุหลาบแบบสุญญากาศ ที่ความดัน 15 มิลลิบาร์ (mbar) (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.3 เครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศ

3.2.3 ตู้ควบคุม (Control box)

ตู้ควบคุมมีหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ภายในระบบ คือ ระบบปั๊มความร้อน มอเตอร์พัดลมหมุนเวียนอากาศ บอร์ดแสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และมีเตอร์วัดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าภายในระบบ (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 ตู้ควบคุมและแสดงสถานะการทำงานของเครื่องอบแห้ง

3.2.4 บอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์รุ่น AP-104 v1.1

สำหรับการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศอบแห้ง มี relay ที่เปิด-ปิดตามค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ (Min-Max) ทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (89C4051) มี sensor วัดอุณหภูมิแบบ Digital แสดงค่าอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -55 ถึง 125 องศาเซลเซียส ความละเอียด 0.5 องศาเซลเซียส ตั้งค่าเปิด-ปิดเวลาได้ตามต้องการ หน้าปัทม์ของ relay ขนาด 220V 10A มีคีย์ 2 คีย์ สำหรับตั้งค่า และมี direct control (เปิด ปิด ทันที) ส่งข้อมูลออกทาง RS232 หรือ RS485 ได้ (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 บอร์ดวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง

3.2.5 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม รุ่น EA506-124 ของบริษัท ELE (รูปที่ 3.6) ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม ในบริเวณเครื่องอบแห้งที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม

3.2.6 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบคล้องสาย (Clip-on meter) ของบริษัท Kewtech รุ่น KT200 สำหรับวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ มีช่วงความสามารถในการวัด 0-399.9A แรงดันไฟฟ้ามีช่วงความสามารถในการวัด 0-399.9V โดยมีความแม่นยำ $\pm 2\%$ (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบคล้องสาย (Clip-on meter)

3.2.7 ตู้อบแห้งแบบลมร้อน (Hot-air oven) ของบริษัท Binder สามารถอบแห้งได้ที่อุณหภูมิสูงสุด 300 องศาเซลเซียส ความละเอียด ± 5 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับหาความชื้นของดอกกุหลาบระหว่างการอบแห้ง (รูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 ตู้อบแห้งแบบลมร้อน (Hot-air oven)

3.2.8 เครื่องวัดสี (Color meter) ของบริษัท Minolta รุ่น CR-10 สามารถวัดค่าสี L^* , a^* และ b^* ใช้วัดค่าสีของดอกกุหลาบก่อนและหลังการอบแห้ง (รูปที่ 3.9)



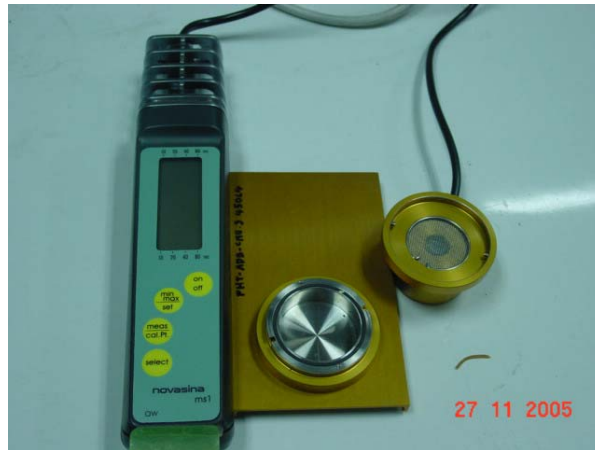
รูปที่ 3.9 เครื่องวัดสี (Color meter)

3.2.9 เครื่องวัดค่าแรงต้านการดึง (Texture analysis) ของบริษัท Stable micro systems รุ่น TA.XT2i Texture analyser ใช้วัดค่าแรงต้านการดึงของกลีบดอกกุหลาบภายหลังจากการทำแห้ง (รูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.10 เครื่องวัด Texture

3.2.10 เครื่องวัดวอเตอร์แอกทिवิตี (Water activity, a_w data logger) ของบริษัท Novasina รุ่น MS1-AW ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าวอเตอร์แอกทिवิตีของดอกกุหลาบแห้ง (รูปที่ 3.11)



รูปที่ 3.11 เครื่องวัด Water activity

3.3 การดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 เป็นการอบแห้งดอกกุหลาบโดยการใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้น

การทดลองที่ 2 เป็นการอบแห้งดอกกุหลาบโดยการใช้ระบบปั๊มความร้อน

การทดลองที่ 3 เป็นการอบแห้งดอกกุหลาบโดยการใช้ระบบสุญญากาศ

การทดลองที่ 1 ทำการทดลองอบแห้งดอกกุหลาบโดยการใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้น เป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้เป็นมาตรฐานอ้างอิงเปรียบเทียบกับการทดลองที่ 2 และ 3 (ฉิภูริศิริ, 2545)

วางแผนการทดลอง โดยใช้ดอกกุหลาบ 3 สี คือ สีขาว สีแสด และสีชมพู เลือกดอกกุหลาบที่มีขนาดดอกสม่ำเสมอ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

วิธีการทดลอง

นำดอกกุหลาบทั้ง 3 สีมาแช่ในน้ำประมาณ 1 คืน เพื่อให้ดอกบาน (อย่าแช่นานเกินไป เพราะหากดอกบานมากจะไม่สวยงาม) นำดอกกุหลาบออกจากถังแช่ แล้วเช็ดน้ำออกจากก้านดอกกุหลาบให้แห้งก่อนทุกครั้ง และเด็ดกลีบดอกชั้นนอกที่เสียทิ้ง สลัดน้ำออกจากดอกกุหลาบอย่างเบา มือที่สุด หรือใช้สำลีก้าน (cotton buds) ชับน้ำที่เหลือให้แห้ง จากนั้นตัดก้านออกให้เหลือติดดอกยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำซิลิกาเจลผสมทรายที่มีวางจำหน่ายตามท้องตลาดใส่ในกล่องพลาสติก ประมาณครึ่งกล่อง ใช้ช้อนพลาสติกขนาดเล็กตักทราย แล้วค่อยๆ โรยลงบนดอกกุหลาบให้ทั่วทุกกลีบ ใช้คีมจับก้านดอกกุหลาบ แล้วค่อยๆ กดดอกกุหลาบลงในทราย ปิดดอกกุหลาบให้เต็มกล่อง ใช้ช้อนพลาสติกตักซิลิกาเจลผสมทราย แล้วค่อยๆ โรยลงบนดอกกุหลาบที่โผล่ออกมาจากทรายจนมิดไม่ให้มองเห็นดอกกุหลาบ ปิดฝากล่องพลาสติกให้สนิท อย่าให้มีลมเข้าได้ เก็บไว้นาน 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบ 7 วัน บันทึกผลการทดลอง

การบันทึกผลการทดลอง

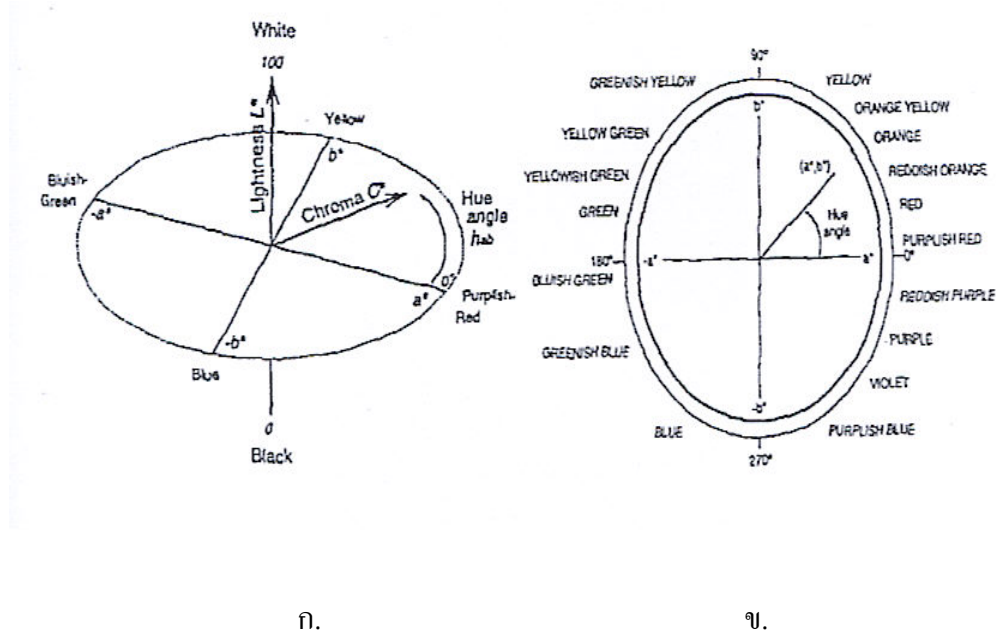
1. การสูญเสียน้ำหนัก วัดการสูญเสียน้ำหนักของดอกกุหลาบระหว่างการอบแห้งทุกๆ 2.5 ชั่วโมง จนสิ้นสุดการทดลอง นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณน้ำที่ระเหยออกไป ในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้ง

2. การวิเคราะห์หาความชื้น วิเคราะห์หาความชื้นด้วยวิธีการอบแห้งในเตาอบลมร้อนดังนี้

- หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดอกกุหลาบก่อนอบแห้งและหลังการอบแห้ง โดยสุ่มตัวอย่างดอกกุหลาบสีละ 9 ดอก แบ่งออกเป็น 3 ซ้ำๆ ละ 3 ดอก นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน แล้วใส่ถ้วยอลูมิเนียม นำเข้าตู้อบลมร้อน ใช้อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

- นำตัวอย่างออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

3. สีของกลีบดอกกุหลาบ วัดสีของกลีบกุหลาบโดยใช้ Color meter ของบริษัท Minolta รุ่น CR-10 ทำการวัดสีของกลีบกุหลาบทุก 5 ชั่วโมง จนสิ้นสุดการทดลอง หลักการวัดสีแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนภาพของสีมาตรฐาน (Voss, 1992)

- ก. ค่า L^* , a^* , และ b^*
- ข. Hue sequence and hue angle orientation on a CIELAB diagram

ค่า L^* แสดงสีขาวเมื่อมีค่าเป็น 100 และแสดงสีดำเมื่อมีค่าเป็น 0
 ค่า a^* ที่เป็นบวกแสดงว่าวัตถุมีสีแดง ค่า a^* ที่เป็นลบแสดงว่าวัตถุมีสีเขียว
 ค่า b^* ที่เป็นบวกแสดงว่าวัตถุมีสีเหลือง ค่า b^* ที่เป็นลบแสดงว่าวัตถุมีสีน้ำเงิน
 ค่า Chroma (C^*) เป็นค่าที่บอกถึงความเข้มของสีที่ปรากฏ ค่า C^* ยิ่งมากแสดงว่าสีที่ปรากฏมีความเข้มมากขึ้นด้วย

ค่า hue angle (h° หรือ H°) อยู่ในรูปขององศาในวงกลม ซึ่งจะมีค่าเริ่มต้นตั้งแต่ 0° จนถึง 360° ซึ่งค่า hue angle นี้บอกถึงสีที่แท้จริงที่ปรากฏให้เห็น โดยสีในแกนหลัก ได้แก่ 0° , 360° สีแดง-ม่วง, 90° สีเหลือง, 180° สีเขียว และ 270° สีน้ำเงิน (รูปที่ 3.13)



รูปที่ 3.13 แผนภาพเทียบสีมาตรฐาน (Raymond, 1992)

4. วัดค่าแอกทีวิตี้ (Water activity, a_w) ใช้เครื่องวัด a_w (a_w meter) วัดค่าภายหลังการอบแห้ง โดยวิธีการวัดมีขั้นตอนดังนี้
- เปิดเครื่องวัด a_w เพื่ออุ่นเครื่อง 30-60 นาที
 - ทำการปรับตั้งเครื่องโดยใช้ตัวอย่างมาตรฐาน
 - นำดอกกุหลาบที่ผ่านการอบแล้วใส่ในถ้วยพลาสติก ปริมาณ 2 ใน 3 ของปริมาณถ้วยพลาสติก ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร
 - นำตัวอย่างเข้าเครื่องวัด โดยสังเกตการณ์สมดุลของค่า a_w แล้วบันทึกผล ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ
 - บันทึกค่า a_w ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
5. วัดค่าแรงต้านการดึงของดอกกุหลาบ ใช้เครื่องวัดความต้านทานต่อแรงดึง (Texture analyser) โดยการวัดภายหลังการอบแห้ง วิธีการวัดทำดังนี้คือ
- เปิดคอมพิวเตอร์เพื่อใช้โปรแกรม Texture expert และเปิดเครื่อง Texture analyzer
 - ทำการปรับตั้งเครื่องตามมาตรฐาน
 - นำตัวอย่างหนีบเข้ากับหัวที่ใช้ดึงของตัวเครื่อง
 - ทำการกำหนดค่าต่างๆในการสั่งงานเครื่อง
 - สั่งให้เครื่องทำงานและให้เครื่องบันทึกข้อมูล

6. การประเมินคุณภาพของดอกกุหลาบอบแห้งด้วยลักษณะปรากฏภายนอก การประเมินใช้ผู้ประเมินจำนวน 5 คน ซึ่งคัดเลือกไว้พิจารณาดอกกุหลาบตลอดการทดลอง โดยมีหลักเกณฑ์การยอมรับแบบ 1-9 ที่เรียกว่า 9-point hedonic scale (Peacock *et al.*, 1986) โดยพิจารณาลักษณะภายนอก โดยรวมของดอกกุหลาบภายหลังการอบแห้ง ซึ่งใช้สีของดอกกุหลาบที่อบแห้งด้วยซิลิกาเจลเป็นมาตรฐานอ้างอิง ดังนี้

- 1 = ไม่ชอบมากที่สุด (dislike extremely)
- 2 = ไม่ชอบมาก (dislike very much)
- 3 = ไม่ชอบปานกลาง (dislike moderately)
- 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย (dislike slightly)
- 5 = เฉยๆ (like nor dislike)
- 6 = ชอบเล็กน้อย (like slightly)
- 7 = ชอบปานกลาง (like moderately)
- 8 = ชอบมาก (like very much)
- 9 = ชอบมากที่สุด (like extremely)

การทดลองที่ 2 ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งดอกกุหลาบด้วยระบบปั๊มความร้อนเครื่องต้นแบบที่ความเร็วลมเดิมของเครื่องต้นแบบ

วางแผนการทดลอง แบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD, Completely randomized design) โดยใช้ดอกกุหลาบ 3 สี คือ สีขาว สีแสด และสีชมพู เลือกดอกกุหลาบที่มีขนาดดอกสม่ำเสมอ แบ่งการทดลองออกเป็น 9 กรรมวิธี แต่ละกรรมวิธีมี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วยดอกกุหลาบ 3 สี สีละ 40 ดอก

วิธีการทดลอง

เตรียมดอกกุหลาบเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แล้วนำดอกกุหลาบไปอบในตู้อบแห้งระบบปั๊มความร้อนเครื่องต้นแบบ โดยแขวนดอกกุหลาบกับตะแกรง ใช้ตัวหนีบหนีบที่ก้านดอกแล้วห้อยกับตะแกรง โดยห้อยตะแกรงละ 40 ดอก จำนวน 3 ตะแกรง หลังจากนั้นนำตะแกรงที่แขวนดอกกุหลาบไปใส่ในห้องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน ดังรูปที่ 3.14 ทำการอบแห้งจนกระทั่งดอกกุหลาบอบแห้งมีความชื้นที่ใกล้เคียงกับการทดลองที่ 1



รูปที่ 3.14 ลักษณะการแขวนดอกกุหลาบภายในตู้อบแห้งระบบปั๊มความร้อน

ตารางที่ 3.1 กรรมวิธีในการทดลองด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

| อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | อัตราส่วนอากาศที่ไม่ผ่านฮีทเอปอเรเตอร์ |
|-------------------------|--|
| 40-45 | 25% |
| | 50% |
| | 75% |
| 45-50 | 25% |
| | 50% |
| | 75% |
| 50-55 | 25% |
| | 50% |
| | 75% |

การบันทึกผลการทดลอง

ทำการบันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยจดบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าเริ่มต้นที่ kWh มิเตอร์ และทำการจดบันทึกค่าพลังงานทุก 30 นาที ไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง

การทดลองที่ 3 ทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งดอกกุหลาบด้วยเครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศที่ความดัน 15 มิลลิบาร์

วางแผนการทดลอง แบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD, Completely randomized design) โดยใช้ดอกกุหลาบ 3 สี คือ สีขาว สีแสด และสีชมพู เลือกดอกกุหลาบที่มีขนาดดอกสม่ำเสมอ แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กรรมวิธี แต่ละกรรมวิธีมี 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำประกอบด้วยดอกกุหลาบ 3 สี สีละ 40 ดอก

วิธีการทดลอง

เตรียมดอกกุหลาบเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ 2 หลังจากนั้นใช้ตัวหนีบหนีบที่ก้านดอกแล้วห้อยกับตะแกรง โดยห้อยตะแกรงละ 40 ดอก จำนวน 3 ตะแกรง หลังจากนั้นนำตะแกรงที่แขวนดอกกุหลาบไปใส่ในห้องอบแห้งแบบสุญญากาศ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ลักษณะการแขวนดอกกุหลาบภายในตู้อบระบบสุญญากาศ

ทำการอบแห้งจนกระทั่งได้ความชื้นที่ใกล้เคียงกับค่าความชื้นของดอกกุหลาบอบแห้งอ้างอิง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

กรรมวิธีที่ 2 ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

กรรมวิธีที่ 3 ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

กรรมวิธีที่ 4 ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

การบันทึกผลการทดลอง

บันทึกผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ 2

3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง

3.4.1 วิเคราะห์คุณภาพของดอกกุหลาบอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 3 วิธี ดังนี้

- วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของดอกกุหลาบ
- วัดสีของกลีบดอกกุหลาบ
- วัดค่าวอเตอร์แอคทีวิตี
- วัดค่าแรงต้านการดึงของกลีบดอกกุหลาบ
- การประเมินคุณภาพจากลักษณะปรากฏภายนอกของดอกกุหลาบอบแห้ง

3.4.2 วิเคราะห์ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาความเป็นไปได้ในการนำเครื่องที่สร้างไปใช้

ในอุตสาหกรรมต่อไป

3.4.3 ใช้โปรแกรมทางสถิติ SX7 ในการวิเคราะห์ทางสถิติ