

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 กุหลาบ	4
2.2 พื้นฐานการอบแห้ง	6
2.2.1 ความชื้น	8
2.2.2 การถ่ายเทมวลและความร้อนในกระบวนการอบแห้ง	9
2.3 เครื่องอบแห้ง	14
2.4 เทคนิคสเปาเต็ดเบด (spouted bed technique)	20
2.4.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสเปาเต็ดเบด	22
2.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเบดและอัตราการไหลของไหล	24
2.4.3 การถ่ายเทความร้อนภายในสเปาเต็ดเบด	28
2.5 การพัฒนาเทคนิคสเปาเต็ดเบดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	37
2.6.1 ประเภทของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	38
2.7 สีและการวัดค่าสี (color and measurement)	40
<b>บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง</b>	<b>43</b>
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	43
3.1.1 กลิบกุหลาบ	43
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	44
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรมทางสถิติ	44
3.4 สมการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกลีบกุหลาบ มี 5 สมการ	44
3.5 วิธีการดำเนินการทดลอง	46
3.5.1 การหาอุณหภูมิและความเร็วลมที่เหมาะสมของการอบแห้ง กลีบกุหลาบด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบคแบบไม่ติดกราฟทีว็บ	46
3.5.2 การหาระยะความสูงจากทางเข้าลมร้อน อัตราส่วนระหว่าง เส้นผ่านศูนย์กลางของกราฟทีว็บ ( $D_{DT}$ ) และทางเข้าลมร้อน ( $D_0$ ) และความพรุนของกราฟทีว็บที่เหมาะสมในการอบแห้งกลีบกุหลาบ ด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบคแบบติดกราฟทีว็บ	47
3.5.3 การหาขนาดและปริมาณของลูกบิดพลาสติกแบบธรรมดา และแบบเคลือบโลหะที่เหมาะสมในการอบแห้งกลีบกุหลาบด้วย เทคนิคสเปาเต็ดเบคแบบติดกราฟทีว็บ	47
3.5.4 การหาแบบจำลองที่สามารถทำนายจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลง ความชื้นของกลีบกุหลาบได้ดีที่สุด	48
3.5.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการอบแห้งโดยเครื่องสเปาเต็ดเบค แบบติดกราฟทีว็บและเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีสภาวะการอบแห้ง ที่ใกล้เคียงกัน	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	50
4.1 คุณลักษณะของกليبกุหลาบ	50
4.1.1 ผลของอุณหภูมิและความเร็วลมต่อเวลาการอบแห้ง กليبกุหลาบด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบด	50
4.1.2 ผลของอุณหภูมิและความเร็วลมต่ออัตราส่วนความชื้นของ กليبกุหลาบอบแห้งด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบด	53
4.1.3 ผลของอุณหภูมิและความเร็วลมต่อสีของกليبกุหลาบ	54
4.2 ศึกษาความสูงจากทางเข้าลมร้อน อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง ของกราฟท์ทิวบ์ ( $D_{DT}$ ) และทางเข้าลมร้อน ( $D_0$ ) และความพรุนของ กราฟท์ทิวบ์ที่เหมาะสมในการอบแห้งแบบติดกราฟท์ทิวบ์	58
4.2.1 ผลของความสูงจากทางเข้าลมร้อน อัตราส่วนระหว่าง เส้นผ่านศูนย์กลางของกราฟท์ทิวบ์ ( $D_{DT}$ ) และทางเข้าลมร้อน ( $D_0$ ) ต่อเวลาในการอบแห้งกليبกุหลาบด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบด	58
4.2.2 ผลของกราฟท์ทิวบ์ที่มีรูพรุนต่อเวลาในการอบแห้งกليبกุหลาบ ด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบด	60
4.2.3 ผลของการติดกราฟท์ทิวบ์แบบมีรูพรุนและไม่มีรูพรุนต่ออัตราส่วน- - ความชื้นระหว่าง การอบแห้งกليبกุหลาบ	62
4.2.4 ผลของการติดกราฟท์ทิวบ์ไม่มีรูพรุนและมีรูพรุนต่อสีของกليبกุหลาบ หลังการอบแห้ง	63
4.3 การศึกษาขนาดและปริมาณของลูกบิดพลาสติกแบบธรรมดา และแบบเคลือบโลหะ	64
4.4 ศึกษาแบบจำลองที่สามารถทำนายจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้น ของกليبกุหลาบได้ดีที่สุด	67

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 ศึกษาการอบแห้งกลีบกุหลาบด้วยเครื่องอบพลังแสงอาทิตย์	72
4.5.1 เวลาในการอบแห้งกลีบกุหลาบจากเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์	72
4.5.2 การเปรียบเทียบคุณภาพสีหลังการอบกลีบกุหลาบด้วยเครื่อง อบพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบสเปาเต็คเบค	73
4.5.3 การเปรียบเทียบปริมาณสารที่ให้กลิ่นกุหลาบระหว่างการอบแห้ง ด้วยเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์และเทคนิคสเปาเต็คเบค	74
4.5.4 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้า	76
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>77</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	77
5.2 ข้อเสนอแนะ	78
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>80</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>86</b>
ภาคผนวก ก	87
ภาคผนวก ข	92
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	<b>97</b>

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 คุณลักษณะของกليبกุหลาบสดก่อนการอบแห้ง	50
4.2 ผลของอุณหภูมิและความเร็วลมต่อเวลาการอบแห้งกليبกุหลาบ ให้มีความชื้นสมดุลด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบด	52
4.3 ค่า $L^*$ ของกليبกุหลาบที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-70 °C และความเร็วลม 3 - 5 m/s	55
4.4 ค่า $a^*$ ของกليبกุหลาบที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-70 °C และความเร็วลม 3 - 5 m/s	56
4.5 ค่า $b^*$ ของกليبกุหลาบที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-70 °C และความเร็วลม 3 - 5 m/s	56
4.6 เวลาที่ใช้ในการอบแห้งกليبกุหลาบด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบด แบบติดกราฟที่ทิวบ์มีความแตกต่างระหว่าง $D_{DT}/D_0$ และความสูงของ ทางเข้าลมร้อน (ซม.)	60
4.7 เวลาที่ใช้ในการอบแห้งกليبกุหลาบด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบด แบบติดกราฟที่ทิวบ์ที่มีความแตกต่างของ % ความพรุนของกราฟที่ทิวบ์	61
4.8 ผลของการติดกราฟที่ทิวบ์แบบไม่มีรูพรุนและมีรูพรุน ต่อค่าสีของกليبกุหลาบหลังผ่านการอบแห้ง	64
4.9 เวลาที่ใช้ในการอบแห้งกليبกุหลาบด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบด แบบติดกราฟที่ทิวบ์มีรูพรุน ที่มีความแตกต่างระหว่างขนาดลูกบิดพลาสติก ชนิดเคลือบโลหะ( $D_p$ ) และ เปอร์เซนต์น้ำหนักเม็ดพลาสติกต่อน้ำหนัก กليبกุหลาบก่อนอบแห้ง (%wt)	65
4.10 เวลาที่ใช้ในการอบแห้งกليبกุหลาบด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบด แบบติดกราฟที่ทิวบ์มีรูพรุนและมีความแตกต่างระหว่างขนาด เม็ดพลาสติกชนิดธรรมดา ( $D_p$ ) และ เปอร์เซนต์น้ำหนักลูกบิดพลาสติก ต่อน้ำหนักกليبกุหลาบก่อนอบแห้ง (%wt)	66

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.11 ผลของการใช้ลูกบิดพลาสติกแบบธรรมดาและแบบเคลือบโลหะต่อค่าสีของ กลีบกุหลาบหลังการอบแห้ง	66
4.12 แสดงค่าคงที่และค่าทางสถิติของแบบจำลองทั้ง 5 แบบจำลอง เพื่อทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งกลีบกุหลาบด้วยเครื่องอบสเปาตัดเบต แบบไม่ติดกราฟทิวน์ที่อุณหภูมิ 70 °C และความเร็วลม 3.0 m/s	67
4.13 ค่าคงที่และค่าทางสถิติของแบบจำลองทั้ง 5 แบบจำลอง เพื่อทำนายจลนพลศาสตร์ การอบแห้งกลีบกุหลาบด้วยเครื่องสเปาตัดเบต แบบติดกราฟทิวน์ ขนาด ( $D_{DT}/D_0$ ) เท่ากับ 0.66 และความสูงจากทางเข้าลมร้อน เท่ากับ 6.35 ซม. ที่ความพรุนของกราฟทิวน์เท่ากับ 30%	69
4.14 ค่าคงที่และค่าทางสถิติของแบบจำลองทั้ง 5 แบบจำลอง เพื่อทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งกลีบกุหลาบด้วยเครื่องสเปาตัดเบต แบบติดกราฟทิวน์ขนาด $D_{DT}/D_0$ เท่ากับ 0.66 และความสูงจากทางเข้าลมร้อน เท่ากับ 6.35 ซม. ที่ความพรุนของกราฟทิวน์เท่ากับ 30% ,เพิ่มลูกบิดพลาสติก แบบเคลือบผิวโลหะขนาด 0.59 cm และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเม็ดพลาสติกต่อน้ำหนัก กลีบกุหลาบก่อนอบแห้ง ที่ 30 %wt	70
4.15 ค่าสีกลีบกุหลาบหลังการอบแห้งระหว่างเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องอบสเปาตัดเบตแบบติดกราฟทิวน์และเพิ่มอนุภาคเนื้อ ในการลดเวลาการอบแห้ง	74
4.16 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบของกลีบกุหลาบผ่านการอบแห้ง ด้วยเทคนิคสเปาตัดเบตและเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธี GC-MS (Gas chromatography – Mass spectrometry)	75

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 การจำแนกกุหลาบตามลักษณะสีของดอก	4
2.2 การจำแนกกุหลาบตามลักษณะการเจริญเติบโต	5
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นในผลิตภัณฑ์กับเวลาการอบแห้ง	7
2.4 ช่วงเวลาสิ้นสุดการอบแห้ง	8
2.5 เครื่องอบแห้งแบบถัง	14
2.6 เครื่องอบแห้งแบบถาด	15
2.7 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์	16
2.8 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง	16
2.9 เครื่องอบแห้งแบบสกรู	17
2.10 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	18
2.11 ความสัมพันธ์ของความดันลดคร่อมเบดและความเร็วของไหล	19
2.12 (ก) ลักษณะการเกิดฟองก๊าซในฟลูอิดไดซ์เบด	21
(ข) ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของสเปาเต็ดเบดที่ใช้ในการทดลอง	27
2.13 ลักษณะการเคลื่อนที่ในสเปาเต็ดเบด : (ก) อนุภาค, (ข) ของไหล (แก๊ส)	23
2.14 แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ความเร็วของไหลที่ป้อนเข้าไปแตกต่างกัน	24
2.15 เปรียบเทียบความดันลดตกคร่อมเบดกับความเร็วลมด้านทางเข้าเบด	26
2.16 การแบ่งประเภทอนุภาคตามวิธี Geldart	30
2.17 ลักษณะ โครงสร้างทั่วไปของสเปาเต็ดเบด	31
2.18 ลักษณะการไหลของอนุภาคของการเปลี่ยนแปลงความสูงเบดต่อความเร็วลม	32
2.19 แสดงลักษณะสเปาเต็ดเบดที่มีการติดตั้งกราฟท์ทิวบ์	34
2.20 ทิศทางการไหลของแก๊ส : (ก) ไม่ติดตั้งกราฟท์ทิวบ์, (ข) ติดตั้งกราฟท์ทิวบ์	35
2.21 ความดันลดตกคร่อมเบดของสเปาเต็ดเบดที่มีการติดตั้งกราฟท์ทิวบ์แบบมีรูพรุน	36
2.22 แสดงการอธิบายของระบบสี่	41

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
3.1 ลักษณะดอกและกลีบกุหลาบที่ใช้ในการทดลอง	43
4.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของกลีบกุหลาบตามกระแสความเร็วลม และอุณหภูมิที่กำหนดสถานะในเครื่องอบสเปาเต็ดเบด	51
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง กลีบกุหลาบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 55, 60, 65 และ 70 °C ที่ความเร็วลม (ก) 3 m/s, (ข) 3.5 m/s, (ค) 4 m/s, (ง) 4.5 m/s และ (จ) 5 m/s	51
4.3 อัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งกลีบกุหลาบเครื่องอบสเปาเต็ดเบด แบบไม่ติดกราฟท์ทิวบ์, ติดกราฟท์ทิวบ์ และกราฟท์ทิวบ์ที่มีรูพรุน	63
4.4 แบบจำลองทั้ง 5 แบบจำลอง ที่ใช้ในการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้ง กลีบกุหลาบด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบดแบบไม่ติดกราฟท์ทิวบ์ กำหนดลมร้อน ที่อุณหภูมิ 70 °C และความเร็วลม 3 m/s	68
4.5 แบบจำลองทั้ง 5 แบบจำลอง ที่ใช้ในการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้ง กลีบกุหลาบด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบดอุณหภูมิ 70 °C และความเร็วลม 3 m/s : ติดกราฟท์ทิวบ์ ขนาด $D_{DT}/D_0$ เท่ากับ 0.66 และความสูงจากทางเข้าลมร้อน เท่ากับ 6.35 ซม. มีความพรุนของกราฟท์ทิวบ์เท่ากับ 30%	69
4.6 แบบจำลองทั้ง 5 แบบจำลอง ที่ใช้ในการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้ง กลีบกุหลาบด้วยเครื่องอบสเปาเต็ดเบดกำหนดลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C และความเร็วลม 3 m/s : ติดกราฟท์ทิวบ์ ขนาด $D_{DT}/D_0$ เท่ากับ 0.66 และความสูงจากทางเข้าลมร้อนเท่ากับ 6.35 ซม. กราฟท์ทิวบ์มีความพรุน 30% เพิ่มลูกบิดพลาสติกแบบเคลือบโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.59 cm และ เเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเม็ดพลาสติกต่อน้ำหนักกลีบกุหลาบก่อนอบแห้งที่ 30 %wt	71
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้ง ด้วยเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์ในวันที่ 1 ถึง วันที่ 4	73