

## สารบัญ

|                                  | หน้า |
|----------------------------------|------|
| กิตติกรรมประกาศ                  | ค    |
| บทคัดย่อภาษาไทย                  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ               | ฉ    |
| สารบัญ                           | ช    |
| สารบัญตาราง                      | ฌ    |
| สารบัญรูป                        | ญ    |
| สัญลักษณ์และคำย่อ                | ตม   |
| บทที่ 1 บทนำ                     | 1    |
| บทที่ 2 การตรวจเอกสาร            | 3    |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย    | 25   |
| บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง   | 44   |
| บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง | 94   |
| เอกสารอ้างอิง                    | 96   |
| ภาคผนวก                          | 101  |
| ประวัติผู้เขียน                  | 133  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |  | หน้า |
|----------|--|------|
| 2.1      | การถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างการลดความชื้น  | 4    |
| 2.2      | องค์ประกอบทางเคมีและส่วนประกอบต่างๆของลำไยสดและลำไยอบแห้ง  | 14   |
| 2.3      | องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อลำไย เปลือกลำไย เมล็ดลำไยและลำไยทั้งผล  | 15   |
| 4.1(ก)   | ความเร็วลมขาออกของแต่ละบล็อกในแต่ละชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.3 เมตรต่อวินาที   | 45   |
| 4.1(ข)   | ความเร็วลมขาออกของแต่ละบล็อกในแต่ละชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาที   | 46   |
| 4.1(ค)   | ความเร็วลมขาออกของแต่ละบล็อกในแต่ละชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.9 เมตรต่อวินาที   | 47   |
| 4.2(ก)   | ความสามารถในการรับน้ำในแต่ละชั่วโมงของลมร้อนที่ระดับความเร็วลม 0.3 เมตรต่อวินาที ต่อ 1 kg อากาศร้อน                                    | 53   |
| 4.2(ข)   | ความสามารถในการรับน้ำในแต่ละชั่วโมงของลมร้อนที่ระดับความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาที ต่อ 1 kg อากาศร้อน                                    | 54   |
| 4.2(ค)   | ความสามารถในการรับน้ำในแต่ละชั่วโมงของลมร้อนที่ระดับความเร็วลม 0.9 เมตรต่อวินาที ต่อ 1 kg อากาศร้อน                                    | 54   |
| 4.3      | น้ำที่ลมร้อนสามารถเหวี่ยงออกได้ก็ไจโรรมต่อชั่วโมงในแต่ละความเร็วลม   | 55   |
| 4.4      | อัตราการลดความชื้นของการสลับชั้นทุก 12 ชั่วโมงและการสลับลมทุก 12, 9 และ 6 ชั่วโมงที่แต่ละระดับความเร็วลม                               | 68   |
| 4.5      | อัตราการลดความชื้นของระดับความเร็วลม 0.3, 0.6 และ 0.9 เมตรต่อวินาทีในแต่ละการสลับชั้นทุก 12 ชั่วโมงและการสลับลมทุก 12, 9 และ 6 ชั่วโมง | 71   |
| 4.6      | ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของลำไยอบแห้งทั้งเปลือก   | 88   |
| 4.7      | ความชื้นสัมบูรณ์และค่า Aw ของลำไยอบแห้งทั้งเปลือกในสารละลายเกลืออิ่มตัว  | 92   |

## สารบัญรูปภาพ

| รูปภาพที่ |  | หน้า |
|-----------|--|------|
| 2.1       | การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการลดความชื้น   | 3    |
| 2.2       | Drying rate curve  | 5    |
| 2.3       | การแบ่งชั้นของเครื่องอบด้วยกระบวนการอบแห้ง   | 6    |
| 2.4       | การเกิด Drying zone และ drying front   | 8    |
| 2.5       | ซอฟต์แวร์ไอโซเทอมของน้ำ (Water sorption isotherm)  | 9    |
| 2.6       | แสดงความชื้นสมดุลกับค่า Aw ของอาหารและไอโซเทอมของอาหาร   | 10   |
| 2.7       | แผนผังการกระจายลมของเครื่องอบแห้งของเกษตรกรที่ใช้ในปัจจุบัน  | 16   |
| 2.8       | ลักษณะการจัดเรียงและการสลับชั้นลำไยในกระบะของเครื่องอบแห้ง   | 18   |
| 3.1       | ลักษณะภายนอกของเครื่องลดความชื้นแบบสลับทิศทางลม  | 25   |
| 3.2       | ลักษณะห้องเครื่องอบแห้งและลิ้นชักของเครื่องอบแห้ง  | 26   |
| 3.3(ก)    | แสดงการไหลของทิศทางลมเมื่อลมร้อนไหลเข้าทางด้านล่างของเครื่องอบแห้ง                                   | 27   |
| 3.3(ข)    | แสดงการไหลของทิศทางลมเมื่อลมร้อนไหลเข้าทางด้านบนของเครื่องอบแห้ง                                     | 27   |
| 3.4       | ท่อลมร้อนของเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลม   | 28   |
| 3.5       | คันบังคับลิ้นปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลของลมร้อน  | 28   |
| 3.6       | โซลินอยด์  | 30   |
| 3.7       | เทอร์โมสแตท  | 30   |
| 3.8       | โครงสร้างทั้งหมดของเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน  | 31   |
| 3.9       | การปรับลิ้นเพื่อบังคับทิศทางการไหลของลมร้อน  | 32   |
| 3.10      | แผนผังแสดงการวางแผนการทดลองแบบ split plot design   | 33   |
| 3.11      | ลักษณะการใส่ลำไยแต่ละขนาดและลักษณะการวางตำแหน่งลิ้นชักชั้นบนกกลางล่าง                                | 34   |
| 3.12      | แผ่นเทียบสีของ Minalta (CR - 200)  | 40   |
| 4.1(ก)    | อุณหภูมิขาเข้า, ขาออกและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศของการลดความชื้นที่ระดับความเร็วลม 0.3 เมตรต่อวินาที | 50   |

| รูปภาพที่ | หน้า |
|-----------|------|
| 4.1(ข)    | 50   |
| 4.1(ค)    | 51   |
| 4.2(ก)    | 57   |
| 4.2(ข)    | 58   |
| 4.2(ค)    | 58   |
| 4.3(ก)    | 61   |
| 4.3(ข)    | 62   |
| 4.3(ค)    | 62   |
| 4.3(ง)    | 63   |
| 4.4(ก)    | 65   |
| 4.4(ข)    | 66   |
| 4.4(ค)    | 67   |
| 4.5(ก)    | 69   |
| 4.5(ข)    | 70   |

| รูปภาพที่ |  | หน้า |
|-----------|--|------|
| 4.5(ค)    | อัตราการลดความชื้นเฉลี่ยของระดับความเร็วลม 0.3, 0.6 และ 0.9 เมตรต่อวินาทีโดยการสลับลมทุก 9 ชั่วโมง   | 70   |
| 4.5(ง)    | อัตราการลดความชื้นเฉลี่ยของระดับความเร็วลม 0.3, 0.6 และ 0.9 เมตรต่อวินาทีโดยการสลับลมทุก 6 ชั่วโมง   | 70   |
| 4.6(ก)    | ความสัมพันธ์ของอัตราการลดความชื้นกับความชื้น(%db)ของการสลับลมทุก 12 ชั่วโมงและการสลับลมทุก 12, 9 และ 6 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.3 เมตรต่อวินาที | 72   |
| 4.6(ข)    | ความสัมพันธ์ของอัตราการลดความชื้นกับความชื้น(%db)ของการสลับลมทุก 12 ชั่วโมงและการสลับลมทุก 12, 9 และ 6 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาที | 72   |
| 4.6(ค)    | ความสัมพันธ์ของอัตราการลดความชื้นกับความชื้น(%db)ของการสลับลมทุก 12 ชั่วโมงและการสลับลมทุก 12, 9 และ 6 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.9 เมตรต่อวินาที | 73   |
| 4.7(ก)    | การลดความชื้นของชั้นบนชั้นกลางและชั้นล่างของการสลับลมทุก 12 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.3 เมตรต่อวินาทีต่อการเกิด moisture gradient                | 74   |
| 4.7(ข)    | การลดความชื้นของชั้นบนชั้นกลางและชั้นล่างของการสลับลมทุก 12 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.3 เมตรต่อวินาทีต่อการเกิด moisture gradient                | 74   |
| 4.7(ค)    | การลดความชื้นของชั้นบนชั้นกลางและชั้นล่างของการสลับลมทุก 9 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.3 เมตรต่อวินาทีต่อการเกิด moisture gradient                 | 75   |
| 4.7(ง)    | การลดความชื้นของชั้นบนชั้นกลางและชั้นล่างของการสลับลมทุก 6 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.3 เมตรต่อวินาทีต่อการเกิด moisture gradient                 | 75   |
| 4.8(ก)    | การลดความชื้นของชั้นบนชั้นกลางและชั้นล่างของการสลับลมทุก 12 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาทีต่อการเกิด moisture gradient                | 76   |

| รูปภาพที่   | หน้า |
|---|------|
| 4.8(ข) การลดความชื้นของชั้นบนชั้นกลางและชั้นล่างของการสลับลม<br>ทุก 12 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาทีต่อการเกิด<br>moisture gradient | 76   |
| 4.8(ค) การลดความชื้นของชั้นบนชั้นกลางและชั้นล่างของการสลับลม<br>ทุก 9 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาทีต่อการเกิด<br>moisture gradient  | 77   |
| 4.8(ง) การลดความชื้นของชั้นบนชั้นกลางและชั้นล่างของการสลับลม<br>ทุก 6 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาทีต่อการเกิด<br>moisture gradient  | 77   |
| 4.9(ก) การลดความชื้นของชั้นบนชั้นกลางและชั้นล่างของการสลับลม<br>ทุก 12 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.9 เมตรต่อวินาทีต่อการเกิด<br>moisture gradient | 78   |
| 4.9(ข) การลดความชื้นของชั้นบนชั้นกลางและชั้นล่างของการสลับลม<br>ทุก 12 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.9 เมตรต่อวินาทีต่อการเกิด<br>moisture gradient | 78   |
| 4.9(ค) การลดความชื้นของชั้นบนชั้นกลางและชั้นล่างของการสลับลม<br>ทุก 9 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.9 เมตรต่อวินาทีต่อการเกิด<br>moisture gradient  | 78   |
| 4.9(ง) การลดความชื้นของชั้นบนชั้นกลางและชั้นล่างของการสลับลม<br>ทุก 6 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.9 เมตรต่อวินาทีต่อการเกิด<br>moisture gradient  | 79   |
| 4.10(ก) การลดความชื้นของลำไยอบแห้งทั้งเปลือกขนาดลำไยเกรด A<br>และลำไยเกรด B   | 81   |
| 4.10(ข) อัตราการลดความชื้นของลำไยอบแห้งทั้งเปลือกขนาดลำไยเกรด A<br>และลำไยเกรด B  | 82   |
| 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้นกับความชื้นของลำไย<br>อบแห้งแต่ละเกรด   | 83   |

| รูปภาพที่  | หน้า |
|--|------|
| 4.12(ก) ค่าเฉลี่ยการวัดสีของลำใยหลังการลดความชื้นแต่ละการสลับชั้นทุก 12 ชั่วโมงและการสลับลมทุก 12, 9 และ 6 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.3 เมตรต่อวินาที | 85   |
| 4.12(ข) ค่าเฉลี่ยการวัดสีของลำใยหลังการลดความชื้นแต่ละการสลับชั้นทุก 12 ชั่วโมงและการสลับลมทุก 12, 9 และ 6 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาที | 86   |
| 4.12(ค) ค่าเฉลี่ยการวัดสีของลำใยหลังการลดความชื้นแต่ละการสลับชั้นทุก 12 ชั่วโมงและการสลับลมทุก 12, 9 และ 6 ชั่วโมงที่ระดับความเร็วลม 0.9 เมตรต่อวินาที | 86   |
| 4.13 ค่าน้ำที่เป็นประโยชน์ ( $A_w$ ) ของลำใยอบแห้งทั้งเปลือก   | 87   |
| 4.14 พฤติกรรมการดูดซับน้ำของตัวอย่างลำใยอบแห้งทั้งเปลือกเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุลย์ที่ทราบค่า $A_w$ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส                             | 91   |

## สัญลักษณ์และอักษรย่อ

|            |   |  |
|------------|---|--|
| $A_w$      | = | ค่า Water activity                               |
| $P_w$      | = | ค่าความดันไอของอากาศ (Pa)                        |
| $P_{w0}$   | = | ค่าความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน (Pa) |
| $M_{wb}$   | = | ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก, (%wb)                   |
| $M_{db}$   | = | ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง, (%db)                    |
| $W$        | = | น้ำหนักสด (kg)                                   |
| $D$        | = | น้ำหนักแห้ง (kg)                                 |
| $W_1$      | = | น้ำหนักที่ระยะเวลาก่อนหน้า (kg)                  |
| $Mc_1$     | = | ความชื้นที่ระยะเวลาก่อนหน้า (%db)                |
| $W_2$      | = | น้ำหนักที่ระยะเวลาถัดมา (kg)                     |
| $Mc_2$     | = | ความชื้นที่ระยะเวลาถัดมา (%db)                   |
| $dm/dt$    | = | อัตราการลดความชื้น (%/hr)                        |
| $t_1$      | = | เวลาที่ความชื้นที่ 1 (hr)                        |
| $t_2$      | = | เวลาที่ความชื้นที่ 2 (hr)                        |
| $\Delta W$ | = | Humidity ratio (kg moisture/kg dry air)          |
| $\Delta h$ | = | Enthalpy of air (KJ/kg)                          |
| EMC        | = | Equilibrium moisture content                     |
| A          | = | Total sample weight (g)                          |
| B          | = | Tare weight (g)                                  |
| C          | = | Equilibrated weight (g)                          |
| y          | = | เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง                       |
| x          | = | เวลาที่ใช้ในการลดความชื้น (hr)                   |
| e          | = | ค่า exponential มีค่าเท่ากับ 2.7183              |