

ผลของการอบแห้งด้วยลมหมุนต่อสีของมะม่วงสุก  
Effect of swirling air flow drying on color of ripe mango

วิลาวัณย์ จิงมานะกิจ<sup>1</sup>

วิฐู ชูศรี<sup>2</sup>

ธัชพงศ์ ชูศรี<sup>3</sup>

Email wilachung@hotmail.com

<sup>1</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>2</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

<sup>3</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของลักษณะการไหล และอุณหภูมิของลมร้อนต่อจลนพลศาสตร์ และสีของมะม่วงสุกตลอดกระบวนการอบแห้ง โดยลักษณะการไหลของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ประกอบด้วยการไหลแบบลมตรง และลมหมุน ส่วนอุณหภูมิลมร้อนเป็น 50 60 และ 70 °C ใช้ความเร็วลมคงที่ 2 m/s การติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างในระหว่างกระบวนการอบแห้งจะใช้ระบบ Computer Vision System (CVS) และประมวลผลภาพ (Image processing) เพื่อวิเคราะห์สีของตัวอย่างเป็นค่า L\*, a\*, b\* และ  $\Delta E^*$  จากการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (Effective moisture diffusivity:  $D_{eff}$ ) จากการอบแห้งด้วยลมหมุนมีค่าสูงกว่าแบบลมตรง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีค่า  $D_{eff}$  สูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยค่า  $D_{eff}$  จากการอบแห้งแบบลมตรง และลมหมุนที่อุณหภูมิลมร้อนเป็น 50 60 และ 70 °C มีค่า (1.24, 1.45, 1.95, 1.30, 1.96, 2.30)  $\times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s ตามลำดับ ในระหว่างกระบวนการอบแห้ง  $\Delta E^*$  มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงสีของตัวอย่างโดยรวมมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากขึ้นตลอดกระบวนการอบแห้ง  $\Delta E^*$  ของตัวอย่างจากการอบแห้งแบบลมตรง และลมหมุนที่อุณหภูมิลมร้อนเป็น 50 60 และ 70 °C มีค่า 0.215, 0.409, 0.301 และ 0.238, 0.317, 0.253 ตามลำดับ จากแนวโน้มของค่า  $\Delta E^*$  จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างจากการอบแห้งแบบลมหมุนเกิดขึ้นน้อยกว่าแบบลมตรง

**คำสำคัญ :** มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุก, การอบแห้ง, ลมหมุน

### Abstract

The effect of air flow characteristics and air temperature in hot air drying on kinetics and total color difference ( $\Delta E^*$ ) during the drying process was investigated. The experiment was performed by two types air flow characteristics: swirling and non swirling air flow using hot air temperature at 50, 60 and 70 °C with 2 m/s air velocity. Computer Vision System (CVS) was used for monitoring color changes of sample and Image processing was used for color analysis in system of L\* a\* and b\* and  $\Delta E^*$ . The results indicated that Effective moisture diffusivity ( $D_{eff}$ ) of swirling air flow was higher than that of non swirling air flow. The  $D_{eff}$  of swirling and non swirling air flow at 50, 60 และ 70 °C was (1.24, 1.45, 1.95)  $\times 10^{-9}$  and (1.30,

1.96, 2.30)×10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>/s, respectively. The  $\Delta E^*$  tended to increase. This result showed that the color was more changes throughout the drying period. The  $\Delta E^*$  of swirling and non swirling air flow at 50, 60 และ 70°C was 0.215, 0.409, 0.301 and 0.238, 0.317, 0.253, respectively. Accordingly, the color changes of the sample from swirling air flow was less than that from non swirling air flow.

**Keywords:** Mango, drying, swirling-air flow

## บทนำ

มะม่วง (*Mangifera indica* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจของไทย โดยมะม่วงมียอดส่งออกถึง 3 ล้านตันต่อปี ทั้งในรูปการส่งออกมะม่วงสด และมะม่วงแปรรูป (Chomchalow และ Songkhla, 2008) มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองเป็นอีกหนึ่งสายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมทั้งในและนอกประเทศ เนื่องจากมีรสชาติดีเป็นเอกลักษณ์ มีกลิ่นหอม ทนต่อโรคและแมลงได้ดีอีกทั้งยังสามารถออกผลได้ตลอดทั้งปี แต่เมื่ออยู่ในช่วงฤดูการออกผลกลับพบปัญหามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีมากจนล้นตลาดส่งผลให้ราคามะม่วงน้ำดอกไม้สีทองตกต่ำ จึงมีการนำมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมาแปรรูปด้วยวิธีต่างๆ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่า และยืดอายุการเก็บรักษา การอบแห้ง (Drying) เป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมนำมาแปรรูปผักและผลไม้ โดยมีหลักการคือ การลดหรือการกำจัดความชื้นที่มีอยู่ในอาหารให้ลดลงจนถึงจุดที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ที่จะนำมาซึ่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าการอบแห้งมะม่วงที่นิยม คือ การอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air drying) (Pu และ Sun, 2017) เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก แต่กลับมีลักษณะปรากฏที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ เช่น ด้านการเปลี่ยนแปลงของสี การหดตัว และคุณค่าทางสารอาหารลดลง เนื่องมาจากการอบแห้งด้วยลมร้อนมีอัตราการถ่ายโอนมวลและความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ (Zielinska และคณะ, 2018) ต่อมาจึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายเทมวลในการอบแห้งแบบหอสเปร์ยโดยใช้การไหลของลมแบบหมุน พบว่า การไหลของลมแบบหมุนสามารถแทรกผ่านชิ้นตัวอย่างได้มากขึ้น ทำให้ความสามารถในการเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวลและความร้อนยิ่งขึ้น ส่งผลให้ลมสามารถผ่านน้ำออกจากชิ้นตัวอย่างได้อย่างรวดเร็ว จึงช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งลงเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบลมตรง (Javed, 2006) จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งแบบลมร้อนได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองระหว่างกระบวนการอบแห้งจากอิทธิพลการไหลของลม และอุณหภูมิของลมร้อนที่แตกต่างกัน

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการไหลของลมต่อประสิทธิภาพในการอบแห้งด้วยมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง
2. เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงสีของมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุกในกระบวนการอบแห้ง

## การทบทวนวรรณกรรม

1. การอบแห้งแบบลมร้อน  
1.1 การอบแห้งแบบลมตรง

การอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air drying) ทำได้โดยใช้ตู้อบขนาดใหญ่ที่มีลมร้อนที่ผ่านการให้ความร้อนจากเครื่องทำความร้อน (heater) เป่าผ่านอาหารทำให้น้ำระเหยไปกับลมร้อนโดยทางช่องระบายลม

ภายในตู้อบ โดยนิยมใช้อุณหภูมิอบแห้งประมาณ 45 - 65 °C (Ahmed และคณะ, 2001) โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง มีดังนี้

1.1.1. ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็วเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้ อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมากนั่นเอง

1.1.2. ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหาร ที่มีผลต่อการอบแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นการอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่หนาน้อยกว่าเนื่องจากอัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

1.1.3. ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจาก อากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึงจึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง

## 1.2 การอบแห้งแบบลมหมุน

จากงานวิจัยของ Javed และคณะ (2006) เกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายโดยมวลในหอสเปร์ย์ที่ใช้การไหลของลมแบบหมุน พบว่า ความเร็วลมของการหมุนเป็นลักษณะโดยทั่วไปในแง่ของพารามิเตอร์ไม่มีขนาด (dimensionless) เรียกว่า จำนวนการหมุน โดยความรุนแรงเริ่มต้นของการหมุนขึ้นอยู่กับความเร็วลมเฉลี่ยในการไหลเข้า และกระแสลมหมุนที่ผ่านท่อวงกลมจะแสดงความรุนแรงของลมแบบ Turbulence และ Reynold ความเครียดจึงเพิ่มขึ้นด้วยความรุนแรงในการหมุน เมื่อเทียบกับกระแสลมตรง ดังนั้นความรุนแรงของลมหมุนจะเพิ่มประสิทธิภาพของการถ่ายโอนมวล เมื่อเทียบกับกระแสลมตรง

## 2. การวิเคราะห์ด้านสี

### 2.1 ระบบการประมวลผลภาพ Computer Vision System (CVS)

จากการงานวิจัยของ León และคณะ (2006) เรื่อง การวัดค่าสีในรูปแบบ  $L^* a^* b^*$  โดยการแปลงจาก RGB ภาพดิจิทัล โดยเป็นภาพที่ถูกแปลงมาจากอนาลอก ให้อยู่ในรูปของตัวเลขโดยภาพอนาลอกถูกแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ที่เรียกว่าพิกเซล ในแต่ละพิกเซลจะถูกระบุตำแหน่งด้วยคู่อันดับ  $x, y$  และค่าระดับความเข้มของแสงของพิกเซลนั้น ๆ

## ขอบเขตการวิจัย

### 1. ขอบเขตประชากร

ทำวิจัยโดยใช้ตัวอย่างเป็นมะม่วงสุกพันธุ์น้ำดอกไม้สีทองขนาด  $1.5 \times 1.5 \times 1.0$  เซนติเมตร

### 2. ขอบเขตตัวแปร

#### 2.1 ตัวแปรต้น

2.1.1 การศึกษาการอบแห้งด้วยการไหลของลม 2 รูปแบบ คือ การอบแห้งแบบลมตรง และการอบแห้งแบบลมหมุน

2.1.2 การศึกษาสภาวะในการอบแห้งของ 3 อุณหภูมิ คือ ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C โดยทุกสภาวะควบคุมความเร็วลมที่ 2 m/s

#### 2.2 ตัวแปรตาม

2.2.1 อัตราการอบแห้ง (Drying rate)

2.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น ( $D_{eff}$ )

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงของสีมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุกระหว่างกระบวนการอบแห้ง

### 3. ขอบเขตเวลา

ทำงานวิจัยภายในระยะเวลา 12 เดือน คือ ระหว่างวันที่ 4 สิงหาคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2561

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. ระเบียบวิธีวิจัย

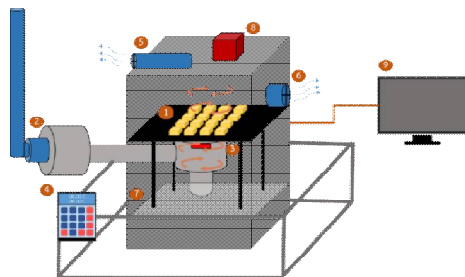
#### 1.1 การคัดเลือกตัวอย่างมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

มะม่วงน้ำดอกไม้สีทองสุก ซื้อจากร้านผลไม้ทั่วไปในตลาด (อำเภอเมือง, นครปฐม) โดยคัดเลือกจากสีให้มีสีเหลืองเสมอกันทั้งลูก มีน้ำหนักต่อผลประมาณ 300-350 กรัม ผิวเรียบเนียนและไม่ขำ นำมาวัดความชื้นเฉลี่ยเริ่มต้น  $82.36 \pm 1.06$  % (wet bulb) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้วัดโดยใช้เครื่องวัดมือ Hand Refractometer (รุ่น HR-130, 0-32 °Brix, ประเทศอิตาลี) อยู่ในช่วง  $18.32 \pm 1.03$  °Brix ค่าความแน่นเนื้อวัดโดยใช้เครื่องมือ Fruit Pressure Tester (ยี่ห้อ Pamalyne, รุ่น FT-327, ประเทศอิตาลี) อยู่ในช่วง  $12.765 \pm 2.521$  N วัดปริมาณกรดที่มีในมะม่วงด้วยวิธีการไทเทรตอยู่ในช่วง  $0.3201 \pm 0.0581$  g Citric acid/100 g ตัวอย่างที่ผ่านการคัดเลือกแล้วนำมาปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้น (ขนาด  $1.5 \times 1.5 \times 1.0$  cm.) และวางบนถาดเซฟรอน เรียงกัน  $4 \times 4$  แถว (ทั้งหมด 16 ชิ้น) ทำแห้งที่สภาวะต่างๆ

### 2. ขั้นตอนการวิจัย

#### 2.1 เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (Hot air drying)

ในการวิจัยออกแบบเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนโดยสามารถเปลี่ยนรูปแบบการไหลของลมได้ 2 รูปแบบ คือ การไหลแบบลมตรง และแบบลมหมุน ส่วนประกอบของเครื่องทำแห้งแบบลมร้อนในงานวิจัย แสดงในภาพที่ 3 ดังนี้



ภาพที่ 1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (1 คือ ถาดใส่ตัวอย่างมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง เรียงกัน  $4 \times 4$  แถว (ทั้งหมด 16 ชิ้น), 2 คือ ส่วนต่อลมที่สามารถเปลี่ยนรูปแบบได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การไหลของลมแบบลมตรงและแบบลมหมุน, 3 คือ IR ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในเครื่องทำแห้งตลอดการอบแห้ง โดยจะส่งข้อมูลอุณหภูมิไปยัง Heater, 4 คือ Heater ไว้ตั้งค่าสภาวะอุณหภูมิในการอบแห้ง, 5 คือ พัดลมระบายความร้อน, 6 คือ พัดลมระบายความร้อน, 7 คือ Load cell ใช้ในการชั่งน้ำหนักติดตามตัวอย่างตลอดการอบแห้ง, 8 คือ กล้องถ่ายภาพติดตามค่าสีตลอดการอบแห้ง โดยถ่ายภาพตัวอย่างทุก 60 วินาที, 9 คือ จะมีการประมวลผลข้อมูลทั้งหมด ได้แก่ ภาพถ่าย ค่าสี น้ำหนักตัวอย่าง และการควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้ง บันทึกไว้แสดงเป็นกราฟในคอมพิวเตอร์)

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

#### 3.1 การวัดค่าสี

ใช้วิธีการประมวลผลจากภาพถ่ายจากกล้อง โดยมีการติดตามภาพถ่ายด้วยระบบ Computer Vision System (CVS) เหมือนการมองเห็น เป็นรูปแบบรายละเอียดของภาพ (พิกเซล) ซึ่งมีการประมวลผลภาพด้วยวิธี Image processing ที่มีการประมวลค่าสีด้วยระบบสี RGB โดยการใช้แหล่งกำเนิดแสงจำนวนสามสี ได้แก่ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) เป็นรูปแบบความเข้มสี หลังจากนั้นแปลงค่าความเข้มสีของระบบสี RGB แปลงเป็นค่าสี  $L^* a^* b^*$  และนำค่ามาคำนวณ ( $\Delta E$ ) โดยมีการถ่ายภาพทุก 60 วินาที ตลอดการอบแห้ง โดยค่า  $L^*$  แสดงถึงค่าความสว่าง (0-100),  $a^*$  คือ สีแดง และสีเขียว ( $+a^* =$  แดง,  $-a^* =$  เขียว) และ  $b^*$  คือ สีเหลือง และน้ำเงิน ( $+b^* =$  เหลือง,  $-b^* =$  น้ำเงิน) และค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (total color differences,  $\Delta E^*$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 (Malakrisanachalee et al, 2015)

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

#### 3.2 การวิเคราะห์การอบแห้ง

##### 3.2.1 การวิเคราะห์ความชื้น

สามารถวิเคราะห์หาความชื้นฐานแห้ง (dry basis,  $M_d$ ) ของตัวอย่างได้ตามวิธีของ AOAC ดังสมการที่ 2

$$M_d(\%) = \frac{(w-d)}{d} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ  $M_d$  คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%d.b.),  $w$  คือ มวลเปียกของตัวอย่าง (กิโลกรัม) และ  $d$  คือ มวลแห้งของตัวอย่าง (กิโลกรัม)

##### 3.2.2 การวิเคราะห์อัตราการอบแห้ง

นำค่าน้ำหนัก และความชื้นที่บันทึกได้มาสร้างเส้นโค้งการอบแห้ง และสร้างเส้นโค้งอัตราการอบแห้ง จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาค่าคงที่ที่แสดงประสิทธิภาพการอบแห้งของกระบวนการอบแห้ง จากข้อมูลเส้นโค้งด้วยสมการของ Lewis model ดังสมการที่ 3 และ 4

$$MR = \exp(-kt) \quad (3)$$

$$MR = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (4)$$

และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (effective diffusion coefficient,  $D_{eff}$ ) ของกระบวนการอบแห้งได้จากสมการที่ 5

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_0^\infty \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2}{L_0^2} D_{eff} t\right) \quad (5)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio) ของตัวอย่าง, K คือ ค่าคงที่ของสมการ Lewis,  $X, X_0, X_{eq}$  คือ ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) ของตัวอย่าง ณ เวลาใดๆ, วัตถุติบ และตัวอย่างเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ, t คือเวลา และ L คือ ความหนาของชั้นตัวอย่าง

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเรื่องผลของสภาวะในการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์ในการอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์จะถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design) หรือ CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปัจจัยที่ศึกษาโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 18.0

## ผลการวิจัย

### 1. ศึกษาผลของรูปแบบการไหลของลม และอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น

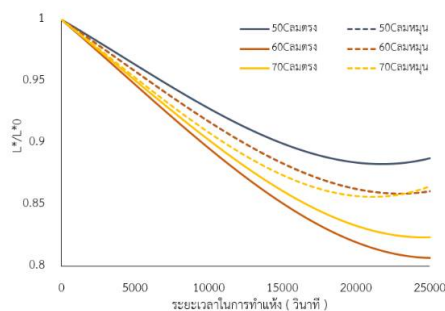
ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น ( $D_{eff}$ ) ในการอบแห้งแบบลมตรง และลมหมุน

รูปแบบการอบแห้ง	อุณหภูมิ ( $^{\circ}C$ )	สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น ( $D_{eff}$ ) $\times 10^{-9}$	ความเร็วลม(m/s)
1. การอบแห้งแบบลมตรง	50	1.24	2
	60	1.45	2
	70	1.95	2
2. การอบแห้งแบบลมหมุน	50	1.30	2
	60	1.96	2
	70	2.30	2

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องเป็นไปตามทฤษฎีเมื่อการเพิ่มการถ่ายโอนมวล และความร้อนได้ดียิ่งขึ้น เวลาที่ใช้ในการอบแห้งก็จะสั้นลง ส่งผลให้การอบแห้งมีประสิทธิภาพในการแพร่ความชื้นได้ดียิ่งขึ้น

### 2. ผลของอุณหภูมิต่อสรีระหว่างกระบวนการอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้สีทอง

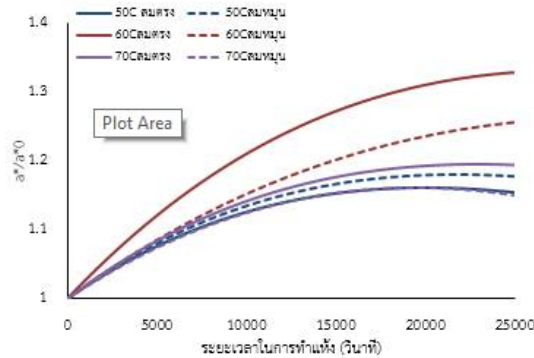
#### 2.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่า $L^*$ ระหว่างกระบวนการอบแห้ง



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงสี  $L^*/L_0^*$  กับระยะเวลาในการอบแห้ง (วินาที) ของทำแห้งด้วยการไหลของลม 2 รูปแบบ

ภาพที่ 2 แสดงค่าสี  $L^*/L_0^*$  เมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยรูปแบบการไหลของลม 2 รูปแบบ คือ แบบลมตรงและแบบลมหมุน ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C ทำการควบคุมความเร็วลมที่ 2 m/s ทุกอุณหภูมิ พบว่า จากการอบแห้งแบบลมหมุนทุกอุณหภูมิมิมีแนวโน้มที่ไม่แตกต่างกันและที่อุณหภูมิ 60 °C แบบลมตรงมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี  $L^*/L_0^*$  มากที่สุด

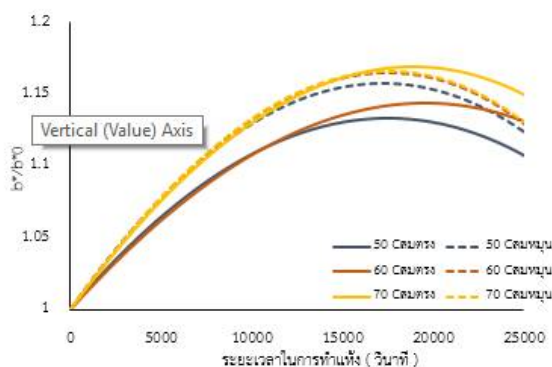
### 2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสี $a^*$ ระหว่างกระบวนการอบแห้ง



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงสี  $a^*/a_0^*$  กับระยะเวลาในการอบแห้ง (วินาที) ของทำแห้งด้วยการไหลของลม 2 รูปแบบ

ภาพที่ 3 แสดงค่าสี  $a^*/a_0^*$  เมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยรูปแบบการไหลของลม 2 รูปแบบ คือ แบบลมตรงและแบบลมหมุน ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C ที่ทำการควบคุมความเร็วลมที่ 2 m/s ทุกอุณหภูมิ พบว่า จากการอบแห้งแบบลมตรงและลมหมุนที่อุณหภูมิ 50 และ 70 °C แนวโน้มที่ไม่แตกต่างกัน และที่อุณหภูมิ 60 °C แบบลมตรงมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี  $a^*/a_0^*$  มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าสี  $L^*/L_0^*$  เช่นกัน

### 2.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสี $b^*$ ระหว่างกระบวนการอบแห้ง



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงสี  $b^*/b_0^*$  กับระยะเวลาในการอบแห้ง (วินาที) ของทำแห้งด้วยการไหลของลม 2 รูปแบบ

ในการติดตามผลค่าสี  $b^*$  บ่งชี้ถึงค่าสีแดง คือ ค่าเป็นลบ (สีน้ำเงิน) ถึง ค่าเป็นบวก (ค่าสีเหลือง) โดยจะแสดงผลความสัมพันธ์ของค่า  $b^*/b_0^*$  กับระยะเวลาในการอบแห้งเป็นวินาที ซึ่งค่า  $b^*/b_0^*$  ในระยะแรกที่

เริ่มต้นกระบวนการอบแห้งค่า  $b^*/b_0$  เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งเป็นระยะเวลาานค่า  $b^*/b_0$  จะมีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อย เป็นจากในมะม่วงมีองค์ประกอบของสาร  $\beta$  - carotene ซึ่งเป็นสีเหลือง เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งผ่านไป ความชื้นในชิ้นตัวอย่างลดลงทำให้ปริมาณน้ำที่ทำให้เกิดการกระเจิงแสงลดลง เม็ดสีของ  $\beta$  - carotene มีความอัดแน่นมากขึ้น สีเหลืองของ  $\beta$  - carotene จึงเข้มขึ้น

#### 2.4 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแตกต่างโดยรวมของสี ( $\Delta E$ ) ระหว่างกระบวนการอบแห้ง

ตารางที่ 2 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี ( $\Delta E^*$ ) ในการอบแห้งแบบลมตรง และลมหมุน

รูปแบบการทำแห้ง	อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta E^*$	ความเร็วลม(m/s)
1. การทำแห้งแบบลมตรง	50	0.215	2
	60	0.409	2
	70	0.301	2
2. การทำแห้งแบบลมหมุน	50	0.238	2
	60	0.317	2
	70	0.253	2

จากตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยรูปแบบการไหลของลม 2 รูปแบบ คือ แบบลมตรง และแบบลมหมุน ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70  $^{\circ}\text{C}$  ที่ทำการควบคุมความเร็วลมที่ 2 m/s ทุกอุณหภูมิ พบว่า จากการอบแห้งแบบลมตรงและลมหมุนที่อุณหภูมิ 50 และ 70  $^{\circ}\text{C}$  มีแนวโน้มที่ไม่แตกต่างกัน และที่อุณหภูมิ 60  $^{\circ}\text{C}$  แบบลมตรงมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างของสีโดยรวม ( $\Delta E^*$ ) มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าสี  $L^*/L_0^*$  และค่าสี  $a^*/a_0^*$  เช่นกัน

#### อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิ และรูปแบบการไหลของลมที่มีผลต่ออัตราการความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการอบแห้ง พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราการความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป โดยยิ่งอุณหภูมิสูง อัตราความชื้นจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้นซึ่งจะสอดคล้องกันทั้งการอบแห้งแบบลมตรง และลมหมุน เนื่องจากความร้อนจะกระตุ้นให้เกิดการระเหยน้ำได้รวดเร็วยิ่งขึ้นในระยะเริ่มต้นของกระบวนการ และเมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของลม พบว่าที่อุณหภูมิ 70  $^{\circ}\text{C}$  แบบลมหมุนมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมากที่สุด คือ  $2.30 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  เนื่องจากรูปแบบการไหลแบบลมหมุนที่สามารถแทรกเข้าไปในชิ้นตัวอย่างได้มากกว่า จึงเพิ่มการถ่ายโอนมวล และความร้อนได้มากขึ้น

จากแนวโน้มของค่าสี  $L^*$  ลดลง ค่า  $a^*$  เพิ่มขึ้น และค่า  $b^*$  เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 50 และ 70  $^{\circ}\text{C}$  ค่า  $L^*$  และ  $b^*$  มีแนวโน้มที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าสีในกระบวนการอบแห้งแบบลมตรงและแบบลมหมุนจากค่า  $\Delta E^*$  นั้น แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมไม่มีความแตกต่างกัน แต่ที่อุณหภูมิ 60  $^{\circ}\text{C}$  จากการอบแห้งแบบลมตรง มีค่า  $\Delta E^*$  มากที่สุด เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

## เอกสารอ้างอิง

- Chomchalow, N. and Songkhla, P.N. 2008. Thai Mango Export: A Slow-but-Sustainable Development. Office of the President, Assumption University. 12(1):1-8.
- Javed, K.H., Mahmud, T. and Purba, E. 2006. Enhancement of mass transfer in a spray tower using swirling gas flow. Chemical Engineering Research and Design. 84(A6): 465-471
- León, K., Mery, D., Pedreschi, F. and León, J. 2005. Color measurement in L\*a\*b\* units from RGB digital images. Food Research International. 39: 1084–1091.
- Malaikritsanachalee, P., Choosri, W., Pookthamai, P. and Choosri, T. (2015). Optimization of convective hot air drying for ripe banana. In food Innovation asia conference. Innovative asean food food research towards the world. Bangkok, Thailand.
- Mizobutsi, G.P., Finger, F.L., Ribeiro, R.A., Puschmann, R., Melo Neves, L.L. and Mota, W.F. 2010. Effect of pH and temperature on peroxidase and polyphenoloxidase activities of litchi pericarp. 67: 213-217.
- Pu, Y.Y. and Sun, D.A. 2017. Combined hot-air and microwave-vacuum drying for improving drying uniformity of mango slices based on hyperspectral imaging visualisation of moisture content distribution. Biosystems engineering. 156:108-109.
- Zielinska, M., Ropelewska, E. and Zapotoczny, P. 2018. Effects of freezing and hot air drying on the physical, morphological and thermal properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon*). Food and Bioproducts Processing. 110:40-49.