

การศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งและการประเมินค่าสีของพริกที่อบแห้ง
ภายในตู้อบแห้งแบบหลายชั้นด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ
Investigation of Drying Behavior and Color Changes
Evaluation of Chilli in Multi-layers Cabinet Dryer Using
Image Processing Techniques

ศุขมา โชคเพิ่มพูน

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

สุริยา โชคเพิ่มพูน*

หน่วยวิจัยวิศวกรรมความร้อนและระบบของไหล สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ตำบลพังโคน อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร 47160

Susama Chokphoemphun

Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Science and Engineering, Kasetsart
University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus, Chiangkrua, Muang, Sakon Nakhon 47000

Suriya Chokphoemphun*

Thermal Engineering and Fluid System Research Unit, Mechanical Engineering,
Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Sakonnakhon Campus,
Sakonnakhon, Phang Khon, Phang Khon, Sakon Nakhon 47160

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เสนอการศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งของพริก และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพสำหรับวิเคราะห์และประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของพริก ในระหว่างกระบวนการอบแห้งและความสม่ำเสมอของสีพริกแห้งภายในตู้อบแห้งแบบหลายชั้น โดยให้อากาศที่ผ่านชุดอุ่นอากาศภายใต้เงื่อนไขให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่เท่ากับ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งจ่ายจากพัดลมด้วยความเร็วในการไหลที่แตกต่างกัน ได้แก่ 2.0 และ 4.0 เมตรต่อวินาที นอกจากนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของจำนวนการเปิดชุดหลอดไฟที่ 1, 2, 3 และ 4 ชุด ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริมและกระทบของตำแหน่งในการวางพริก พบว่ากรณีการเปิดหลอดไฟให้ความร้อนจำนวน 4 ชุด ที่ค่าความเร็วลมร้อนเท่ากับ 2.0 เมตรต่อวินาที ให้อัตราการอบแห้งที่ดีที่สุด โดยใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง ใน

การลดปริมาณความชื้นให้มีค่าต่ำกว่า 13 % มาตรฐานเปียก ผลิตภัณฑ์พริกแห้งมีค่าเฉลี่ยของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเท่ากับ 219, 96 และ 65 ตามลำดับ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 13, 16 และ 14 ตามลำดับ

คำสำคัญ : การเปลี่ยนแปลงสี; การประมวลผลภาพ; การอบแห้งพริก; พฤติกรรมการอบแห้ง

Abstract

This paper presents the behavior of chilli drying and the application of image processing technology for analyzing and evaluating color changes of chilli during drying process and the consistency of color in those dried chilli in the multi-layers hot air cabinet dryer. During the experiments, the ambient air was passing through the air heater channel under the condition of constant heat flux at 800 W/m^2 using two different air flow velocities namely 2.0 and 4.0 m/s. In addition, the influence of the turning on the heating lamp sets 1, 2, 3 and 4 was used as an auxiliary heating devices and affected the location of the chilli in the cabinet was investigated. The result illustrated that the best drying method occurred when turning on 4 sets of heating lamps at 2.0 m/s of hot air velocity using 8 hours of drying time to reduce the moisture content to less than 13% wet basis. The dried chilli product has an average red, green and blue color were 219, 96 and 65 respectively, and the standard deviations were 13, 16 and 14, respectively.

Keywords: color change; image processing; chili drying; drying behavior

1. บทนำ

การทำแห้งผลผลิตทางการเกษตร คือ หนึ่งในวิธีการถนอมอาหารที่ได้รับความนิยม ซึ่งอาจกระทำเพื่อการเก็บรักษาหรือเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตรนั้น หนึ่งในวิธีการทำแห้งที่ดำเนินการได้ง่ายและได้รับความนิยม คือ การอบแห้งโดยอาศัยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ [1-9] ดังรายละเอียดที่นำเสนอในตารางที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลักการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างหลากหลายชนิดภายในตู้อบแห้งที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยอาศัยชุดอุณหภูมิอากาศที่มีลักษณะของพื้นผิวดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่หลากหลายรูปแบบ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น

ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่ระบบได้รับ ความเร็วของลมร้อนที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง ลักษณะของตู้อบแห้งและตำแหน่งการจัดวางของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

นอกจากพฤติกรรมการอบแห้งที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้งแล้ว คุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งนับเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จำเป็นต้องพิจารณา ไม่ว่าจะเป็นลักษณะสี ความเงา ขนาด รูปร่างหรือรอยตำหนิ เป็นต้น ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งสามารถกระทำได้โดยใช้ระบบประสาทสัมผัสของมนุษย์ อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากอาจมีสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อทั้งทางกายและสภาพจิตใจของผู้ประเมิน [10] ดังนั้นจึงมีการ

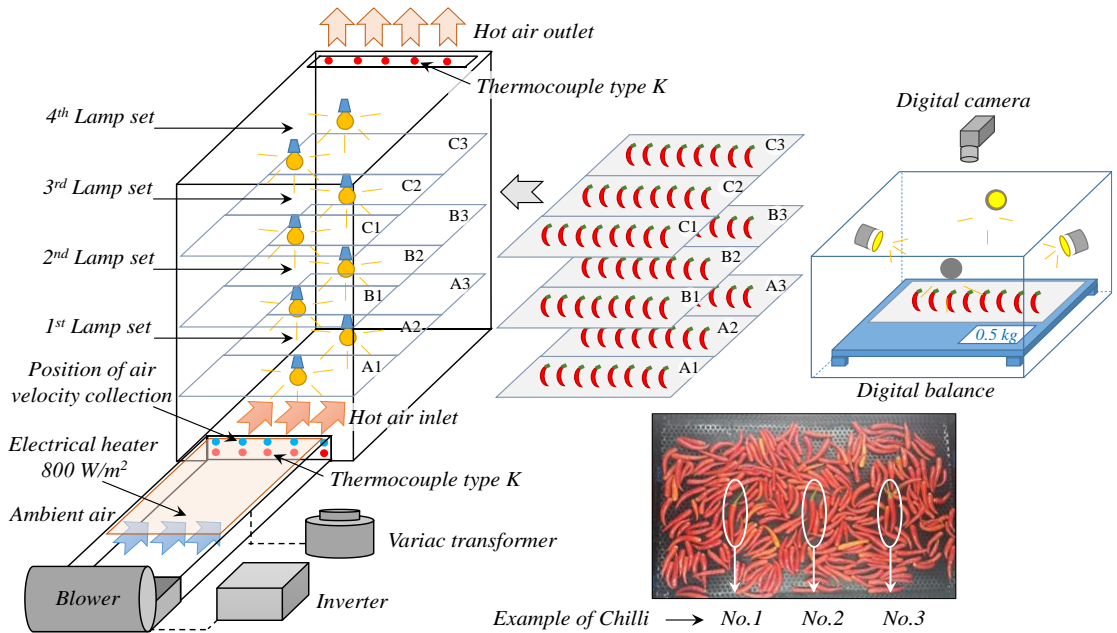
ตารางที่ 1 การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

ผู้วิจัย	วัสดุอบแห้ง	รูปแบบการพาความร้อน		ลักษณะโครงสร้างชุดอุ่นอากาศ
		แบบบังคับ	แบบอิสระ	
[1]	มะพร้าว	✓		ช่องขนานพื้นผิวเรียบ
[2]	กะหล่ำ	✓		ช่องขนานพื้นผิวลูกฟูก
[3]	ใบมะกอก	✓		ช่องขนานพื้นผิวลูกฟูก
[4]	ใบปาล์มน้ำมัน	✓		ช่องขนานพื้นผิวเรียบชนิดไหลสองกลับแบบ 6 ช่องย่อย
[5]	เมล็ดโกโก้		✓	ช่องขนานพื้นผิวเรียบ
[6]	สาหร่ายสีแดง	✓		ช่องขนานพื้นผิวเรียบชนิดไหลสองกลับแบบ 4 ช่องย่อย
[7]	โหระพา	✓		ช่องขนานพื้นผิวเรียบร่วมกับแผ่นบังคับการไหล
[8]	มะม่วง	✓		ช่องขนานที่มีชุดท่อสุญญากาศ
[9]	กล้วย		✓	ช่องขนานพื้นผิวลูกฟูก

ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาช่วย โดยเฉพาะเทคโนโลยีการวิเคราะห์หรือประมวลผลภาพ [11] เช่น การประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิชันในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสีของแผ่นแอปเปิ้ลในกระบวนการอบแห้ง [12] การประเมินการหดตัวของงุ่นในระหว่างกระบวนการอบแห้ง [13] ในขณะเดียวกันเทคโนโลยีการวิเคราะห์หรือประมวลผลภาพยังสามารถนำไปประยุกต์เกี่ยวกับการประเมินคุณลักษณะทางกายภาพอื่น ๆ ของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ไม่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง เช่น การประเมินความเขียวของผัก [14] การคัดแยกขนาดของสตอร์เบอร์รี่ [15] นอกจากนี้มีการนำหลักการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยเทคโนโลยีไฮเปอร์สเปกตรัลในการตรวจสอบปริมาณความชื้นของแผ่นมันฝรั่ง [16] รวมทั้งการประยุกต์ใช้สำหรับการประเมินค่าสีและปริมาณความชื้นของถั่วเขียว [17] พบว่าเทคโนโลยีการวิเคราะห์หรือประมวลผลภาพนี้ให้ผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้งานที่ดีสำหรับการวิเคราะห์จากลักษณะปรากฏของวัตถุ

การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ไม่พบการศึกษาวิจัยที่ศึกษาถึงพฤติกรรมการอบแห้งร่วมกับการประเมินคุณลักษณะทางกายภาพของพริกในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้สำหรับการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของพริกในระหว่างกระบวนการอบแห้งและความสม่ำเสมอของสีพริกแห้งที่ได้จากกระบวนการอบแห้ง เนื่องจากเป็นการประมวลผลภาพวิธีการที่ให้ผลลัพธ์การวิเคราะห์ที่ดีและมีความสะดวกต่อการใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการในการวัดค่าสีด้วยเครื่องมือวัดค่าสี ร่วมกับการวิเคราะห์พฤติกรรมการอบแห้งของพริกภายในตู้อบแห้งลมร้อนแบบหลายชั้นภายใต้เงื่อนไขการให้ความร้อนที่ชุดอุ่นอากาศแบบปลั๊กความร้อนคงที่ โดยศึกษาถึงอิทธิพลของความเร็วลม ปริมาณการให้ความร้อนเสริมภายในตู้อบแห้งและตำแหน่งการจัดวางพริกภายในตู้อบแห้ง

2. อุปกรณ์และวิธีการ



รูปที่ 1 แผนภาพการติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง

2.1 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งและประเมินคุณลักษณะสีของพริกภายในตู้อบแห้งลมร้อนแบบหลายชั้นนำเสนอในรูปที่ 1 ชุดทดลองประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนตู้อบแห้งและส่วนชุดอุณหภูมิอากาศ ตู้อบแห้งมีขนาดด้านกว้าง ด้านยาว และความสูงของตัวตู้เท่ากับ 0.5, 1 และ 1.5 เมตร ตามลำดับ ตู้อบแห้งแบ่งเป็น 3 ชั้น (ชั้น A, B และ C) แต่ละชั้นประกอบด้วยถาดสำหรับใส่วัตถุดิบจำนวน 3 ถาด รวมทั้งหมดภายในตู้อบแห้งมีจำนวน 9 ถาด โดยแต่ละถาดมีการบรรจุพริกสดปริมาณ 0.5 กิโลกรัม ภายในมีการติดตั้งหลอดไฟสำหรับเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนเสริมจำนวน 4 ชุด ในแต่ละชุดประกอบด้วยหลอดไฟจำนวน 2 หลอด ซึ่งลำดับการเปิดชุดหลอดไฟนั้นเป็นไปตามที่แสดงในรูปที่ 1 มีช่องทางสำหรับลมร้อนเข้าและออกอย่างละ 1 ช่องทาง ด้านนอกของตู้อบแห้งมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียออกจากระบบ

ช่องทางสำหรับลมร้อนเข้าตู้อบแห้งต่อเข้ากับชุดอุณหภูมิอากาศที่มีลักษณะเป็นช่องขนานขนาดด้านกว้างและความสูงเท่ากับ 0.3 และ 0.03 เมตร ตามลำดับ ขดลวดความร้อนใช้สำหรับเป็นแหล่งสร้างความร้อนหลักใช้กับอากาศภายใต้เงื่อนไขสภาวะพลังความร้อนคงที่เท่ากับ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร แก่ชุดอุณหภูมิอากาศเพื่อจำลองการรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยใช้หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดแกนหมุนสำหรับควบคุมการให้ความร้อนแก่ขดลวดความร้อน พัฒมทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายอากาศเข้าสู่ชุดอุณหภูมิอากาศ ซึ่งอาศัยอินเวอร์เตอร์ในการปรับความเร็วรอบของพัดลมเพื่อให้ได้ปริมาณอากาศที่ต้องการ โดยภายใต้ขอบเขตการศึกษาวิจัยนี้ กำหนดไว้ที่ความเร็วอากาศที่ชุดอุณหภูมิอากาศประมาณ 2.0 และ 4.0 เมตรต่อวินาที เทอร์โมคัลป์เปิดชนิด K ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศที่ช่องทางสำหรับลมร้อนเข้าและออกของตู้อบแห้งช่องทางละ 5 ตำแหน่ง เพื่อนำเสนอในรูปของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ในขณะที่ความเร็วของอากาศที่ช่องทาง

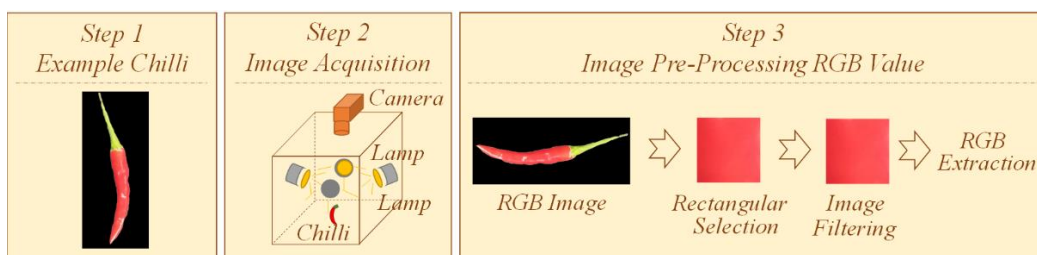
ออกของชุดอ่อนอากาศวัดค่าโดยเครื่องมือวัดความเร็วชนิดใบพัดจำนวน 5 ตำแหน่ง และนำเสนอในรูปของค่าความเร็วเฉลี่ย ตาซึ่งดิจิทัลใช้สำหรับการชั่งน้ำหนักของพริกซึ่งติดตั้งไว้ภายในกล่องที่บัสแสงที่มีการควบคุมปริมาณและทิศทางการให้แสงสว่างสำหรับใช้ในขั้นตอนการถ่ายภาพพริก

2.2 วิธีดำเนินการ

ในระหว่างกระบวนการรอบแห่งพริกทุก ๆ 1 ชั่วโมง มีการบันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของพริกในแต่ละภาคด้วยการนำไปชั่งบนตาชั่งดิจิทัล เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้นสำหรับใช้อธิบายพฤติกรรมการอบแห้งที่เกิดขึ้น รวมทั้งมีการบันทึกภาพของพริกในแต่ละภาคและภาพพริกตัวอย่างที่กำหนดเป็นตัวแทนของพริกทั้งภาค จำนวนภาคละ 3 ตัวอย่าง ซึ่ง

วางไว้ในตำแหน่งที่แตกต่างกันในลักษณะกระจายในแต่ละภาคในระหว่างขั้นตอนการชั่งน้ำหนัก สำหรับนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีภายนอกของพริกด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

กระบวนการการประมวลผลภาพถ่ายของพริกในแต่ละกรณีศึกษาสำหรับวิเคราะห์แยกสี RGB เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประเมินการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพด้านสีควบคู่กับพฤติกรรมการอบแห้งที่เกิดขึ้น กระทำโดยใช้โปรแกรม Image-J ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้ (1) การปรับลดขนาดพิกเซลของภาพถ่ายพริก (2) การกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพถ่ายพริก และ (3) การวิเคราะห์แยกค่าสี RGB ตามที่นำเสนอในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการวิเคราะห์ค่าสี RGB

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 พฤติกรรมการอบแห้ง

การศึกษาถึงพฤติกรรมการอบแห้งของพริกนั้นนำเสนอในรูปของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นตามมาตรฐานเปียก [1] สามารถคำนวณในรูปร้อยละของปริมาณความชื้นได้จากสมการที่ (1) โดยที่

$$\%MC_{w,b} = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} \cdot 100 \quad (1)$$

เมื่อ $MC_{w,b}$ คือ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก; W_i คือ ค่าน้ำหนักเริ่มต้นของพริก; W_f คือ ค่าน้ำหนักสุดท้ายของพริก

3.2 การประเมินค่าสี

การประเมินการเปลี่ยนแปลงค่าสีและความสม่ำเสมอของสีพริกแห่งนั้นใช้หลักการทางสถิติ [18] สำหรับวิเคราะห์แนวโน้มเข้าสู่ค่ากลางและการกระจายของข้อมูลค่าสีผ่านพารามิเตอร์จำนวน 3 ตัว ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าพิสัย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถคำนวณตามสมการที่ (2), (3) และ (4) ตามลำดับ

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N} \quad (2)$$

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N}} \quad (4)$$

เมื่อ \bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล; R คือ ค่าพิสัยของข้อมูล; σ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล; x คือ ค่าข้อมูล; x_{\max} คือ ค่าสูงสุดของข้อมูล; x_{\min} คือ ค่าต่ำสุดของข้อมูล; N คือ จำนวนของข้อมูล

4. ผลการวิจัยและวิจารณ์

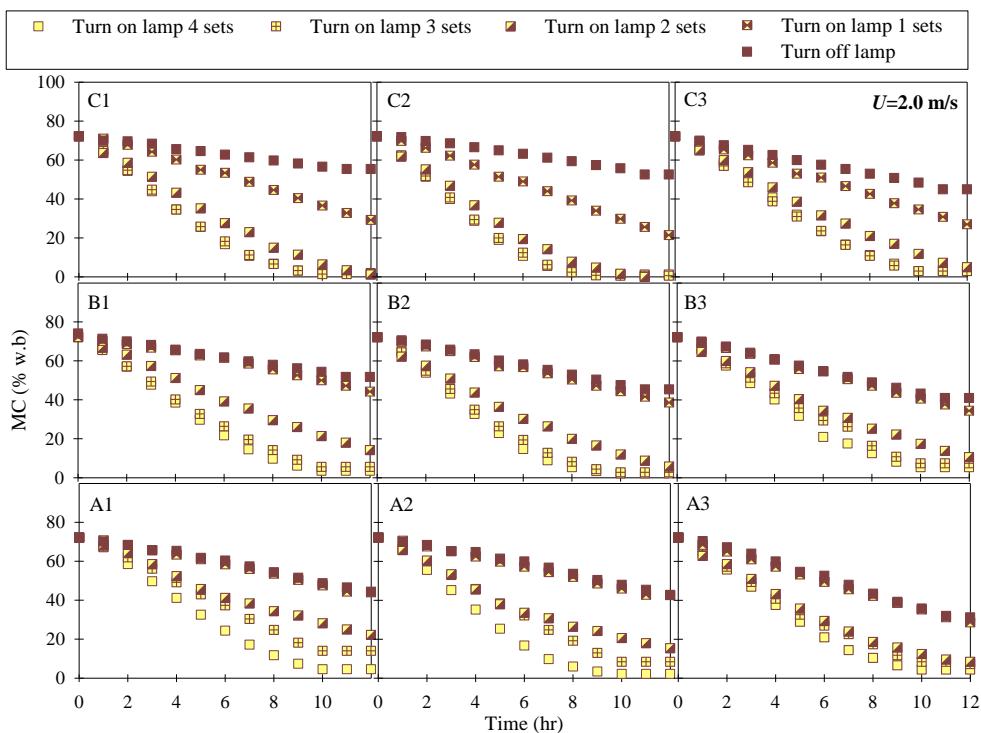
4.1 พฤติกรรมการอบแห้ง

ตารางที่ 2 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของลมร้อนที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกของตู้อบแห้งพบว่าในกรณีที่ความเร็วของลมร้อนที่ค่าเท่ากับ 2.0 และ 4.0 เมตรต่อวินาที ค่าอุณหภูมิลมร้อนเฉลี่ยที่ทางเข้าตู้อบแห้งมีค่าประมาณ 70 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกจากตู้อบแห้งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนชุดของการเปิดหลอดไฟให้ความร้อนเสริม โดยเฉลี่ยแล้วพบว่าการเปิดหลอดไฟให้ความร้อนเสริมนั้นช่วยให้อุณหภูมิต่างออกจากตู้อบแห้งของลมร้อนมีค่าเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 4 องศาเซลเซียส ต่อการเปิดหลอดไฟให้ความร้อนเสริมจำนวน 1 ชุด

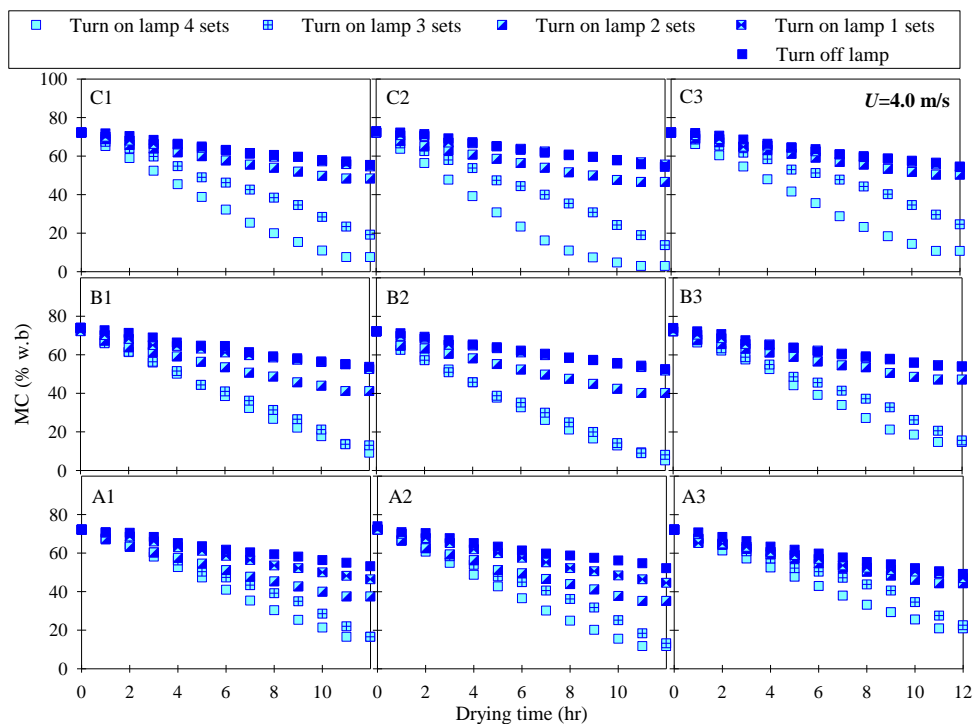
รูปที่ 3 และ 4 นำเสนอถึงอิทธิพลของจำนวนชุดการเปิดหลอดไฟให้ความร้อนที่มีผลต่อคุณลักษณะการอบแห้งของพริกแต่ละภาค ในกรณีที่ความเร็วลมร้อนเท่ากับ 2.0 และ 4.0 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตามจำนวนชุดการเปิดหลอดไฟให้ความร้อน ยกเว้นกรณีการเปิดชุดหลอดไฟให้ความร้อนจำนวน 1 ชุด ที่ให้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับการอาศัยเฉพาะความร้อนจากลมร้อนเท่านั้น เนื่องจากเมื่อพิจารณาในตารางที่ 2 พบว่าเมื่อเปิดหลอดไฟให้ความร้อนจำนวน 1 ชุด ช่วยให้ค่าอุณหภูมิของลมร้อนขาออกจากตู้อบแห้งเพิ่มขึ้นประมาณ 3 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีการให้ความร้อนเสริม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความชื้นที่ได้จากการเปิดหลอดไฟให้ความร้อนจำนวน 1 ชุด นั้นมีเพียงเล็กน้อย ผลลัพธ์ที่ได้จึงไม่แตกต่างจากการอาศัยเฉพาะความร้อนหลักจากขดลวดความร้อน กรณีเปิดชุดหลอดไฟให้ความร้อนจำนวน 4 ชุด ให้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของพริกดีที่สุด โดยสามารถช่วยเพิ่มค่าอุณหภูมิของลมร้อนขาออกจากตู้อบแห้งขึ้นประมาณ 16 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีการให้ความร้อนเสริม

ตารางที่ 2 อิทธิพลของจำนวนชุดการเปิดหลอดไฟและความเร็วลมต่ออุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกของตู้อบแห้ง

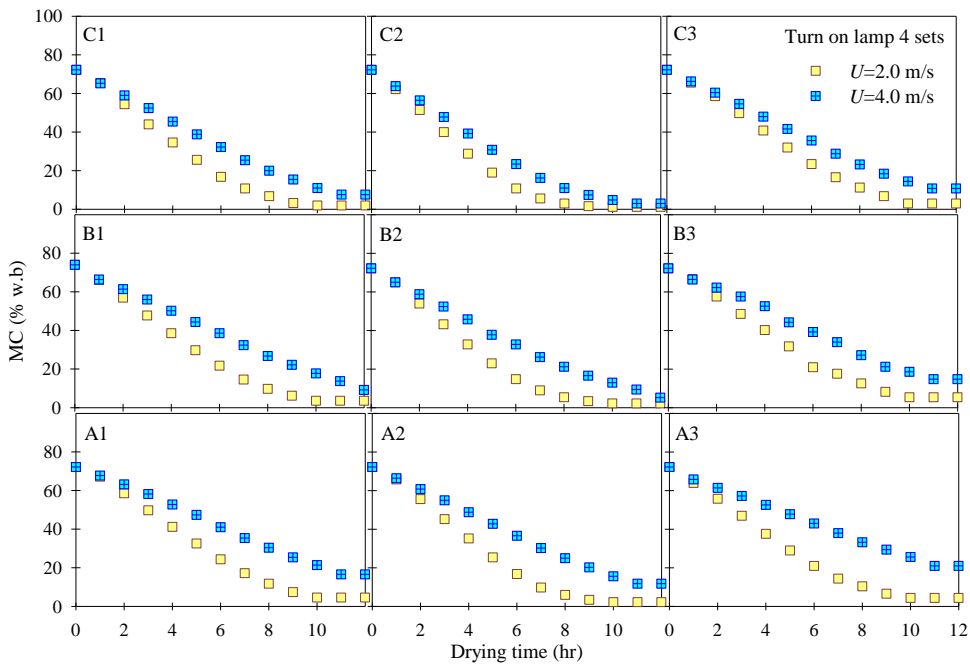
จำนวนการเปิดหลอดไฟ (ชุด)	อุณหภูมิของลมร้อน (°C)			
	ความเร็ว 2.0 m/s		ความเร็ว 4.0 m/s	
	ทางเข้า	ทางออก	ทางเข้า	ทางออก
0	69	51	48	38
1	69	54	48	41
2	71	60	49	45
3	71	64	50	50
4	70	68	50	54



รูปที่ 3 อิทธิพลของจำนวนชุดการเปิดหลอดไฟที่มีต่อพฤติกรรมการอบแห้งพริกที่ความเร็ว 2.0 m/s



รูปที่ 4 อิทธิพลของจำนวนชุดการเปิดหลอดไฟที่มีต่อพฤติกรรมการอบแห้งพริกที่ความเร็ว 4.0 m/s



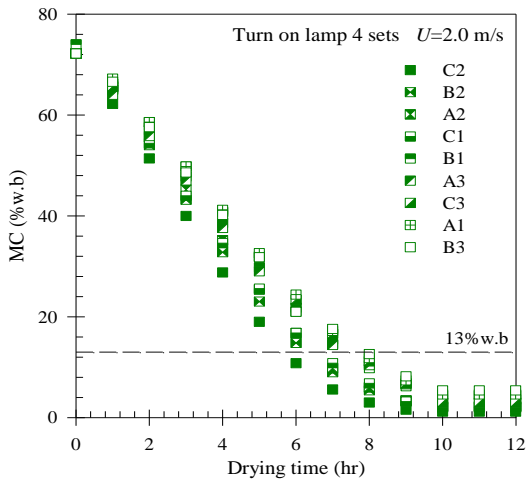
รูปที่ 5 อิทธิพลของความเร็วลมที่มีต่อพฤติกรรมการอบแห้ง

อิทธิพลของความเร็วลมร้อนที่มีต่ออัตราการอบแห้งของพริกกรณีการเปิดหลอดไฟให้ความร้อนเสริมจำนวน 4 ชุด ตามที่แสดงในรูปที่ 5 พบว่าที่ค่าความเร็วลมร้อนเท่ากับ 2.0 เมตรต่อวินาที ให้อัตราการอบแห้งที่ต่ำกว่าค่าความเร็วลมร้อนเท่ากับ 4.0 เมตรต่อวินาที เนื่องจากที่ค่าความเร็วลมต่ำสามารถดึงปริมาณความร้อนออกจากชุดสร้างลมร้อนได้มากกว่า ดังเห็นได้จากข้อมูลที่น่าเสนอในตารางที่ 2 โดยสามารถเพิ่มค่าอุณหภูมิของลมร้อนขาออกจากตู้อบแห้งได้สูงกว่าประมาณ 14 องศาเซลเซียส และความเร็วลมที่ต่ำทำให้ลมร้อนเคลื่อนที่ออกจากตู้อบแห้งได้ช้ากว่าที่ค่าความเร็วลมสูงจึงช่วยให้ปรากฏการณ์การถ่ายโอนมวลของน้ำที่บรรจุภายในพริกที่ต่ำกว่า เมื่อพิจารณาที่ค่าปริมาณความชื้นเท่ากับ 13 % มาตรฐานเปียก พบว่าในกรณีศึกษาที่ค่าความเร็วลมร้อนเท่ากับ 2.0 เมตรต่อวินาที และเปิดชุดหลอดไฟให้ความร้อนเสริมจำนวน 4 ชุด ให้อัตราการอบแห้งที่เร็วที่สุดโดยใช้

เวลาในการอบแห้งประมาณ 8 ชั่วโมง เพื่อให้ค่าความชื้นของพริกทุกถาดมีค่าต่ำกว่า 13 % มาตรฐานเปียก ตำแหน่งถาดหมายเลข C2 ให้อัตราการอบแห้งที่เร็วที่สุดโดยใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 6 ชั่วโมง ในขณะที่ตำแหน่งถาดหมายเลข B3 ให้อัตราการอบแห้งที่ช้าที่สุดโดยใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 8 ชั่วโมง ดังนำเสนอในรูปที่ 6

4.2 การประเมินค่าสีของพริกอบแห้ง

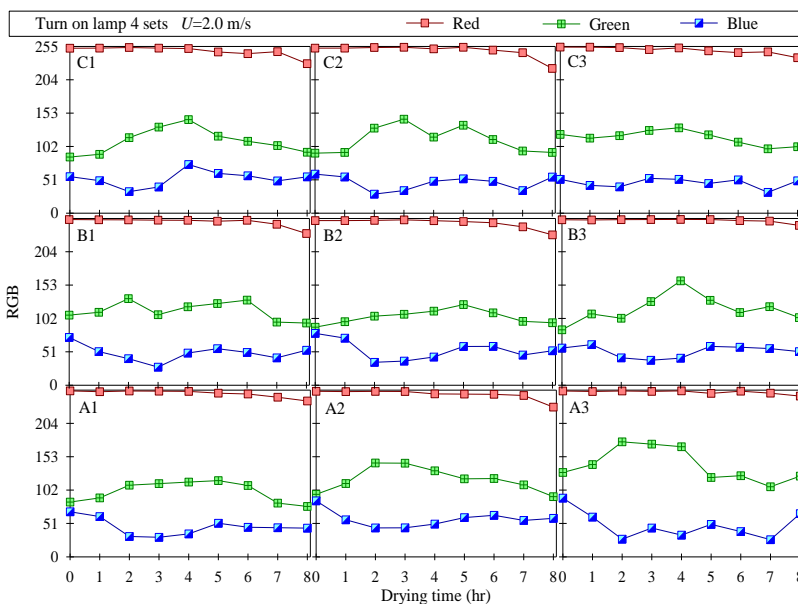
รูปที่ 7 นำเสนอค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์ประเมินค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) ของตัวอย่างพริกจำนวน 3 ตัวอย่าง ในแต่ละถาด สำหรับกรณีศึกษาที่ค่าความเร็วลมร้อนเท่ากับ 2.0 เมตรต่อวินาที และเปิดชุดหลอดไฟให้ความร้อนเสริมจำนวน 4 ชุด นอกจากนี้ได้วิเคราะห์ประเมินค่าสี RGB ของพริกแห้งที่ได้จากกระบวนการอบแห้งภายใต้เงื่อนไขสถานะที่ดีที่สุดในแต่ละตำแหน่งของถาด โดยที่ในแต่ละถาดได้สุ่มตัวอย่างพริกแห้งจำนวน 9 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น



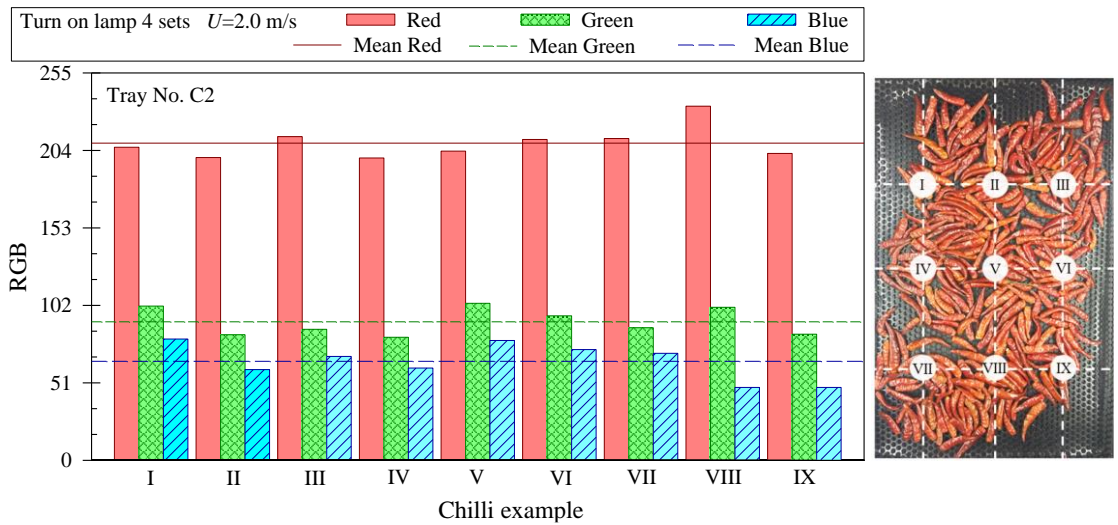
รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นกับตำแหน่งของธาตุฟริก

จำนวน 81 ตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ยสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) ของตัวอย่างฟริกทั้ง 81 ตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 219, 96 และ 65 ตามลำดับ โดยที่พิสัยของค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเท่ากับ 63, 69 และ 50 ตามลำดับ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเท่ากับ 13, 16 และ 14 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าค่าพิสัยของแต่ละสีมี

ช่วงที่กว้างรวมทั้งยังให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยการวิเคราะห์สีนั้นแสดงให้เห็นว่าสีของผลิตภัณฑ์ฟริกแห้งที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการได้รับความร้อนที่แตกต่างกันตามตำแหน่งของฟริกในแต่ละถาดหรือแม้แต่กระทั่งภายในถาดเดียวกัน ดังสังเกตได้จากพฤติกรรมการอบแห้งที่แตกต่างกัน ดังนำเสนอในรูปที่ 6 โดยผลการวิเคราะห์ประเมินค่าสี RGB สำหรับตัวอย่างฟริกแห้งในถาดตำแหน่งหมายเลข C2 ที่คัดเลือกจำนวนทั้งสิ้น 9 ตัวอย่าง ด้วยวิธีการเลือกตามตำแหน่งที่ระบุไว้เบื้องต้น นำเสนอไว้ในรูปที่ 8 ซึ่งนำเสนอร่วมกับค่าเฉลี่ยแต่ละสีที่เกิดขึ้นในถาดตำแหน่ง C2 ภายใต้เงื่อนไขการศึกษาที่ให้อัตราการอบแห้งที่ดีที่สุด พบว่าค่าเฉลี่ยสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินของตัวอย่างฟริกภายในถาดตำแหน่ง C2 มีค่าเท่ากับ 209, 91 และ 65 ตามลำดับ ค่าพิสัยของค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเท่ากับ 34, 22 และ 32 ตามลำดับ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเท่ากับ 11, 9 และ 12 ตามลำดับ



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยสี RGB ของตัวอย่างฟริกกับระยะเวลาการอบแห้ง



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่าสี RGB ของตัวอย่างพริกแห้ง

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงอิทธิพลของความเร็วม้วน ร้อน ปริมาณความร้อนเสริมจากชุดหลอดไฟ และ ตำแหน่งการจัดวางที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรม การอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงค่าสีของพริก ภายใต้ กระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนภายในตู้อบแห้งแบบ หลายชั้น ที่จำลองพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ด้วยการ ใช้ขดลวดความร้อน ผลการศึกษาแสดงให้เห็น ทราบว่าภายใต้เงื่อนไขการให้ความร้อนเดียวกัน การใช้ ความเร็วม้วนร้อนที่ 2.0 เมตรต่อวินาที สามารถดึงเอา ความร้อนออกจากชุดอุณหอากาศได้สูงกว่าที่ความเร็วม ร้วนเท่ากับ 4.0 เมตรต่อวินาที โดยมีค่าอุณหภูมิผล ร้อนขาเข้าสูงกว่าประมาณ 20 องศาเซลเซียส และเมื่อ เปิดชุดหลอดไฟสำหรับการให้ความร้อนเสริม พบว่า การเปิดชุดหลอดไฟเพิ่มช่วยให้ค่าอุณหภูมิภายในตู้อบ เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อวัดค่าอุณหภูมิผลร้อนขาออกพบว่าการเพิ่มจำนวนการเปิดชุดหลอดไฟให้ค่าอุณหภูมิสูงขึ้น เฉลี่ย 4 องศาเซลเซียส ต่อการเปิดไฟหนึ่งชุด ตำแหน่ง การจัดวางพริกที่แตกต่างกันนั้นแสดงออกถึงอัตราการ

อบแห้งที่แตกต่างกัน กรณีกรณีศึกษาที่ค่าความเร็วม ร้วนเท่ากับ 2.0 เมตรต่อวินาที และเปิดชุดหลอดไฟให้ ความร้อนเสริมจำนวน 4 ชุด ให้อัตราการอบแห้งที่เร็ว ที่สุดโดยใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 8 ชั่วโมง ใน การลดปริมาณความชื้นของพริกทุกถาดภายในตู้อบ แห้งให้มีค่าต่ำกว่า 13 % มาตรฐานเปียก นอกจากนี้ได้ มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ สำหรับนำมาประเมินการเปลี่ยนค่าสีของพริกใน ระหว่างกระบวนการอบแห้งและตรวจสอบความ สม่าเสมอของสีพริกแห้ง ภายใต้เงื่อนไขการศึกษาที่ให้ อัตราการอบแห้งที่เร็วที่สุดด้วยการวิเคราะห์ค่าทาง สถิติ พบว่าสีของพริกแห้งในแต่ละตำแหน่งให้ค่าสีที่ แตกต่างกันโดยมีช่วงพิสัยของแต่ละสีที่กว้าง ผลลัพธ์ พริกแห้งมีค่าเฉลี่ยของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เท่ากับ 219, 96 และ 65 ตามลำดับ และมีค่าส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 13, 16 และ 14 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลง ปริมาณความชื้นของพริกแต่ละถาดไม่เท่ากัน ดังนั้น เพื่อให้ผลลัพธ์พริกแห้งที่ได้รวมทั้งผลลัพธ์อบแห้ง

อื่น ๆ มีความสม่ำเสมอ อาจศึกษาถึงแนวทางในการออกแบบลักษณะภายในตู้อบแห้งให้ส่งผลต่อการกระจายอุณหภูมิเนื่องจากลมร้อนที่มีความสม่ำเสมอ ส่วนการวิเคราะห์ค่าสำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้วิเคราะห์แยกสี RGB เนื่องจากสีของพริกก่อนและหลังผ่านกระบวนการอบแห้งมีโทนสีที่ชัดเจน แต่สำหรับแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการอบแห้งผลิตทางการเกษตรอื่น ๆ ที่มีลักษณะโทนสีที่ต่างกันไป อาจใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าสีในลักษณะอื่น ๆ ได้

6. รายการอ้างอิง

- [1] Mohanraj, M. and Chandrasekar, P., 2008, Drying of copra in a forced convection solar drier, Biosyst. Eng. 99: 604-607.
- [2] Kadam, M.D. and Samuel, D.V.K., 2006, Convective flat-plate solar heat collector for cauliflower drying, Biosyst. Eng. 93: 189-198.
- [3] Nourhene, B., Mohammed, K. and Nabil, K., 2008, Experimental and mathematical investigations of convective solar drying of four varieties of olive leaves, Food Bioprod. Process. 86: 176-184.
- [4] Fudholi, A., Sopian, K., Alghoul, M.A., Ruslan, M.H. and Othman, M.Y., 2015, Performances and improvement potential of solar drying system for palm oil fronds, Renew. Energ. 78: 561-565.
- [5] Dina, S.F., Ambarita, H., Napitupulu, F.H. and Kawai, H., 2015, Study on effectiveness of continuous solar dryer integrated with desiccant thermal storage for drying cocoa beans, Case Stud. Therm. Eng. 5: 32-40.
- [6] Fudholi, A., Sopian, K., Othman, M.Y. and Ruslan, M.H., 2015, Energy and exergy analyses of solar drying system of red seaweed, Energ. Buildings. 68: 121-129.
- [7] Gulcimen, F., Karakaya, H. and Durmus, A., 2016, Drying of sweet basil with solar air collectors, Renew. Energ. 93: 77-86.
- [8] Wang, W., Li, M., Hassanien, R.H.E, Wang, Y. and Yang, L., 2018, Thermal performance of indirect forced convection solar dryer and kinetics analysis of mango, Appl. Therm. Eng. 134: 310-321.
- [9] Lingayat, A., Chandramohan, V.P. and Raju, V.R.K., 2017, Design, development and performance of indirect type solar dryer for banana drying, Enrgy. Proced. 109: 409-416.
- [10] ปราณีย์ อ่านเปื่อง, 2544, หลักการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส, พิมพ์ครั้งที่ 3, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 343 น.
- [11] สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา, 2555, การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ, สำนักพิมพ์ท็อป, กรุงเทพฯ, 324 น.
- [12] Nadian, M.H, Rafiee, S., Aghbashlo, M., Hosseinpour, S. and Mohtasebi, S.S., 2015, Continuous real-time monitoring and neural network modeling of apple slices color changes during hot air drying, Food Bioprod. Process. 94: 263-274.
- [13] Khazaei, N.B., Tavakoli, T., Ghassemian, H.,

- Khoshtaghaza, M.H. and Banakar, A., 2013, Applied machine vision and artificial neural network for modeling and controlling of the grape drying process, *Comput. Electron. Agr.* 98: 205-213.
- [14] Manninen, H., Paakki, M., Hopia, A. and Franzen, R., 2015, Measuring the green color of vegetables from digital images using image analysis, *LWT-Food Sci. Technol.* 63: 1184-1190.
- [15] Liming, X. and Yanchao, Z., 2010, Automated strawberry grading system based on image processing, *Comput. Electron. Agr.* 71S: S32-S39.
- [16] Amjad, W., Crichton, S.O.J., Munir, A., Hensel, O. and Sturm, B., 2018, Hyper spectral imaging for the determination of potato slice moisture content and chromaticity during the convective hot air drying process, *Biosyst. Eng.* 166: 170-183.
- [17] Huang, M., Wang, Q., Zhang, M. and Zhu, Q., 2014, Prediction of color and moisture content for vegetable soybean during drying using hyperspectral imaging technology, *J. Food Eng.* 128: 24-30.
- [18] ชานินทร์ ศิลป์จารุ, 2557, การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS และ AMOS, พิมพ์ครั้งที่ 15, สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 576 น.