

การอบแห้งพริกไทยด้วยเทคนิคสเปาต์เต็ดเบตทำงานร่วมกับฟลูอิดไดซ์เบต Pepper Drying Used Spouted Bed Combined with Fluidized Bed Technique

กิตติ สถาพรประสาธน์* กรณัฐ ทวีเจริญธรรม กรวิชัย ตลับทอง ฉัตรนิตา พรหมมาโอน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

63 หมู่ 7 ถนนรังสิต-นครนายก อ.องครักษ์ จ.นครนายก, 26120

Kitti Sathapornprasath* Koranut Taveechoenthom Korawit Talabthong Chatnida Promma-aon

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University,

63 Moo 7 Rangsit-Nakhornnayok Rd., Ongkharak, Nakhorn-Nayok 26120.

*Corresponding author Email: kitti@g.swu.ac.th

(Received: December 11, 2020; Accepted: January 3, 2020)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการลดความชื้นของเมล็ดพริกไทยด้วยเครื่องอบแห้งสเปาต์ฟลูอิดเบต ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งเมล็ดพริกไทยและเพื่อศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลมร้อน เวลาที่ใช้อบแห้งต่อการใช้พลังงานและคุณภาพของเมล็ดพริกไทยแห้ง จากผลการทดลองพบว่าที่ความเร็วลมสเปาต์ 24 m/s ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 9 m/s อุณหภูมิ 90 °C ที่ความสูงเบต 10 cm สามารถลดค่าความชื้นของเมล็ดพริกไทยได้รวดเร็วที่สุด เมื่อพิจารณาถึงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง (SEC) พบว่าที่ความเร็วลมสเปาต์ 18 m/s ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 9 m/s อุณหภูมิ 90 °C ความสูงเบต 15 cm มีค่า SEC = 7.936 kWh/kg water ซึ่งมีค่าของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง (SEC) น้อยที่สุด ในกรณีการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดพริกไทยพบว่าสีของเมล็ดพริกไทยที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีสีคล้ำและแดงมากกว่ากรณีอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำในทุกเงื่อนไขการอบแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าการแตกหักของเมล็ดพริกไทยที่ได้จากการอบแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 0.054 ถึง 0.382 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วลมสเปาต์ 18 m/s อุณหภูมิ 90 °C ความสูงเบต 10 cm และปิดความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ ทำให้การแตกหักของเมล็ดพริกไทยมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากการปิดความเร็วลมของฟลูอิดไดซ์ทำให้เกิดการกระเพื่อมของเบตเพียงเล็กน้อยซึ่งเป็นการลดการกระทบกันของเมล็ดพริกไทยระหว่างการอบแห้ง

คำสำคัญ: เทคนิคสเปาต์ฟลูอิดเบต จลนพลศาสตร์การอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ABSTRACT

This research is aimed at examining the dehumidification of pepper seeds by using spout fluid bed dryer. The objectives of this study were the kinetic of dehumidification of pepper seeds and the consequence of factors (i.e. temperature, velocity of hot air, drying time per power and quality used). From the results, it was found that the spout velocity of 24 m/s, the fluid velocity of 9 m/s, the temperature of 90 °C and the bed height of 10 cm are the fastest condition which can decrease

moisture content of pepper seeds. The specific energy consumption (SEC) of the drying process was found at the spout velocity of 18 m/s, the fluid velocity of 9 m/s, the temperature of 90 °C and the bed height of 15 cm are 7.936 kWh/kg water, which was the minimum of the specific energy consumption of the drying process (SEC). The color of pepper seeds while using high temperature will become more red and darker than using low temperature in every condition. In addition, the destruction of pepper seeds is in range of 0.054 to 0.382 % with the spout velocity of 18 m/s, temperature of 90 °C, bed height of 10 cm and blocking of the fluid velocity, which made the destruction of pepper seeds were lowest. The velocity of fluidized was blocked cause less movement of bed which make the destruction of pepper seeds decreased.

Keyword: Spout fluidized bed, Drying Kinetics, Specific energy consumption.

1. บทนำ

พริกไทยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยมีการปลูกมากในจังหวัดจันทบุรีโดยมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 95 ของพื้นที่ เพาะปลูกทั่วประเทศโดยในปี 2557 กระบวนการผลิตพริกไทยแห้งของเกษตรกรทำโดยการตากแดดตามธรรมชาติ ซึ่งใช้เวลาในการทำแห้งประมาณ 4-5 วันและเนื่องจากจังหวัดจันทบุรีซึ่งเป็นแหล่งปลูกพริกไทย มีฝนตกชุกตลอดปีทำให้เกษตรกรมีปัญหาในการตากแห้งพริกไทยจึงทำให้พริกไทยที่ได้มีความชื้นสูงทำให้ เชื้อราเจริญเติบโตได้ดีซึ่งเป็นสาเหตุให้คุณภาพของพริกไทยลดลงรวมถึงปัญหาด้านคุณภาพของ พริกไทยดังนั้นการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งจึงมีความน่าสนใจในด้านคุณภาพ การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นพร้อมกัน กระบวนการที่ซับซ้อนกันนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลมร้อน อัตราการไหลของอากาศ ลักษณะทางกายภาพและความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ ปริมาณของวัสดุที่อยู่ในห้องอบแห้ง [1]

เทคนิคสเปาต์ฟลูอิดเบตได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยนำเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบตและสเปาต์เต็ดเบตร่วมกัน เพื่อลดข้อจำกัดในเรื่องความดันตกคร่อมเบตของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบตและการหมุนเวียนวัสดุต่ำของสเปาต์เต็ดเบต [1],

[3] ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดสเปาต์และความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดลักษณะสเปาต์ฟลูอิดเบต ตัวแปรทั้งสองมีความสำคัญในระบบอบแห้งแบบสเปาต์ฟลูอิดเบตมากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในแง่ของการออกแบบและควบคุมระบบในกระบวนการอบแห้ง [2] โดยลักษณะการทำงานของเทคนิคแบบสเปาต์ฟลูอิดเบตนั้นจะเป่าลมร้อนความเร็วสูงเข้าเบตในลักษณะเป็นลำอากาศขนาดเล็กผ่านช่องเปิดบริเวณกึ่งกลางด้านล่างเข้าสู่เบตร่วมกับการเป่าลมร้อนเข้ามายังเบต ลักษณะเช่นนี้จะช่วยให้วัสดุมีอัตราการหมุนเวียนสูงขึ้น การขยายตัวของเบตมีค่าสูง ความหนาแน่นของเบตลดลง ทำให้มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสารระหว่างของไหลและวัสดุดีขึ้น ส่งผลให้การอบแห้งรวดเร็วขึ้นและยังสามารถใช้กับวัสดุที่มีขนาดใหญ่และมีขนาดไม่สม่ำเสมอ [1], [3], [4] ซึ่งเทคนิคสเปาต์ฟลูอิดไดซ์เบตได้มีการวิจัยและได้ถูกพัฒนาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น การเคลือบผิวของแข็ง เครื่องปฏิกรณ์ตัวเร่งปฏิกิริยา การผสมของแข็ง เป็นต้น [5] ในส่วนการอบแห้งได้มีการประยุกต์เทคนิคสเปาต์ฟลูอิดเบตกับกากของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันมะกอก [6] พลาสติคชีวภาพชนิดแซนแทนกัน (Xanthan gum) [7] และแครอท [8], [9] จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่าการประยุกต์เทคนิคสเปาต์ฟลูอิดเบตในการอบแห้งยังมีอยู่น้อยมาก ซึ่งส่วนใหญ่เป็น

การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและมวลในระหว่างการอบแห้งและพฤติกรรมเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการศึกษารอบแห้งด้วยเทคนิคสเปาต์ฟลูอิดเบตในระดับห้องปฏิบัติการ ศึกษาคุณลักษณะทางการไหลด้วยเทคนิค สเปาต์ฟลูอิดเบต ศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการอบแห้งเมล็ดพริกไทย รวมถึงคุณภาพบางอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้ง

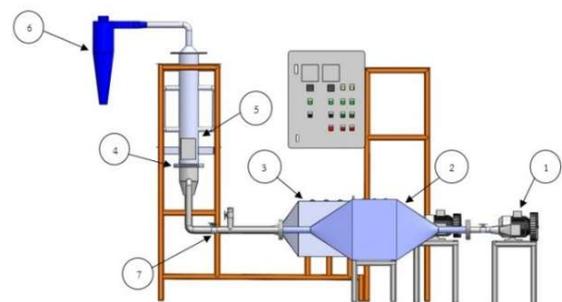
2. วิธีการทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

กระบวนการอบแห้งจะเริ่มเมื่อลมร้อนที่มี อุณหภูมิ 70-90 °C ถูกส่งเข้าไปในห้องอบแห้งผ่านตะแกรงรองเมล็ดพริกไทยจนถึงบริเวณที่เป็นทรงกรวยที่บรรจุเมล็ดพริกไทยอยู่ จากนั้นเมล็ดพริกไทยจะถูกเป่าขึ้นไปในอากาศ การลอยตัวของเมล็ดพริกไทยนั้นจะลอยขึ้นไปเป็นลำของลมซึ่งเท่ากับขนาดของท่อลมก่อนถึงทรงกรวยมีขนาด $2\frac{1}{2}$ นิ้ว เรียกว่า ลำสเปาท์ เมื่อเมล็ดพริกไทยที่ลอยขึ้นไปจนไม่สามารถลอยต่อขึ้นไปได้ด้วยอัตราการไหลลงที่แล้วจะตกลงมาในลักษณะของน้ำพุ ที่บริเวณข้างห้องอบแห้ง และจะถูกเป่าขึ้นไปอีกครั้งด้วยลมที่อยู่ใต้ตะแกรงซึ่งเป็นลมร้อนในส่วนของฟลูอิดไดซ์เบต ทำให้มวลของเมล็ดพริกไทยเกิดการเคลื่อนที่หมุนเวียนกันเช่นนี้เรื่อยๆ ซึ่งมวลของเมล็ดพริกไทยที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้งจะถูกวัดอย่างต่อเนื่อง (ทุกๆ 10 นาที) โดยอาศัยอุปกรณ์ชั่งน้ำหนักยี่ห้อ KROTRON SG 1,500±0.2 กรัม พิกัด 1,500 กรัม และบันทึกข้อมูลการทดลอง อุณหภูมิภายในเตาอบแห้ง จะถูกวัดอย่างต่อเนื่องโดยอาศัยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Type K Thermocouples)

2.1 การทดลองและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเน้นไปที่จลนพลศาสตร์การอบแห้งและการถ่ายเทความร้อนของพริกไทยรวมไปถึงความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ ส่วนที่สองจะเน้นไปที่คุณภาพทางกายภาพบางอย่างของพริกไทยที่

ได้จากการอบแห้ง การทดลองอบแห้งจะกระทำที่อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าห้องอบแห้ง 3 ระดับ กล่าวคือ 70 °C, 80 °C และ 90 °C ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองมวลของพริกไทยจะถูกวัดอย่างต่อเนื่อง (ทุกๆ 5 หรือ 10 นาที) ขึ้นอยู่กับรูปแบบการอบแห้ง และอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาที่ระบบทำงานและหยุดพัก) โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เมล็ดพริกไทยสดซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ $28.66\pm 7.70\%$ d.b เป็นวัสดุในการทดลองการอบแห้ง และจะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C ก่อนการทดลองอบแห้งแต่ละครั้ง พริกไทยสดจะถูกนำมาผึ่งลมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนเริ่มการทดลอง



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งเมล็ดพริกไทยด้วยเทคนิคสเปาท์ฟลูอิดเบต

1. พัดลมความดันสูง ขนาด 2.60 กิโลวัตต์ ทำหน้าที่สร้างความดันและป้อนอากาศเข้าสู่ระบบ
2. เครื่องทำความร้อนของสเปาท์ ขนาด 12 กิโลวัตต์ ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศของ สเปาท์
3. เครื่องทำความร้อนของฟลูอิดไดซ์ ขนาด 12 กิโลวัตต์ ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศของฟลูอิดไดซ์
4. ตะแกรงรองเมล็ด รูตะแกรงมีขนาดเท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร
5. ห้องอบแห้ง ซึ่งทำจากเหล็กสแตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 135 mm และสูง 800 mm อากาศร้อนที่ผ่านชุดทำความร้อนจะไหลเข้าห้องอบแห้งที่ด้านล่างผ่านช่องทางเข้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 mm ซึ่งเชื่อมต่อกับห้องอบแห้งด้วยกรวยสแตนเลส

6. เครื่องดักฝุ่น ซึ่งทำหน้าที่แยกดักฝุ่นออกจากอากาศร้อน

7. วาล์วปรับแรงลม ซึ่งทำหน้าที่ปรับความเร็วของอากาศที่เข้าสู่ระบบให้ได้ค่าที่เหมาะสมโดยความเร็วของอากาศจะถูกรวัดด้วย rotating vane anemometer

2.2 ขั้นตอนการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1. เปิดสวิตช์เดินเครื่องพัดลมแรงดันสูงให้อากาศไหลผ่านห้องอบแห้ง และเปิดสวิตช์ฮีตเตอร์ทำงานตั้งอุณหภูมิให้ได้ 70 °C ตามที่กำหนด โดยใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิ แบบ PID ยี่ห้อ PNC รุ่น REX-C100 ซึ่งมีความแม่นยำในการควบคุม ± 1 °C ชุดควบคุมนี้จะทำงานโดยอาศัยอุณหภูมิของอากาศที่เข้าห้องอบแห้ง (T_1) เป็นตัวควบคุมการทำงานของชุดทำความร้อน

2. ปรับความเร็วอากาศร้อนในห้องอบแห้งให้ได้ตามที่ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด

3. ใส่เมล็ดพริกไทยลงในห้องอบแห้งและสังเกตผลการทดลอง

4. นำเมล็ดพริกไทยออกจากห้องอบแห้ง เพื่อชั่งน้ำหนักที่หายไป โดยในช่วง 20 นาทีแรกจะชั่งน้ำหนักทุกๆ 5 นาที หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักทุกๆ 10 นาที ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล และบันทึกผลการทดลองจนกระทั่งความชื้นของพริกไทยไม่เปลี่ยนแปลง (สังเกตได้จากมวลมีค่าคงที่)

5. ทำการทดลองเช่นเดียวกันตั้งแต่ ข้อ 1 ถึง ข้อ 4 โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิควบคุมภายในเครื่องอบแห้งที่ 80 °C และ 90 °C และเงื่อนไขอื่นๆ ตามลำดับ

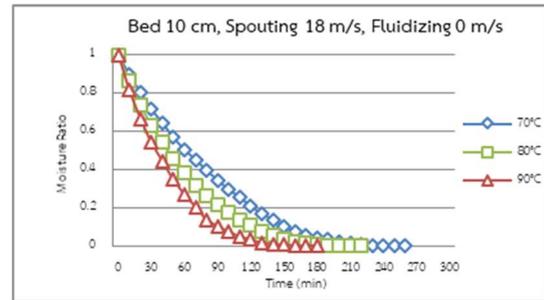
6. วิเคราะห์ผลทางสถิติของสภาวะการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์วิเคราะห์ความแตกต่าง ด้วย โปรแกรม SPSS

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

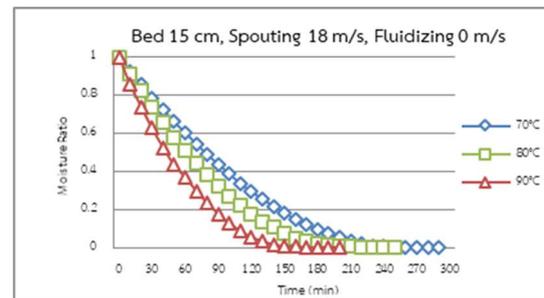
3.1 จลนพลศาสตร์การอบแห้งของพริกไทย

ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกไทยสำหรับการอบแห้งจะแสดงในเทอมของอัตราส่วนความชื้นจะเห็นได้ว่า การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง

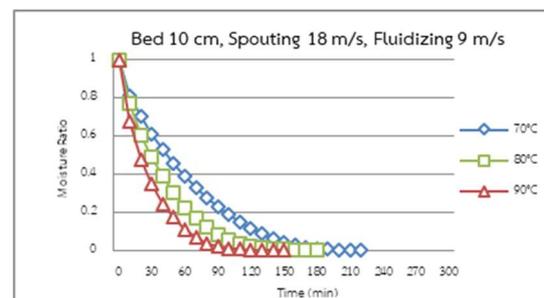
(90 °C) จะทำให้ความชื้นของพริกไทยลดลงเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงจะทำให้การถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนสู่วัตถุมีความเร็วมากขึ้นซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวล (ความชื้น) มีค่ามากขึ้น



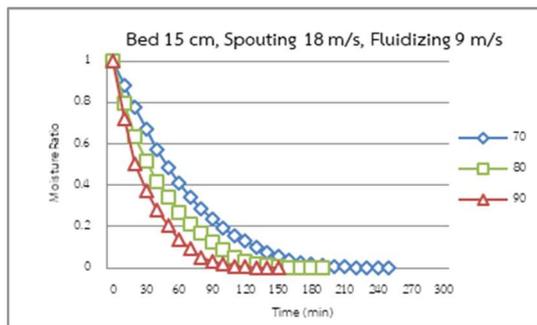
รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่ออัตราส่วนความชื้นของพริกไทยที่เบดหนา 10 cm ความเร็วลมสปาด์ 18 m/s ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 0 m/s



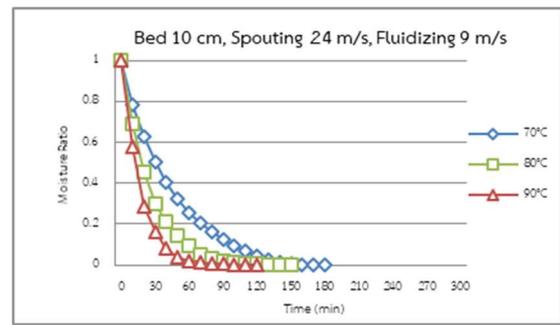
รูปที่ 3 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่ออัตราส่วนความชื้นของพริกไทยที่เบดหนา 15 cm ความเร็วลมสปาด์ 18 m/s ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 0 m/s



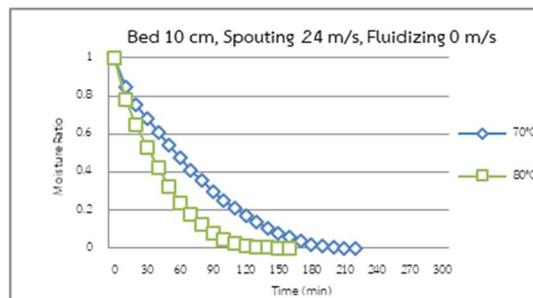
รูปที่ 4 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่ออัตราส่วนความชื้นของพริกไทยที่เบดหนา 10 cm ความเร็วลมสปาด์ 18 m/s ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 9 m/s



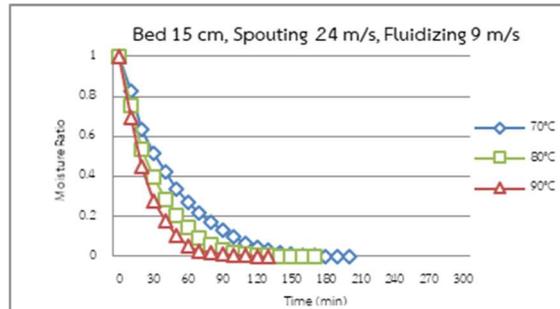
รูปที่ 5 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่ออัตราส่วนความชื้นของพริกไทยที่เบดหนา 15 cm ความเร็วลมสเปาต์ 18 m/s ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 9 m/s



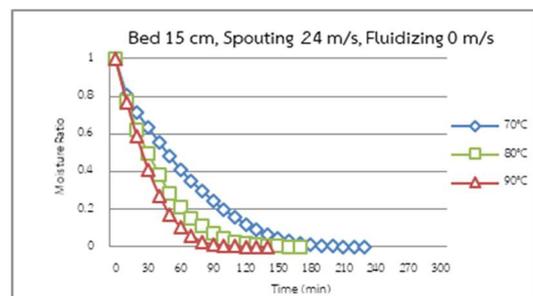
รูปที่ 8 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่ออัตราส่วนความชื้นของพริกไทยที่เบดหนา 10 cm ความเร็วลมสเปาต์ 24 m/s ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 9 m/s



รูปที่ 6 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่ออัตราส่วนความชื้นของพริกไทยที่เบดหนา 10 cm ความเร็วลมสเปาต์ 24 m/s ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 0 m/s



รูปที่ 9 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่ออัตราส่วนความชื้นของพริกไทยที่เบดหนา 15 cm ความเร็วลมสเปาต์ 24 m/s ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 9 m/s



รูปที่ 7 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่ออัตราส่วนความชื้นของพริกไทยที่เบดหนา 15 cm ความเร็วลมสเปาต์ 24 m/s ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 0 m/s

รูปที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของรูปแบบการอบแห้งที่ความสูงเบดแตกต่างกันคือ 10 cm และ 15 cm ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ (70 °C, 80 °C, 90 °C) โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันคือ ความเร็วลมสเปาต์ 18 m/s และ ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 0 m/s ทำให้พบว่า ที่การใช้ อุณหภูมิต่างกันจะทำให้เมล็ดพริกไทยมีค่าความชื้นคงที่ได้ รวดเร็วตามลำดับเนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถ่ายเท ให้กับเมล็ดที่อุณหภูมิต่างกัน ที่อุณหภูมิสูง (90 °C) จะมี พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทให้กับเมล็ดพริกไทยมากกว่าที่ อุณหภูมิต่ำกว่า (80 °C, 70 °C) ความสูงเบดที่แตกต่างกัน มีผลต่อความเร็วในการอบแห้งเมล็ดพริกไทยเพราะ ความสูงเบดส่งผลต่อปริมาณหรือความชื้นรวมของเมล็ด พริกไทยที่อบแห้งในแต่ละครั้ง ความสูงเบดที่สูงที่สุด (เบด 15 cm) จะมีปริมาณหรือความชื้นเริ่มต้นที่มากกว่าความ สูงเบดต่ำสุด (เบด 10 cm) ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาที่มาก

ขึ้นในการดึงความชื้นออกจากเมล็ดพริกไทยจนเมล็ดพริกไทยมีค่าความชื้นที่คงที่

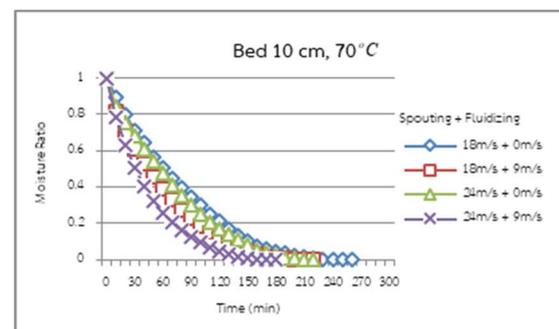
รูปที่ 4 และ 5 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของรูปแบบการอบแห้งที่ความสูงเบดแตกต่างกันคือ 10 cm และ 15 cm ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ (70 °C, 80 °C, 90 °C) โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันคือ ความเร็วลมสเปาต์ 18 m/s และความเร็วมฟลูอิดไดซ์ 9 m/s จะสังเกตได้ว่าเงื่อนไขที่มีการเปิดความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ร่วมด้วยเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเงื่อนไขที่ความสูงเบดเท่ากันและอุณหภูมิเท่ากันในสภาวะที่ไม่เปิดความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ร่วมด้วยจะพบได้ว่า ความเร็วลมของฟลูอิดไดซ์มีส่วนช่วยให้ระยะเวลาการอบแห้งลดลงสังเกตได้จากรูปที่ 2

(เบดหนา 10 cm, ความเร็วสเปาต์ 18 m/s, ความเร็วฟลูอิดไดซ์ 0 m/s) เปรียบเทียบกับ รูปที่ 4 (เบดหนา 10 cm, ความเร็วสเปาต์ 18 m/s, ความเร็วฟลูอิดไดซ์ 9 m/s) จะเห็นว่าที่อุณหภูมิเท่ากันผลของการเปิดความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ร่วมด้วยทำให้เมล็ดพริกไทยมีค่าความชื้นคงที่รวดเร็วกว่าแบบไม่เปิดความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ร่วมด้วยเนื่องจากลมฟลูอิดไดซ์เป็นลมร้อนที่ผ่านขึ้นมาจากแผ่นกระจายลม (Distribution plate) รอบๆรูฉีดแรงลมสเปาต์ ทำให้เกิดลมร้อนในลักษณะวงแหวนเมื่อเมล็ดพริกไทยลอยตกลงมาหลังจากสัมผัสกับลำอากาศหรือลมร้อนของสเปาต์ จะมีลมร้อนของฟลูอิดไดซ์ผสมเข้าช่วยก่อนกลับไปลอยตัวในลำอากาศหรือแรงลมร้อนของสเปาต์ ส่งผลทำให้วัสดุเกิดความต่อเนื่องในการคายความชื้น เมล็ดพริกไทยเคลื่อนไหวดีขึ้นและยังส่งผลให้เมล็ดพริกไทยสัมผัสกับลมร้อนได้อย่างทั่วถึง

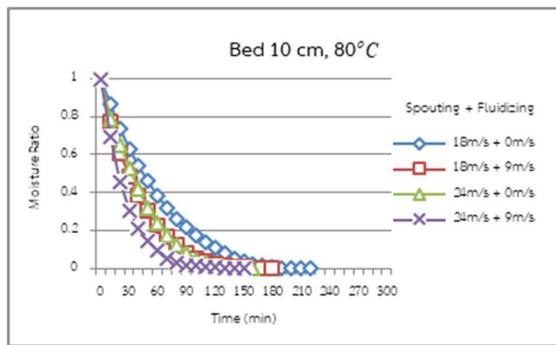
รูปที่ 6 และ 7 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของรูปแบบการอบแห้งที่ความสูงเบดแตกต่างกันคือ 10 cm และ 15 cm ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ (70 °C, 80 °C, 90 °C) โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันคือ ความเร็วลมสเปาต์ 24 m/s และความเร็วมฟลูอิดไดซ์ 0 m/s จะสังเกตได้ว่าการเพิ่มความเร็วลมสเปาต์ ทำให้ระยะห่างของจุดบนกราฟในช่วง 60 นาทีแรกห่างกันมากขึ้นนั่นหมายความว่า การดึงความชื้นออกจากเมล็ดพริกไทยในช่วง 60 นาทีแรกนั้น

ทำได้ดีขึ้นเนื่องจากการที่เปิดความเร็วลมสเปาต์ที่สูงขึ้นทำให้การกระจายตัวของเมล็ดพริกไทยเป็นไปอย่างอิสระมากขึ้น ความเร็วลมสเปาต์ที่สูงขึ้นจะสามารถเอาชนะภาระความชื้นหรือน้ำหนักเริ่มต้นของเมล็ดพริกไทยได้ดี

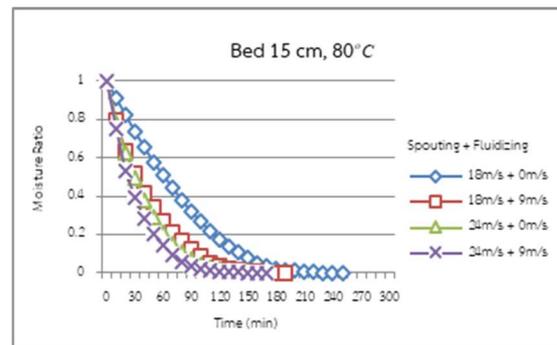
รูปที่ 8 และ 9 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของรูปแบบการอบแห้งที่ความสูงเบดแตกต่างกันคือ 10 cm และ 15 cm ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ (70 °C, 80 °C, 90 °C) โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันคือ ความเร็วลมสเปาต์ 24 m/s และ ความเร็วมฟลูอิดไดซ์ 9 m/s จะสังเกตได้ว่าการเพิ่มความเร็วลมสเปาต์และเปิดความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ร่วมด้วยทำให้การลดความชื้นในช่วง 60 นาทีแรกของกราฟดียิ่งขึ้นเนื่องจากการใช้ความเร็วลมของสเปาต์ที่สูงทำให้ลมที่เข้าไปในหอบแห้งเอาชนะภาระความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพริกไทยทำให้การกระจายตัวเป็นไปอย่างอิสระได้ดียิ่งขึ้นและยังมีลมร้อนของฟลูอิดไดซ์คอยให้ความร้อนร่วมเพื่อดึงความชื้นออกมาจากเมล็ดพริกไทยเพิ่มความต่อเนื่องในการคายความชื้นของเมล็ดพริกไทย เมล็ดสัมผัสกับลมร้อนอย่างทั่วถึง ในการทำให้ค่าความชื้นคงที่ที่สภาวะนี้ใช้เวลาน้อยลงเนื่องจากการให้ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ร่วมด้วยทำให้เมล็ดพริกไทยสัมผัสลมร้อนในลักษณะวงแหวนก่อนกลับไปลอยตัวในลำอากาศหรือลมร้อนของสเปาต์ทำให้เมล็ดพริกไทยมีความต่อเนื่องในการคายความชื้นออกจากเมล็ดพริกไทย



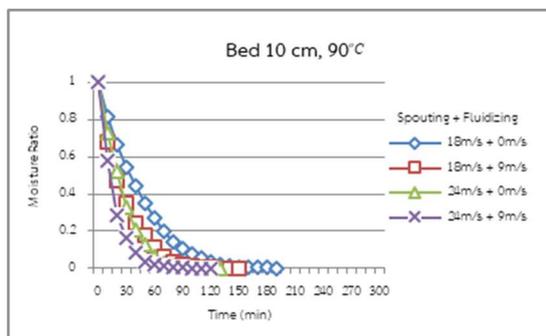
รูปที่ 10 ผลของการเปรียบเทียบความเร็วลมทุกสภาวะที่เงื่อนไขความสูงเบด 10 cm อุณหภูมิ 70 °C



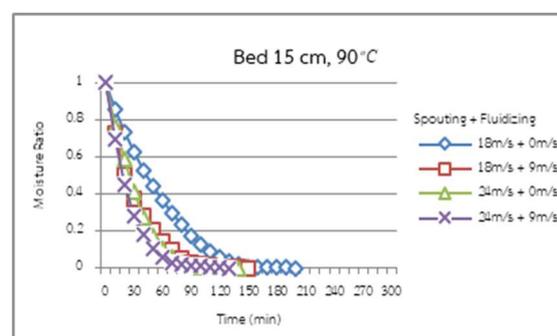
รูปที่ 11 ผลของการเปรียบเทียบความเร็วลมทุกสภาวะที่เงื่อนไขความสูงเบด 10 cm อุณหภูมิ 80 °C



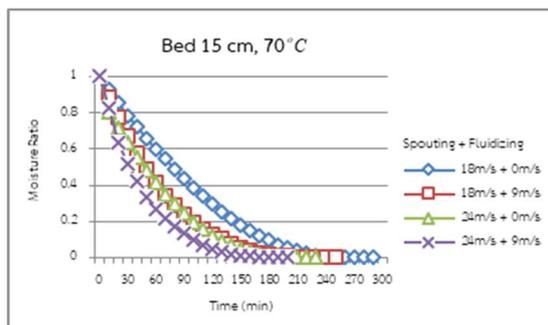
รูปที่ 14 ผลของการเปรียบเทียบความเร็วลมทุก สภาวะที่เงื่อนไขความสูงเบด 15 cm อุณหภูมิ 80 °C



รูปที่ 12 ผลของการเปรียบเทียบความเร็วลมทุกสภาวะที่เงื่อนไขความสูงเบด 10 cm อุณหภูมิ 90 °C



รูปที่ 15 ผลของการเปรียบเทียบความเร็วลมทุก สภาวะที่เงื่อนไขความสูงเบด 15 cm อุณหภูมิ 90 °C



รูปที่ 13 ผลของการเปรียบเทียบความเร็วลมทุกสภาวะที่เงื่อนไขความสูงเบด 15 cm อุณหภูมิ 70 °C

รูปที่ 10 ถึง 15 ผลของการเปรียบเทียบการใช้แรงลม 4 ระดับ ที่การใช้ความเร็วลมสเปาต์ 18 m/s ร่วมกับความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 0 m/s ทำให้ค่าความชื้นคงที่ช้าที่สุด การใช้ความเร็วลมสเปาต์ 18 m/s ร่วมกับความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 9 m/s จะใช้ ระยะเวลาที่ทำให้ค่าความชื้นของเมล็ดพริกไทยคงที่ได้รวดเร็วว่าการใช้ความเร็วลมสเปาต์เพียงอย่างเดียว ความเร็วลมสเปาท์ 24 m/s ร่วมกับความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 0 m/s เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่เปิดความเร็วลมสเปาต์เพียงอย่างเดียวพบว่าค่าของความเร็วลมสเปาต์มีผลต่อการกระจายตัวของเมล็ดพริกไทยที่มีความสูงเบดเพิ่มขึ้น สุดท้ายความเร็วลมสเปาต์ 24 m/s ร่วมกับความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 9 m/s เป็นสภาวะความเร็วลมที่ทำให้ค่าความชื้นของเมล็ดพริกไทยคงที่ได้รวดเร็วที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะความเร็วลมที่กล่าวมาทั้งหมด

ตารางที่ 1 แสดงผลที่ได้จากการทดลองแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

สถานะที่	ความเร็วลม สเปาต์ (m/s)	ความเร็ว ลมฟลูอิด ไดซ์ (m/s)	ความสูง เบด (cm)	อุณหภูมิ (°C)	SEC (kWh/kg water)	การแตกหัก	สี	
							$\frac{\Delta L}{L_0}$	$\frac{\Delta a}{a_0}$
1	18	0	10	70	17.727 ^p	0.069 ^{abc}	-0.173 ^{abc}	-1.441 ⁿ
2				80	15.938 ⁿ	0.080 ^{abc}	-0.192 ^{abc}	-1.495 ^m
3				90	14.307 ^k	0.097 ^{abc}	-0.235 ^{abc}	-1.634 ^h
4			15	70	14.051 ^j	0.057 ^a	-0.185 ^{abc}	-1.493 ^m
5				80	12.533 ^g	0.056 ^a	-0.217 ^{abc}	-1.532 ^{kl}
6				90	10.824 ^e	0.054 ^a	-0.238 ^{abc}	-1.694 ^d
7		9	10	70	16.520 ^o	0.110 ^{abc}	-0.185 ^{abc}	-1.490 ^m
8				80	15.918 ⁿ	0.183 ^{abcd}	-0.198 ^{ab}	-1.684 ^{de}
9				90	14.509 ^l	0.209 ^{cde}	-0.203 ^{abc}	-1.855 ^a
10			15	70	11.803 ^f	0.136 ^{abcd}	-0.144 ^{bc}	-1.524 ^m
11				80	9.481 ^c	0.126 ^{abcd}	-0.147 ^{bc}	-1.621 ^h
12				90	7.955 ^a	0.141 ^{abcd}	-0.201 ^{abc}	-1.735 ^c
13	24	0	10	70	15.433 ^m	0.166 ^{abcd}	-0.203 ^{abc}	-1.564 ^j
14				80	12.782 ^j	0.079 ^{abc}	-0.243 ^{abc}	-1.643 ^{gh}
15				90	14.016 ^h	0.255 ^{de}	-0.308 ^{ab}	-1.663 ^{fg}
16			15	70	12.480 ^g	0.252 ^{de}	-0.148 ^{bc}	-1.533 ^{kl}
17				80	9.782 ^c	0.066 ^{ab}	-0.208 ^{abc}	-1.586 ⁱ
18				90	9.249 ^b	0.104 ^{abc}	-0.243 ^{abc}	-1.676 ^{de}
19		9	10	70	14.188 ^m	0.211 ^{cde}	-0.388 ^a	-1.492 ^m
20				80	15.266 ^k	0.163 ^{abcd}	-0.199 ^{abc}	-1.561 ^j
21				90	13.670 ⁱ	0.153 ^{abcd}	-0.074 ^{bc}	-1.803 ^b
22			15	70	12.290 ^g	0.208 ^{bcde}	-0.034 ^c	-1.554 ^{jk}
23				80	10.101 ^d	0.255 ^{de}	-0.086 ^{bc}	-1.579 ^{ij}
24				90	9.623 ^c	0.382 ^f	-0.151 ^{abc}	-1.647 ^{gh}

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันหมายความว่าค่าดังกล่าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

เมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง (SEC) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง ประกอบด้วยพลังงาน

ไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแรงดันสูง พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เครื่องทำความร้อน และปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูกนำออกมาจากพริกไทยที่นำมาอบแห้ง ดังที่แสดงในตารางที่ 1 พบว่าการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิที่สูงจะทำให้ SEC มี

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2563

ค่าต่ำ ในขณะที่เดียวกันการอบแห้งโดยการใช้อุณหภูมิที่ต่ำ จะทำให้ SEC มีค่าสูง ซึ่งเป็นผลจากการอบแห้งด้วยเงื่อนไข ดังกล่าวต้องใช้เวลาในการอบแห้งนาน ในแง่ของรูปแบบ การอบแห้ง พบว่า SEC สำหรับกรณีอบแห้งแบบเปิดทั้งส เปาต์และฟลูอิดไดซ์พร้อมกันมีค่าพลังงานจำเพาะมากที่สุดที่ 16.576 kWh/kg water ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ พลังงานจำเพาะที่มากที่สุดของกรณีการอบแห้งแบบเปิดส เปาต์อย่างเดียว ภาพรวมพลังงานจำเพาะที่ได้จากการ ทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งแบบเปิดทั้งสเปาต์ และฟลูอิดไดซ์พร้อมกันมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง กว่าการอบแห้งแบบเปิดสเปาต์อย่างเดียว

3.3 คุณภาพของพริกไทยที่ได้จากการอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของพริกไทยซึ่ง แสดงในเทอมของ $\Delta L / L_0$ และ $\Delta a / a_0$ เปรียบเทียบ ความแตกต่างด้วยวิธี DUNCAN' test โดยโปรแกรม SPSS ภายใต้วิธีการอบแห้งและเงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1 ในงานวิจัยนี้ใช้พริกไทยสดที่มีค่าความ สว่างและค่าความเป็นสีแดงอยู่ในช่วง 29.81 ถึง 36.40 และ -3.67 ถึง -2.69 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า สี ของพริกไทยที่ได้จากการอบแห้งในงานวิจัยนี้มีสีคล้ำและ แดงน้อยกว่าพริกไทยสด ในกรณีของความสว่างพบว่า พริกไทยที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีสีคล้ำกว่า กรณีที่อบแห้ง ด้วยอุณหภูมิต่ำในทุกเงื่อนไขของการ อบแห้ง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลถูก เร่งด้วยความเร็วลมสเปาต์ ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์และ อุณหภูมิอบแห้งที่สูง ส่วนกรณีของความเป็นสีแดง แนวโน้มการเปลี่ยนสีพริกไทยที่พบมีลักษณะเช่นเดียวกับ กรณีของความสว่าง

ผลการวิเคราะห์การแตกหักของเมล็ดพริกไทย ภายใต้การอบแห้งด้วยเงื่อนไขต่างๆ สามารถดูได้จาก ตารางที่ 1 เช่นกัน จะเห็นว่าการแตกหักของเมล็ดพริกไทย ที่ได้จากการอบแห้งในงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.054 ถึง 0.382 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ที่สภาวะ 6 ที่มีความสูงของ เบดที่ 15 cm มีความเร็วลมสเปาต์ที่ 18 m/s และปิด

ความเร็วลมของฟลูอิดไดซ์ ทำให้การแตกหักของเมล็ด พริกไทยมีค่าน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการกระทบกันเพียง เล็กน้อยของเมล็ดพริกไทยระหว่างการอบแห้ง ซึ่งเกิดขึ้น ในระหว่างที่เบดเกิดการกระเพื่อม (เป็นผลมาจาก ความเร็วลมของอากาศที่ถูกจ่ายเข้ามายังหอบแห้ง) เมื่อ เทียบกับการอบแห้งที่สภาวะที่ 10, 11, 12 ที่มีความสูง ของเบดที่ 15 cm มีความเร็วลมสเปาต์ที่ 18 m/s เหมือนกัน แต่เปิดความเร็วลมของฟลูอิดไดซ์ที่ความเร็ว ลม 9 m/s มาช่วย เปรอร์เซนต์การแตกหักที่สภาวะที่ 10, 11, 12 มีค่ามากกว่า เนื่องจากมีแรงลมของฟลูอิดไดซ์เข้า มาช่วยทำให้การกระเพื่อมของเบดลอยสูงขึ้นทำให้เมล็ด พริกไทยระหว่างการอบแห้งนั้นกระทบกันมากขึ้นกว่าตอนที่ ไม่ได้เปิดฟลูอิดไดซ์

ในการทดลองครั้งนี้ ค่าที่ได้จากการทดลองปรากฏ ดังข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการใช้ความเร็วลมสเปาต์ ร่วมกับความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ ทำให้การอบแห้งเมล็ด พริกไทยใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการใช้ความเร็วลมสเปาต์ เพียงอย่างเดียวเพราะว่าความเร็วลมสเปาต์ลดปัญหา แรงดันตกคร่อมภายในเบดและการใช้ความเร็วลมฟลูอิด ไดซ์จะช่วยเพิ่มการหมุนเวียนของเมล็ดพริกไทยได้ดีขึ้นทำ ให้เมล็ดพริกไทยสัมผัสกับความร้อนอยู่ตลอดหลังกระจาย ตัวจากลำอากาศหรือความเร็วลมสเปาต์

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะของ กระบวนการอบแห้ง (SEC) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง ประกอบด้วยพลังงาน ไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแรงดันสูง พลังงานไฟฟ้าที่ป้อน ให้แก่เครื่องทำความร้อน และปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูก นำออกมาจากพริกไทยที่นำมาอบแห้ง ดังที่แสดงในตาราง ที่ 1 พบว่าการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิที่สูงจะทำให้ SEC มี ค่าต่ำ ในขณะที่เดียวกันการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิที่ต่ำ จะทำให้ SEC มีค่าสูง

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสีของพริกไทยซึ่ง แสดงในเทอมของ และ พบว่าสีของพริกไทยที่ได้จาก การอบแห้งในงานวิจัยนี้มีสีคล้ำและแดงน้อยกว่าพริกไทย สด ในกรณีของความสว่างและสีแดงพบว่า พริกไทยที่ผ่าน

การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีสีคล้ำกว่ากรณีที่อบแห้ง ด้วยอุณหภูมิต่ำในทุกเงื่อนไขของการอบแห้ง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลถูกเร่งด้วยความเร็วลมสเปาต์ ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์และอุณหภูมิมอบแห้งที่สูง การแตกหักของเมล็ดพริกไทยภายใต้การอบแห้ง ด้วยเงื่อนไขต่างๆ สามารถดูได้ จากตารางที่ 1 เช่นกัน จะเห็นว่าการแตกหักของเมล็ดพริกไทยที่ได้จากการอบแห้ง ในงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.054 ถึง 0.382 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีแรงลมของสเปาต์และฟลูอิดไดซ์ เข้ามาช่วยทำให้เกิดการระเหิมของเบตทำให้เมล็ดพริกไทยระหว่างการอบนั้นกระทบกันส่งผลให้เกิดการแตกหักของเมล็ดพริกไทย

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการลดความชื้นของพริกไทยด้วยเครื่องอบแห้งสเปาต์ฟลูอิดเบต และศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ โดยเมล็ดพริกไทยได้ถูกใช้เป็นตัวแทนของวัสดุทางการเกษตรในงานวิจัยนี้ ผลที่ได้จากการทดลองซึ่งประกอบไปด้วยจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง รวมไปถึงคุณภาพทางกายภาพบางอย่างของพริกไทยที่ผ่านการอบแห้งจะนำไป เปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธี DUNCAN' test โดยโปรแกรม SPSS ภายใต้วิธีการอบแห้งและเงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ความเร็วลมสเปาต์ร่วมกับความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ ทำให้การอบแห้งเมล็ดพริกไทยใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการใช้ความเร็วลมสเปาต์เพียงอย่างเดียวเพราะว่าความเร็วลมสเปาต์ลดปัญหาแรงดันตกคร่อมภายในเบตและการใช้ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์จะช่วยเพิ่มการหมุนเวียนของเมล็ดพริกไทยได้ดีขึ้นทำให้เมล็ดพริกไทยสัมผัสกับความร้อนอยู่ตลอดหลังกระจายตัวจากลำอากาศหรือความเร็วลมสเปาต์

ในส่วนของการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง (SEC) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง

พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง ประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแรงดันสูง พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เครื่องทำความร้อน และปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูกนำออกมาจากพริกไทยที่นำมาอบแห้ง พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการอบแห้งคือ สภาวะที่ 12 ซึ่งใช้ความเร็วลมสเปาต์ 18 m/s ความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ 9 m/s ความสูงเบต 15 cm อุณหภูมิมอบแห้ง 90°C เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 150 นาที มีค่า SEC = 7.936 kWh/kg water การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิที่สูงจะทำให้ SEC มีค่าต่ำ ในขณะที่เดียวกันการอบแห้งโดยการใช้อุณหภูมิต่ำจะทำให้ SEC มีค่าสูง ซึ่งเป็นผลจากการอบแห้งด้วยเงื่อนไขดังกล่าวต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิที่ต่ำจะทำให้ SEC มีค่าสูง ซึ่งเป็นผลจากการอบแห้งด้วยเงื่อนไขดังกล่าวต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานในแง่ของรูปแบบการอบแห้ง พบว่า SEC สำหรับกรณีอบแห้งแบบเปิดทั้งสเปาต์และฟลูอิดไดซ์พร้อมกันมีค่าพลังงานจำเพาะมากที่สุดที่ 16.576 kWh/kg water ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเทียบกับพลังงานจำเพาะที่มากที่สุดของกรณีการอบแห้งแบบเปิดสเปาต์อย่างเดียว ภาพรวมพลังงานจำเพาะที่ได้จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งแบบเปิดทั้งสเปาต์และฟลูอิดไดซ์พร้อมกันมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าการอบแห้งแบบเปิดสเปาต์อย่างเดียว

สำหรับความสว่างของพริกไทยที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีสีคล้ำมากกว่ากรณีอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ในส่วนของความเป็นสีแดงนั้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับความสว่าง ดังนั้นถือได้ว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของพริกไทย

เมื่อพิจารณาถึงการแตกหักของเมล็ดพริกไทยจะพบว่า การแตกหักของเมล็ดพริกไทยที่ได้ จากการอบแห้งในงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.054 ถึง 0.382 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบการแตกหักของ เมล็ดพริกไทยจากการอบแห้งเงื่อนไขต่างๆ พบว่าการอบแห้งที่สภาวะที่ 6 ที่ความสูงของเบตที่ 15 cm ความเร็วลมสเปาต์ที่ 18 m/s และปิดความเร็วลมของฟลูอิดไดซ์ มีค่าเปอร์เซ็นต์การแตกหัก

ของเมล็ดพริกไทยน้อยกว่าการอบแห้งแบบที่ใช้เทคนิคสเปาต์ฟลูอิดเบดที่ความสูงเบดเท่ากัน นั้นหมายความว่า การอบแห้งที่เปิดเพียงลมสเปาต์เพียงอย่างเดียวมีศักยภาพในการลดความเสียหายของพริกไทยมากกว่าการอบแห้งแบบเทคนิคสเปาต์ฟลูอิดเบด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทูนวิจัยสนับสนุนจากเงินรายได้ มหาวิทยาลัย ประจำปี 2561 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] E.K. Akpınar, Y. Bicer and C. Yildiz, “Thin layer drying of red pepper,” *Journal of Food Engineering*, Vol. 59, No.1, pp. 99-104, 2003.
- [2] V.S. Sutkar, N.G. Deen and J.A.M. Kuipers, “Spout fluidized beds: Recent advances in experimental and numerical studies,” *Chemical Engineering Science*, Vol. 86, pp.124-136, 2013.
- [3] E.R. Monazam, R.W. Breault and J. Weber, “Analysis of maximum pressure drop for a flat-base spouted fluid bed,” *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 12, no. 2, pp. 43-51, 2017.
- [4] W. Zhong, X. Chen and M. Zhang, “Hydrodynamic characteristics of spout-fluid bed: pressure drop and minimum spouting/spout-fluidizing Velocity.” *Chem. Eng. J.*, Vol. 118, pp. 37-46, 2006.
- [5] Y. Zhang, W. Zhong, and B. Jin, “New method for the investigation of particle mixing dynamic in a spout-fluid bed.” *Powder Technol.*, Vol. 208, pp. 702-712, 2011.
- [6] L. Marmol, “Low temperature drying of pomace in spout and spout-fluid beds.” *J. Food Eng.*, Vol. 79, pp. 1179-1190, 2007.
- [7] H.J. Ciro-Vela ´squez, R.L. Cunha and F.C. Menegalli, “Drying of Xanthan gum using a two-dimensional spouted fluidized bed (2DSFB) with inert particles : performance and rheological considerations.” *Drying Technol.*, Vol. 28, pp. 389-401, 2010.
- [8] M.Zielinska and M. Markowski, “Drying behavior of carrots dried in a spout-fluidized bed dryer,” *Drying Technol.*, Vol.25, pp. 261-270, 2007.
- [9] I. Biaobrzewski, M. Zielinska, A.S. Mujumdar and M. Markowski M, “Heat and mass transfer during drying of a bed of shrinking particles - simulation for carrot cubes dried in a spout-fluidized bed drier.” *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 51, pp. 4704-4716, 2008.