การอบแห้งพริกไทยในหอมีครีบแบบฟลูอิดไดซ์หมุนควง

Drying of Pepper Corn in a Vortexing Fluidized bed with Rib

อำนาจ บุญลอย ประสิทธิ์ คำพันยิ้ม และ พงษ์เจต พรหมวงศ์*
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนน ฉลองกรุง เขต ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198 E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

Amnart Boonloi, Prasit Kampanyim, and Pongjet Promvonge*
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Chalongkrung Road, Ladkrabang District, Bangkok 10520, Thailand.
Tel: 0-2326-4197, Fax: 0-2326-4198, Email: kppongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งเมล็ดพริกไทยด้วยเทคนิคลมหมุนควงที่ภายในหอมีการติดครีบ โดยทำการอบในหอทดลองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.17 เมตร สูง 1 เมตร ภายในหอมีการติดตั้งครีบตามแนวตั้ง โดยในการทดลองแต่ละครั้งใช้เมล็ดพริกไทยที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 400% (มาตรฐานแห้ง) ทดลองที่อุณหภูมิ 80°C และ 100°C และใช้ความเร็วของอากาศภายในหอทดลอง1.0U_{mf} 1.2U_{mf} และ1.5U_{mf} (U_{mf} คือความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด) ใช้เวลาทดลองแต่ละกรณี 100 นาที วัดความชื้นของเมล็ดพริกไทยทุกๆ10นาที และผลจากการทดลองจะทำการเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดธรรมดา

จากการทดลองพบว่าในการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดธรรมดาความเร็วลมไม่มีผลต่อการอบแห้งของเมล็ดพริกไทย แต่ในการอบแห้งด้วยเทคนิคลมหมุนควงที่มีการใส่ครีบในหอทดลอง พบว่าความเร็วลมมีผลต่อการลดความชื้นของเมล็ดพริกไทยและช่วยให้ความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดพริกไทยระเหยออกได้เร็วขึ้นเนื่องจากการติดครีบทำให้เมล็ดพริกไทยมีการสั่น และไหลอย่างปั่นป่วนของลมร้อนและช่วยให้เกิดการกระจายตัวของเมล็ดพริกไทยในหอทดลองเพิ่มมากขึ้น ทำให้เพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน ทำให้การอบแห้วเร็วขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 เทคนิคจะได้ว่าการอบแห้งเมล็ดพริกไทยด้วยเทคนิคลมหมุนควงที่มีการติดครีบให้ผลที่ดีกว่าแบบเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดธรรมดา

Abstract

This paper presents the characteristic study of drying pepper corn in a typical fluidized-bed and a vortexing fluidized bed with rib. The experiment has been carried out in a cylindrical drying bed having 0.17 m. inner diameter and 1 m. height and the similar chamber with vertical rib is also used to produce a strong turbulence flow inside. In each run, the pepper corn with initial moisture content of about 400% d.b. is employed for drying with inlet air temperature of 80 °C or 100°C by varying air inlet velocities to be 1.0 U_{mf} , 1.2 U_{mf} and 1.5 U_{mf} (U_{mf} is minimum velocity for fluidization). Drying time and weight of pepper corn are measured in each of 10 minutes intervals for 100 minutes for each of both techniques.

The experimental results reveal that use of different velocities leads to no significant effect on drying rate for the typical fluidized-bed but provides substantial influence for the swirling flow bed with a vertical rib and it is found that the rib can help to reduce the moisture content in the pepper corn faster since it can create a sustainable oscillating flow with stronger turbulence of hot air and causes the dilute bed throughout (reduce bubbles), leading to higher heat and mass transfer of the moisture in pepper corn. Closer examination reveals that for a similar condition, the vortexing fluidized bed with a rib performs better and helps to decrease the drying time less than the typical one.

Keywords: fluidized-bed, vortexing fluidized bed technique, drying rate, vertical rib

1. บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการไล่ความชื้นออกจากวัสดุโดยการระเหย โดยทั่วไปจะอาศัยอากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและความชื้น การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุ และการถ่ายเทความชื้นจากวัสดุไปยังอากาศจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อน และความชื้นจะช้าหรือเร็วเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของกระแสอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง การอบแห้งจะช่วยให้เก็บรักษาวัสดุไว้ได้นาน และเป็นการป้องกันการเสียหายของวัสดุ เนื่องจากการทำลายของจุลินทรีย์

โดยทั่วไปเรามักจะใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะสามารถอบแห้งได้เร็ว และได้ความชื้นของเมล็ดพืชต่ำตามที่ต้องการ อุณหภูมิของอากาศจะสูงเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน วิธี และเทคนิคที่ใช้ในการอบแห้ง โดยมากเรามักจะเลือกเอาอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมให้ได้โดยคุณภาพของเมล็ดพืชไม่เสียหาย เพราะจะทำให้อบแห้งเร็ว มีผลให้เครื่องอบแห้งที่ต้องใช้มีขนาดเล็กลง ทำให้การลงทุนต่ำ

เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชอาจจะแบ่งได้เป็นสองชนิดคือ เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ (fixed-bed dryer) และเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล (moving-bed dryer) ซึ่งเทคนิคการอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดเป็นเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงและเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมานานแล้ว แต่เมื่อพิจารณาเทคนิคการอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดพบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งทำได้ยากเนื่องจากมีเงื่อนไขหลายอย่างจึงได้ทำการทดลองหาเทคนิคใหม่ๆมาใช้ในการอบแห้งเมล็ดพืช และเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควงที่มีแผ่นครีบแนวตั้ง ก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจและคาดว่าน่าจะพัฒนาจนมีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป

2. ทฤษฎี

2.1 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก, M_w

$$M_w = \frac{w-d}{w} \tag{1}$$

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง, M_d

$$M_d = \frac{w-d}{d} \tag{2}$$

เมื่อ w คือ มวลของวัสดุ , kg

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg

3. อัตราส่วนความชื้น, Moisture ratio

$$Moisture\ ratio = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \tag{3}$$

เมื่อ M คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ , kg

M_e คือ ความชื้นสมดุล, kg

M_o คือ ความชื้นเริ่มต้น, kg

4. อัตราความเร็วของการอบแห้ง, $Drying\ rate$

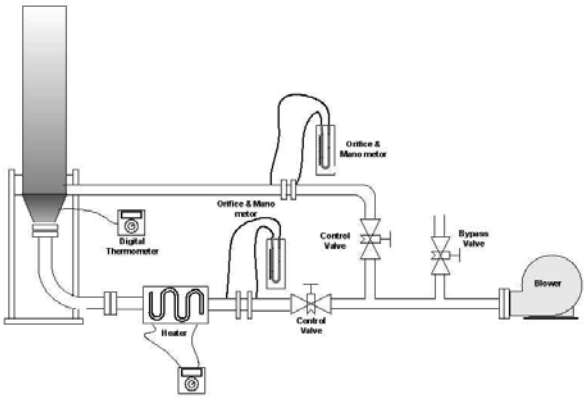
$$Drying\ rate = \frac{dX}{dt} = \frac{x_0 - x}{t - t_0} \tag{4}$$

เมื่อ $x_0 - x$ คือ ค่าความเปลี่ยนแปลงของความชื้น

$t - t_0$ คือ ค่าความเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลา

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควงและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ถูกแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย หอทดลอง, อุปกรณ์ให้ความร้อน, ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ, ชุดควบคุมความเร็วลม, โบลเวอร์, ออริฟิสมิเตอร์และ เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล



รูปที่ 1 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

3.1 เครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

เครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ถูกแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งหอทดลองมีรูปทรงกระบอกทำจากอะคริลิกใส มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.17 เมตร และความสูง 1 เมตร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2(a) แผ่นกระจายลมเป็นแบบเจาะตรงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร และมีจำนวน 908 รู คิดเป็นพื้นที่เปิด 32%

3.2 เครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควง

เครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนควงใช้อุปกรณ์พื้นฐานร่วมกับเครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแต่จะต่างกันตรงที่มีการส่งลมในแนวรัศมีเพิ่มอีกส่วนหนึ่งและมีการติดตั้งครีบแนวตั้ง ขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ตลอดความสูงของหอทดลอง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2(b) โดยที่การติดตั้งครีบดังกล่าวเป็นการออกแบบลักษณะการไหลของอากาศโดยมีแนวความคิดที่จะทำให้เกิดการปั่นป่วนของลมร้อนในการอบแห้งภายในหอทดลองให้มากขึ้นซึ่งจะช่วยให้ลมร้อนสัมผัสกับเมล็ด

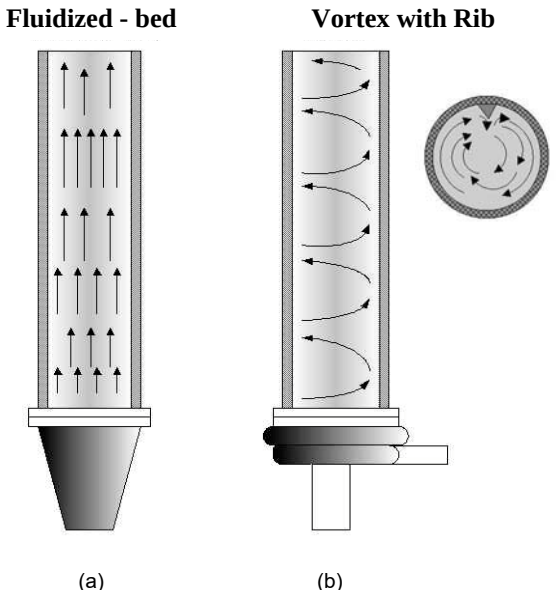
พืชได้มากขึ้นและเพิ่มการกระจายตัวกันของเมล็ดพริกไทยภายในหอทดลองจะช่วยให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้มากขึ้นด้วย

3.3 เมล็ดพืชสำหรับการทดลอง

ในการทดลองแต่ละครั้งใช้เมล็ดพริกไทยมวล 200 กรัม ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 400% (มาตรฐานแห้ง)

3.4 วิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มจาก Blower ขนาด 7.46 kW ที่มีอินเวอร์เตอร์เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบขับลมผ่านท่อโดยที่ความเร็วของอากาศที่ทางเข้าหอทดลองจะถูกวัดด้วยออริฟิสมิเตอร์ ซึ่งอากาศถูกทำให้ร้อนด้วยขดลวดความร้อนขนาด 12 กิโลวัตต์ โดยควบคุมอุณหภูมิอากาศด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้อุณหภูมิของอากาศที่ 80°C และ 100°C ซึ่งใช้เวลาประมาณ 15 นาที ในการควบคุมอุณหภูมิของอากาศให้มีค่าคงตามที่กำหนด โดยที่ทำการวัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าหอทดลองด้วยดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ และทำการวัดอุณหภูมิภายในหอทดลองด้วยเทอร์โมคัพเปิลชนิด K ซึ่งในการทดลองจะใช้ความเร็วลมที่ $1.0U_{mf}$, $1.2U_{mf}$ และ$1.5U_{mf}$ ในการทดลองเมล็ดพริกไทยจะถูกวัดความชื้นที่ลดลงจากค่าน้ำหนักเมล็ดพริกไทยที่เปลี่ยนไปซึ่งจะทำการวัดทุกๆ 10 นาทีโดยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลที่มีค่าความละเอียด 0.01 กรัม โดยใช้เวลาในการอบแห้งแต่ละครั้ง 100 นาที



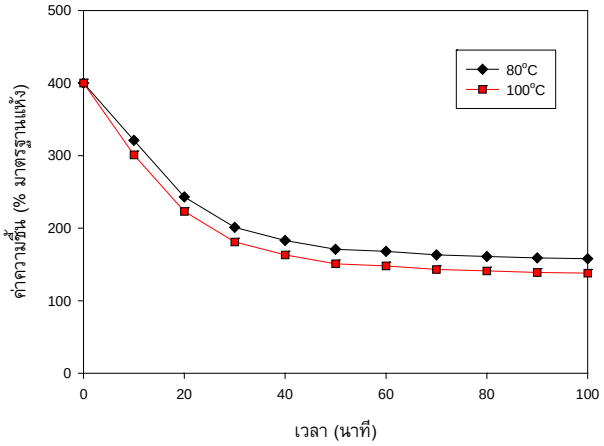
รูปที่ 2. ลักษณะของหอทดลอง

4. ผลการทดลอง

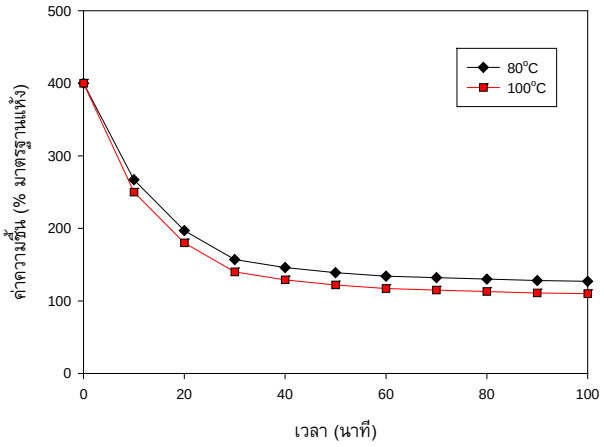
ผลของการทดลองจะวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างเทคนิคฟลูอิดไดซ์แบบธรรมดา กับเทคนิคแบบลมหมุนควงที่มีการติดครีบซึ่งจะวิเคราะห์ 3 ส่วนด้วยกันคือส่วนแรกจะวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าของการอบแห้ง ต่อมาจะวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของความเร็วลมที่มีผลต่อค่าของการอบแห้งและสุดท้ายคือวิเคราะห์อัตราความเร็วของการอบแห้ง (Drying rate) ของทั้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดากับเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมหมุนควงที่มีการติดครีบ

4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนต่อค่าการอบแห้ง

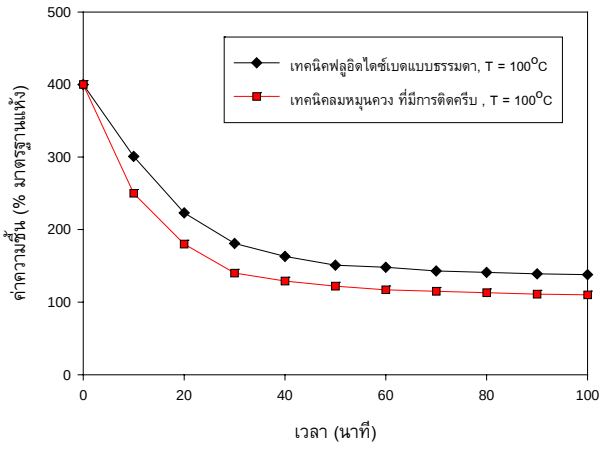
ในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นที่เหลืออยู่ (ค่าการอบแห้ง) ในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้ง ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อน จากรูปจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของลมร้อนมีผลต่อค่าการอบแห้งของทั้ง 2 เทคนิค ซึ่งที่อุณหภูมิ 100°C ของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมหมุนควงที่มีการติดครีบสามารถลดค่าความชื้นได้ดีกว่าเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดาที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่าการอบแห้งของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา ที่ความเร็วลมร้อน 1.0 U_{mf}



รูปที่ 4 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่าการอบแห้งของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมหมุนควงที่มีการติดครีบ ที่ความเร็วลมร้อน 1.0 U_{mf}

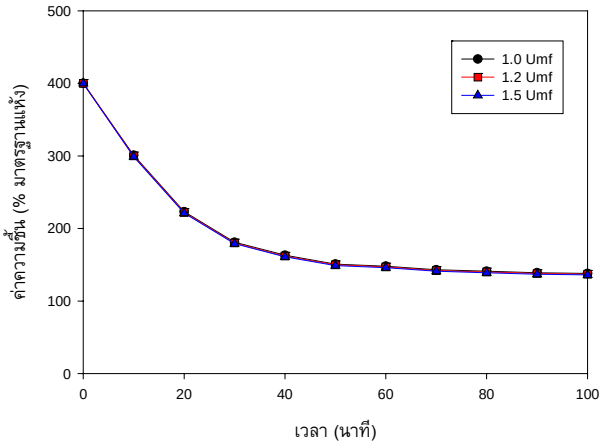


รูปที่ 5 เปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิต่อค่าการอบแห้ง ที่ความเร็วลมร้อน 1.0 U_{mf}

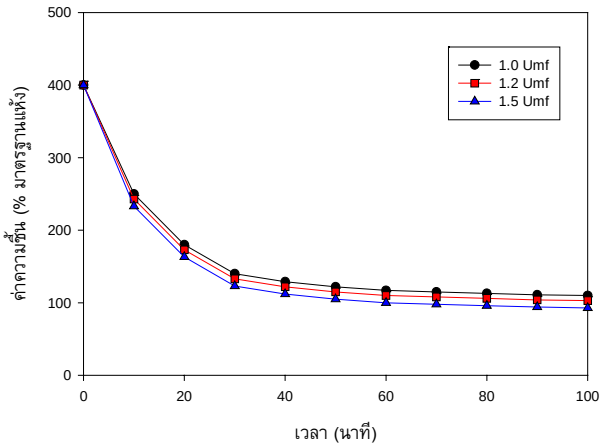
4.2 อิทธิพลของความเร็วลมต่อค่าการอบแห้ง

ในรูปที่ 6 และ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการอบแห้งกับค่าความชื้น ที่ความเร็วลมร้อน 1.0U_{mf} , 1.2U_{mf} และ1.5U_{mf} ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ของการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลิอิดไดซ์เบดแบบธรรมดาและเทคนิคลมหมุนวนที่มีการติดครีบแนวตั้ง ตามลำดับ ซึ่งในรูปที่ 6 จะเห็นว่าความเร็วลมไม่มีผลต่อค่าการอบแห้งสำหรับเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา แต่สำหรับเทคนิคลมหมุนวนที่มีการติดครีบแนวตั้ง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 7 พบว่าความเร็วลมมีอิทธิพลต่อค่าการอบแห้ง ซึ่งที่ความเร็วลมสูงๆ เช่น 1.5U_{mf} พบว่าสามารถลดค่าความชื้นได้เร็วกว่าที่ความเร็วลมต่ำที่ 1.0U_{mf} และ 1.2U_{mf}

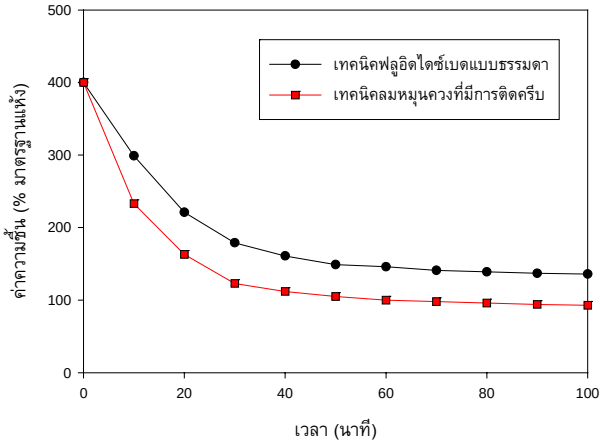
ในรูปที่ 8 แสดงค่าการอบแห้งที่ความเร็วลมร้อน 1.5U_{mf} , 100^{o}C ซึ่งจากผลของการทดลองพบว่า การอบแห้งพริกไทยด้วยเทคนิคลมหมุนควงที่มีการติดครีบแนวตั้ง สามารถลดค่าความชื้นได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา



รูปที่ 6 อิทธิพลของความเร็วลมต่อค่าการอบแห้งของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา



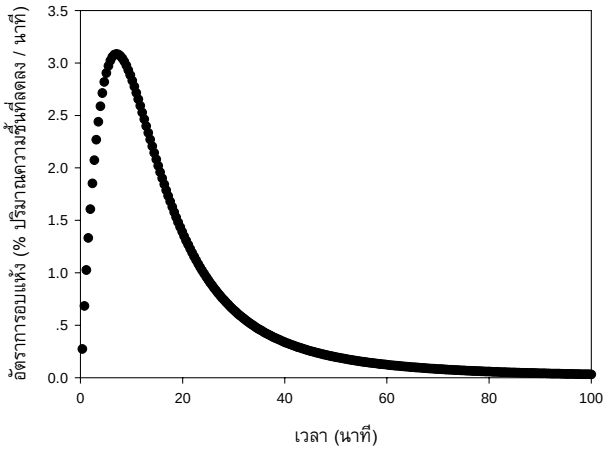
รูปที่ 7 อิทธิพลของความเร็วลมต่อค่าการอบแห้งของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมหมุนควงที่มีการติดครีบ



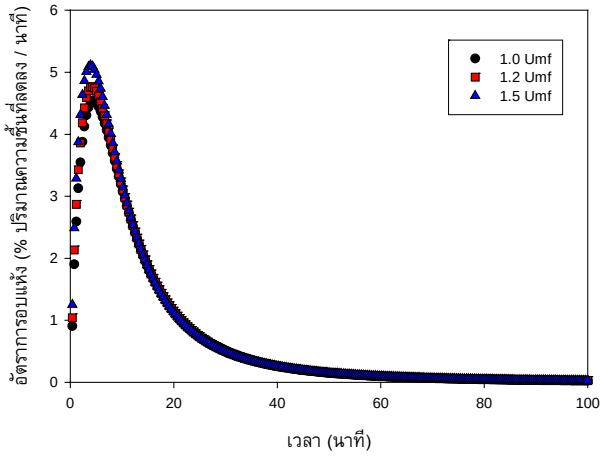
รูปที่ 8 เปรียบเทียบอิทธิพลของความเร็วลมต่อค่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100^{o}C และ ที่ความเร็วลม 1.5U_{mf}

4.3 วิเคราะห์อัตราความเร็วของการอบแห้ง

ในรูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการอบแห้งกับค่าอัตราความเร็วของการอบแห้ง (Drying rate) ของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา ซึ่งผลที่ได้พบว่าในช่วงแรกของการอบแห้ง ค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่สูงที่สุดและจะค่อยๆลดลงจนกระทั่งค่าความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ในทำนองเดียวกันกับอัตราการอบแห้งของเทคนิคลมหมุนวนที่มีการติดครีบแนวตั้ง แต่ค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งของเทคนิคลมหมุนวน จะสูงกว่าเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของระยะเวลาในการอบแห้ง เทคนิคลมหมุนวนที่มีการติดครีบจะมีค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งที่สูงกว่าแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดความปั่นป่วนของลมร้อนในหอ ทำให้เกิดการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนอย่างสูง ทำให้ความชื้นที่มีอยู่ที่เมล็ดพริกไทยแพร่กระจายออกมาได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงดังรูปที่ 10



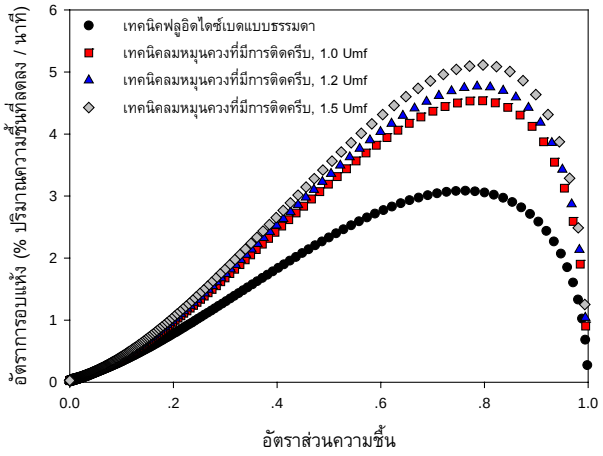
รูปที่ 9 อัตราความเร็วของการอบแห้งเทียบกับเวลาของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดาที่ความเร็วลม 1.5U $_{mf}$ และอุณหภูมิ 100°C



รูปที่ 10 อัตราความเร็วของการอบแห้งเทียบกับเวลาของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมหมุนวนที่มีการติดครีบแนวตั้ง ที่อุณหภูมิ 100°C

4.4 เปรียบเทียบผลค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดกับเทคนิคลมหมุนวนที่มีการติดครีบแนวตั้ง

ในรูปที่11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio) กับค่าอัตราความเร็วของการอบแห้ง (Drying rate) เปรียบเทียบระหว่างเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดากับเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมหมุนวนที่มีการติดครีบแนวตั้ง ซึ่งผลที่ได้พบว่าค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมหมุนวนที่มีการติดครีบแนวตั้ง จะมีค่าที่สูงกว่าค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดาโดยตลอดช่วงของการอบแห้ง



รูปที่ 11 เปรียบเทียบค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งระหว่างเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดธรรมดากับเทคนิคลมหมุนควงที่มีการติดครีบแนวตั้ง

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง การอบแห้งเมล็ดพริกไทยด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดและเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมหมุนควงที่มีการติดครีบที่ความชื้นเริ่มต้น 400% มาตรฐานแห้ง อุณหภูมิอากาศ 80 และ 100 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ 67-70% มวลพริกไทยที่ใช้ในการอบแห้ง 200 กรัมสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การอบแห้งเมล็ดพริกไทยที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดความเร็วลมในหอทดลองไม่มีอิทธิพลต่อค่าการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน

2. การอบแห้งเมล็ดพริกไทยที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมหมุนควงที่มีการติดครีบ ที่อุณหภูมิเดียวกัน ความเร็วลมในหอทดลองมีอิทธิพลต่อค่าการอบแห้ง คือเมื่อเพิ่มความเร็วลมในหอทดลองจะมีผลทำให้ค่าการอบแห้งดีขึ้น

3. เมื่อนำผลที่ได้จากการอบแห้งเมล็ดพริกไทยที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมหมุนควงที่มีการติดครีบมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการอบแห้งเมล็ดพริกไทยที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดาในสภาวะที่อุณหภูมิเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 8 พบว่าการอบแห้งเมล็ดพริกไทยโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่มีผิวคลื่นจะให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งดีกว่า

4. ค่าอัตราการอบแห้ง (Drying rate) เทียบกับอัตราส่วนความชื้นของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบลมหมุนวนที่มีการติดครีบพบว่ามีค่าที่สูงกว่าเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา ในสภาวะที่อุณหภูมิเดียวกัน

6. เอกสารอ้างอิง

[1]. สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ “ ฟลูอิดไดเซชั่น “ สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , พ.ศ.2528. หน้า 3 – 84.

[2]. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, การอบแห้งเมล็ดพืชอาหาร, พิมพ์ครั้งที่5, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,พ.ศ.2535, หน้า 50-67.

[3]. A. Berna et al., Drying kinetics of Majorcan seedless grape variety, In: Mulumdar AS, editor, Drying'91, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 455-462 (1991).

[4]. C.T. Kiranoudis et al., Drying kinetics of onion and green pepper, Drying Technology, 10, pp 955-1011, (1992a).

[5]. Daizo Kunii, Octave Levenspiel., 1991, Fluidization Engineering, 2nd ed., Butterberth- Heinemann., USA

[6]. G.H. Foster et al., Drying grain with heat from solar energy and crop residue, ASAE—American Society of Agricultural Engineers Publication, 1, 137–141 (1980).

[7]. M.O. zbey, M.S. Soylemez, Effect of swirling flow on fluidized bed drying of wheat grains, Energy Convers. Manage., Volume 46, Issues 9-10, 2005, pp.1495-1512.

[8]. S.R.S.Dias, F.P.L.Futata, J.A.Carvalho, H.S.Couto and M.A.Ferreira, Investigation of food grain drying with pulsating air flow, Int. Comm. in Heat Mass Transfer, Vol. 31, 3, 2004.