การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

การเปรียบเทียบการอบแห้งระหว่างฟลูอิดไดซ์เบดและฟลูอิดไดซ์เบดแบบผิวคลื่น

Drying Comparison between Fluidized Bed and Fluidized Wavy-Surface Bed

อำนาจ บุญลอย ดาวรัตน์ ปัญญากาญจน์ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนน ฉลองกรุง เขต ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 0-23264197 โทรสาร 0-326-4198 E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบถึงคุณลักษณะการอบแห้งเมล็ดพริกไทยด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดกับเทคนิคฟลูอิดไดซ์แบบหอผิวคลื่น ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้เมล็ดพริกไทยปริมาณ 200 กรัม ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 400% (มาตรฐานแห้ง) ทดลองที่อุณหภูมิ 80°C โดยใช้ความเร็วของอากาศภายในหอทดลอง 1.7, 2.1 และ 2.6 m/s และใช้เวลาทดลองแต่ละกรณี 180 นาที วัดความชื้นที่ลดลงของเมล็ดพริกไทยทุกๆ 10 นาที ซึ่งผลจากการทดลองจะนำมาเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดธรรมดา การทดลองพบว่าในการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดธรรมดา ความเร็วลมไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของเมล็ดพริกไทย แต่ในการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์แบบหอผิวคลื่น พบว่าความเร็วลมมีผลต่อการลดค่าความชื้นของเมล็ดพริกไทย โดยช่วยให้ความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดระเหยออกได้เร็วขึ้น เนื่องจากหอผิวคลื่นทำให้เมล็ดมีการเคลื่อนที่ลักษณะของไหลแบบปั่นป่วน เกิดการสั่นและกระจายตัวในหอทดลองเพิ่มมากขึ้นกว่าเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดธรรมดา ทำให้เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ช่วยให้การอบแห้งใช้เวลาลดลง 50 %

Abstract

This paper presents the comparative study of drying pepper corn in a typical fluidized-bed and a fluidized-bed with wavy surfaces. In each experimental run, the pepper corn of 200 grams at initial moisture content of about 400% d.b. is employed for drying at inlet air temperature of 80°C with each the inlet air velocity of 1.7, 2.1 and 2.6 m/s. Drying time and weight of pepper corn are measured in 10 minute interval for 180 minutes in each run for both beds. The experimental results show that the use of different velocities leads to no significant effect on drying rate for the typical fluidized-bed but provides a substantial influence for one with wavy surface. It is found that one with wavy surface can help to reduce the moisture content in the pepper corn faster than the typical one since the wavy surface can create a sustainable oscillating flow with stronger turbulence degree 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 wavy surface bed performs better and helps to decrease the drying time around 50% less than the typical one.

1. บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการไล่ความชื้นออกจากวัสดุโดยการระเหย ช่วยให้เก็บรักษาวัสดุไว้ได้นานและเป็นการป้องกันการเสียหายของวัสดุเนื่องจากการทำลายของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปจะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนและความชื้น การถ่ายโอนความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุและการถ่ายโอนความชื้นจากวัสดุไปยังอากาศจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนและความชื้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของกระแสอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชอาจจะแบ่งได้เป็นสองชนิดคือเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ (fixed-bed dryer) และเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล (moving-bed dryer) ซึ่งเทคนิคการอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดเป็นเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล [2], [7], [9] พบมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงและเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีหลายงานวิจัยที่นำเสนอด้วยเทคนิคดังกล่าว [1], [3] – [6], [8] แต่เมื่อพิจารณาเทคนิคการอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดพบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งทำได้ยากเนื่องจากมีเงื่อนไขหลายอย่างจึงได้ทำการทดลองหาเทคนิคใหม่ๆ มาใช้ในการอบแห้งเมล็ดพืช และเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบหอผิวคลื่น ก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจ โดยในวิจัยได้นำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ ซึ่งคาดว่าจะช่วยลดค่าความชื้นได้เร็วขึ้นและให้อัตราการอบแห้งที่ดีขึ้น

2. ทฤษฎี

2.1 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก, M_w

$$M_w = \frac{w-d}{w} \quad (1)$$

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง, M_d

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

เมื่อ w คือ มวลของวัสดุ , kg

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg

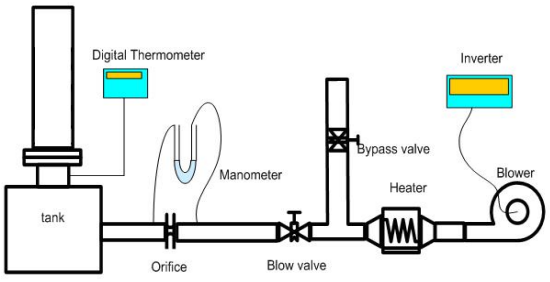
2.2 อัตราความเร็วของการอบแห้ง

เป็นตัวแปรที่บอกถึงความเร็วของการลดค่าความชื้น ซึ่งถ้าค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งมีค่าสูง แสดงว่าปริมาณความชื้นที่แพร่กระจายออกจากเมล็ดพืชต่อเวลามีปริมาณสูงมาก

$$Drying\ rate = \frac{dX}{dt} = \frac{x_0 - x}{t - t_0} \quad (3)$$

เมื่อ $x_0 - x$ คือ ค่าความเปลี่ยนแปลงของความชื้น

$t - t_0$ คือ ค่าความเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลา



รูปที่ 1. อุปกรณ์สำหรับการทดลอง

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ถูกแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย หอทดลอง, ขดลวดความร้อน, ชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ, ชุดควบคุมความเร็วลม, โบลเวอร์, ออริฟิสมิเตอร์และเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล

3.1 เครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

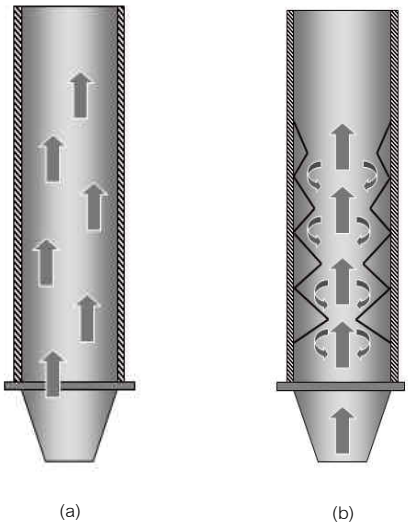
เครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ถูกแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยหอทดลองรูปทรงกระบอก แสดงดังรูปที่ 2(a) ทำจากอะคริลิกใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.13 เมตร และความสูง 1 เมตร แผ่นกระจายลมเป็นแบบเจาะตรงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเท่ากับ 3 มิลลิเมตร และมีจำนวน 408 รู ซึ่งคิดเป็นพื้นที่เปิด 22 %

3.2 เครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่มีผิวคลื่น

เครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่มีผิวคลื่นใช้อุปกรณ์พื้นฐานร่วมกับเครื่องอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแต่จะต่างกันที่บริเวณภายในหอทดลองจะมีการติดตั้งอุปกรณ์มีลักษณะเป็นลูกคลื่นติดตั้งในแนวดิ่งของหอทดลอง ลูกคลื่นที่ใช้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในแตกต่างกันคือขนาด 3, 4, 5, และ 6 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2(b) โดยที่การติดตั้งลูกคลื่นดังกล่าวเป็นการออกแบบลักษณะการไหลของอากาศโดยมีแนวความ คิดที่จะทำให้เกิดการสั่นของลมร้อนในการอบแห้งให้มากขึ้นภายในหอทดลองจะช่วยให้ลมร้อนสัมผัสกับเมล็ดพืชได้มากขึ้นและการกระจายตัวกันของเมล็ดพริกไทยภายในหอทดลองจะช่วยให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้มากขึ้นด้วย

3.3 เมล็ดพืชสำหรับการทดลอง

ในการทดลองแต่ละครั้งใช้เมล็ดพริกไทยมวล 200 กรัม ที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 400% (มาตรฐานแห้ง)



รูปที่ 2. ลักษณะของหอทดลอง

3.4 วิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มจาก Blower ขนาด 2.3 kW ที่มีอินเวอร์เตอร์เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบขับลมผ่านท่อโดยที่ความเร็วของอากาศที่ทางเข้าจะถูกวัดด้วยออริฟิสมิเตอร์ อากาศในเครื่องอบแห้งของทั้ง 2 เทคนิค ถูกทำให้ร้อนขึ้นด้วยขดลวดความร้อนขนาด 12 กิโลวัตต์ โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยชุดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ในการทดลองแต่ละครั้งใช้อุณหภูมิของอากาศที่ 80°C โดยใช้เวลาประมาณ 15 นาที ใน

การควบคุมอุณหภูมิของอากาศให้มีค่าคงที่ตามที่กำหนด ทำการวัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าหอทดลองด้วยดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์และวัดอุณหภูมิภายในเบดด้วยเทอร์โมคัพเปิลชนิด K ความเร็วของอากาศภายในหอทดลอง 1.7, 2.1 และ 2.6 m/s ในการทดลองเมล็ดพริกไทยจะถูกวัดความชื้นที่ลดลงจากค่าน้ำหนักเมล็ดพริกไทยที่เปลี่ยนไปซึ่งจะทำการวัดทุก ๆ 10 นาทีโดยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลที่มีค่าความละเอียด 0.01 กรัม โดยใช้เวลาในการอบแห้งแต่ละเงื่อนไขของการทดลองที่ 180 นาที

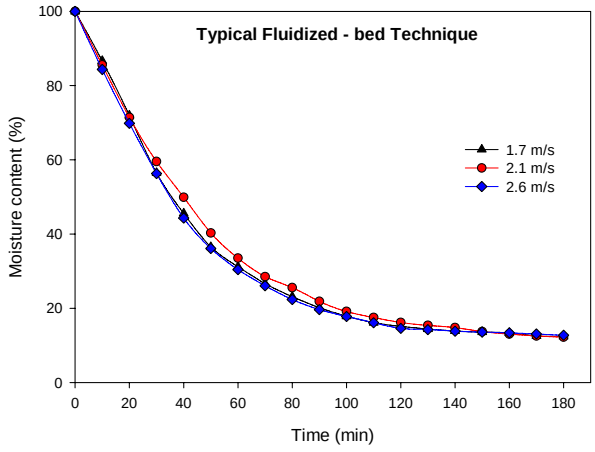
4. ผลการทดลอง

ผลของการทดลองจะวิเคราะห์ 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกจะวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของความเร็วลมและอิทธิพลของผิวคลื่นที่มีผลต่อค่าการอบแห้ง ลำดับต่อมาคือเปรียบเทียบผลของการอบแห้งระหว่าง 2 เทคนิค และสุดท้ายคือวิเคราะห์อัตราการอบแห้งของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดกับเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่มีผิวคลื่น

4.1 อิทธิพลของความเร็วลมและอิทธิพลของผิวคลื่น

4.1.1 การอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

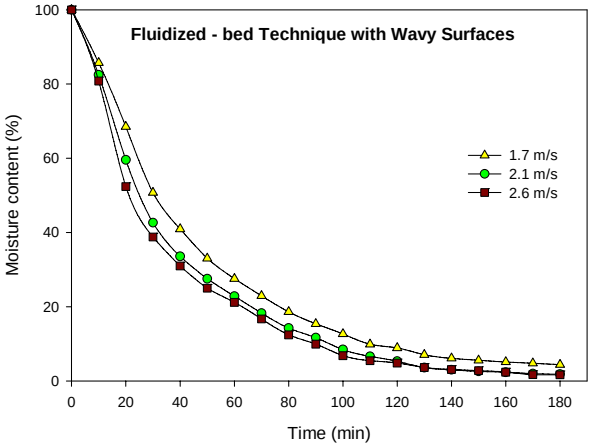
ในรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการอบแห้งกับค่าความชื้น ที่ความเร็วลม 1.7, 2.1 และ 2.6 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นได้ว่าความเร็วลมไม่มีอิทธิพลต่อการอบแห้ง



รูปที่ 3 อิทธิพลของความเร็วลมต่อการอบแห้งของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา

4.1.2 การอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่มีผิวคลื่น

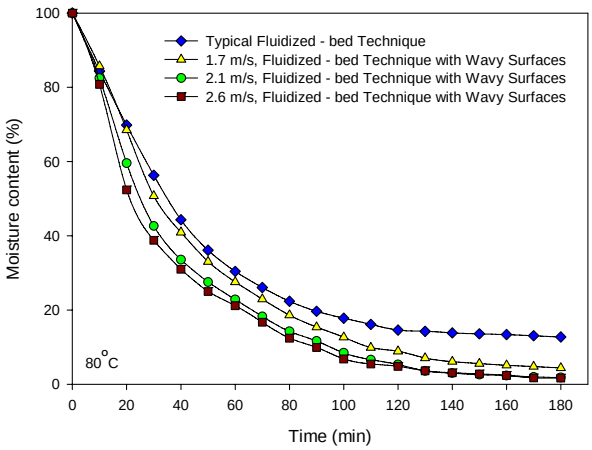
ในรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการอบแห้งกับค่าความชื้นที่ความเร็วลม 1.7, 2.1 และ 2.6 m/s อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่มีผิวคลื่นขนาดแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้วจะเห็นได้ว่า ความเร็วลมมีอิทธิพลต่อการอบแห้ง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่มีผิวคลื่นที่ความเร็วลมสูงจะให้ค่าการอบแห้งดีกว่าที่ความเร็วลมต่ำ ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าความเร็วลมสูง ๆที่ 2.6 m/s สามารถลดค่าความชื้นได้เร็วกว่าความเร็วลมต่ำที่ 1.7 และ 2.1 m/s



รูปที่ 4 อิทธิพลของความเร็วลมต่อการอบแห้งของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบหอผิวคลื่น

4.2 เปรียบเทียบผลค่าการอบแห้งของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดกับเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่มีผิวคลื่น

ในรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการอบแห้งกับความชื้น ซึ่งผลที่ได้จากการอบแห้งเมล็ดพริกไทยที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดที่มีผิวคลื่น ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการอบแห้งเมล็ดพริกไทยที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดาในสภาวะที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าค่าความชื้นต่อเวลาของการอบแห้งเมล็ดพริกไทยที่หอทดลองมีการติดผิวคลื่นจะลดการใช้เวลาในการอบแห้งได้ดีกว่า

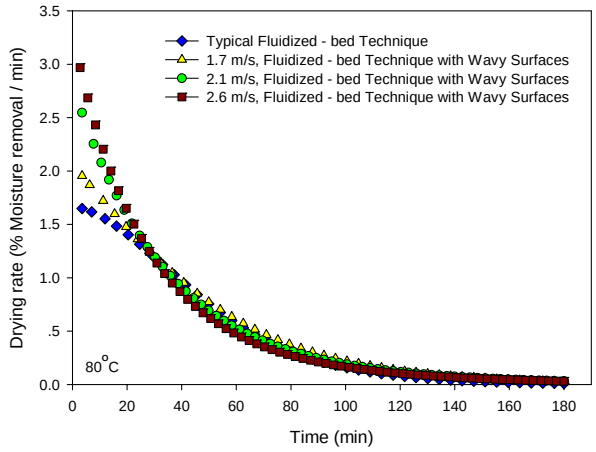


รูปที่ 5 เปรียบเทียบการอบแห้งระหว่างเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดกับเทคนิคฟลูอิดไดซ์แบบหอผิวคลื่น

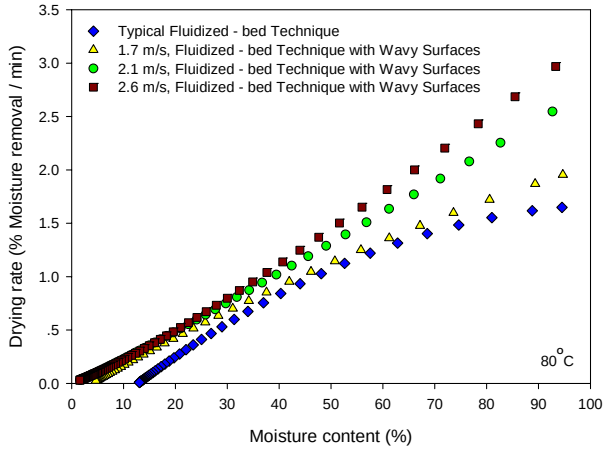
4.3 วิเคราะห์อัตราความเร็วของการอบแห้ง

ในรูปที่ 6 และ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราความเร็วของการอบแห้ง (Drying rate) ของเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดาและเทคนิคหอผิวคลื่น ซึ่งผลที่ได้พบว่าในช่วงแรกของการอบแห้งด้วย

เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา ค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งจะมีค่าที่สูงและค่อย ๆลดลงจนกระทั่งค่าความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในทำนองเดียวกันกับอัตราการอบแห้งของเทคนิคหอผิวคลื่น แต่ค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งของเทคนิคหอผิวคลื่นจะสูงกว่าเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา ซึ่งในช่วงแรกของระยะเวลาในการอบแห้งเทคนิคหอผิวคลื่นจะมีค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งที่สูงกว่าแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดความปั่นป่วนของลมร้อนในหอ ทำให้เกิดการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนอย่างสูง ทำให้ความชื้นที่มีอยู่ที่เมล็ดพริกไทยแพร่กระจายออกมาได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งกับเวลา



รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่าอัตราความเร็วของการอบแห้งกับค่าความชื้น

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองอบแห้งเมล็ดพริกไทย ด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดธรรมดาและเทคนิคฟลูอิดไดซ์แบบหอผิวคลื่น ที่ความชื้นเมล็ดพืชเริ่มต้น 80% มาตรฐานเปียก อุณหภูมิอากาศ 80 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ 67-70% มวลพริกไทยที่ 200 กรัม สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดาความเร็วลมในหอทดลองที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อการอบแห้ง แต่สำหรับการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์แบบหอผิวคลื่น ที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่า ความเร็วลมในหอทดลองมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง คือเมื่อเพิ่มความเร็วลมในหอทดลองจะมีผลทำให้อัตราการอบแห้งดีขึ้น

2. อิทธิพลของการออกแบบหอออบแห้งให้ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมร้อนเป็นแบบปั่นป่วน ซึ่งการใส่ผิวคลื่นที่มีขนาดแตกต่างกันทำให้เกิดการกระจายตัวของเมล็ดพริกไทย ช่วยให้เมล็ดพริกไทยสัมผัสกับลมร้อนที่ความชื้นค่าต่ำตลอดเวลา ซึ่งทำให้ค่าการแพร่ความชื้นออกจากเนื้อเมล็ดพริกไทยมีค่าสูง ส่งผลต่อการอบแห้งคือสามารถใช้อุณหภูมิของลมร้อนได้สูง ในเวลาการอบที่น้อยลง โดยที่เมล็ดพริกไทยหลังการอบแห้งไม่เสียหายทั้งนี้เนื่องจากถ้าอบแห้งด้วยอุณภูมิสูงเป็นเวลานานผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจะไหม้และเสียคุณภาพ แต่เทคนิคหอผิวคลื่นช่วยให้เกิดการกระจายตัวของลมร้อนลักษณะปั่นป่วนเพิ่มค่าสัมประสิทธิการพาความร้อนและเร่งการแพร่ความชื้นออกจากเนื้อผลิตภัณฑ์ด้วยเวลาอบแห้งที่น้อยกว่าเทคนิคฟลูอิดไดซ์แบบธรรมดา จากผลการทดลองเทคนิคฟลูอิดไดซ์แบบหอผิวคลื่นสามารถลดค่าความชื้นออกจากเมล็ดพริกไทยได้เร็วกว่าแบบเทคนิคหอธรรมดา ด้วยเมล็ดพริกไทยมีการกระจายตัวที่ดีกว่าและมีการไหลขึ้นลงของเมล็ดพริกไทยภายในหอทดลองอยู่ตลอดเวลาจึงช่วยให้การอบแห้งลดลงอย่างต่อเนื่อง

6. เอกสารอ้างอิง

1. A. Berna et al., Drying kinetics of Majorcan seedless grape variety, In: Mulumdar AS, editor, Drying'91, Amsterdam: Elsevier Science Publishers., 1991, p455-462.
2. A.N. Chandran, S. Subba Rao and Y.B.G. Varma, Fluidized bed drying of solids, AIChE Journal 36, Vol. 36, Issue 1., 1990, p29–38.
3. C.T. Kiranoudis et al., Drying kinetics of onion and green pepper, Drying Technology., 1992, p10, p955-1011.
4. F. Kaymak-Ertekin, Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers, Journal of Food Science 67., p1, p168–175.
5. G.H. Foster et al., Drying grain with heat from solar energy and crop residue, ASAE—American Society of Agricultural Engineers Publication, 1980., p1, p137–141.
6. M. Abid, R. Gibert and C. Laguerie, An experimental and theoretical analysis of the mechanisms of heat and mass transfer during the drying of corn grains in a fluidized bed, Int Chem Eng 30, 1990., p4, p632–642.
7. P.P. Thomas and Y.B.G. Varma, Fluidized bed drying of granular food materials, Powder Technoly 69, 1992., p213–222.
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, 2004., p31, p3.

9. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, การอบแห้งเมล็ดพืชอาหาร, พิมพ์ครั้งที่5, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2535, 50-67.