

## การอบแห้งไชน้ำด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด

### Drying of *Wolffia arrhiza* in a Fluidized Bed Dryer

ณัฐธินันท์ กิริติญาดาธนาภัก<sup>1\*</sup>, ประทีป ตุ่มทอง<sup>1</sup>

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งไชน้ำด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด ศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วลมที่มีต่อพฤติกรรมการอบแห้ง โดยทำการทดลองอบแห้งภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส และความเร็วของอากาศร้อน 1.0, 2.0 และ 3.0 เมตรต่อวินาที พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษา คือ อัตราส่วนความชื้น และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง โดยช่วงแรกของการอบแห้งความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นความชื้นจะค่อย ๆ ลดลงจนคงที่ในที่สุด นอกจากนี้พบว่า ที่ความเร็วลมเดียวกันเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิเดียวกันความเร็วลมสูงขึ้นจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิทำให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิตั้งแต่ความเร็วลมเดียวกัน

**คำสำคัญ :** การอบแห้ง, ไชน้ำ, ฟลูอิดซ์เบด, อัตราส่วนความชื้น

#### Abstract

The objective of this study was to investigate the Fluidization technique for *Wolffia arrhiza* by studying the effect of drying air temperature and air velocity on drying kinetic. Research conditions in the experiments were four levels of drying temperatures 50, 60, 70 and 80 °C and three air velocity levels 1.0, 2.0 and 3.0 m/s. The effects of drying conditions on moisture ratio and specific energy consumption were investigated.

The results showed that humidity ratio decreased when drying time elapsed. At the initial state of drying, the moisture was decreased rapidly; thereafter, the moisture gradually

<sup>1</sup> คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์

\*Corresponding author, E-mail : tanapatann@hotmail.com

decreased and remained stable eventually. At the same air velocity, moisture ventilation ratio increased when air temperature increased. At the same air temperature, moisture ventilation ratio increased when air velocity increased but there was no difference significantly at low temperature. While, the specific energy consumption was decreased when drying air temperature increased, at the same air velocity.

**Keywords :** Drying, *Wolffia arrhiza*, Fluidization Technique, Moisture Ratio

## 1. บทนำ

ไชน้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.) เป็นพืชพื้นเมืองของประเทศไทย มีรูปร่างกลมหรือเกือบกลมขนาดประมาณ 1 มิลลิเมตร สีเขียว และไม่มีราก เป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในไชน้ำอบแห้งพบว่าไชน้ำมีปริมาณโปรตีนมากถึง 35 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง (สุขุม เจริญ, 2551) และมีการสะสมไขมันที่จำเป็นหลายชนิด เช่น ลิพิด กรดไขมัน และวิตามินอีในปริมาณสูง นิยมรับประทานมากทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีชื่อเรียกตามท้องถิ่นว่า ผำ ไชผำ และไขแหวน ซึ่งผลผลิตไชน้ำส่วนใหญ่ได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ หากต้องการเพิ่มผลผลิตในระบบฟาร์มเพื่อใช้สำหรับเป็นอาหารมนุษย์ และอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ไชน้ำจำเป็นต้องมีการแปรรูปเพื่อให้สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่องและเพียงพอ นอกจากนี้ ยังมีข้อจำกัดในด้านการเก็บรักษาผลผลิตไชน้ำและสุขอนามัยของผู้บริโภค ไชน้ำ เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการศึกษาทดลองแปรรูปไชน้ำด้วยการอบแห้ง

เพื่อให้เก็บรักษาง่าย สะดวกต่อการบรรจุ และขนส่ง เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบา (Meziane, 2011; Nazghelichi, 2010)

การลดความชื้นผลิตภัณฑ์จากไชน้ำของกลุ่มเกษตรกรนิยมใช้วิธีการตากแดดให้แห้ง ซึ่งเป็นวิธีลดความชื้นอย่างง่าย แต่ปัญหาสำหรับวิธีการตากแดด คือ ปัญหาด้านความสะอาดจากฝุ่นละออง แมลง สัตว์ กัดแทะ สิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ระยะเวลาในการตากแดดค่อนข้างใช้เวลานานมาก และข้อจำกัดสำหรับเกษตรกรที่เพาะเลี้ยงไชน้ำในช่วงฤดูฝนไม่สามารถควบคุมผลผลิตได้ตามต้องการ ซึ่งการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่มีความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากต้นทุนในการสร้างเครื่องที่ค่อนข้างต่ำ เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนสามารถใช้แหล่งความร้อนได้จากหลายแหล่ง เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ขดลวดความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ หรือความร้อนทิ้งจากกระบวนการต่าง ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Drying) เป็นเครื่องอบที่ใช้กันแพร่หลาย โดยหลักการจะให้ลมร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์ที่วางบนถาดบาง ๆ ที่มีรูพรุนหรือไม่มีรูพรุน ลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งจะได้รับความร้อนจาก

แหล่งความร้อน และไหลทั่วถึงอย่างสม่ำเสมอ แต่การอบแห้งแบบถาดมีข้อจำกัดในด้านกำลังการผลิตไม่สูงมากนัก ยังมีวิธีอบแห้งเมล็ดพืชด้วยลมร้อนอีกวิธีที่สะดวกสบายกว่าการอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และอบแห้งแบบถาด คือ เทคนิคฟลูอิดไชเบต ซึ่งข้อดีของวิธีนี้คือ ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าสามารถลดความชื้นได้ในระยะเวลาอันสั้น เนื่องจากผิวของผลิตภัณฑ์สามารถสัมผัสกับลมร้อนได้มากทำให้ผลิตภัณฑ์มีความร้อนสูงอย่างรวดเร็ว (Izadifar & Mowla, 2003) มีการกระจายอุณหภูมิในการอบแห้งอย่างสม่ำเสมอ โดยที่ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหายจากความร้อน (Cheevitsopon & Noomhorm, 2011)

นอกจากนี้พบว่ามีการวิจัยที่นำเทคนิคฟลูอิดไชเบตมาใช้ในการลดความชื้นสำหรับผลผลิตทางการเกษตร เช่น พริกชี้หนู (Tasirin, Kamarudin, Ghani & Lee, 2007) ข้าวกล้อง (Jaros & Pabis, 2006) และข้าวโพด (Özahi & Demir, 2015) เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญ และสนใจเกี่ยวกับผลกระทบของความเร็วมลร้อน อุณหภูมิของลมร้อนที่ทางเข้าและความหนาของชั้นผิวในการอบแห้งต่อกระบวนการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์

จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงเห็นความสำคัญเพื่อศึกษากระบวนการลดความชื้นของไข่น้ำให้มีประสิทธิภาพด้วยเทคนิคฟลูอิดไชเบต โดยคาดหวังว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งไข่น้ำเพื่อการแปรรูปผลผลิตการเกษตรได้เป็นอย่างดี

## 2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาการอบแห้งไข่น้ำด้วยเทคนิคฟลูอิดไชเบต
- 2) เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และความเร็วลมที่มีผลต่อการอบแห้งไข่น้ำด้วยเทคนิคฟลูอิดไชเบต

## 3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองการอบแห้งไข่น้ำด้วยเทคนิคฟลูอิดไชเบต และทำการศึกษาดัชนีแปรที่มีผลต่อการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิในการอบแห้ง ความเร็วลม และความสิ้นเปลืองพลังงาน โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์ ขั้นตอน และวิธีการทดลองดังนี้

### 3.1 ทฤษฎีพื้นฐาน

ในกระบวนการอบแห้งมวลของวัสดุชิ้นจะเปลี่ยนค่าอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่มวลของวัสดุแห้งระหว่างการอบแห้งจะมีค่าคงที่ ดังนั้น การคำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง ( $M_D$ ) จึงเป็นที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ความชื้นของวัสดุจากการอบแห้ง

#### 3.1.1 ความชื้นมาตรฐานเปียก

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$M_w = \left( \frac{w-D}{w} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ  $M_w$  คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, %

$W$  คือ มวลของวัสดุเปียก, kg

$D$  คือ มวลของวัสดุแห้ง, kg

### 3.1.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$M_D = \left( \frac{W-D}{D} \right) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ  $M_D$  คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, %

$W$  คือ มวลของวัสดุเปียก, kg

$D$  คือ มวลของวัสดุแห้ง, kg

### 3.1.3 อัตราส่วนความชื้น

การคำนวณอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) ในงานวิจัยนี้ใช้การคำนวณโดยประมาณค่า โดยตั้งสมมติฐานว่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้นหรือความชื้นที่เวลาใด ๆ อัตราส่วนความชื้นคำนวณได้จากสมการ (3)

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (3)$$

เมื่อ  $M_{in}$  คือ ความชื้นเริ่มต้น

$M_t$  คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ

$M_{eq}$  คือ ความชื้นสมดุล

### 3.1.4 อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของระบบ แสดงได้ด้วยปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอบแห้ง โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ (4)

$$SEC = \frac{E_{power}}{M_w} \quad (4)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, kWh/kg

$E_{power}$  คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้, kWh

$M_w$  คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากเนื้อวัสดุ, kg

### 3.2 เครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษา เป็นเครื่องอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิดซ์เบด ดังแสดงในภาพที่ 1 และมีรายละเอียดดังนี้ ขนาดห้องอบแห้ง 20x50x200 เซนติเมตร (กว้างxยาวxสูง) อุปกรณ์ให้ความร้อนเป็นขดลวดความร้อนขนาด 4.5 กิโลวัตต์ ขดลวดความร้อน พัดลมขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ขนาด 375 วัตต์



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด

สำหรับการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ระหว่างทำการทดลอง มีรายละเอียดดังตารางที่ 1 อุนหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ วัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ความเร็วของอากาศรอบห้อง วัดโดยใช้ Hot Wire Anemometer วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยใช้กิโลวัตต์เออาร์มิเตอร์ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักชั่งโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม

#### ตารางที่ 1

แสดงช่วงทำงาน และความแม่นยำของ เครื่องมือวัด

Sensors	Measuring Range	Accuracy
Thermocouple K Type	0 to 400 °C	± 0.4% of reading
Data Logger	-50 to 400 °C	± 2 °C
Anemometer	0.4 to 30 m/s	± 3% full scale plus 1 digit
Weight (g)	1 to 5,000 g	Repeatability ±0.02 g Linearity ±0.03 g

### 3.3 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

ในการทดลองการอบแห้ง ใช้น้ำด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด ตามเงื่อนไขการอบแห้งอุณหภูมิในห้องอบอยู่ระหว่าง 50-80 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนแปลงความเร็วของลมร้อนในช่วง 1.0-3.0 เมตรต่อวินาที ในการทดลองแต่ละครั้งใช้ ใช้น้ำ 100 กรัม ใช้น้ำที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 800

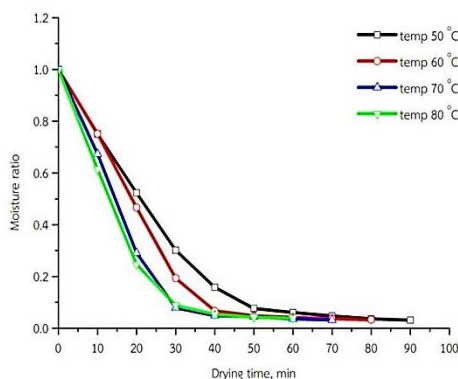
เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยทดลองทำการอบแห้งจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายใกล้เคียงกับ ใช้น้ำที่นำมาผสมเป็นอาหารเพื่อเลี้ยงปลา คือ ความชื้นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ในช่วงการทดลองมีการควบคุม และบันทึกค่าต่าง ๆ ได้แก่ ควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในห้องอบแห้ง ควบคุมความเร็วของลม และน้ำหนัก ใช้น้ำที่ลดลงต่อระยะเวลาการทดลอง

## 4. ผลการทดลอง

### 4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้ง

ภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง โดยช่วงแรกของการอบแห้งความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากช่วงนี้ที่บริเวณผิวของ ใช้น้ำมีความชื้นค่อนข้างมาก เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนของลมร้อนไปยังผิวทำให้อุณหภูมิที่ผิวสูงขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกน้ำจึงระเหยออกจากผิวของ ใช้น้ำ และอาศัยกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางพาความชื้นออกไปจึงทำให้อัตราการอบแห้ง เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนถึงช่วงที่สองความชื้นจะค่อย ๆ ลดลงจนคงที่ในที่สุด เนื่องจากในช่วงนี้ความชื้นที่บริเวณผิวของ ใช้น้ำถูกพาออกไปจนเกือบหมด จึงมีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในผลิตภัณฑ์ส่งผลให้น้ำภายใน ใช้น้ำเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า แต่เนื่องจากผิวที่

สัมผัสกับลมร้อนจนทำให้มีลักษณะแข็งความชื้นที่อยู่ภายในจึงแทรกตัวออกจากรูพรุนมาที่ผิวค่อนข้างยาก จึงเป็นเหตุให้ในช่วงที่สองนี้มีอัตราการอบแห้งลดลง เมื่อพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิอบแห้ง พบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความชื้นลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูล พบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยเฉลี่ยประมาณ 10.01, 6.60 และ 3.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

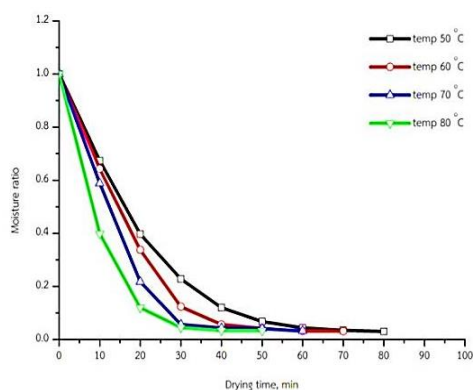


ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที

กรณีที่ใช้อุณหภูมิสูงปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทให้กับผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณมาก นอกจากนี้ อุณหภูมิของลมยังส่งผลต่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยอุณหภูมิสูงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศน้อยลง ส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำภายในผลิตภัณฑ์สูงตาม ดังนั้น จากเหตุผล

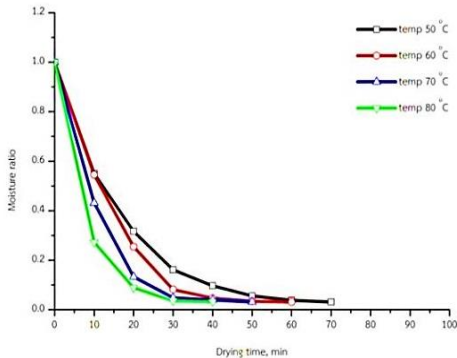
ที่กล่าวมาผลิตภัณฑ์จึงสามารถลดความชื้นได้เร็วขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง

ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ความเร็วลมเท่ากับ 2.0 เมตรต่อวินาที ผลการทดลองมีแนวโน้มเหมือนกับการทดลองในภาพที่ 2 และจากการเปรียบเทียบข้อมูล พบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยเฉลี่ยประมาณ 11.53, 7.69 และ 3.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที

ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ความเร็วลมเท่ากับ 3.0 เมตรต่อวินาที ผลการทดลองมีแนวโน้มเหมือนกับภาพที่ 2 และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูล พบว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศา โดยเฉลี่ยประมาณ 13.63, 9.09 และ 4.52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



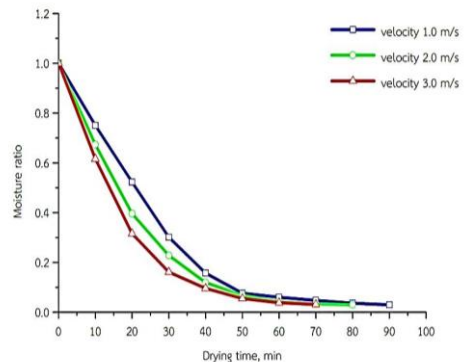
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ความเร็วลม 3.0 เมตรต่อวินาที

จากผลการทดลองข้างต้นสรุปได้ว่า อุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อพฤติกรรมของการอบแห้งไขน้ำด้วยเทคนิคฟลูอิดไรเซชัน โดยที่ภาวะความเร็วลมเดียวกัน อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น

#### 4.2 อิทธิพลของความเร็วลม

ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ซึ่งเป็นการทดลองอบแห้งโดยควบคุมอุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง โดยช่วงแรกของการอบแห้งความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์ยังมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเทความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นความชื้นจะค่อย ๆ ลดลงจนคงที่ในที่สุด เมื่อพิจารณาความแตกต่างของความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งพบว่า การอบแห้งที่ความเร็วลมเท่ากับ 3.0 เมตรต่อวินาที ความชื้นจะลดลงเร็วที่สุด ส่งผล

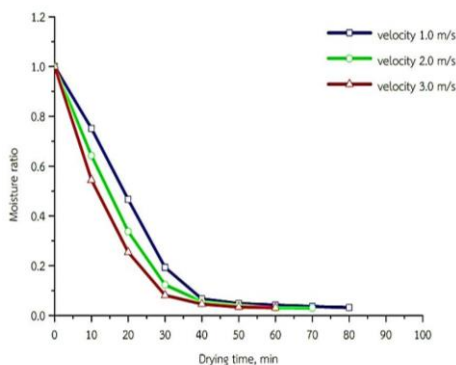
ให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด และจากเปรียบเทียบในภาพที่ 5 พบว่าที่ความเร็วลม 3.0 เมตรต่อวินาที มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่ความเร็วลม 1.0 และ 2.0 เมตรต่อวินาที โดยเฉลี่ยประมาณ 6.34 และ 4.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการลดลงของอัตราส่วนความชื้นในกรณีที่ใช้ความเร็วลมสูงจะลดลงเร็วกว่ากรณีที่ใช้ความเร็วลมต่ำ ซึ่งอธิบายได้ว่ากรณีที่ใช้ความเร็วลมสูงสามารถนำความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า ส่งผลให้อัตราการระเหยของความชื้นในผลิตภัณฑ์สูงตาม



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ที่ความเร็วลม 3.0 เมตรต่อวินาที ความชื้นลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบที่ความเร็วลม 3.0 เมตรต่อวินาที มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่ความเร็วลม 1.0 และ

2.0 เมตรต่อวินาที โดยเฉลี่ยประมาณ 8.52 และ 4.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

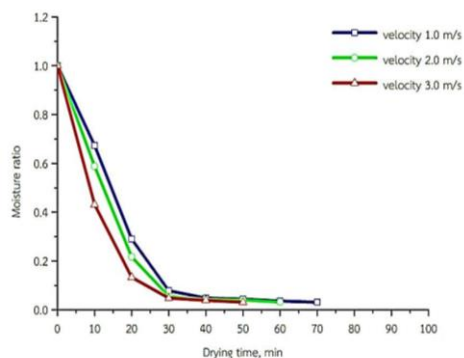


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส

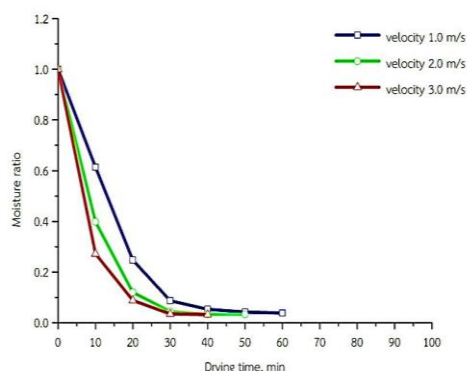
ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่า ที่ความเร็วลม 3.0 เมตรต่อวินาที ความชื้นลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเร็วลม 3.0 เมตรต่อวินาที มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่ความเร็วลม 1.0 และ 2.0 เมตรต่อวินาที โดยเฉลี่ยประมาณ 11.11 และ 5.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่า ที่ความเร็วลม 3.0 เมตรต่อวินาที ความชื้นลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเร็วลม 3.0 เมตรต่อวินาที มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่ความเร็วลม 1.0

และ 2.0 เมตรต่อวินาที โดยเฉลี่ยประมาณ 13.34 และ 6.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 องศาเซลเซียส

#### 4.3 ผลของอุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลมที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งข้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไรเซชัน จากข้อมูล พบว่า ที่เงื่อนไขความเร็วลมเดียวกัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

จะมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วลม

## ตารางที่ 2

ตารางการใช้พลังงานในการอบแห้ง

Temp (°C)	Velocity (m/s)	Drying time (min)	Energy consumption (kWh)	SEC (kWh/kg)
50	1	90	3.9	44.83
	2	80	5.3	62.07
	3	70	8.3	90.73
60	1	80	3.9	44.31
	2	70	5.5	61.07
	3	60	8.1	86.06
70	1	70	4.0	43.13
	2	60	5.6	60.01
	3	50	8.1	84.52
80	1	60	4.0	42.38
	2	50	5.4	58.61
	3	40	7.4	81.89

## 5. สรุปผลการวิจัย

### 5.1 ผลของอุณหภูมิต่อการอบแห้งที่มีต่อพฤติกรรม

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในช่วง 50-80 องศาเซลเซียส ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการอบแห้งไข่น้ำด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด พบว่า เมื่อ

เปรียบเทียบที่ความเร็วลมเดียวกัน การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเกิดจากการใช้อุณหภูมิอบแห้งสูง ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทให้กับผลิตภัณฑ์ (ไข่น้ำ) จะมีปริมาณมาก

### 5.2 ผลของความเร็วลมที่มีผลต่อพฤติกรรมการอบแห้ง

จากการศึกษาผลของความเร็วลมในช่วง 1.0-3.0 เมตรต่อวินาที ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการอบแห้งไข่น้ำด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบด พบว่า เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิตอบแห้งเดียวกัน การอบแห้งที่ความเร็วลมสูงจะให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่ความเร็วลมต่ำ แต่ความเร็วลมมีอิทธิพลมากต่ออัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงส่วนที่อุณหภูมิต่ำมีอิทธิพลน้อยมาก

### 5.3 ผลของอุณหภูมิตอบแห้งและความเร็วลมที่มีต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

จากการศึกษาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พบว่า ที่ความเร็วลมเดียวกันเมื่อเพิ่มอุณหภูมิตอบแห้ง จะส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง แต่ที่อุณหภูมิเดียวกันเมื่อเพิ่มความเร็วลมพบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- สุขุม เراءใจ และสุทิน สมบูรณ์. (2551). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่น้ำ (*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm.). *วารสารการประมง*, 60(5), 405-413.
- Cheevitsopon, E., & Noomhorm, A. (2011). Effect of parboiling and fluidized bed drying on the physicochemical properties of germinated brown rice. *International Journal of Food Science & Technology*, 46, 2498–2504.
- Izadifar, M., & Mowla, D. (2003). Simulation of a cross-flow continuous fluidized bed dryer for paddy rice. *Journal of Food Engineering*, 58, 325–329.
- Jaros, M., & Pabis, S. (2006). Theoretical models for fluid bed drying of cut vegetables. *Biosystems Engineering*, 93, 45–55.
- Meziane, S. (2011). Drying kinetics of olive pomace in a fluidized bed dryer. *Energy Convers Manage*, 52, 1644–1649.
- Nazghelichi, T., Kianmehr, M.H., and Aghbashlo, M. (2010). Thermodynamic analysis of fluidized bed drying of carrot cubes. *Energy*, 35, 4679–4684.
- Özahi, E., & Demir, H. (2015). Drying performance analysis of a batch type fluidized bed drying process for corn and unshelled pistachio nut regarding to energetic and energetic efficiencies, *Measurement*, 60, 117–127.
- Tasirin, S. M., Kamarudin, S. K., Ghani, J. A., and Lee, K. F. (2007). Optimization of drying parameters of bird's eye chilli in a fluidized bed dryer. *Journal of Food Engineering*, 80, 695–700.