



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ณ โรงแรมฮาร์ตโรค พัทยา จังหวัดชลบุรี

Available online at [www.tsae.asia](http://www.tsae.asia)

การอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคพาหะลม

Paddy drying using pneumatic technique

กฤษณ์ อภิญญาวิศิษฐ์<sup>1\*</sup>, กิตติ สถาพรประสาน<sup>2</sup>

Krit Apinyavisit<sup>1\*</sup>, Kitti Sathapornprasath<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

1381 Pracharat 1 Rd., Wongsawang, Bangsue, Bangkok, 10800.

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

63 หมู่ 7 ถ.รังสิต-นครนายก อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

63 Moo 7 Rangsit-Nakhonnayok Rd., Ongkharak, Nakhonnayok 26120

\*Krit Apinyavisit: Tel: +66-2-836-3000 ext. 4138, E-mail: [krit.a@rmutp.ac.th](mailto:krit.a@rmutp.ac.th)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาสมรรถนะและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมในด้านอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ข้าวเปลือกความชื้นเริ่มต้น 25-30% db อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม โดยใช้อุณหภูมิอากาศขาเข้าเท่ากับ 90 110 130 และ 150°C ความเร็วลมของอากาศเท่ากับ 15.5 และ 16 m s<sup>-1</sup> อัตราการป้อนข้าวเปลือก 40.88 และ 46.93 kg<sub>dry solid</sub> h<sup>-1</sup> จากการทดลองพบว่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ ในกรณีการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C ความเร็วลม 15.5 m s<sup>-1</sup> อัตราการป้อนข้าวเปลือก 46.93 kg<sub>dry solid</sub> h<sup>-1</sup> สามารถลดความชื้นได้สูงสุด 7.25% db นอกจากนี้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นอีกด้วย ในการศึกษาครั้งนี้เงื่อนไขการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90°C ความเร็วลม 16 m s<sup>-1</sup> อัตราการป้อนข้าวเปลือก 46.93 kg<sub>dry solid</sub> h<sup>-1</sup> ทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเท่ากับ 3.42 kWh kg<sub>water evaporated</sub><sup>-1</sup>

คำสำคัญ: การอบแห้ง, พาหะลม, ข้าวเปลือก

Abstract

The objective of this study is to study of performance and energy efficiency of pneumatic dryer for paddy in terms of volumetric water evaporation rate, volumetric heat transfer coefficient and specific energy consumption. Paddy with initial moisture content of 25-30% db was dried with the pneumatic dryer. The inlet air temperatures and velocities were varied at 90, 110, 130 and 150°C and 15.5 and 16 m s<sup>-1</sup> respectively. The feed rate of paddy rice was varied at 40.88 and 46.93 kg<sub>dry solid</sub> h<sup>-1</sup>. It was found that the volumetric water evaporation rate and volumetric heat transfer coefficient increased with the increase in inlet air temperature. The drying condition at inlet air temperature of 150°C, velocity of 15.5 m s<sup>-1</sup> and feed rate of 46.93 kg<sub>dry solid</sub> h<sup>-1</sup> can reduce a moisture content up to 7.25% db. Moreover, the specific energy consumption also increased with the increase in inlet air temperature.

The lowest specific energy consumption ( $3.42 \text{ kWh kg}_{\text{water evaporated}}^{-1}$ ) was found at the inlet air temperature of  $90^{\circ}\text{C}$ , velocity of  $16 \text{ m s}^{-1}$  and feed rate of  $46.93 \text{ kg}_{\text{dry solid}} \text{ h}^{-1}$ .

Keywords: Drying, Pneumatic, Paddy

## 1 บทนำ

เนื่องด้วยประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก และประชากรส่วนใหญ่ในประเทศไทยประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นส่วนมาก ข้าวเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย เนื่องจากประชากรของประเทศไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก อีกทั้งข้าวยังเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้แก่ประเทศไทยในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก โดยส่งออกไปยังประเทศต่างๆ ทั่วโลก ซึ่งถือได้ว่าข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อประเทศไทย ปริมาณข้าวที่เพาะปลูกนั้นมีจำนวนมาก ซึ่งถ้ามีการจัดเก็บไม่ดีจะทำให้ข้าวเสียหายเนื่องจากความชื้นได้ การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นเกิน  $14\% \text{ db}$  อาจทำให้เมล็ดข้าวเปลือกได้รับความเสียหายจากจุลินทรีย์ ขบวนการลดความชื้นมีอยู่ 2 วิธีคือ วิธีแบบธรรมชาติ และการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบธรรมชาติใช้เวลานานพอสมควร และปัจจัยอีกอย่างหนึ่งก็คือไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อม สภาพดินฟ้าอากาศและมีการเสียดินเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย เช่น ดินที่ตื้นต้องใช้พื้นที่ลานตาก คาร์บอนกัมมันต์ ค่าแรงงาน และยังมีการเสียหายเนื่องจากการใช้รถตัก รวมถึงพวกสัตว์ต่างๆ ที่มากินเมล็ดข้าวเปลือก

ในปัจจุบันการใช้เครื่องอบแห้งสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้เนื่องจากไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงสภาพภูมิอากาศเหมือนแบบวิธีทางธรรมชาติและสามารถที่จะลดความชื้นข้าวเปลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า ด้วยการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบได้เป็น 2 แบบ คือ แบบไม่ต่อเนื่อง และแบบต่อเนื่อง ในประเทศไทยเครื่องอบแห้งแบบไหลต่อเนื่องที่ได้รับความนิยมใช้กันมากคือเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหลสวนกับกระแสอากาศ แต่เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีข้อเสียอยู่ที่ใช้เวลาในการอบแห้งเป็นเวลานานประมาณ 4-5 วัน ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในเรื่องของพลังงานเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อนและพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลมจำนวนมาก จากงานวิจัยการอบแห้งข้าวเปลือกที่ผ่านมาสามารถใช้อุณหภูมิความร้อนในช่วง  $90-170^{\circ}\text{C}$  (Sivakumar et al, 2016)

เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Pneumatic dryer) ได้ถูกนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมเป็นระยะเวลาแล้วซึ่งเครื่องอบแห้งแบบนี้เหมาะที่จะนำมาใช้กับวัสดุอนุภาค (Particulate

materials) เช่น แป้ง หรือมันสำปะหลัง เป็นต้น โดยข้อดีที่เห็นได้ชัดของเครื่องอบแห้งแบบนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ซึ่งเป็นระบบการอบแห้งแบบดั้งเดิมได้แก่ ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการไหลของอนุภาคและอากาศในระบบจะเป็นแบบขนานรวมไปถึง อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ ณ บริเวณทางเข้าเครื่องอบแห้งที่สูง แม้ว่าการใช้อัตราการไหลของลมในระบบต่ำก็ตาม นอกจากนี้กระบวนการอบแห้งยังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมถึงพื้นที่การถ่ายเทความร้อนสูงด้วยอันเนื่องจากการกระจายตัวของวัสดุในกระแสลมร้อน กระบวนการอบแห้งสำหรับ เครื่องอบแห้งแบบนี้เริ่มจากการที่วัสดุถูกป้อนเข้าสู่ระบบและถูกทำให้แห้งในขณะที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับลมร้อน จากนั้นวัสดุจะถูกแยกออกจากกระแสลมร้อนด้วยไซโคลน

กระบวนการลดความชื้นของวัสดุด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมเกิดขึ้นขณะที่วัสดุที่มีความชื้นสัมผัสกับลมร้อนในระหว่างการลำเลียงวัสดุให้เคลื่อนที่ โดยลมร้อนดังกล่าวนี้จะทำหน้าที่สองอย่างคือ เป็นตัวกลางในการอบแห้งและเป็นตัวพาวัสดุให้เคลื่อนผ่านระบบไปได้ ข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมเช่น โครงสร้างไม่ซับซ้อน ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวยากนักสามารถขนถ่ายวัสดุในระหว่างการอบแห้งโดยไม่ต้องมีอุปกรณ์อื่นช่วยพา การอบแห้งเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากวัสดุเกิดการกระจายในกระแสลมร้อนอย่างทั่วถึง มีพื้นที่สัมผัสในการถ่ายเทความร้อนมาก และเหมาะกับวัสดุที่มีความไวต่อความร้อนเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นมาก (Brode and Lavy, 2006) เทคนิคนี้จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ใน การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมากมาย Kaensup et al (2006) ได้ทำการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีพาหะลม สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกจาก  $24\% \text{ wb}$  จนถึงความชื้น  $18\% \text{ wb}$  ในเวลาเพียง 3-4 วินาที โดยไม่สูญเสียคุณภาพของข้าว

ด้วยเหตุผลที่กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบการอบแห้งแบบพาหะลม โดยศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม อัตราป้อนวัสดุ ที่มีผลต่อ สมรรถนะและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมในด้านอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมในระดับอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 วัตถุประสงค์

ข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 11.5% db จากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี เพื่อให้ได้ข้าวที่มีความชื้นใกล้เคียงกับความชื้นหลังการเก็บเกี่ยว ทำได้โดยการสเปย์น้ำประมาณ 164 g ต่อข้าวเปลือก 1 kg โดยคำนวณปริมาณน้ำได้จากสมการการหาความชื้น (สมการที่ 1) คลุกเคล้าให้เข้ากันในถัง หลังจากนั้นบรรจุใส่ถุงปิดมิดชิด แล้วนำไปแช่ในตู้เย็น 4°C เป็นเวลา 3 วัน จะได้ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 25-30% db เพื่อนำไปทดลอง

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

โดย db คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

w คือ มวลของข้าวเปลือกเปียก (kg)

d คือ มวลของข้าวเปลือกแห้ง (kg)

### 2.2 อุปกรณ์

เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Figure 1) ประกอบไปด้วยพัดลมแรงดันสูง (HASCAN, model 132S-4, China) ขนาด 1.75 kW ทำหน้าที่ป้อนอากาศเข้าสู่ระบบเพื่อสร้างความดันในการพาวัสดุไปยังปลายทาง ผ่านขดลวดความร้อนขนาด 9 kW ซึ่งต่อกับตัวควบคุมอุณหภูมิแบบ PID (Proportional Integral Derivative) หลังจากนั้นลมร้อนผ่านตัวป้อนข้าวเปลือกแบบสายพาน (Belt Feeder) ทำหน้าที่ป้อนวัสดุใส่ลงในเครื่องอบแห้งพาหะลม โดยสามารถกำหนดอัตราการป้อนได้ด้วยการควบคุมความเร็วมอเตอร์ของสายพาน หลังจากนั้นวัสดุจะไหลผ่านท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.81 cm ในระหว่างที่วัสดุไหลไปกับลมร้อนความชื้นของข้าวเปลือกลดลงเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างลมร้อนและวัสดุ หลังการอบแห้งข้าวเปลือกถูกแยกจากอากาศร้อนผ่านไซโคลน

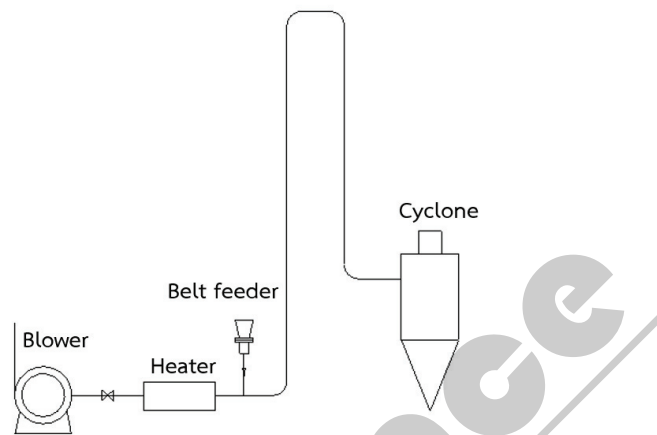


Figure 1 Schematic diagram of the pneumatic dryer

### 2.3 วิธีการทดลอง

นำข้าวเปลือกที่ผ่านการเตรียมความชื้นเริ่มต้น 25-30% db มาทดลองในเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 90 - 150°C ความเร็วของอากาศขาเข้า (Inlet air velocity: V) 15.5 m s<sup>-1</sup> และ 16 m s<sup>-1</sup> ที่อัตราการป้อนวัสดุ (Feed rate: W<sub>p</sub>) 40.88 และ 46.93 kg<sub>dry solid</sub> h<sup>-1</sup>

### 2.4 ความชื้น

หาความชื้นของข้าวเปลือกโดยนำข้าวเปลือกไปอบแห้งในตู้อบ โดยใช้อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน AOAC (1990) (Association of Official Agricultural Chemists)

### 2.5 อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร

อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร (N<sub>v</sub>) หาได้จากสมการ (2)

$$N_v = \frac{W_p(x_i - x_e)}{v_r} \quad (2)$$

โดย N<sub>v</sub> คือ อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร

W<sub>p</sub> คือ อัตราการป้อน kg<sub>dry solid</sub> h<sup>-1</sup>

x<sub>i</sub> คือ ความชื้นวัสดุเริ่มต้น kg kg<sup>-1</sup> (db)

x<sub>e</sub> คือ ความชื้นวัสดุสุดท้าย kg kg<sup>-1</sup> (db)

v<sub>r</sub> คือ ปริมาตรห้องอบแห้ง m<sup>3</sup>

### 2.6 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร (h<sub>v</sub>) หาได้จากสมการที่ (3)

$$h_v = \frac{W_p(x_i - x_e)\lambda}{v_r \Delta T_{lm}} \quad (3)$$

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

โดย  $\lambda$  คือ ความร้อนแฝงของการระเหย  $J\ kg^{-1}$

$T_{lm}$  คือ ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยลอการิทึม (logarithmic mean temperature difference) หาได้จากสมการ (4)

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_d - T_w)_e - (T_d - T_w)_i}{\ln \left[ \frac{(T_d - T_w)_e}{(T_d - T_w)_i} \right]} \quad (4)$$

เมื่อ  $T_w$  คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก และ  $T_d$  คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง โดยตัวห้อย e และ i แสดงถึงทางออกและทางเข้าของห้องอบแห้ง ตามลำดับ

### 2.7 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption : SEC) ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้งสำหรับงานวิจัยนี้ ค่า SEC แสดงให้ทราบถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำที่ออกจากวัสดุขึ้น 1 kg ซึ่งความสิ้นเปลืองพลังงานของพัดลม และขดลวดความร้อนสามารถวัดได้จากมาตรวัดไฟฟ้า (kilowatt-hour meter)

## 3 ผลและวิจารณ์

ในการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ซึ่งการหาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมหาได้จาก อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร

### 3.1 อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร

จากอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรการ (Figure 2) พบว่า อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนกับอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทมวลและความร้อนสูงขึ้น ส่งผลให้การระเหยน้ำที่ผิวของวัสดุเกิดได้มากขึ้น เจือไนท์ที่อุณหภูมิสูงสุด 150°C อัตราการป้อนข้าวเปลือก 46.93 kg/h ความเร็วของอากาศคือ 15.5 m/s สามารถลดความชื้นได้มากที่สุดถึง 7.25% db

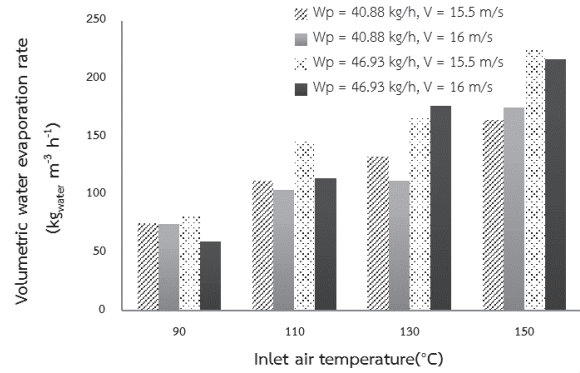


Figure 2 Volumetric water evaporation rate of drying by different drying conditions

### 3.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร

จากสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร (Figure 3) พบว่า ที่อุณหภูมิของอากาศขาเข้าที่สูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของอากาศที่สูงขึ้นทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศร้อนกับอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการถ่ายเทมวลและความร้อนมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้การระเหยน้ำเกิดได้มากขึ้น ผลของอัตราการป้อนวัสดุพบว่า เมื่ออัตราการป้อนวัสดุที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรแปรผันตรงกับปริมาณความชื้นที่ผิวของวัสดุที่ระเหยมาก

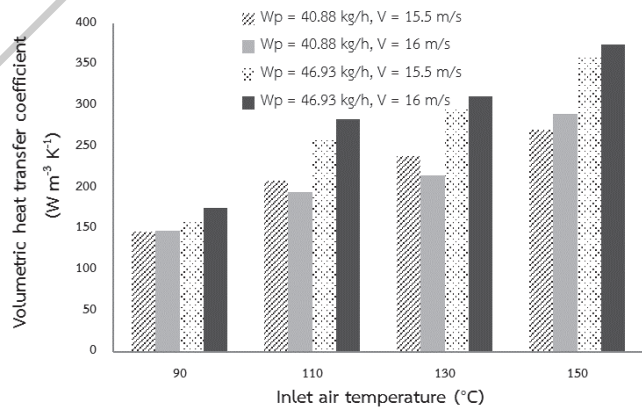


Figure 3 Volumetric heat transfer coefficient of drying by different drying conditions

### 3.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

เมื่อพิจารณาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Table 1) พบว่า การเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของอากาศที่ความเร็วของอากาศและอัตราการป้อนเดียวกัน ทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ( $SEC_{Total}$ ) มีเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้พลังงานในขดลวดความร้อนมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุดที่

3.42 kWh kg<sub>water evaporated</sub><sup>-1</sup> ที่อุณหภูมิ 90°C ความเร็ว 16 m s<sup>-1</sup>  
 อัตราป้อน 46.93 kg h<sup>-1</sup>

Table 1 Specific energy consumption (SEC) of drying by different drying conditions.

Temp. (°C)	W <sub>p</sub> (kg <sub>dry solid</sub> h <sup>-1</sup> )	V (m s <sup>-1</sup> )	SEC (kWh kg <sub>water evaporated</sub> <sup>-1</sup> )		
			Blower	Heater	Total
90	40.88	15.5	2.20	1.55	3.75
110	40.88	15.5	2.13	2.38	4.51
130	40.88	15.5	2.13	3.25	5.38
150	40.88	15.5	2.12	5.05	7.17
90	40.88	16	2.69	0.73	3.42
110	40.88	16	2.60	1.44	4.04
130	40.88	16	2.60	2.64	5.24
150	40.88	16	2.59	2.84	5.43
90	46.93	15.5	2.17	1.54	3.71
110	46.93	15.5	2.14	1.92	4.06
130	46.93	15.5	2.14	2.31	4.45
150	46.93	15.5	2.10	4.64	6.74
90	46.93	16	2.61	1.20	3.81
110	46.93	16	2.60	2.36	4.96
130	46.93	16	2.58	2.40	4.98
150	46.93	16	2.55	2.52	5.07

#### 4 สรุป

จากงานวิจัยนี้เงื่อนไขที่อุณหภูมิ 150°C อัตราการป้อนข้าวเปลือก 46.93 kg<sub>dry solid</sub> h<sup>-1</sup> และความเร็วของอากาศคือ 15.5 m/s ทำให้อัตราการระเหยของน้ำเชิงปริมาตรมากที่สุด สามารถลดความชื้นได้มากถึง 7.25% db สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรของอากาศขาเข้าที่สูงขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศขาเข้าส่งผลทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงขึ้น เงื่อนไขอุณหภูมิ 90°C ความเร็ว 16 m s<sup>-1</sup> อัตราป้อน 46.93 kg<sub>dry solid</sub> h<sup>-1</sup> มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดที่ 3.42 kWh kg<sub>water evaporated</sub><sup>-1</sup>

#### 5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒสำหรับสถานที่ในการทดลอง และนักศึกษา นายกฤษณะ พูนศรีพัฒนา นางสาวจันทิมา มัยแก้ว นายชาญฤทธิ์ จงรัตน์เรืองสุข ในการทดลอง

#### 6 เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 1990. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington: Association of official analytical chemists
- Borde I, Levy A. 2006 Pneumatic and flash drying. In: Mujumdar A.S. (Ed), Handbook of industrial drying. New York: CRC Press.
- Kaensup, W., Kulwong, S., Wongwises, S. 2006. A small-scale pneumatic conveying dryer of rough rice. *Drying Technology* 24, 105–13.
- Sivakumar, R., Saravanan, R., Perumal, A.E., Iniyar, S. 2016. Fluidized bed drying of some agro products – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 61, 280-301.