

**การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสน
ทำงานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม**

Paddy dehydration using Impinging stream dryer combined with Pneumatic dryer

ธนรัชต์ วิจิณนสาร^{1*} วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง¹ และ กิตติ สถาพรประสาธน์²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ถ.พินาสคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ถ.รังสิต-นครนายก อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 081-3763796 โทรสาร: 0-2621-5720

E-mail: t.wichinthanasarn@gmail.com

บทคัดย่อ

สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสนทำงานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบต่อเนื่องซึ่งเป็นครั้งแรกของการรวมเอาข้อดีของเครื่องอบแห้งทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความชื้นของข้าวเปลือกให้ได้มากขึ้นสำหรับการศึกษาในครั้งนี้การอบแห้งข้าวเปลือกจะอยู่ในช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่เท่านั้น โดยที่ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 28 - 30 % d.b. ส่วนห้องอบแห้งของระบบกระแสนถูกสร้างขึ้นจากท่อสแตนเลสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.09 เมตร ยาว 0.25 เมตร ระยะห่างในการชนเท่ากับ 0.20 เมตร ท่ออากาศเข้าทั้งสองด้านมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.04 เมตร ส่วนระบบพาหะลมใช้ท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.04 เมตร ความยาวของห้องอบแห้ง 6 เมตร โดยกำหนดตัวแปรที่จะศึกษาครั้งนี้ คือ อุณหภูมิลมร้อน 70 °C, 90 °C, 110 °C และอัตราการป้อนวัสดุ 22 kg/hr, 47 kg/hr, 62 kg/hr จากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิลมร้อน 110 °C และอัตราการป้อนวัสดุ 62 kg/hr นั้นสามารถลดความชื้นได้ถึง 10.78 % d.b. โดยที่คุณภาพของข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และใช้เวลาเฉลี่ยของวัสดุที่อยู่ในระบบประมาณ 4 วินาที

คำหลัก: กระแสน/พาหะลม/ข้าวเปลือก

Abstract

The research of this focus were design and fabricate an impinging stream dryer combined with pneumatic dryer. For the first time to combines the advantages of both dryer to improve the drying of paddy to get more. In this study, it was assumed that the paddy dried only in the unhindered rate period. Paddy had an initial moisture content of about 28-30 % (d.b.). The Impinging drying chamber is made of stainless steel diameter of 0.09 m with long 0.25 m. The distance between the faces of inlet pipes is 0.20 m; both inlet pipes have a diameter of 0.04 m; and Pneumatic dryer chamber is made of stainless

steel diameter of 0.04 m with long 6 m. The experimental condition was to used hot air drying between 70 °C, 90 °C, 110 °C and particle feed rate 22.03 kg/hr, 47.06 kg/hr, 62.20 kg/hr. The result showed that the temperature of hot air 110 °C and particle feed rate 62.20 kg/hr can be reduce the moisture content about 10.78% (d.b.). The paddy through drying was acceptable for the quality and the average particle residence time of approximately 4 seconds.

Keywords: Impinging stream/Pneumatic drying/Paddy

1. บทนำ

โดยปกติแล้วการเพาะปลูกข้าวมักเกิดปัญหาหลังจากการเก็บเกี่ยวคือ ข้าวเปลือกที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวนั้นมีความชื้นสูงประมาณ 20-24% d.b. ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายจากการเกิดเชื้อราได้ หรือในกรณีที่ข้าวเปลือกที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวไม่มีการลดความชื้นก็จะส่งผลให้ราคาของข้าวเปลือกลดลงได้ การอบแห้งหรือการลดความชื้นของข้าวเปลือกก่อนนำไปเก็บรักษานั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะต้องลดความชื้นของข้าวเปลือกให้อยู่ที่ประมาณ 13-15% d.b. จึงได้มีผู้พัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดต่าง ๆ ขึ้นมาหลายชนิด เช่น เครื่องอบแห้งแบบถาด เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด-ไดซ์เบด เครื่องอบแห้งแบบกระแสน เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม เครื่องอบแห้งแบบสเปียร์-เต็ดเบด เป็นต้น แต่ในเครื่องอบแห้งชนิดต่าง ๆ ย่อมมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน ในงานวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาเลือกที่จะศึกษาถึงคุณลักษณะของเครื่องอบแห้งที่สามารถลดความชื้นลงได้ในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งพบว่าเครื่องอบแห้งแบบกระแสนและเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมสามารถนำมาทำงานร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ได้จากการอบแห้งให้ได้มากยิ่งขึ้น

ในการลดความชื้นของข้าวเปลือกครั้งนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งทั้งสองชนิดซึ่งมีอัตราการป้อนวัสดุ 22 kg/hr, 47 kg/hr และ 62 kg/hr อุณหภูมิการอบแห้งใช้ลมร้อนอุณหภูมิ 70 °C, 90 °C และ 110 °C จากนั้นจึงได้ทำการทดลองหาเงื่อนไขการทดลองที่สามารถลดความชื้นที่ได้มากที่สุด

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินวิจัยครั้งนี้ คณะผู้จัดทำวิจัยได้ทำการเพิ่มความชื้นให้กับวัสดุที่ทำการวิจัย (ข้าวเปลือก) ให้มีความชื้นเพิ่มมากขึ้นและใกล้เคียงกับที่เก็บเกี่ยว

2.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ความชื้นในวัสดุ (Moisture content) เป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้ถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุแห้งหรือมวลของวัสดุแห้ง ในการบอกความชื้นของวัสดุสามารถบอกค่าได้สองรูปแบบคือความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis moisture content) และความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis - moisture content) โดยความชื้นทั้งสองรูปแบบสามารถหาได้จากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

1) ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis moisture content)

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

เมื่อ M_w = ความชื้นมาตรฐานเปียก (%w.b.)

w = มวลเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (kg)

d = มวลสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ (มวลแห้ง), (kg)

หรืออาจจะกล่าวได้ว่าการหาความชื้นมาตรฐานเปียกเป็นการหาค่าของปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เทียบกับมวลของผลิตภัณฑ์ตอนเริ่มต้นที่เป็นค่าของมวลแห้งของผลิตภัณฑ์กับน้ำ

2) ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis moisture content)

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

เมื่อ M_d = ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b.)

หรืออาจจะกล่าวได้ว่าการหาความชื้นมาตรฐานแห่งเป็นการหาค่าของปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ เทียบกับมวลของผลิตภัณฑ์ตอนสุดท้ายที่มีเพียงมวลแห้งของผลิตภัณฑ์เท่านั้น ความชื้นทั้งสองแบบคือ ความชื้นมาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้งสามารถที่จะแปลงค่าระหว่างกันได้ดังนี้

$$M_w = \frac{M_d}{1 + M_d} \quad (3)$$

2.2 ลักษณะการทำงานของเครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งแบบกระแสนทำงานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งในส่วนแรกของการอบแห้งข้าวเปลือกที่นำมาทำการอบแห้งนั้นจะผ่านเครื่องอบแห้งแบบกระแสน(รูปที่ 1)ก่อน หลังจากนั้นข้าวเปลือกที่ออกมาจากเครื่องอบแห้งแบบกระแสนก็จะไหลผ่านเข้าไปที่เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม(รูปที่ 2) ซึ่งการอบแห้งนี้จะเป็นการอบแห้งแบบต่อเนื่อง

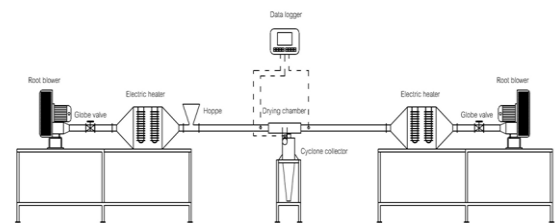
หลักการพื้นฐานของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน

คือ การให้กระแสการไหลของตัวกลาง 2 กระแส (หรือมากกว่า) มาชนกัน โดยให้กระแสใดกระแสหนึ่ง (หรือมากกว่า) พาเอาวัสดุ (โดยทั่วไปในรูปของอนุภาค) เข้าสู่ระบบด้วยผลของการชนกันของกระแสการไหลของตัวกลางการอบแห้งดังกล่าวจะทำให้เกิดบริเวณการชน (Impingement zone) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอัตราการถ่ายเทมวลสาร ความร้อน และโมเมนตัมสูงมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของแรงเฉื่อยและความปั่นป่วนของกระแสนการไหลที่มีค่าสูงในบริเวณดังกล่าวซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเครื่องอบแห้งแบบกระแสนเป็นเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง มีขนาดเล็กและสามารถบำรุงรักษาได้ง่ายเนื่องจากไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่

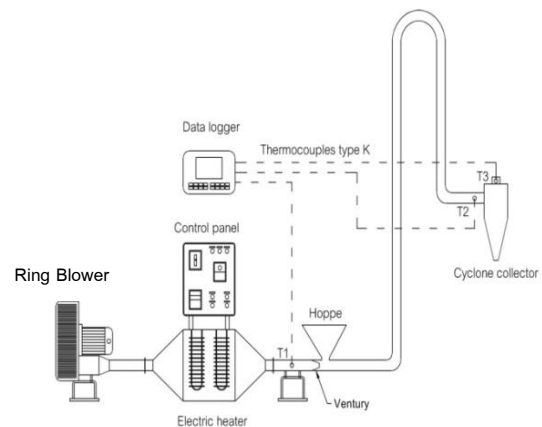
หลักการพื้นฐานของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

คือ การอบแห้งที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุจะเกิดขึ้นพร้อมๆกัน กับการถ่ายเทมวล (ความชื้น) จากวัสดุไปยังอากาศโดยรอบ ความร้อนที่ได้จากอากาศส่วนใหญ่จะถูกใช้ทำให้น้ำระเหยออกไป

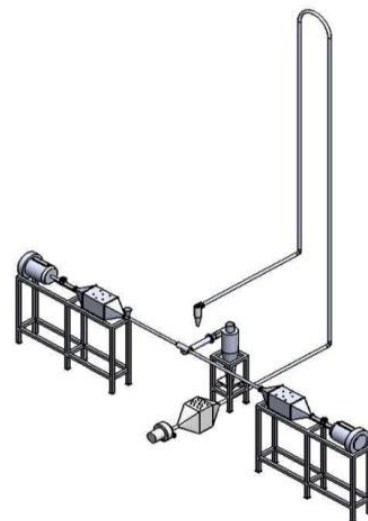
จากวัสดุ ซึ่งอัตราการระเหยของน้ำหรืออัตราการอบแห้งของวัสดุจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศที่ใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยทั่วไปแล้วอัตราการอบแห้งจะคงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งเกิดในช่วงที่มีวัสดุอนุภาคเข้าไปอยู่ในช่วงท่อแนวดิ่ง หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งจะลดลง และมีค่าเป็นศูนย์เมื่อความชื้นอยู่ในสภาวะสมดุล



รูปที่ 1 ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน



รูปที่ 2 ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม



รูปที่ 3 แบบเครื่องอบแห้งแบบกระแสนทำงานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ได้สร้างขึ้น

2.3 วิธีการออกแบบเครื่องอบแห้ง

ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งที่ได้ทำการวิจัยขึ้นนั้น ได้กำหนดขนาดของท่อไว้อย่างคงที่ ซึ่งในส่วนของการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำและเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมนี้ใช้ท่อสแตนเลสขนาด 1.5 นิ้ว ซึ่งได้ออกแบบให้ทำงานที่อุณหภูมิความร้อนได้ถึง 120 °C

กล่องทำความร้อน

คือ อุปกรณ์ที่ทำให้อากาศที่เข้าสู่ระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้น อากาศที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้งวัสดุ ซึ่งในการเลือกใช้อุณหภูมิในการอบแห้งนั้นควรอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม แต่ในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงสุดที่ 120 °C และอุณหภูมิห้อง 30 °C ความเร็วลมร้อนที่ 25 m/s ทำให้สามารถคำนวณหาขนาดของขดลวดทำความร้อนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\dot{V}_a = vA \quad (4)$$

เมื่อ $\dot{V}_a$ คืออัตราการไหลของอากาศ, m³/h

v คือความเร็วของอากาศ, m/s

A คือพื้นที่หน้าตัดของท่อ, m²

$$= 25 \times \frac{\pi}{4} \times 0.04^2$$

$$= 0.031 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 137 \text{ CMH (80 cfm)}$$

$$\dot{m}_a = \rho \times \dot{V}_a \quad (5)$$

เมื่อ $\dot{m}_a$ คืออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/h

ρ คือความหนาแน่นของอากาศ, kg/m³

และนำค่ามาแทนลงในสมการที่ 5

$$= 0.031 \times 1.1614$$

$$= 0.036 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a \times c_{p,a} \times \Delta T \quad (6)$$

$$= 0.036(\text{kg/s}) \times 1.03(\text{kJ/kg})$$

x(393-303)K

$$= 3.34 \text{ kW}$$

$$= 3.34 \times \text{safety factor } 1.5$$

$$= 5.01 \text{ kW}$$

พัดลมแรงดันสูง

คือ อุปกรณ์ที่สร้างแรงดันอากาศสูง และพาวัสดุเข้าสู่ระบบอบแห้งซึ่งในระบบอบแห้งที่ทำการวิจัยนี้ต้องการความเร็วภายในท่อที่สูงในระดับหนึ่งเท่านั้น แต่เนื่องจากการไหลของอากาศภายในท่อนั้นก็ยังคงเกิดความสูญเสียเนื่องมาจากแรงเสียดทานของอากาศภายในท่อ ในการออกแบบระบบอบแห้งจึงต้องคำนึงถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นเพื่อหาขนาดพัดลมแรงดันสูงที่จะเลือกใช้กันว่าเหมาะสมเพียงใดซึ่งในการเลือกนั้นไม่ควรเลือกใช้พัดลมที่มีขนาดใหญ่เพียงอย่างเดียว เพราะถ้ามีการเลือกใช้พัดลมแรงดันสูงใหญ่เกินไปความจำเป็นก็จะเกิดความสิ้นเปลืองทางพลังงานสูงรวมทั้งความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วย ทั้งนี้สามารถแบ่งการสูญเสียเนื่องมาจากการไหลของอากาศภายในท่อได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การสูญเสียหลัก (Major Losses) และการสูญเสียรอง (Minor Losses)

1) การสูญเสียหลัก(Major Losses) จะเป็นการสูญเสียเนื่องมาจากความหนืด และแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังท่อ สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

1.1) จากเครื่องอบแห้งที่ทำการออกแบบใช้ท่อสแตนเลสขนาด 1.5 นิ้ว สามารถหาค่าความสูญเสียได้จากสมการที่ 7

$$\Delta P = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (8)$$

$$= \frac{1.1614 \times 30 \times 0.04}{1.846 \times 10^{-5}}$$

$$= 75,497 \text{ (Turbulence flow)}$$

แฟกเตอร์ความหยาบของท่อสแตนเลส (Roughness factor of stainless steel pipe)

$$\epsilon = 0.045 \text{ m}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.045}{40}$$

$$= 0.001125$$

จากตารางแฟกเตอร์ความเสียดทาน

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.001125$$

$$Re = 75,497$$

จากตารางแฟกเตอร์ความเสียดทาน

$$f = 0.021$$

เมื่อได้ค่าดังกล่าวจึงนำไปแทนค่าลงในสมการ 7

$$\Delta P = 0.021 \times \frac{5}{0.04} \times \frac{30^2}{2 \times 9.81}$$

$$= 120.41 \text{ Pa}$$

2) การสูญเสียรอง (Minor Losses) เกิดจากการเปลี่ยนแปลง ขนาดและความเร็วของการไหล เช่น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัดของการไหล การไหลผ่านข้อต่อ ข้องอ ประตูน้ำ เป็นต้น ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$\Delta P = K \times \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

เมื่อ K = แฟกเตอร์ความเสียดทาน
แทนค่าลงในสมการที่ 9

$$\Delta P = 0.3 \times \frac{30^2}{2 \times 9.81} \times 1$$

$$= 13.76 \text{ Pa}$$

3. การทดลองในเบื้องต้น

3.1 การหาอัตราการป้อนวัสดุที่เหมาะสม

การหาอัตราการป้อนวัสดุที่เหมาะสมจากลักษณะทางกายภาพของวัสดุนั้นมีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องของขนาดน้ำหนักและผิวของวัสดุจึงต้องทำการทดลองหาอัตราการป้อนที่เหมาะสมกับเครื่องป้อนเพื่อนำไปใช้คำนวณหาอัตราส่วนภาระ (Loading ratio) หรืออัตราส่วนการป้อนวัสดุต่ออัตราส่วนการไหลของอากาศเพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งต่อไปโดยอัตราส่วนภาระหาได้จากสมการ

$$\mu = \frac{\dot{m}_p}{\dot{m}_a} \quad (10)$$

เมื่อ μ คือ อัตราส่วนภาระ

$\dot{m}_p$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของวัสดุ, kg/hr

ขั้นตอนการหาอัตราการป้อนที่เหมาะสม เริ่มต้นด้วยเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ และ กำหนดอัตราการป้อนโดยปรับค่าแรงดันไฟฟ้าเป็นโวลต์พบว่าที่ค่าแรงดันไฟฟ้า 2, 3,

และ 4 โวลต์ จะได้อัตราการป้อนวัสดุเท่ากับ 22.03, 47.06 และ 66.20 kg/hr ซึ่งเครื่องป้อนป้อนวัสดุสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องไม่เกิดการติดขัด ดังนั้นจึงเลือกใช้ที่อัตราการป้อนดังกล่าวในการวิจัยครั้งนี้

3.2 คาบการอบแห้ง

การทดลองหาค่าเวลาเฉลี่ยที่อยู่ในระบบ (Mean residence time) ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นวัสดุทดลองค่าเวลาเฉลี่ยดังกล่าวสามารถหาได้จากการวัดปริมาณของวัสดุที่อยู่ในระบบ (Hold-up) และค่าอัตราการไหลเชิงมวลของวัสดุที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งโดยค่าเวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในระบบหาได้จากสมการ 11

$$\tau = \frac{m_p}{\dot{m}_p} \quad (11)$$

เมื่อ τ คือ ค่าเวลาเฉลี่ยที่อยู่ในระบบ, s

m_p คือ ปริมาณของวัสดุที่คงอยู่ในระบบ, kg

$\dot{m}_p$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของวัสดุ, kg/s

ขั้นตอนการหาค่าเวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในระบบ สำหรับการทดลองครั้งนี้เริ่มต้นด้วยการกำหนดตัวแปรที่อาจมีผลต่อค่าเวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในระบบดังนี้

1. ความเร็วอากาศขาเข้าที่เครื่องอบแห้งแบบกระแสน เท้ากับ 25 m/s
2. อัตราการป้อนวัสดุที่เครื่องอบแห้งแบบกระแสน 22.03, 47.06 และ 62.20 kg/hr

ทำการกำหนดตัวแปรต่างๆที่คาดว่าจะมีผลต่อค่าเวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในระบบปรับตั้งค่าความเร็วลมให้ได้ตามที่ต้องการในเครื่องอบแห้งทั้งสองแบบ จากนั้นทำการป้อนข้าวเปลือกตามอัตราการไหลที่กำหนดเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบกระแสนอย่างต่อเนื่องและรอจนกว่าระบบอยู่ในสภาวะคงตัวจากนั้นจะหยุดการป้อนข้าวเปลือกที่เข้าสู่ระบบอบแห้งและปิดเครื่องเป่าลมแรงดันสูงพร้อมกันทั้งสองแบบซึ่งในขณะนั้นจะมีข้าวเปลือกซึ่งเป็นวัสดุทดสอบติดค้างอยู่ในระบบอยู่จำนวนหนึ่งต้องนำข้าวเปลือกดังกล่าวมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณของวัสดุที่คงอยู่ในระบบทำได้โดยเปิดเครื่องเป่าลมแรงดันสูงเพื่อเป็นการนำเอาข้าวเปลือกออกมาจากระบบและใช้ภาชนะมารอรับอยู่

ที่ทางออกของระบบอบแห้งนำค่าปริมาณของข้าวเปลือกดังกล่าวมาคำนวณหาเวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในระบบซึ่งการหาปริมาณวัสดุที่คงอยู่ในระบบดังกล่าวมีความแม่นยำค่อนข้างน้อยและในทางปฏิบัติจริงทำได้ยากเนื่องจากต้องหยุดการป้อนวัสดุและหยุดเครื่องเป่าลมแรงดันสูงพร้อมในการทดลองในแต่ละสภาวะจึงควรทำการทดลองไม่น้อยกว่า 10 ครั้ง

3.3 วิธีการอบแห้ง

1) เริ่มเตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้ง โดยเปิดเครื่องทำความร้อน และพัดลมแรงดันสูงรอจนกระทั่งได้อุณหภูมิและความเร็วลมตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

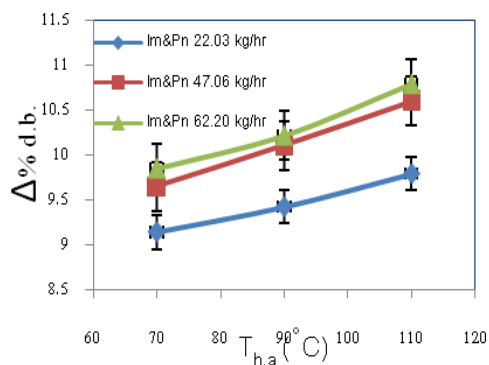
2) นำวัสดุที่ได้เตรียมความชื้นเริ่มต้นตามที่ต้องการลงในเครื่องป้อนวัสดุ จากนั้นจึงเปิดเครื่องป้อนวัสดุทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนด

3) ทำการเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกที่ได้ทำการทดลองในช่วงที่ระบบอบแห้งอยู่ในสภาวะสมดุล โดยตัวอย่างข้าวเปลือกที่เก็บจะนำไปตรวจสอบหาความชื้นสุดท้ายและคุณภาพหลังการอบแห้ง

4) นำตัวอย่างข้าวเปลือกที่จะนำมาตรวจสอบมาความชื้นสุดท้ายมาชั่งน้ำหนัก ต่อจากนั้นจึงเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

5) หลังจากที่ได้อบตัวอย่างข้าวเปลือกตามที่กำหนดดังกล่าวแล้ว จึงนำข้าวเปลือกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งและนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความชื้นสุดท้ายตามสมการที่ 2

4. ผลการทดลอง



รูปที่ 4 ผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนและอัตราการป้อนวัสดุต่อปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลง

4.1 อัตราการลดความชื้น

จากรูปที่ 4 แสดงถึงการลดความชื้นจากเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำทำงานร่วมกับการอบแห้งแบบพาหะลม ซึ่งเกิดผลกระทบจากอัตราการป้อนและอุณหภูมิลมร้อนที่ส่งผลต่อความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำทำงานร่วมกับการอบแห้งแบบพาหะลมที่ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 28–30 % d.b. โดยมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนข้าวเปลือก 3 ระดับ คือที่ 22.03 kg/hr, 47.06 kg/hr และ 62.20 kg/hr และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 70 °C, 90 °C และ 110 °C ตามลำดับ จะเห็นว่าอัตราการลดความชื้นที่ดีที่สุดในการทดลองนี้ คือ 10.781 % d.b. ที่อัตราการป้อน 62.20 kg/hr อุณหภูมิอากาศร้อน 110 °C และ อัตราการลดความชื้นที่น้อยที่สุดคือ 9.136 % d.b. ที่อัตราการป้อนวัสดุ 22.03 kg/hr อุณหภูมิอากาศร้อน 70 °C จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าแนวโน้มของการทดลองครั้งนี้ คือ เมื่ออุณหภูมิลมร้อนและอัตราการป้อนวัสดุที่สูงจะทำให้อัตราการลดความชื้นมากขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิอากาศร้อนต่ำและอัตราการป้อนวัสดุที่ต่ำก็จะทำให้อัตราการลดความชื้นน้อยลงไปด้วย และเมื่อพิจารณาดูที่อัตราการป้อนวัสดุทั้ง 3 อัตราแล้วจะพบว่า ที่อัตราการป้อนวัสดุ 22.03 kg/hr กับ 47.06 kg/hr มีช่วงของอัตราการลดความชื้นแตกต่างกันมาก แต่ช่วงอัตราการป้อนที่ 47.06 kg/hr กับ 62.20 kg/hr มีช่วงของอัตราการลดความชื้นที่ใกล้เคียงกัน จากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวมีความสามารถในการลดความชื้นอยู่ในช่วงอัตราการป้อนที่ 47.06 kg/hr กับ 62.20 kg/hr

จากงานวิจัยของ รัชฎาพร (2553) เกี่ยวกับเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำที่การทดลองในช่วงอุณหภูมิ 70 – 110 °C พบว่าเมื่ออุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นมากเท่าใดก็จะการถ่ายเทความร้อนของข้าวเปลือกมากยิ่งขึ้นซึ่งมีผลทำให้ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกเหลือน้อยลงไป

จากงานวิจัยของ Kaensup et. al., (2006) เกี่ยวกับเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมนั้น พบว่าความชื้นสุดท้ายของการทดลองที่ความเร็วลมร้อน 20 – 30 m/s จะมีค่าคงที่ในช่วงอุณหภูมิของลมร้อน 35–50 °C หลังจากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของลมร้อนให้สูงขึ้น ผลของความเร็วของลมร้อนที่ทำให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายเปลี่ยนแปลงคือ ที่ความเร็วของอากาศร้อนต่ำมีส่วนทำให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายมีค่าต่ำกว่าการทดลองที่ความเร็วลมร้อนสูง เนื่องจากที่ความเร็วลมร้อนต่ำ การเคลื่อนตัวของข้าวเปลือกที่อยู่ในท่ออากาศร้อนเคลื่อนตัวไปได้ช้า ทำให้ระยะเวลาของข้าวเปลือกที่อยู่ในท่อของอากาศร้อนยาวนานกว่าการทดลองที่ใช้ความเร็วของลมร้อนสูง ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างข้าวเปลือกกับลมร้อนและการระเหยตัวของน้ำจากข้าวเปลือกระเหยตัวได้ดีกว่า

เมื่อนำผลการทดลองเปรียบเทียบกับผลการทดลองอื่นที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบเดียวกันทั้งสองแบบพบว่าผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่มีความแตกต่างกันตรงที่อุณหภูมิที่ใช้อบแห้งที่ใช้ในเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมจะใช้อุณหภูมิอบแห้งตั้งแต่ 35–70 °C แต่ในการทดลองครั้งนี้จะใช้อุณหภูมิอบแห้งตั้งแต่ 70–110 °C ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มที่ดีกว่าเพราะได้ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงกว่า

4.2 คุณภาพของข้าวเปลือกหลังกระบวนการอบแห้ง

คุณภาพของข้าวเปลือกหลังอบแห้งสามารถตรวจสอบได้จากเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด (head rice-yield) และความขาวของเมล็ดข้าวซึ่งจะเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวเปลือกหลังผ่านการอบแห้ง ทั้งยังมีผลกระทบจากอุณหภูมิลมร้อน และอัตราการป้อนข้าวเปลือก เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและความขาวของเมล็ดข้าวจะทำให้เราทราบว่าตัวแปรต่างๆข้างต้น นั้น มีแนวโน้มส่งผลต่อความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวอย่างไร

ตารางที่ 1 ได้แสดงถึงผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อน และอัตราการป้อนวัสดุที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและความขาวของเมล็ดข้าวเปลือก

หลังจากการอบแห้ง โดยแสดงไว้ที่ 3 ค่าอัตราการป้อนวัสดุ และ 3 ค่าอุณหภูมิลมร้อน ตามลำดับจากความเร็วลมที่เครื่องอบแห้งแบบกระแสนที่ 25 m/s และที่เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ 16 m/s จากการทดลองจะเห็นได้ว่า แนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด ค่าความขาวของข้าวเปลือกหลังจากการนำไปสี จะมีค่าลดลงตามอัตราส่วนของอุณหภูมิ และ ค่าอัตราการป้อนข้าวเปลือก ซึ่งเมื่อได้นำไปเปรียบเทียบกับค่าข้าวเต็มเมล็ดที่ก่อนนำไปอบและค่าความขาวพบว่ามีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งในที่อุณหภูมิลมร้อน 70 °C มีค่าข้าวเต็มเมล็ดมากกว่าค่าข้าวเต็มเมล็ดก่อนทำการทดลองก็เนื่องมาจากการนำข้าวเปลือกไปสร้างความชื้นเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง โดยในการแช่น้ำในส่วนนี้ ทำให้แป้งที่อยู่ข้าวเปลือกละลายรวมตัวมากกว่าเดิมยิ่งขึ้น

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและความขาวของเมล็ดข้าวเปลือกหลังจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสนทำงานร่วมกับการอบแห้งแบบพาหะลม

$v_{lm} = 25 \text{ m/s}$		$v_{pn} = 16 \text{ m/s}$	
$\dot{m}_p$ (kg/hr)	$T_{h,air}$ (°C)	ข้าวเต็มเมล็ด %	ความขาว
ก่อนทำการทดลอง	-	33.2	37.9
	70	34.8	36
	90	32.8	36
22.03	110	28	35.8
	70	40	37.7
	90	28.8	36
47.06	110	28.2	35.9
	70	43.2	36.4
	90	29.6	35.4
62.2	110	28.2	35.7

หมายเหตุ : คุณภาพความขาว

มากกว่า 50	ดีมาก	40-50	ดี
30-39	พอใช้	น้อยกว่า 30	ต่ำ

5. สรุป

การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสนทำงานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมในครั้งนี้ได้ทำการทดลอง โดยกำหนดให้เครื่องอบแห้งแบบกระแสนใช้ความเร็วของลมร้อน 25 m/s และเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมใช้ความเร็วอากาศร้อน 16 m/s ซึ่งได้ใช้อัตราการป้อนวัสดุเข้าสู่ระบบที่ 3 อัตราการป้อน คือ 22.03 kg/hr, 47.06 kg/hr และ 62.2 kg/hr และที่อุณหภูมิลมร้อน 70 °C, 90 °C และ 110 °C ตามลำดับโดยจากการทดลองสรุปได้ดังนี้

1) ผลกระทบต่ออุณหภูมิและอัตราการป้อนส่งผลให้เมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้มีการลดความชื้นได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งจากการทดลองตำแหน่งที่สามารถลดความชื้นได้มากที่สุด คือ ที่อัตราการป้อนวัสดุ 62.20 kg/hr และ มีอุณหภูมิลมร้อนอยู่ที่ 110 °C สามารถลดความชื้นได้ถึง 10.781 % d.b.

2) หลังจากการนำข้าวเปลือกมาทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสนทำงานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมนั้น เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดและค่าความขาวของจะมีค่าลดลงตามอุณหภูมิของลมร้อนที่มากขึ้น แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์เต็มเมล็ดและค่าความขาวเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตรมหา-วิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และคณะวิศวกรรมศาสตรมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ได้ให้การสนับสนุนในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 บทความจากวารสาร(Journal)

- [1] Kaensup, W., Kulwong, S., and Wongwises, S. , (2006), "Comparison of Drying Kinetics of Paddy using a Pneumatic Conveying Dryer with and without a Cyclone", *Drying Technology*, Vol. 24, No. 8, pp. 1039-1045.
- [2] Kitron, Y. & Tamir, A. (1988). Performance of a coaxial gas-solid two-impinging-stream (TIS)

reactor hydrodynamics, residence time distribution, and drying heat transfer: In *Industrial & Engineering Chemistry Research*.V.27. pp. 1760-1767.

[3] Kitron, Y., Tamir, A., (1990), "Characteristics and scale-up of coaxial impinging streams gas-solid contractors", *Drying Technology*, 8: pp. 781-810.

[4] Sathapornprasath, K., Devahastin, S., Soponronnarit, S. , (2007), "Performance evaluation of an impinging stream dryer for particulate materials", *Drying Technology*, 25, pp. 1121-1128.

7.2 รายงาน

- [1] รัชฎาพร ปัตตาจารี. 2553. การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบกระแสนสำหรับวัสดุทางการเกษตร. กรุงเทพมหานคร : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [2]. วิวัฒน์มัยกุล. 2529. อายุการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตทางเกษตรศาสตรสาขาวิชาพืชไร่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] Tamir, A. , (1994), *Impinging-stream reactors*, Elsevier, Amsterdam.

7.3 หนังสือ

- [1] ฉัตรชัย นิยมล. 2548. ระบบกำจัดฝุ่นและระบายอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).

7.4 เว็บไซต์

- [1] Harrington J.F and J.E. Douglas. (1970). *Seed Storage and Packaging*:pp 221.
<http://oho.ipst.ac.th/bookroom/agri/seed>