

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำสำหรับวัสดุทางการเกษตร Performance study of an impinging stream dryer for agricultural product

ธัญญาพร ปัตตาศารี¹ และ กิตติ สถาพรประสาธน์²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

* ติดต่อ: โทรศัพท์: (662) 6641000 ต่อ 2055

E-mail: Kittis@swu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้คือการหาผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและอัตราส่วนภาระ (อัตราการป้อนวัสดุต่ออัตราการไหลของอากาศร้อน) ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ในรูปแบบของอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร และ การใช้พลังงานจำเพาะของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ในการศึกษาจะเลือกทดลองการลดความชื้นของข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 20 - 30 % d.b. ซึ่งการอบแห้งจะอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่เท่านั้น ห้องอบแห้งถูกสร้างขึ้นจากท่อสแตนเลสที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.09 เมตร (ขนาด 3.5 นิ้ว) ยาว 0.25 เมตร ระยะห่างในการชนเท่ากับ 0.20 เมตร ท่ออากาศขาเข้าทั้งสองด้านมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.04 เมตร สำหรับเงื่อนไขการทดลองจะใช้อุณหภูมิของอากาศร้อนระหว่าง 70 – 110 °C และอัตราส่วนภาระระหว่าง 0.1 – 0.7 และจากคุณลักษณะพิเศษของการไหลแบบเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัสดุที่อยู่ในห้องอบแห้ง ทำให้สามารถลดความชื้นของวัสดุลงได้สูงสุดประมาณ 5 % d.b. ในขณะที่เวลาเฉลี่ยของวัสดุที่อยู่ในระบบประมาณ 1 วินาที

คำสำคัญ: กระแสน้ำ / ข้าวเปลือก / สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร / อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร

Abstract

The objective of this study was thus to investigate the effects of drying temperature (hot air) and loading ratio (mass flow rate of particle per mass flow rate of hot air) on the overall performance of an impinging stream dryer in term of volumetric heat transfer coefficient, volumetric water evaporation rates and specific energy consumption of each experimental. In this study, it was used the paddy dried only the unhindered rate period at initial moisture content of 20-30 %d.b. The drying chamber is made of stainless steel diameter of 0.09 m (3.5 inch) 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; The experimental condition was to used hot air drying between 70-110°C and loading ratio between 0.1-0.7. The characteristics of oscillatory motions of

particles was found that the maximum moisture content reduction to be around 5 %d.b. and average particle residence time of approximately 1 second.

Keywords: Impinging stream / Paddy / volumetric heat transfer coefficient / volumetric water evaporation rate

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการประกอบอาชีพทางเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรเป็นหลักและมีพืชผลทางการเกษตรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจหลายชนิด โดยผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลายชนิดจะมีความชื้นบริเวณผิวมาก ทางหนึ่งที่จะรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็คือการลดความชื้นหรือการอบแห้งวัสดุก่อนที่จะนำไปเก็บรักษาต่อไป อย่างไรก็ตามการที่จะลดความชื้นของวัสดุนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น เครื่องอบแห้งแบบโรตารี (Rotary dryer) เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) หรือเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบด (Fluidized bed dryer) เป็นต้น ซึ่งเครื่องอบแห้งดังกล่าวจะใช้พลังงานมากและเวลานาน ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาวิธีการอบแห้งขึ้นมาใหม่โดยอาศัยหลักการของระบบกระแสน้ำ (Impinging stream system) เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานและเวลาในการอบแห้ง โดยการใช้เครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำ (Impinging stream dryer)

หลักการพื้นฐานของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำ คือ การให้กระแสน้ำไหลของตัวกลางการอบแห้ง 2 กระแส (หรือมากกว่า) มาชนกัน โดยให้กระแสใดกระแสหนึ่ง (หรือมากกว่า) พาเอาวัสดุ (โดยทั่วไปอยู่ในรูปของอนุภาค) เข้ามาสู่ระบบด้วยผลของการชนกันของกระแสน้ำไหลของตัวกลางการอบแห้งดังกล่าว จะทำให้เกิดบริเวณซึ่งเรียกว่าบริเวณการชน (Impingement zone) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอัตราการถ่ายเทมวลสาร ความร้อน และโมเมนตัมสูงมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของแรงเฉือนและความปั่นป่วนของกระแสน้ำไหลที่มีค่าสูงในบริเวณดังกล่าว นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของอนุภาคในเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำยังมีความพิเศษ นั่นคือการเคลื่อนที่

ของอนุภาคจะเป็นแบบสวนทางกลับไปมา (oscillatory motion) ภายในบริเวณการชน ทั้งนี้เริ่มมาจากการที่อนุภาคถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้นโดยกระแสของไหลของตัวกลางการอบแห้งกระแสหนึ่ง (คือกระแสที่พาอนุภาคเข้าสู่ระบบ) และวิ่งสวนเข้าไปในกระแสการไหลตรงกันข้าม อันเนื่องมาจากผลของความเฉื่อยของอนุภาคนั้น และในที่สุดอนุภาคก็จะหยุดการเคลื่อนที่เนื่องจากถูกต้านด้วยกระแสการไหลตรงกันข้าม จากนั้นอนุภาคจะถูกเร่งอีกครั้งด้วยกระแสการไหลตรงกันข้าม เคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณการชนอีกครั้ง เป็นลักษณะแบบสวนทางกลับไปมา จนกระทั่งเมื่อความเร็วของอนุภาคลดลงจนถึงค่าหนึ่ง อนุภาคก็ถูกกระแสของไหลของตัวกลางการอบแห้งพาออกไปจากระบบ การเคลื่อนที่ลักษณะนี้ ทำให้อนุภาคอยู่ในระบบได้นานขึ้น จึงมีเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนและมวลสารกับตัวกลางการอบแห้งมากขึ้น ด้วยสมบัติของระบบดังกล่าวทั้งสองข้อ (คือมีบริเวณการชนที่ให้อัตราการถ่ายเทมวลสาร ความร้อน และโมเมนตัมสูง และลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบพิเศษ) ทำให้เครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำมีขนาดเล็กกว่าเครื่องอบแห้งแบบอื่นๆ สำหรับภาระการอบแห้งที่เท่ากัน จึงนับว่าเป็นระบบที่ประหยัดพลังงาน และมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าระบบอบแห้งอื่นๆ มาก

Kitron and Tamir (1988) ศึกษาพลศาสตร์การเคลื่อนที่ของวัสดุ การอบแห้ง เวลาที่วัสดุอยู่ในระบบ และการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอบแห้งกระแสน้ำแบบแกนเดียวกันพบว่า ปริมาณการถ่ายเทมวลและความร้อนไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาตรของห้องอบแห้ง แต่ขึ้นอยู่กับบริเวณระหว่างท่อทางเข้าห้องอบแห้งทั้งสองด้าน ส่วนเวลาเฉลี่ยของวัสดุที่อยู่ในระบบ พบว่ามีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของภาระ

(ระหว่างอัตราการป้อนวัสดุและอัตราการไหลของอากาศ) คือ เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ค่าเวลาเฉลี่ยที่อยู่ในระบบก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วยทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก พลังงานจลน์ของวัสดุมีค่ามากขึ้นย่อมส่งผลให้วัสดุมีความสามารถในการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาได้นานขึ้น ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการป้อนวัสดุ Kitron and Tamir (1990) ศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องอบแห้งกระแสดรแบบแกนเดี่ยวซึ่งวัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ Millet seed ซึ่งมีความหนาแน่น $1,153 \text{ kg/m}^3$ และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย $1.9 \times 10^{-3} \text{ m}$. โดยการทดลองอบแห้งด้วยอัตราการอบแห้งที่คงที่พบว่าเวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในระบบเพิ่มขึ้นตามการลดลงของอัตราส่วนภาระ (Loading ratio) ค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรจะเพิ่มขึ้นเมื่อมวลของวัสดุที่อยู่ในระบบ (Hold-up of the particle) และอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow rate) มีค่าเพิ่มมากขึ้น Tamir (1989) ศึกษาการอบแห้งวัสดุอนุภาคในเครื่องอบแห้งแบบกระแสดรโดยใช้วัสดุทดสอบคือ Millet seed ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 25-30% มาตรฐานแห้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยกับ 1.5 และ 1.9 mm และมีความหนาแน่นกับ $1,153 \text{ kg/m}^3$ ส่วนอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งคงที่โดยที่อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่เท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเข้าห้องอบแห้ง ส่วนการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งนั้น จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นจากการที่มวลของวัสดุที่อยู่ในระบบ (Hold up of particles) มากขึ้น ย่อมแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งที่มากกว่าด้วย Kudra and Mujumdar (1989) ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการทดสอบเครื่องอบแห้งและเปรียบเทียบลักษณะในการอบแห้งวัสดุอนุภาคของเครื่องอบแห้งกระแสดรกับเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ เช่น ฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized bed dryer), เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) เครื่องอบแห้งฟลูอิดไรซ์เบดแบบสั่น (Vibrofluidized bed dryer) และ

เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Pneumatic dryer) โดยในการจำแนกประเภทของเครื่องแบบกระแสดรนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางการไหลของของไหล จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรของเครื่องอบแห้งกระแสดรสูงกว่าเครื่องอบแห้งชนิดอื่นโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วง $260-112,500 \text{ W/m}^3\text{K}$ ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าประมาณ $1,000-6,000 \text{ W/m}^3\text{K}$ (Master,1979) และสำหรับสเปาต์เตคเบดและเครื่องอบแห้งแบบไซโคลนมีค่าประมาณ $5,800 \text{ W/m}^3\text{K}$ (Tamir,1987) เครื่องอบแห้งกระแสดรสามารถนำมาประยุกต์ใช้ทางอุตสาหกรรม เช่นการอบแห้งของเหลวข้น โดยสามารถป้อนวัสดุได้ถึง $1,250-1,900 \text{ kg/h}$ ของแข็งแห้งที่อัตราการระเหย $3,500-5,000 \text{ kg H}_2\text{O/h}$ โดยใช้กำลังรวมชาติเท่ากับ $550 \text{ m}^3/\text{h}$ และปริมาตรอากาศอยู่ที่ $1,6000 \text{ m}^3/\text{h}$ Hu and Liu (1999) ทำการทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะการไหลและการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบกระแสดรแนวตั้ง จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราการระเหยน้ำออกจากผิวของวัสดุ ในขณะที่อัตราการส่วนของภาระ (Loading ratio) จะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศ (อัตราการป้อนวัสดุคงที่) ซึ่งจะทำให้เวลาเฉลี่ยของวัสดุที่อยู่ในระบบมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากวัสดุมีแรงเฉื่อยมากขึ้นทำให้วัสดุสามารถเคลื่อนที่สวนเข้าไปยังกระแสดรตรงกันข้ามได้มากขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งคือ การที่อัตราส่วนภาระลดลงจากการลดลงของอัตราการป้อนวัสดุ (อัตราการไหลของอากาศคงที่) จะทำให้มวลของวัสดุที่อยู่ในระบบน้อยลง วัสดุมีการชนกันเองน้อยลง การสูญเสียพลังงานจลน์ของวัสดุก็มีน้อยลงตามไปด้วยเช่นกัน ทำให้วัสดุสามารถเคลื่อนที่กลับไปกลับมาได้นานขึ้น เวลาเฉลี่ยที่อนุภาคอยู่ในระบบก็จะมากขึ้นด้วย กิตติ และคณะ (2007) หาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกระแสดรสำหรับวัสดุอนุภาคโดยการสร้างเครื่องอบแห้งกระแสดรแล้วทดลองโดยดูผลของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกระแสดร ได้แก่ อุณหภูมิและ

ความเร็วของอากาศที่ทางเข้า อัตราการป้อนอนุภาคที่
 อบแห้งและช่องว่างระหว่างทางเข้าทั้งสองที่อยู่ตรง
 ข้ามกัน ซึ่งสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกระแสขนหา
 ได้จากอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรและสัมประสิทธิ์
 การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร ซึ่งได้ใช้เรซินเป็นตัว
 ทดสอบการอบแห้งโดยไม่มีภารกิจขวางซึ่งส่วนใหญ่
 ความชื้นจะแพร่ออกมาที่ผิวหน้า เรซินที่ใช้มีความชื้น
 เริ่มต้น 81-85 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง การระเหยน้ำ
 เชิงปริมาตรสูงสุดมีค่าประมาณ $110 \text{ kg}_{\text{water}}/\text{m}^3 \text{ h}$
 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรมีค่า $880 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 อนุภาคมีค่าเฉลี่ยเวลาที่อยู่ในระบบประมาณ
 2 วินาที ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองกับการประมาณค่า
 มีค่าความผิดพลาดประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุและการเตรียมการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ ข้าวสารพันธุ์ กข
 35 มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 22 % (d.b.) ทำการหา
 ความชื้นเริ่มต้นโดยใช้ตู้อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ
 105°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน
 Association of Official Agricultural Chemists
 (AOAC)

เครื่องอบแห้งแบบกระแสขนประกอบด้วย ห้อง
 อบแห้งจากเหล็กกล้าไร้สนิม (SUS 304) โดยมีขนาด
 เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.089 เมตร (ท่อขนาด 3.5
 นิ้ว) ยาว 0.25 เมตร และปริมาตรห้องอบแห้งเท่ากับ
 $0.0015 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$ หุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว
 โดยท่อทางเข้าทั้งสองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ
 0.04 เมตร กำหนดให้อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ
 $0.0314 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที}$ ความเร็วอากาศขาเข้า
 สามารถปรับได้โดยใช้โกลบวาล์วและตรวจวัดโดยใช้
 เครื่องมือวัด กำหนดความเร็วที่ 25 เมตรต่อวินาที
 อัตราการป้อนวัสดุของเครื่องป้อนวัตถุติดบสามารถ
 ควบคุมได้โดยการใส่แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์
 ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้เป็นตัวขับเพลลาของสายพาน
 ลำเลียง โดยการกำหนดแรงดันไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 4, 10
 และ 14 โวลต์ เพื่อใช้ในการควบคุมอัตราการป้อนวัสดุ

(การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนภาระในที่นี้จะกำหนดให้
 อัตราการไหลของอากาศร้อนมีค่าคงที่และเปลี่ยนแปลง
 เฉพาะอัตราการป้อนวัสดุเท่านั้น ซึ่งค่าอัตราส่วนภาระ
 ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากทดลองในเบื้องต้นและไม่มี
 ผลต่อการป้อนวัสดุเข้าระบบ) ส่วนในการปรับเพิ่ม
 อุณหภูมิอากาศขาเข้าใช้เครื่องทำความร้อน และ
 ควบคุมการทำงานโดย Controller อุณหภูมิของ
 ตัวกลางในการอบแห้งที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 70,
 90 และ 110°C และการเก็บตัวอย่างของข้าวเปลือกที่
 ได้จากการทดลอง จะทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า
 ของข้าวเปลือกที่ออกจากเครื่องตักฝุ่น ในแต่ละเงื่อนไข
 การทดลองอย่างละ 9 ตัวอย่าง หลังจากนั้นนำตัวอย่าง
 ที่ได้จากการทดลองทั้งหมดไปเข้าตู้อบความร้อนเพื่อ
 ไล่ความชื้นออกจากเมล็ดข้าวเป็นเวลา 72 ชั่วโมงที่
 อุณหภูมิ 105°C และนำน้ำหนักที่ได้ทั้งหมดเข้าตู้อบ
 และหลังออกจากตู้อบตามกำหนดในช่วงต้นมาเทียบ
 เพื่อใช้ในการหาความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกในแต่ละ
 เงื่อนไขการทดลอง

ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$Mw = (w - d) / w \quad (1)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$Md = (w - d) / d \quad (2)$$

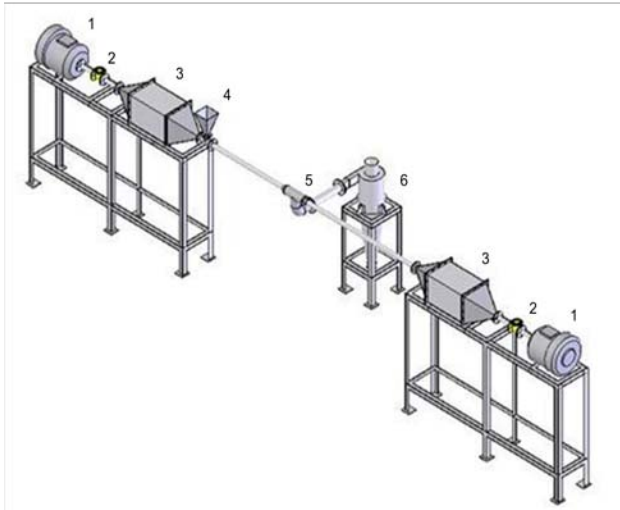
เมื่อ

Mw คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (เศษส่วน)

Md คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (เศษส่วน)

w คือ มวลเปียกของวัสดุ (กรัม)

d คือ มวลแห้งของวัสดุ (กรัม)



รูปที่ 1. เครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำ ประกอบด้วย ส่วนต่างๆ ดังนี้

1. พัดลมความดันสูง 2. วาล์วปรับอัตราการไหล 3. เครื่องทำความร้อน 4. ตัวรับวัตถุดิบเข้าห้องอบแห้ง 5. ห้องอบแห้ง 6. เครื่องตักฝุ่น

2.2. ขั้นตอนการทดลอง

อัตราการป้อนเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งจึงได้ทำการทดลองหาอัตราการป้อนที่เหมาะสมที่จะนำมาศึกษาหาสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง

ซึ่งเครื่องป้อนวัสดุควบคุมอัตราการป้อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรงโดยปรับแรงดันที่ 3 ค่า คือ 4, 10, และ 14 โวลต์ ทำการชั่งน้ำหนักโดยเทียบกับเวลา จากนั้นนำค่าอัตราการป้อนวัสดุที่ได้ไปคำนวณหาอัตราส่วนภาระ (Loading Ratio) ตามสมการที่ 3

$$\mu = \frac{W_p}{W_A} \quad (3)$$

เมื่อ

μ คือ อัตราส่วนภาระ (Loading Ratio)

W_p คือ อัตราการป้อนวัสดุ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

W_A คือ อัตราการไหลของอากาศ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร (N_v , $\text{kg}_{\text{water}}/\text{m}^3\text{h}$)

ในการหาค่าสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำพิจารณาได้จากค่าอัตราการระเหยน้ำเชิง

ปริมาตรและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร ซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$N_v = \frac{W_p (X_i - X_o)}{V_r} \quad (4)$$

เมื่อ

N_v , คือ อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร

W_p คือ อัตราการป้อนวัสดุ (กิโลกรัมแห้งต่อชั่วโมง)

X_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (เศษส่วน)

X_o คือ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุ (เศษส่วน)

V_r คือ ปริมาตรของห้องอบแห้ง (ลูกบาศก์

เมตร)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร (h_v , $\text{W}/\text{m}^3\text{h}$)

$$h_v = \frac{W_p (X_i - X_e) \lambda}{V_r \Delta T_{lm}} \quad (5)$$

เมื่อ

h_v , คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร (วัตต์ต่อลูกบาศก์เมตรเคลวิน)

W_p คือ อัตราการป้อนวัสดุ (กิโลกรัมแห้งต่อชั่วโมง)

X_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (เศษส่วน)

X_o คือ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุ (เศษส่วน)

V_r คือ ปริมาตรของห้องอบแห้ง (ลูกบาศก์

เมตร)

λ คือ ความร้อนแฝงของการระเหย (จูลต่อกิโลกรัม)

ΔT_{lm} คือ ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยลอการิทึม (เคลวิน)

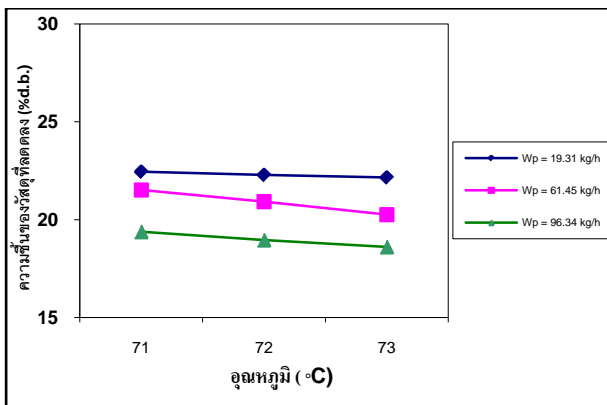
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากผลการทดลองพบว่า สามารถลดความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 5 % (d.b) จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 23 % (d.b) เป็น 18 % (d.b)

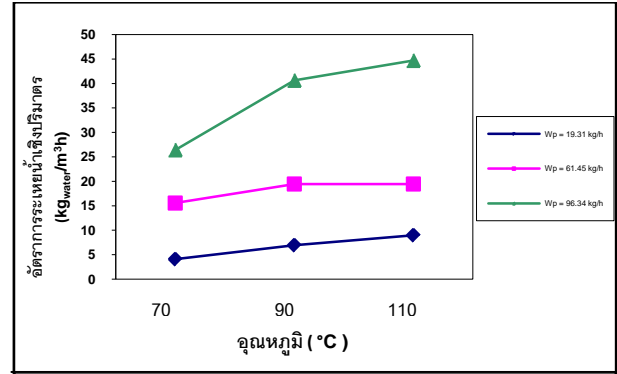
ดังแสดงในรูปที่ 1 ที่อุณหภูมิเท่ากับ 110 °C และ อัตราการป้อนเท่ากับ 96.34 kg/h โดยผลของตัวแปร ต่างๆ ที่มีต่อค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร แสดง ดังรูปที่ 2 ซึ่งแสดงค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามค่าอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าที่ กำหนดเท่ากับ 70, 90 และ 110 °C ที่อัตราส่วนภาวะ เท่ากับ 0.1, 0.4 และ 0.7 พบว่าการเพิ่มขึ้นของ อากาศร้อนทางเข้าห้องอบแห้งทำให้เกิดการระเหยน้ำ ได้มากขึ้น กับการอบแห้งที่อัตราการอบแห้งที่คงที่ เนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิของตัวกลางใน การอบแห้งกับการถ่ายเทความร้อนที่ผิวของวัสดุเพิ่ม มากขึ้น

ผลของอัตราส่วนภาวะที่มีต่ออัตราการระเหยน้ำ เชิงปริมาตร ดังแสดงในรูป 3 พบว่าการเพิ่มขึ้นของ อัตราการป้อนวัสดุที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากันทำให้ อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้นเนื่องมาจาก เครื่องอบแห้งสามารถระเหยน้ำได้อย่างเพียงพอแม้ว่า ปริมาณของวัสดุที่ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งจะเพิ่มขึ้นก็ ตาม

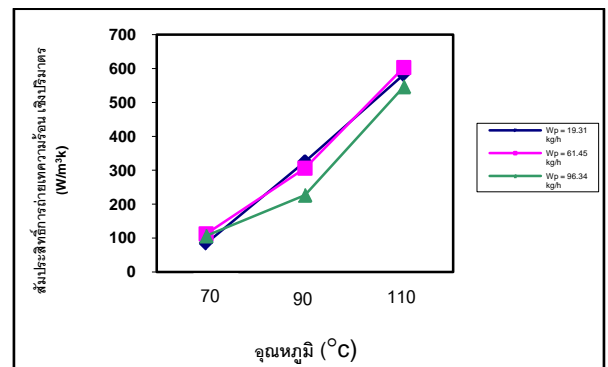
ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเท ความร้อนเชิงปริมาตร ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าที่ อุณหภูมิของอากาศคงที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเท ความร้อนเชิงปริมาตรจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการป้อน วัสดุเพิ่มขึ้น เนื่องจากสมรรถนะของเครื่องอบแห้งยัง สูงเพียงพอต่อการระเหยน้ำออกจากวัสดุ



รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิและอัตราส่วนภาวะที่มีต่อการ ลดความชื้นของข้าวเปลือกในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง



รูปที่ 3. ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อค่าอัตราการระเหย น้ำเชิงปริมาตร



รูปที่ 4. ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร

4. สรุป

จากการศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง แบบกระแสวนโดยพิจารณาจากค่าอัตราการระเหยน้ำ เชิงปริมาตรในการลดความชื้นของข้าวเปลือกสามารถ สรุปได้ว่า สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้สูงสุด เท่ากับ 5 % d.b. จากความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 23 % d.b. ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าเท่ากับ 110 °C อัตราส่วน ภาวะเท่ากับ 0.7 ทำให้ได้ค่าอัตราการระเหยน้ำเชิง ปริมาตรสูงสุดเท่ากับ 44.7 kg_{water}/m³ h และมีค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรสูงสุด ประมาณ 6 02.83 W/m³ K โดยที่เวลาเฉลี่ยของวัสดุที่ อยู่ในระบบประมาณ 1 วินาที

5. ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ได้การลดความชื้นวิธีใหม่ที่ใช้เวลาในการลดความชื้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการลดความชื้นด้วยวิธีอื่น อย่างไรก็ตามนี่เป็นการเริ่มต้นการนำมาใช้กับการลดความชื้นกับวัสดุทางการเกษตรซึ่งคาดว่าจะนำไปใช้กับวัสดุเกษตรอื่นๆ ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kitron, Y., Tamir, A., 1988, "Performance of a coaxial gas-solid two-impinging-streams (TIS) reactor: hydrodynamics, residence time distribution, and drying heat transfer", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 27, pp. 1760-1767.
- [2] Kitron, Y., Tamir, A., 1990, "Characteristics and scale-up of coaxial impinging streams gas-solid contractors", *Drying Technology*, 8: pp. 781-810.
- [3] Tamir, A. *Process and phenomena in impinging-stream reactors*. Chemical Engineering Progress. 85(1989): 53-61.
- [4] Kudra, T. & Mujumdar, A.S. *Impinging stream dryers for particles and pastes*. *Drying Technology*. 7(1989): 219-266.
- [5] Tamir, A., *Impinging-stream reactor*. Elsevier, Amsterdam (1994)
- [6] Yao, B; Berman, Y; & Tamir, A. *Evaporative cooling of air in impinging streams*. *AIChE Journal*. 41(1995): 1667-1675.
- [7] Hu, X. & Liu, D. *Experiment investigation on flow and drying characteristics of a vertical and*

semi-cyclic combined impinging stream dryer.

Drying Technology. 17(1999): 1879-1892.

[8] Song, M; Steiff, A; & Weinspach, P.M. *Direct-contact heat transfer with change of phase: A population balance model*. *Chemical Engineering Science*. 54(1999): 3861-3871.

[9] Xu, D. & Zhu, W. *Hydrokinetic characteristic analysis of a new type of impinging stream dryer*. *Proceedings of the 13th International drying Symposium, Beijing, P.R. China.* (2002): 856-860.

[10] Sathapornprasath K.; Devahastin S; & Soponronnarit S. *Performance Evaluation of an Impinging Stream Dryer for Particulate Materials*. *Drying Technology*. 25(2007): 1121-1128.