

อิทธิพลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการของเครื่องอบแห้งกระแสน้ำที่มีต่อ การลดความชื้น การสิ้นเปลืองพลังงานและคุณภาพข้าวหนึ่ง

พลกฤษณ์ คุ่มกล้า^{1*}, สมเกียรติ ปรัญญาวารากร², สักกมน เทพหัสติน ณ อยุธยา³ และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

³ห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหารขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ กรุงเทพมหานคร 10140

ผู้เขียนติดต่อ: พลกฤษณ์ คุ่มกล้า E-mail: ponlakrit.k@gmail.com

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้ง อัตราการป้อนข้าวหนึ่ง ความเร็วอากาศอบแห้ง และระยะการชน ของเครื่องอบแห้งกระแสน้ำ ที่มีผลกระทบต่อ การลดความชื้น การสิ้นเปลืองพลังงานและคุณภาพข้าวหนึ่งหลังการอบแห้ง ข้าวหนึ่งที่ความชื้นเริ่มต้น 48-50% (d.b.) อบแห้งที่อุณหภูมิอากาศ 150-190°C อัตราการป้อนข้าวหนึ่ง 80-160 kg_{dry solid}/h ความเร็วอากาศอบแห้ง 10-25 m/s ที่ระยะการชน 5-13 cm ผลการทดลองพบว่า การลดลงของความชื้นขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิอากาศอบแห้ง อัตราการป้อนข้าวหนึ่ง และความเร็วอากาศอบแห้ง ปริมาณข้าวต้นหลังอบแห้งมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณข้าวต้นก่อนอบแห้ง จนกระทั่งความชื้นลดลงเท่ากับ 25-30% (d.b.) ร้อยละต้นข้าวจึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งต่ำสุดที่อุณหภูมิอากาศร้อน 190°C อัตราการป้อนวัสดุ 160 kg_{dry solid}/h และความเร็วอากาศอบแห้ง 15 m/s ระยะการชนไม่ส่งผลต่อการลดความชื้น และคุณภาพข้าวหนึ่ง

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งกระแสน้ำ, ข้าวหนึ่ง, ต้นข้าว

Effect of Various Operating Parameters of Impinging Stream Dryer on Energy Consumption and Parboiled Rice Quality

Ponlakrit Kumklam^{1*}, Somkiat Prachayawarakorn², Sakamon Devahastin³ and Somchart Soponronnarit¹

¹Division of Energy Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Pracha u-tid Road, Bangkok 10140, Thailand.

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Pracha u-tid Road, Bangkok 10140, Thailand.

³Advanced Food Processing Research Laboratory, Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Pracha u-tid Road, Bangkok 10140, Thailand.

Corresponding author: Ponlakrit Kumklam. E-mail: ponlakrit.k@gmail.com

Abstract

The performance of a coaxial impinging stream dryer was investigated with respect to operating parameters such as the drying air temperature, paddy feed rates, drying air velocity and impinging distance on drying kinetic, energy consumption and quality of parboiled paddy. The parboiled paddy was dried from the initial moisture content of 48-50% (d.b.) using drying air temperature of 150-190 °C, paddy feed rates of 80-160 kg_{dry solid}/h, drying air velocities of 10-25 m/s at an impinging distance of 5-13 cm. The experimental results have shown that the moisture reduction of the paddy depended on the drying air temperature, feed rate and drying air velocity. The head rice yield could be maintained the same value as the obtained before drying until the moisture content of parboiled paddy was dried to 25-30% (d.b.) after which the head rice yield was dropped significantly. The total specific energy consumption during drying was lowest at drying air temperature of 190 °C, feed rate of 160 kg_{dry solid}/h and drying air velocity of 15 m/s. The impinging distance was not affected to drying kinetic and quality of parboiled paddy.

Keywords: Impinging stream dryer, Parboiled paddy, Head rice yield.

1. บทนำ

ข้าวหนึ่งหุงสุกมีเนื้อแข็งกว่าข้าวหุงสุกปกติ มักนิยมบริโภคในประเทศแถบเอเชียใต้ แอฟริกา ตะวันออกกลาง และยุโรปบางประเทศ การแปรรูปข้าวหนึ่งช่วยลดปริมาณข้าวหักระหว่างการขัดสี และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ เช่น วิตามินบี และแร่ธาตุบางชนิด กระบวนการผลิตข้าวหนึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก คือ การนำข้าวเปลือกแช่น้ำ ตามด้วยการนึ่งด้วยไอน้ำ และอบแห้ง เมื่อข้าวเปลือกผ่านการแช่และนึ่งด้วยไอน้ำ แป้งข้าวจะเกิดเจลลาทีนซ์ และมีความชื้นอยู่ในช่วงระหว่าง 46-50% (d.b.)

ปัจจุบันการอบแห้งข้าวหนึ่งในประเทศไทยส่วนมากใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed) ข้าวหนึ่งที่ออกจากเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด จะถูกนำไปพักไว้ในถังเก็บเป็นเวลาประมาณ 20 นาทีเพื่อรอเวลาให้ความชื้นที่อยู่ภายในเมล็ดแพร่ออกมาสู่ผิวเมล็ด จากนั้นข้าวหนึ่งจึงถูกอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแอลเอสยู (LSU) จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือ 16%(d.b.) จึงเข้าสู่ขั้นตอนการขัดสีเอาเปลือกและรำออก เครื่องอบแห้งที่นำมาใช้ลดความชื้นข้าวเปลือกมีหลายชนิด โดยเครื่องอบแห้งกระแสน (Impinging stream dryer) เป็นเครื่องอบแห้งทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากมีความสามารถในการลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว หลักการพื้นฐานของเครื่องอบแห้งกระแสนคือ การให้กระแสนไหลของอากาศร้อน 2 กระแส หรือมากกว่ามาชนกัน โดยให้กระแสใดกระแสหนึ่งหรือมากกว่าพาดผ่านเข้าสู่ห้องอบแห้ง ภายในห้องอบแห้งจะเกิดบริเวณการชน (Impingement zone) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการถ่ายเทมวลสาร ความร้อน และโมเมนตัมสูง เนื่องจากการชนกันทำให้เกิดความปั่นป่วนของกระแสการไหลอนุภาคมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และมีทิศทางการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมา เครื่องอบแห้งกระแสนสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้ 3-7% (d.b.) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 5.3-11.2 MJ/kg_{water} (Nimmol et al., 2010, Swadisevi, 2014) มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดและฟลูอิดไดซ์เบด 330 และ 60 เท่า ตามลำดับ (Nimmol et al., 2012, Kudra, Mujumdar, 2009) การสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอบแห้งกระแสนน้อยกว่าเครื่องอบแห้งนิวเมติก และเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดประมาณ 3 เท่า (Gaoan and Yuan, 1997) ข้อมูลนี้แสดงว่าเครื่องอบแห้งกระแสนมีประสิทธิภาพในการอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งชนิดอื่น

แม้ว่าเครื่องอบแห้งกระแสนจะให้อัตราการอบแห้งสูง แต่มีข้อเสียในด้านคุณภาพของวัสดุหลังผ่านการอบแห้ง รายงานการวิจัยบางส่วนไม่แนะนำให้ใช้เครื่องอบแห้งกระแสนอบแห้งข้าวเปลือกขึ้นเนื่องจากร้อยละต้นข้าวหลังอบแห้งลดลงมากกว่า 50% เปรียบเทียบกับร้อยละต้นข้าวอ้างอิงที่ลดความชื้นด้วยอากาศแวดล้อม (Nimmol et al., 2012, Swadisevi, 2014) เนื่องจากเครื่องอบแห้งกระแสนให้อัตราการอบแห้งสูง ทำให้เกิดความเค้นภายในเมล็ด เมล็ดข้าวข้าวจึงหักในกระบวนการขัดสี ดังนั้นเครื่องอบแห้งกระแสนจึงไม่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือก Pruegam et al. (2014)

อบแห้งข้าวหนึ่งด้วยเครื่องอบแห้งกระแสน ผลการทดลองพบว่า ร้อยละต้นข้าวหลังการอบแห้ง ยังคงใกล้เคียงกับร้อยละต้นข้าวอ้างอิงที่ผ่านการลดความชื้นด้วยอากาศแวดล้อม อย่างไรก็ตามการศึกษาถึงอิทธิพลของพารามิเตอร์ในการดำเนินการของเครื่องอบแห้งกระแสนที่มีต่อการลดความชื้นข้าวหนึ่งยังมีบางส่วนที่ยังไม่มีการศึกษา เช่น ความเร็วอากาศอบแห้ง อัตราการป้อนข้าวหนึ่ง และการสิ้นเปลืองพลังงาน วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของ อุณหภูมิอบแห้ง อัตราการป้อนข้าวหนึ่ง และความเร็วอากาศอบแห้ง ที่ส่งผลต่อการลดความชื้น และคุณภาพข้าวหนึ่ง นอกจากนี้ยังได้ประเมินค่าการสิ้นเปลืองพลังงานในระหว่างการอบแห้ง แล้วนำข้อมูลมาพิจารณาถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวหนึ่งด้วยเครื่องอบแห้งกระแสน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างข้าวหนึ่ง

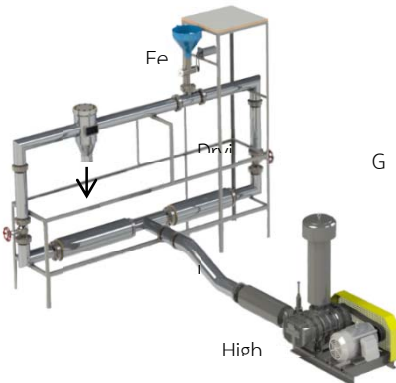
การทดลองอบแห้งใช้ ข้าวเปลือกกะเมโลสสูงพันธุ์ กข49 ความชื้น 16% (d.b.) จากแหล่งเพาะปลูกในจังหวัดชัยนาท มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวนาน 3 เดือน ข้าวเปลือกตัวอย่างถูกแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 65°C ใช้เวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมานึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 103°C ที่อัตราการไหล 0.05 kg_{vapor}/kg_{paddy}·min ใช้เวลา 20 นาที เพื่อให้เนื้อข้าวเกิดการเจลลาทีนซ์ที่สมบูรณ์ นำข้าวหนึ่งมาเป่าด้วยอากาศแวดล้อมเป็นเวลา 10 นาที จะได้ข้าวหนึ่งที่มีความชื้นประมาณ 48-50%(d.b.)

2.2 การอบแห้ง

เครื่องอบแห้งกระแสนแสดงดังรูปที่ 1 ตัวเครื่องอบแห้งทำจากสแตนเลส ประกอบด้วยห้องอบแห้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 m. มีปริมาตร 0.018 m³ ท่อทางเข้าทั้งสองด้านมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.038 m. ระยะการชนสามารถปรับเปลี่ยนได้ด้วยเกลียวน๊อปเปิ้ล พัฒลมแรงดันสูงถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 11 kw สร้างกระแสอากาศเข้าทั้งสองด้านของห้องอบแห้ง มีโกลบวาล์วสำหรับปรับความเร็วลมที่ทางเข้าห้องอบแห้งทั้งสองด้าน ระบบอบแห้งติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 6 kw จำนวน 2 ตัว เพื่อสร้างอากาศร้อนสำหรับอบแห้ง ที่ท่อทางเข้าห้องอบแห้งติดตั้งท่อเวนจูร์สำหรับสร้างความแตกต่างความดันเพื่อดึงข้าวหนึ่งเข้าสู่ระบบ โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวควบคุมอัตราการป้อนข้าวหนึ่ง อุณหภูมิและความเร็วอากาศอบแห้งถูกวัดที่จุด A และ B (ดูรูปที่ 1)

เมื่อเครื่องอบแห้งกระแสนเริ่มทำงาน จนกระทั่งอุณหภูมิและความเร็วอากาศอบแห้งมีค่าตรงกับที่ได้กำหนดไว้ ข้าวหนึ่งจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบ และเก็บตัวอย่างที่ทางออกของเครื่อง ข้าวหนึ่งที่ผ่านการอบแห้งบางส่วนจะนำไปทดสอบหาความชื้นและคุณภาพ ข้าวหนึ่งที่ส่วนที่เหลือยังมีความชื้นที่สูงอยู่ จะถูกนำมาป้อนวนเข้าเครื่องอบแห้งซ้ำอีก จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือประมาณ 20%(d.b.) ในการศึกษาใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 150, 170 และ 190°C ความเร็ว

อากาศอบแห้ง 10, 15, 20 และ 25 m/s อัตราการป้อนข้าวหนึ่ง 80, 110 และ 160 kg_{dry solid}/h และระยะการชนที่ 5 และ 13 cm



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งกระแสน

2.3 การทดสอบร้อยละข้าวตัน

ข้าวหนึ่งที่ผ่านการอบแห้งในแต่ละรอบจะถูกนำมาผึ่งไว้ที่อากาศแวดล้อมเป็นเวลา 2-3 วัน จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือ 16 % (d.b.) และเก็บไว้ในที่แห้งเป็นเวลา 14 วัน หลังจากนั้นจึงนำมากะเทาะเปลือก โดยเครื่องกะเทาะเปลือก (Ngeksenghuat, Model P-1, Bangkok, Thailand) ข้าวกล้องหนึ่งจำนวน 120 g ชัดด้วยเครื่องชัดรำข้าว (Ngeksenghuat, Model K-1, Bangkok, Thailand) เป็นเวลา 40 s ต้นข้าว (head rice) หมายถึง เมล็ดข้าวที่มีสัดส่วนความยาวมากกว่า 3/4 ของข้าวเต็มเมล็ด จะถูกคัดแยกออกจากปลายข้าว (broken rice) ด้วยเครื่องแยกข้าวหัก ร้อยละต้นข้าว (head rice yield) หาได้จาก น้ำหนักต้นข้าวหารด้วยน้ำหนักข้าวกล้อง การทดลองทั้งหมดทำซ้ำ 3 ซ้ำ ผลของร้อยละต้นข้าวแสดงในรูปค่าเฉลี่ย

2.4 การทดสอบความชื้นข้าวหนึ่ง

ตัวอย่างข้าวหนึ่ง 30 g อบด้วยตู้อบลมร้อน (Memmert, model ULE500, Schwabach, Germany) ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 h ตามวิธีการของ AACC method (AACC, 1995)

2.5 การประเมินค่าการสิ้นเปลืองพลังงาน

การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption) ประเมินจาก ค่าการใช้พลังงานในระบบอบแห้งต่อการระเหยน้ำ 1 kg คำนวณจากสมการ

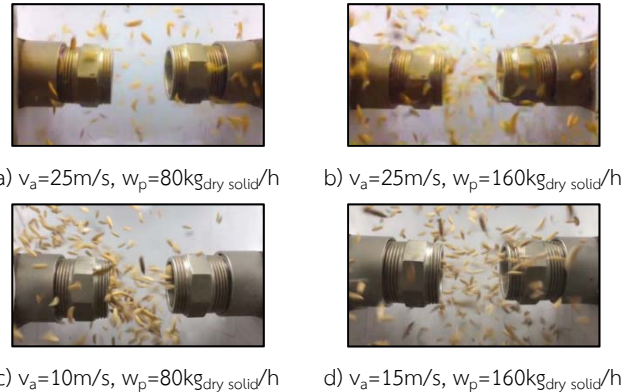
$$SEC = \frac{E_m + E_h}{M_w} \quad (1)$$

โดย SEC หมายถึง การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg-water evaporation) E_m หมายถึง การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับพัดลม เพื่อสร้างอากาศอบแห้งเข้าสู่ระบบอบแห้ง การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าคำนวณจากค่าพลังงานที่ได้จากการวัดโดยใช้มิเตอร์ (Yogogawa CW10) คูณด้วยแฟกเตอร์พลังงานจากแหล่งกำเนิด 2.6 (Primary Energy Factors) E_h หมายถึง

พลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนอากาศอบแห้ง และ M_w หมายถึง ปริมาณน้ำที่ระเหยจากข้าวหนึ่ง (kg-water evaporation)

3. ผลและวิจารณ์

3.1 รูปแบบการกระจายตัวของข้าวหนึ่งในห้องอบแห้ง



รูปที่ 2 รูปแบบการกระจายตัวของเมล็ดข้าวหนึ่งในห้องอบแห้งที่ระยะการชน 5 cm

รูปที่ 2 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของเมล็ดข้าวหนึ่งในห้องอบแห้ง การเพิ่มอัตราการป้อนข้าวหนึ่งทำให้ความหนาแน่นของเมล็ดในห้องอบแห้งต่ำกว่าที่อัตราการป้อนข้าวหนึ่งสูง ที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 25 m/s อัตราการป้อนข้าวหนึ่ง 80 และ 160 kg_{dry solid}/h (แสดงในรูปที่ 2a และ 2b) เมล็ดข้าวกระจายตัวอย่างทั่วถึงตลอดพื้นที่ภายในห้องอบแห้ง แสดงว่าที่ความเร็วอากาศอบแห้งนี้มีโมเมนตัมเพียงพอที่จะนำพาเมล็ดเข้าสู่ห้องอบแห้งและทำให้เมล็ดสัมผัสกับลมร้อนอย่างทั่วถึง

รูปที่ 2c แสดงผลของความเร็วกาศอบแห้งที่มีต่อรูปแบบการกระจายตัวของเมล็ดข้าว ที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 10 m/s การกระจายของเมล็ดข้าวไม่ทั่วถึงพื้นที่ห้องอบแห้ง เมล็ดข้าวที่อยู่ด้านล่างไม่สามารถเคลื่อนที่ย้อนกลับขึ้นด้านบนห้องอบแห้ง ทำให้เมล็ดเคลื่อนที่ออกจากห้องอบแห้งอย่างรวดเร็ว อากาศอบแห้งและเมล็ดข้าวยังไม่คุกเคล้ากันอย่างทั่วถึง เป็นข้อด้อยสำหรับระบบอบแห้ง ที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 15 m/s รูปแบบการกระจายตัวของเมล็ดข้าวในห้องอบแห้งคล้ายคลึงกับที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 25 m/s (แสดงในรูปที่ 2b and 2d) ดังนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะการลดความชื้น ความเร็วกาศอบแห้งที่ 15 m/s เพียงพอสำหรับการอบแห้งข้าวหนึ่งด้วยเครื่องอบแห้งกระแสน

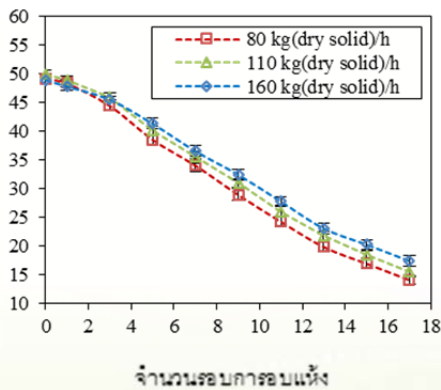
3.2 ผลการลดความชื้นข้าวหนึ่ง

รูปที่ 3 แสดงการลดลงของความชื้นข้าวหนึ่งที่อัตราการป้อนข้าวหนึ่งต่างกัน การลดลงของความชื้นในแต่ละเงื่อนไขการป้อนข้าวหนึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่อัตราการป้อนข้าวหนึ่งสูงความชื้นลดลงได้น้อยกว่าที่อัตราการป้อนข้าวหนึ่งต่ำ การเพิ่มอัตราการป้อนข้าวหนึ่งทำให้ปริมาณเมล็ดที่อยู่ในห้องอบแห้งเพิ่มขึ้น ความชื้นอากาศในห้องอบแห้งจึงมีปริมาณมากขึ้น ความแตกต่างระหว่างความชื้นที่ผิวเมล็ดกับความชื้นอากาศจึงน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการป้อนข้าว

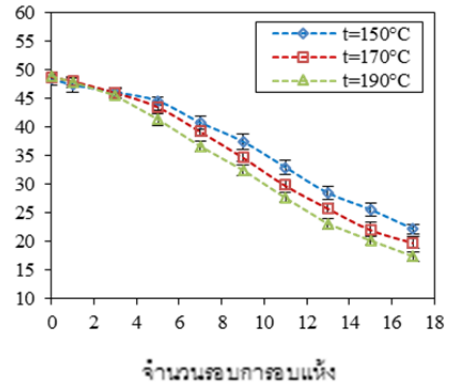
นึ่งที่ต่ำกว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 190°C การลดลงของความชื้นข้าวหนึ่ง ที่อัตราการป้อนข้าวหนึ่ง 160 kg_{dry solid}/h น้อยกว่าที่อัตราการป้อนข้าวหนึ่ง 80 kg_{dry solid}/h ประมาณ 13%

เมื่อเปรียบเทียบผลของอัตราการป้อนวัสดุต่อการลดความชื้นกับ รายงานการวิจัยของ Min Du (Du et al., 2015) ซึ่งใช้เมล็ดข้าวฟ่าง มีความหนาแน่น 1,350 kg/m³ เป็นวัสดุอบแห้ง ที่เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง 127 °C ระยะชน 20 cm และความเร็วอากาศอบแห้ง 15 m/s ที่อัตราการป้อนวัสดุ 18.5 kg/h ความชื้นวัสดุลดลงได้มากกว่าที่ อัตราการป้อนวัสดุ 51.7 kg/h ประมาณ 16% ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา เนื่องจากข้าวฟ่างและข้าวหนึ่งมีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ Sathpomprasath et al., (2007) และ Choicharoen et al., (2010) ใช้เรซินและกากถั่วเหลืองเป็นวัสดุอบแห้ง และ แสดงว่าผลของอัตราการป้อนวัสดุต่อการลดความชื้นได้มากกว่าที่อัตราการป้อนวัสดุสูงประมาณ 40% ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า อัตราการป้อนวัสดุมีผลน้อยเมื่อใช้วัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเป็นวัสดุอบแห้ง เนื่องจากระยะเวลาที่วัสดุอยู่ในระบบอบแห้งสั้นมาก น้ำที่อยู่ ภายในจึงมีเวลาไม่เพียงพอสำหรับการแพร่อย่างผิว แต่วัสดุที่มีขนาดเล็กน้ำที่อยู่ภายในสามารถแพร่ออกมายังผิวได้อย่างรวดเร็ว อัตราการป้อนวัสดุจึงมีผลกระทบต่อวัสดุขนาดเล็กมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

จากข้อมูลข้างต้นการลดความชื้นข้าวหนึ่งถูกจำกัดด้วยการแพร่ของน้ำภายในเมล็ด การเพิ่มอัตราการป้อนข้าวหนึ่งมีผลกระทบต่อ การลดความชื้นเพียงเล็กน้อยแต่ได้ประโยชน์ในด้านการเพิ่มปริมาณการผลิต ดังนั้นการอบแห้งข้าวหนึ่งด้วยเครื่องอบแห้งกระแสนวนควรใช้ อัตราการป้อนข้าวหนึ่งที่สูงเท่าที่เป็นไปได้

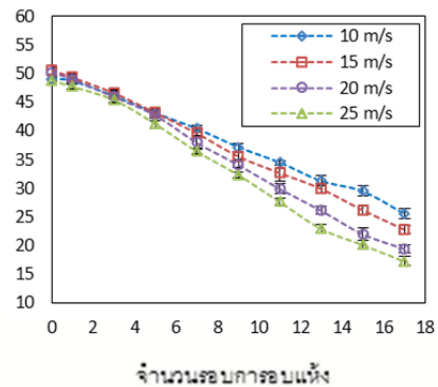


รูปที่ 3 ผลกระทบของอัตราการป้อนข้าวหนึ่งต่อการลดความชื้น ที่อุณหภูมิอบแห้ง 190°C



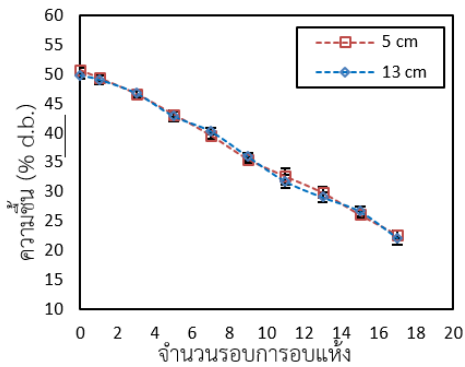
รูปที่ 4 ผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งต่อการลดความชื้น ที่อัตราการป้อนข้าวหนึ่ง 160 kg_{dry solid}/h

ผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งต่อการลดความชื้นแสดงในรูปที่ 4 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งความชื้นข้าวหนึ่งลดลงได้เร็วกว่า เนื่องจากที่อุณหภูมิอบแห้งสูงนั้นมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศอบแห้งกับอุณหภูมิที่ผิวเมล็ดมาก อัตราการถ่ายเทความร้อนและ อัตราการระเหยน้ำจึงมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 5 ผลกระทบของความเร็วอากาศอบแห้งต่อการลดความชื้น ที่อุณหภูมิอบแห้ง 190°C และอัตราการป้อนข้าวหนึ่ง 160 kg_{dry solid}/h

ผลกระทบของความเร็วอากาศอบแห้งต่อการลดความชื้นแสดงในรูปที่ 5 การเพิ่มความเร็วอากาศอบแห้งทำให้เมเนตัม ของเมล็ดข้าวหนึ่งสูงขึ้น การผสมกันระหว่างอากาศอบแห้งกับเมล็ดในห้องอบแห้ง เป็นไปอย่างทั่วถึง (ดูรูปที่ 2) ที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากัน ความเร็วอากาศอบแห้งสูงจึงลดความชื้นได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามการอบแห้งโดยใช้ความเร็วอากาศอบแห้งสูงกว่าระบบจะสิ้นเปลืองพลังงานมาก ดังนั้นการเลือกใช้ความเร็วอากาศอบแห้งจึงขึ้นกับปัจจัยด้านการสิ้นเปลืองพลังงานและคุณภาพข้าวหนึ่งที่ผ่านการอบแห้ง โดยอภิปรายไว้ในหัวข้อการสิ้นเปลืองพลังงาน



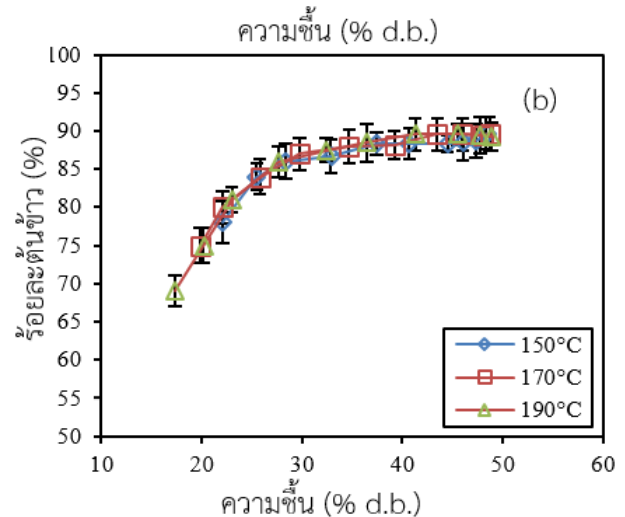
รูปที่ 6 ผลกระทบของระยะเวลาต่อการลดความชื้น ที่อุณหภูมิอบแห้ง 190°C อัตราการป้อนข้าวหนึ่ง 160 kgdrysolid/h และความเร็วอากาศอบแห้ง 25 m/s

ผลกระทบจากระยะการชนที่มีต่อการลดความชื้นแสดงดังรูปที่ 6 การลดลงของความชื้นที่ระยะเวลาชน 5 และ 13 cm ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยเหตุผลหลัก 2 อย่าง เหตุผลที่เป็นไปได้的首要คือรูปแบบการกระจายตัวของเมล็ดข้าวที่การทดลองทั้งสองเงื่อนไขไม่มีความแตกต่างกัน (ดูรูปที่ 2d สำหรับระยะเวลาชน 5 cm) ถ่ายเทความร้อนและมวลสารจึงไม่แตกต่างกัน ที่เงื่อนไขอุณหภูมิและความเร็วอากาศอบแห้งเท่ากัน เหตุผลที่สอง แม้ว่าระยะเวลาชนสั้นกว่าจะทำให้จำนวนเมล็ดข้าวทะลุผ่านจากกระแสาอากาศที่นำพาเข้ามาในถังอบแห้งไปยังกระแสาอากาศฝั่งตรงข้ามได้มากกว่า มีระยะเวลาที่เมล็ดข้าวคงอยู่ในระบบนานกว่า (Choicharoen et al., 2010) ความชื้นน่าจะลดลงได้มากกว่า แต่ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากเมล็ดข้าวหนึ่งถูกจำกัดด้วยการแพร่ภายในเมล็ด ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาชนจึงไม่มีผลต่อการลดความชื้น ซึ่งให้ผลต่างจากรายงานการวิจัยที่ผ่านมา โดย Sathpornprasath et al., (2007), Choicharoen et al., (2010) และ Nimmol et al., (2010) พบว่าที่ระยะเวลาชนสั้น การลดความชื้นวัสดุทำได้ดีกว่าที่ระยะเวลาช่นยาว และให้เหตุผลว่าที่ระยะเวลาชนสั้นเกิดความปั่นป่วนของกระแสาอากาศสูงกว่า ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลสารในถังอบแห้งสูง ความชื้นจึงลดลงได้มาก ในทางตรงกันข้าม Du et al., (2015) พบว่าที่ระยะเวลาช่นยาวกว่า มีการลดความชื้นได้มากกว่าที่ระยะเวลาช่นสั้น เนื่องจากระยะเวลาช่นยาวทำให้ปริมาตรห้องอบแห้งมากขึ้น วัสดุในห้องอบแห้งจึงมีความหนาแน่นน้อย การลดความชื้นจึงมากกว่า ผลการทดลองที่ต่างกันมีความเป็นไปได้เนื่องจาก แต่ละการศึกษาได้ใช้วัสดุอบแห้งต่างชนิดกัน อย่างไรก็ตาม Wu, (2007) พบว่า ประสิทธิภาพการลดความชื้นดีที่สุด ระยะเวลาช่นต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางเข้า (s/d₀) ควรอยู่ในช่วง 3.0-4.0

3.3 ผลการทดสอบร้อยละต้นข้าว

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นข้าวหนึ่งและร้อยละต้นข้าว ที่เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้งต่างกัน อุณหภูมิอากาศอบแห้ง อัตราการป้อนข้าวหนึ่งและความเร็วอากาศอบแห้งไม่มีผลต่อร้อยละต้นข้าว การลดลงของร้อยละต้นข้าวขึ้นอยู่กับความชื้นหลังการอบแห้งเพียง

ตัวแปรเดียว ดังแสดงในรูปที่ 7 ที่ความชื้นข้าวหนึ่งเท่ากับ 50%(d.b.) ถึง 30%(d.b.) ร้อยละต้นข้าวมีค่าใกล้เคียงกับร้อยละต้นข้าวอ้างอิง จนกระทั่งความชื้นลดลงต่ำกว่า 25-30%(d.b.) ร้อยละต้นข้าวเริ่มลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่เป็นเช่นนี้เพราะการลดความชื้นข้าวลงอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดความความเค้นภายในเมล็ดเป็นผลให้เกิดรอยร้าวขึ้นระหว่างการอบแห้ง รอยร้าวภายในเมล็ดทำให้ข้าวหักเมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการขัดสี (Soponronnarit, 1994) ดังนั้นการอบแห้งข้าวหนึ่งด้วยเครื่องอบแห้งกระแสนไม่ควรถลดความชื้นลงต่ำกว่า 25%(d.b.) หรือถ้ามีความจำเป็นต้องลดความชื้นต่ำกว่านี้ ควรพักข้าวไว้เป็นเวลาประมาณ 30 นาทีเพื่อลดปริมาณข้าวหัก (Tuyen et al., 2009, Pruengam et al., 2014) การพักข้าวเป็นการลดความเค้นที่เกิดจากการลดความชื้นในระหว่างอบแห้ง ความเร็วอากาศอบแห้งและระยะเวลาช่นไม่ส่งผลกระทบต่อร้อยละต้นข้าว

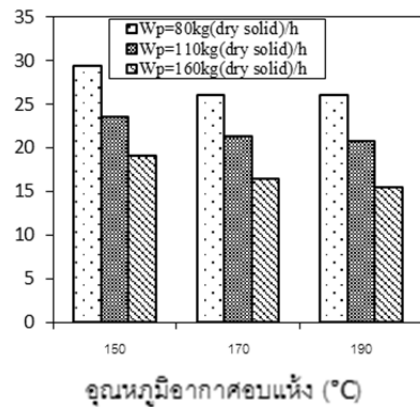
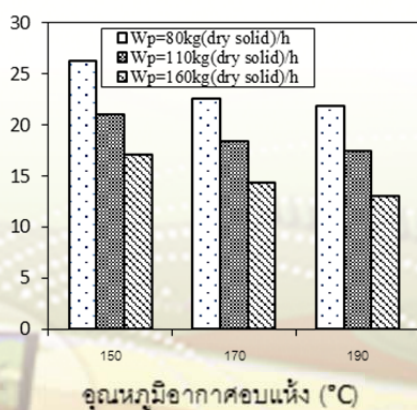
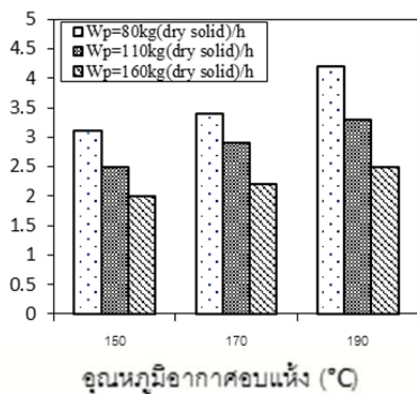


รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงร้อยละต้นข้าว: (a) ผลกระทบจากอัตราการป้อนข้าวหนึ่งที่ $t = 190^{\circ}\text{C}$, (b) ผลกระทบจากอุณหภูมิอากาศอบแห้ง ที่ $W_p = 160 \text{ kg}_{\text{dry solid}}/\text{h}$

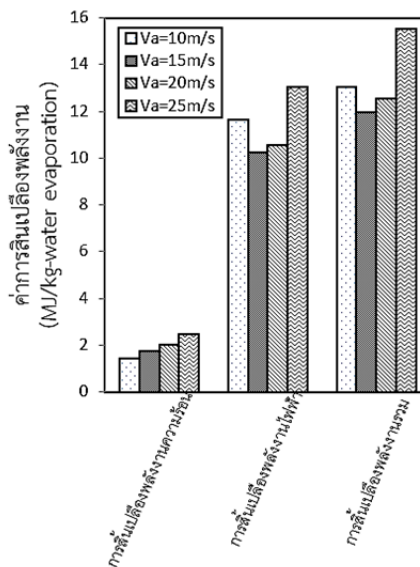
3.4 การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

การประเมินการสิ้นเปลืองพลังงาน ในการศึกษาที่น่าเสนอในรูปแบบการสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่อการระเหยน้ำจำนวน 1 kg จากวัสดุ รูปที่ 8 แสดงการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อน (Specific thermal energy consumption) การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า (Specific electrical energy consumption) และการสิ้นเปลืองพลังงานรวม (total specific energy consumption) ดังแสดงในรูปที่ 8 การสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนต่ำกว่าการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 5-8 เท่าขึ้นกับเงื่อนไขการทดลอง ต่างจากกระบวนการอบแห้งโดยทั่วไปที่พลังงานความร้อนมักถูกใช้มากกว่าพลังงานไฟฟ้าอยู่มาก (Soponronnarit et al., 2001) ที่เป็นเช่นนี้เพราะเครื่องอบแห้งกระแสนใช้ความเร็วอากาศอบแห้งสูง ดังนั้นจึงมีความดันลวดในระบบสูงตามไปด้วย พลังงานจึงถูกใช้ไปกับพัดลมเพื่อสร้างกระแสาอากาศอบแห้ง อีกทั้งยังเพิ่มความร้อนให้กับอากาศ

แวลลุ่มที่เข้ามาในระบบอีกประมาณ 80°C โดยไม่มีการรับความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งให้ถึงค่าที่กำหนดไว้ในภากรการทดลอง (150-190°C) ระบบจึงใช้พลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์เพียงเล็กน้อย ในรูปที่ 8a การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนข้าวหนึ่งทีเืองไขอุณหภูมิเดียวกัน ดังนั้นการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งกระแสนครใช้อัตราการป้อนวัสดุทีสูงเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงพลังงานทีอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่างๆกัน การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนการเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอากาศอบแห้งดังทีคาดไว้ เนื่องจากฮีตเตอร์ใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อเพิ่มอุณหภูมิในอากาศอบแห้ง ในรูปที่ 8b แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งและอัตราการป้อนวัสดุอย่างมีนัยสำคัญ ทีเป็นเช่นนี้เพราะการเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งทำให้อัตราการระเหยน้ำเพิ่มขึ้นและการเพิ่มอัตราการป้อนวัสดุทำให้อลดเวลาในการอบแห้งระยะเวลาทีที่พัดลมไฟฟ้าทำงานจึงสั้นลง (การทดลองแต่ละเงื่อนไขใช้ข้าว 4 kg) รูปที่ 8c แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงพลังงานรวม ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานต่ำสุดอยู่ทีเงื่อนไขอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 190°C และอัตราการป้อนวัสดุ 160 kg_{dry solid}/h การเปลี่ยนแปลงพลังงานรวมเท่ากับ 15 MJ/kg-water evaporation



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะทีเงื่อนไขอุณหภูมิอากาศอบแห้งและอัตราการป้อนวัสดุต่างๆกัน (a) พลังงานความร้อน (b) พลังงานไฟฟ้า และ (c) พลังงานรวม



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะทีเงื่อนไขความเร็วอากาศอบแห้งต่างๆกัน (อุณหภูมิอากาศอบแห้ง = 190°C และอัตราการป้อนข้าวหนึ่ง= 160 kg_{dry solid}/h)

ผลกระทบจากความเร็วอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานในการอบแห้งข้าวหนึ่งด้วยเครื่องอบแห้งกระแสน ทีเงื่อนไขอุณหภูมิอากาศอบแห้ง และอัตราการป้อนข้าวหนึ่งเท่ากันแสดงดังรูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนลดลงเมื่อลดความเร็วอากาศอบแห้งเนื่องจากอัตราการไหลของอากาศทีสูง ทำให้มวลอากาศทีไหลผ่านห้องอบแห้งเพิ่มขึ้น ระบบจึงใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้ง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าพบว่า การเพิ่มความเร็วอากาศอบแห้งทำให้อเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นเพราะว่าอัตราการไหลของมวลอากาศสูงทำให้อพัดลมไฟฟ้าใช้พลังงานมากขึ้นดังทีคาดไว้ อย่างไรก็ตามทีความเร็วอากาศอบแห้งเท่ากับ 10 m/s ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ากลับเพิ่มขึ้น เนื่องจากการลดความเร็วอากาศอบแห้งทำให้อความชื้นข้าวหนึ่งลดลงซ้ำส่งผลให้เครื่องอบแห้งทำงานนานขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานต่ำสุดเท่ากับ

11 MJ/kg-water evaporation ที่เงื่อนไขความเร็วอากาศอบแห้ง 15 m/s เครื่องอบแห้งกระแสขนสั้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าประมาณ 90% ของพลังงานทั้งหมด เนื่องจากการใช้ความเร็วอากาศอบแห้งสูงทำให้เกิดความดันลดในระบบมาก พลังงานส่วนใหญ่จึงถูกใช้ไปกับพัดลมไฟฟ้า

4. สรุป

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอากาศอบแห้ง ความเร็วอากาศอบแห้ง อัตราการป้อนวัสดุ และระยะการชน ที่ส่งผลกระทบต่อ การลดความชื้นและคุณภาพข้าวนี้ พบว่าทุกตัวแปร มีผลต่อการลดความชื้น ยกเว้นระยะการชน ความชื้นลดลงมากขึ้นเมื่อเพิ่มทั้งอุณหภูมิและความเร็วอากาศอบแห้ง การลดอัตราการป้อนวัสดุทำให้ความชื้นข้าวนี้ลดลงมากขึ้น ร้อยละต้นข้าวไม่สัมพันธ์กับอุณหภูมิและความเร็วอากาศอบแห้ง แต่สัมพันธ์กับความชื้นหลังอบแห้ง เพื่อรักษาร้อยละต้นข้าวให้ใกล้เคียงกับค่าร้อยละต้นข้าวก่อนอบแห้ง ความชื้นหลังอบแห้งไม่ควรต่ำกว่า 25-30% (d.b.) เพื่อประหยัดพลังงานในระบบอบแห้ง เครื่องอบแห้งกระแสขนควรอบแห้งข้าวเปลือกที่อัตราการป้อนวัสดุสูงเท่าที่จะเป็นไปได้ ความเร็วอากาศอบแห้งที่ 15 m/s เพียงพอต่อการอบแห้งข้าวนี้ อุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ 190°C เป็นอุณหภูมิแนะนำสำหรับอบแห้งข้าวนี้ด้วยเครื่องอบแห้งกระแส

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- AACC. 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (9th ed.). St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc
- Bhattacharya, K. (2011). Rice Quality. Woodhead Publishing Limited. UK.
- Choicharoen, K., Devahastin, S., Soponronnarit, S. (2010). Performance and Energy Consumption of an Impinging Stream Dryer for High-Moisture Particulate Materials. Drying Technology 28, 20-29.
- Du, m., Gong, J., Chen, W., Wang, Q. (2015). Mathematical Model Based on DSMC Method for Particulate Drying in a Coaxial Impinging Stream Dryer. Drying Technology 33, 646-658.
- Gaoan, W., Yuan, W. (1997). Resistance of Impinging Stream Contactor to Solid-Air Suspension Flow. Chinese Journal of Chemical engineer 5, 270-279.
- Kudra, T., Mujumdar, A. (2009). Advanced Drying Technologies. CRC Press. UK.

Nimmol, C., Devahastin, S.(2010). Evaluation of performance and energy consumption of an impinging stream dryer for paddy. Applied Thermal Engineering 30, 2204-2212.

Nimmol, C., Sathapornprasath, K., Devahastin, S. (2012). Drying of High-Moisture Paddy Using a combined Impinging Stream and Pneumatic Drying System. Drying Technology 30, 1854-1862.

Pruengam, P., Soponronnarit, S., Prachayawarakom, S., Devahastin, S. (2014). Rapid Drying of Parboiled Paddy Using Hot-Air Impinging Stream Dryer. Drying Technology 32, 1949-1955.

Swasdisevi, T., Devahastin, S., Thanasookprasert, S., Soponronnarit, S. (2013). Comparative Evaluation of Hot-Air and Superheated-Steam Impinging Stream Drying as Novel Alternatives for Paddy Drying. Drying Technology 31, 717-725.



Soponronnarit, S., Prachayawarakorn, S. (1994). Optimum Strategy for Fluidized Bed Paddy Drying. *Drying Technology* 12, 1667-1686.

Soponronnarit, S., Wetchacama, S., Trutassanawin, S., Jariyontivait, W. (2001). Design, Testing, and Optimization of Vibro-Fluidized Bed Paddy Dryer. *Drying Technology* 19, 1891-1908.

Sathapomprasath, K., Devahastin, S., Soponronnarit, S. (2007). Performance Evaluation of an Impinging Stream Dryer for Particulate Materials. . *Drying Technology* 25, 1121-1128.

Tuyen, T., Truong V., Fukai, V., Bhandari, V., (2009). Effects of High-Temperature Fluidized Bed Drying and Tempering on Kernel Cracking and Milling Quality of Vietnamese Rice Varieties. *Drying Technology* 27, 486-494.

Wu, (2007). *Impinging Streams Fundamentals, Properties and Applications*. ELESVIER. Amsterdam.

