

ผลของความชื้นเริ่มต้นและความสูงเบดของข้าวเปลือกต่อความเร็วลมต่ำสุด ในเครื่องทดสอบการเกิดฟลูอิดไอเซชัน

Effects of Initial Moisture Content and Bed Height of Paddy on the Minimum Air Velocity in the Fluidization Testing Machine

รัชพล ชุงเจริญ^{1*} การ์นต์ ดวงนิราส² วัชระ วงศ์สุกรี² และ อนุปงศ์ มีโคตรกอง²

Thatchapol Chungcharoen^{1*} Karun Duangniras² Watchara Wongsukri² and Anupong Meekotekong²

¹อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

²นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

¹Lecturer, Department of engineering, King mongkut's institute of technology ladkrabang prince of chumphon campus

²Student, Department of engineering, King mongkut's institute of technology ladkrabang prince of chumphon campus

*Corresponding author, E mail: Thatchapol.ch@kmit.ac.th

บทคัดย่อ

ความเร็วลมต่ำสุด เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการลดความชื้นด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิดไอเซชัน การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความชื้นเริ่มต้นและความสูงเบดของข้าวเปลือกต่อความเร็วลมต่ำสุดในเครื่องทดสอบการเกิดฟลูอิดไอเซชัน รวมทั้งมีการสร้างเครื่องทดสอบการเกิดฟลูอิดไอเซชันด้วย วัสดุที่ใช้ในการทดสอบคือข้าวเปลือกสายพันธุ์เหลืองประทิว ความสูงเบดที่ใช้ในการทดสอบคือ 5 10 และ 15 เซนติเมตร และความชื้นเริ่มต้นที่ 15 20 และ 26% มาตรฐานเปียก (w.b.) จากผลการทดลองพบว่า ที่ความสูงเบดเดียวกัน ค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วลม จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความชื้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความชื้นเริ่มต้นเดียวกัน ความสูงเบดไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าความดันตกคร่อมที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วลม อย่างไรก็ตามความชื้นเริ่มต้นและความสูงเบดของข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อมช่วงคงที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความชื้นเริ่มต้นและความสูงเบดที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยความเร็วลมต่ำสุดที่ใช้สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกที่ความสูงเบด 5 10 และ 15 cm มีค่าอยู่ในช่วง 3.0-4.8 3.1-5.1 และ 3.2-5.3 m/s ที่ความชื้นเริ่มต้น 15 20 และ 26% มาตรฐานเปียก (w.b.) ตามลำดับ

คำสำคัญ: ข้าวเปลือก ความเร็วลมต่ำสุด ความดันตกคร่อม ฟลูอิดไอเซชัน

Abstract

The minimum air velocity is an important factor decreasing the moisture by using the fluidized bed drying technique. Therefore, the objective of this work was to investigate the effects of initial moisture content and bed height of paddy on the minimum air velocity in the fluidized bed testing machine. The fluidized bed testing machine

was also built. The material used in this study was Leuang Pratew paddy. The bed height conditions were 5, 10, and 15 cm and initial moisture contents of 15, 20, and 26% wet basis (w.b.). The experimental result showed that, when the initial moisture content increased at the same bed height, an increase in pressure drop, when the air velocity increased, was higher. It was found that the bed height did not cause an increase in pressure drop when the air velocity increased at the same initial moisture content. However, the higher initial moisture content and bed height provided a higher constant pressure drop. Moreover, the increasing initial moisture content and bed height of paddy significantly provided a higher minimum air velocity. The minimum air velocity values for drying the paddy at bed height of 5, 10, and 15 cm were in the ranges of 3.0-4.8, 3.1-5.1, and 3.2-5.3 m/s at initial moisture contents of 15, 20, and 26% wet basis (w.b.), respectively.

Keywords: Paddy / Minimum air velocity / Pressure drop / Fluidization

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทยมาโดยตลอด เนื่องจากเป็นอาหารหลักของคนไทย โดยในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวเปลือกได้ประมาณปีละ 27.42 ล้านตันข้าวเปลือก และสามารถส่งออกข้าวได้ 9.79 ล้านตันข้าวสาร (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2559) ซึ่งผลผลิตข้าวที่ส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศนั้นมีทั้งในลักษณะข้าวสารและผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าว ข้าวสารนับเป็นผลิตภัณฑ์หลักของข้าวที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งข้าวสารที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันนั้นมีหลากหลายรูปแบบเช่น ข้าวขาว ข้าวกล้อง ข้าวเหนียว ข้าวกล้องงอก เป็นต้น กระบวนการแปรรูปข้าวเปลือกให้เป็นข้าวสารนั้นมีด้วยกันหลายขั้นตอนขึ้นอยู่กับรูปแบบของข้าวสารที่ต้องการ กระบวนการลดความชื้น นับเป็นขั้นตอนที่สำคัญและจำเป็นสำหรับการแปรรูปข้าวเปลือกให้เป็นข้าวสาร โดยปกติแล้วการลดความชื้นในข้าวเปลือกก่อนที่จะนำมาแปรรูปเป็นข้าวสารนั้นจะนิยมใช้วิธีการตากแดด ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะใช้พื้นที่ค่อนข้างเยอะและใช้ระยะเวลานาน อีกทั้งควบคุมคุณภาพของข้าวได้ยาก (พิรสิทธิ์ ทวยนาก และคณะ, 2014) ปัจจุบันจึงได้มีการนำเอาเครื่องอบแห้งมาประยุกต์ใช้กับการลดความชื้นในข้าวเปลือก เครื่องอบแห้งที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายคือ เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized bed dryer) เป็นเครื่องอบแห้งที่ไปประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลและความร้อนได้สูง เมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) เนื่องจากวัสดุที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบดจะลอยตัวอย่างอิสระ ทำให้สัมผัสกับตัวกลางในการอบแห้งได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างจากเครื่องอบแห้งแบบถาด ที่วัสดุจะไม่มีการเคลื่อนที่ ทำให้สัมผัสกับตัวกลางในการอบแห้งไม่ทั่วถึง ส่งผลให้วัสดุที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด มีความชื้นลดลงได้อย่างรวดเร็ว (Srisang et al., 2009) อีกทั้งยังสามารถลดการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายในการอบแห้งอีกด้วย โดยปกติแล้วการอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบดเหมาะกับการอบแห้งวัสดุที่มีขนาดเล็ก และมีรูปทรงสม่ำเสมอ เช่น เมล็ดธัญพืช (Cereal grain) ถั่ว (Legume) เป็นต้น ซึ่งตัวกลางที่นิยมใช้ในการอบแห้ง ได้แก่ อากาศร้อน (Hot air) และไอน้ำร้อนชนิดยิ่งยวด (Superheated steam) (Chungcharoen et al., 2015) ตัวแปรสำคัญในการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด ได้แก่ ความเร็วลม เนื่องจากความเร็วลมจะเป็น

ตัวกำหนดลักษณะของการเกิดฟลูอิดไอเซชันของวัสดุ กล่าวคือวัสดุจะลอยตัวอย่างอิสระคล้ายของไหล ซึ่งความเร็วลมที่นิยมใช้กับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด-ไอซ์เบดได้แก่ ความเร็วลมต่ำสุด (Minimum air velocity)

สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อความเร็วลมต่ำสุดในการอบแห้งข้าวเปลือกนั้นมีด้วยกันหลายปัจจัย ความชื้นเริ่มต้นน่าจะเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่ต้องศึกษา เนื่องจากข้าวเปลือกที่นำมาอบแห้งนั้นมีความชื้นเริ่มต้นก่อนการอบแห้งแตกต่างกัน เช่น ข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวสำหรับนำมาอบแห้งเพื่อแปรรูปเป็นข้าวขาว หรือข้าวกล้อง จะมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 20-24% มาตรฐานเปียก (w.b.) ข้าวเปลือกสำหรับนำมาอบแห้งเพื่อแปรรูปเป็นข้าวเหนียว จะมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 29-35% (w.b.) หรือข้าวเปลือกสำหรับนำมาอบแห้งเพื่อแปรรูปเป็นข้าวกล้องงอก จะมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 35% (w.b.) เป็นต้น (Nimmol, 2012; Taechapiroj et al, 2006; Chungcharoen et al., 2015) อีกทั้งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลของความชื้นที่ส่งผลต่อความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันยังมีจำกัด นอกจากนี้ปริมาณข้าวเปลือกหรือความสูงเบด นับเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ส่งผลต่อความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันเช่นกัน ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์ และคณะ (2552) ศึกษาผลของน้ำหนักที่มีต่อการเกิดฟลูอิดไอเซชัน พบว่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันเพิ่มสูงขึ้น จากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องทดสอบการเกิดฟลูอิดไอเซชันแบบฟลูอิด-ไอซ์เบด พร้อมทั้งศึกษาผลของความชื้น และความสูงเบดของข้าวเปลือกต่อความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชัน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างเครื่องทดสอบการเกิดฟลูอิดไอเซชันแบบฟลูอิด-ไอซ์เบด
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของความชื้น และความสูงเบดต่อความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันของข้าวเปลือก

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่างข้าวเปลือก

ข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองคือ ข้าวเปลือกสายพันธุ์เหลืองประทิว ซึ่งได้มาจากกลุ่มทำนาบางสน ตำบลบางสน อำเภอบึงสามพัน จังหวัดบึงสามพัน มีความชื้นเริ่มต้นที่ 15% (w.b.) ข้าวเปลือกจะถูกเพิ่มความชื้นเป็น 20 และ 26% (w.b.) โดยการเติมน้ำ ซึ่งปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปเพื่อให้ข้าวเปลือกมีความชื้นที่ต้องการ หาได้จากสมการ

$$\text{ปริมาณน้ำที่ต้องการ (L/kg)} = \left[\frac{1 - M_{w,i}}{1 - M_{w,f}} \right] - 1$$

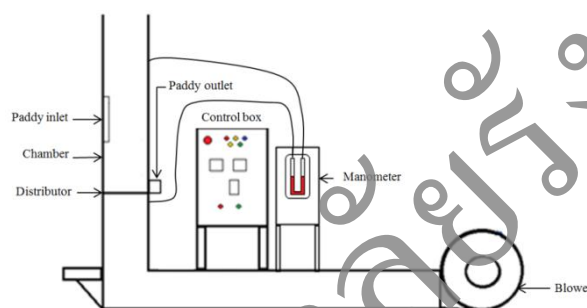
โดยที่ $M_{w,i}$ คือ ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก (% w.b.)

$M_{w,f}$ คือ ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ (% w.b.)

ข้าวเปลือกและน้ำจะถูกนำมาคลุกเคล้ากันแล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5-8 °C โดยข้าวเปลือกจะถูกนำออกมาคลุกเคล้ากันทุกๆ 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างข้าวเปลือกที่ได้ออกมาพักไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดลอง

3.2 เครื่องทดสอบความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซนชัน

เครื่องทดสอบความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซนชันที่สร้างขึ้น แสดงดังรูปที่ 1 มีส่วนประกอบหลักคือ หอทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สูง 100 cm ท่อส่งอากาศด้านล่าง 200 cm Blower ขนาด 2 HP เครื่องมือวัดความดันตกคร่อม (Manometer) และตู้ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องทดสอบความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซนชัน

3.3 วิธีการทดสอบ

นำข้าวเปลือกใส่ลงในเครื่องทดสอบความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซนชัน โดยข้าวเปลือกที่ใช้มีความชื้นเท่ากับ 15 20 และ 26% (w.b.) ความสูงเบดที่ใช้แต่ละความชื้นนั้นมี 3 ระดับ คือ 5 10 และ 15 cm หลังจากนั้นเปิด Blower เพื่อให้ลมไหลผ่านข้าวเปลือก ซึ่งความเร็วลมจะถูกควบคุมด้วย Inverter โดยการปรับความถี่ หลังจากลมไหลผ่านชั้นเบดประมาณ 30 วินาที ทำการบันทึกค่าความแตกต่างของระดับน้ำในมาโนมิเตอร์ (Manometer) แล้วจึงนำตัวอย่างข้าวเปลือกดังกล่าวออกจากเครื่องทดสอบ การทดสอบในแต่ละความเร็วจะทำ 3 ซ้ำ แล้วแสดงผลในรูปแบบของค่าเฉลี่ย

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบ 3 x 3 Factorial in completely randomized design (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างด้วยวิธีการของ Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS version-14

3.5 การคำนวณหาค่าความดันตกคร่อม

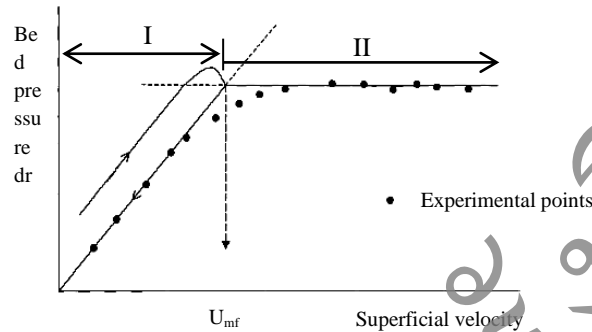
ความดันตกคร่อมสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

โดยที่ ΔP คือ ความดันตกคร่อม (Pa) ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)
 g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2) Δh คือ ผลต่างความสูงของระดับน้ำ (m)

3.6 การหาความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันที่ได้จากการทดลอง

ความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันที่ได้จากการทดลองสามารถหาได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันตกคร่อม (Pressure drop; ΔP) แสดงดังรูปที่ 2 โดยจุดที่ความเร็วของของไหลมีค่าเท่ากับความเร็วลมต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไอเซชัน คือจุดเริ่มต้นที่ให้ ΔP คงที่ (U_{mf})



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ΔP กับความเร็วของของไหลในการเกิดฟลูอิดไอเซชัน (Smith, 2007)

ความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันที่ได้จากการทดลองจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันทางทฤษฎี จะใช้สมการของ Ergun (1952) ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\frac{\rho_g (\rho_t - \rho_g) g d_s^3}{\mu_g} = \frac{150 - (1 - \epsilon_{mf})}{\phi_s^2 \epsilon_{mf}^3} (Re_s) + \frac{1.75}{\phi_s \epsilon_{mf}^3} (Re_s^2)$$

- โดยที่ ρ_g คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
 g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
 d_s คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของวัสดุ (m)
 ϵ_{mf} คือ สัดส่วนช่องว่างของอากาศขณะเกิดฟลูอิดไอเซชัน
 U_{mf} คือ ความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไอเซชัน (m/s)
 ϕ_s คือ ค่าแฟคเตอร์รูปร่าง
 μ_a คือ ความหนืดของอากาศ (Pa.s)

4. ผลการวิจัย

4.1 น้ำหนักข้าวเปลือก

ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้น 15-26% (w.b.) และความสูงเบด 5-15 cm จากผลการทดลองพบว่าที่ความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน เมื่อความสูงเบดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้น้ำหนักของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในทำนองเดียวกัน เมื่อความสูงเบดเท่ากัน น้ำหนักข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิศรา และคณะ (2555) ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวบาร์เลย์พบว่า เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นน้ำหนักเมล็ดของเมล็ดข้าวบาร์เลย์จะเพิ่มขึ้น

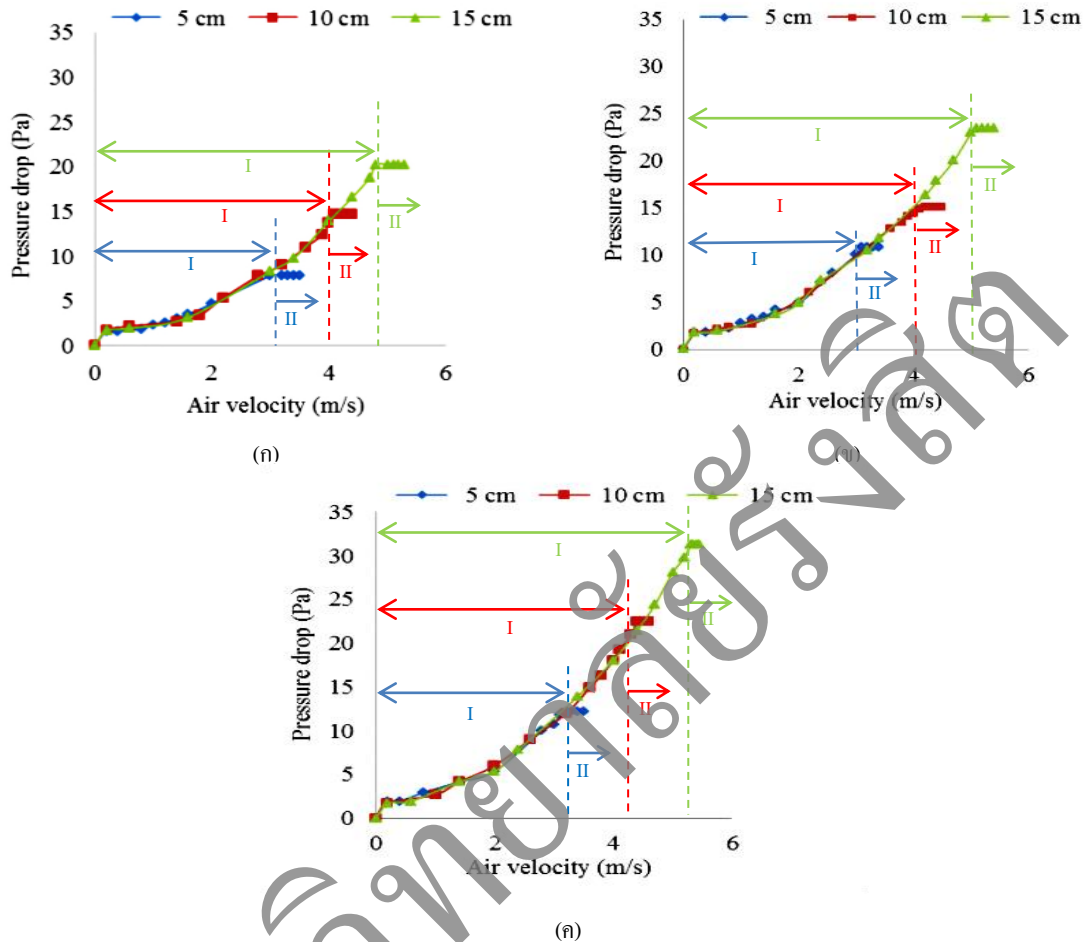
ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักข้าวที่ความชื้นเริ่มต้นและความสูงเบดต่างๆ

Initial moisture content (% w.b.)	Bed height (cm)	Paddy weight (g)
15	5	739.55±3.78 ⁱ
	10	1,465.12±2.93 ^f
	15	2,137.49±3.36 ^c
20	5	863.53±1.94 ^h
	10	1,632.92±2.51 ^c
	15	2,341.75±2.55 ^b
26	5	949.97±1.53 ^g
	10	1,731.70±1.94 ^d
	15	2,427.34±1.26 ^a

^{a-i} Mean with different superscripts in the same column are significantly different ($p < 0.05$)

4.2 ผลกระทบของความสูงเบดที่มีต่อค่าความดันตกคร่อม

รูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมเฉลี่ยที่ความสูงเบดต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าที่ความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน ความดันตกคร่อมเฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกัน โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความดันตกคร่อมเฉลี่ย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ I ความดันตกคร่อมเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงตามความเร็วลม กล่าวคือเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ความดันตกคร่อมจะเพิ่มขึ้น โดยความสูงเบดไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าความดันตกคร่อมที่เปลี่ยนไปในช่วงนี้ สังเกตได้จากค่าความดันที่ไม่แตกต่างกันเมื่อความสูงเบดเพิ่มขึ้น ช่วงดังกล่าวข้าวเปลือกที่อยู่ในหอททดลองไม่เคลื่อนที่ คมเคลื่อนที่เพียงขึ้นวัสดุได้ยาก ส่งผลให้ความดันตกคร่อมเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ผลการทดลองดังกล่าวเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ พัชรินทร์ ตาด้วง และ วีระ ฟ้าเพื่อวิทยา กุล (2555) ซึ่งศึกษาผลของความสูงเบดของเมล็ดงาต่อความเร็วลมต่ำสุดที่ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไดซ์เบด ผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมในช่วงที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วลมนั้นมีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อใช้ความสูงเบดของเมล็ดงาที่ต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม ความสูงเบดที่เพิ่มขึ้น ความเร็วลมที่ทำให้ความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ดูได้จากช่วงที่ I จะกว้างขึ้น ในช่วงที่ II ความดันตกคร่อมเฉลี่ยจะมีค่าคงที่ แม้ว่าความเร็วลมจะเพิ่มมากขึ้น โดยความชื้นเริ่มต้น 15% (w.b.) มีช่วงความดันตกคร่อมเฉลี่ยคงที่ประมาณ 7.81 14.15 และ 20.25 Pa ที่ความสูงเบด 5 10 และ 15 cm ตามลำดับ ที่ความชื้นเริ่มต้น 20% (w.b.) มีช่วงความดันตกคร่อมเฉลี่ยคงที่ประมาณ 10.74 15.13 และ 23.43 Pa ที่ความสูงเบด 5 10 และ 15 cm ตามลำดับ และที่ความชื้นเริ่มต้น 26% (w.b.) มีช่วงความดันตกคร่อมเฉลี่ยคงที่ประมาณ 11.71 22.45 และ 31.24 Pa ที่ความสูงเบด 5 10 และ 15 cm ตามลำดับ ความดันตกคร่อมเฉลี่ยคงที่เนื่องจากความเร็วลมในช่วงดังกล่าวจะทำให้ข้าวเปลือกเกิดการลอยตัวอย่างอิสระ ส่งผลให้ลมสามารถผ่านชั้นวัสดุได้อย่างสม่ำเสมอ ความดันตกคร่อมเฉลี่ยจึงมีค่าคงที่ นอกจากนี้ยังพบว่า ความสูงเบดส่งผลต่อค่าความดันตกคร่อมเฉลี่ยในช่วงความดันตกคร่อมเฉลี่ยคงที่ กล่าวคือความสูงเบดที่เพิ่มขึ้น ทำให้ช่วงความดันตกคร่อมเฉลี่ยคงที่มีค่าสูงขึ้น



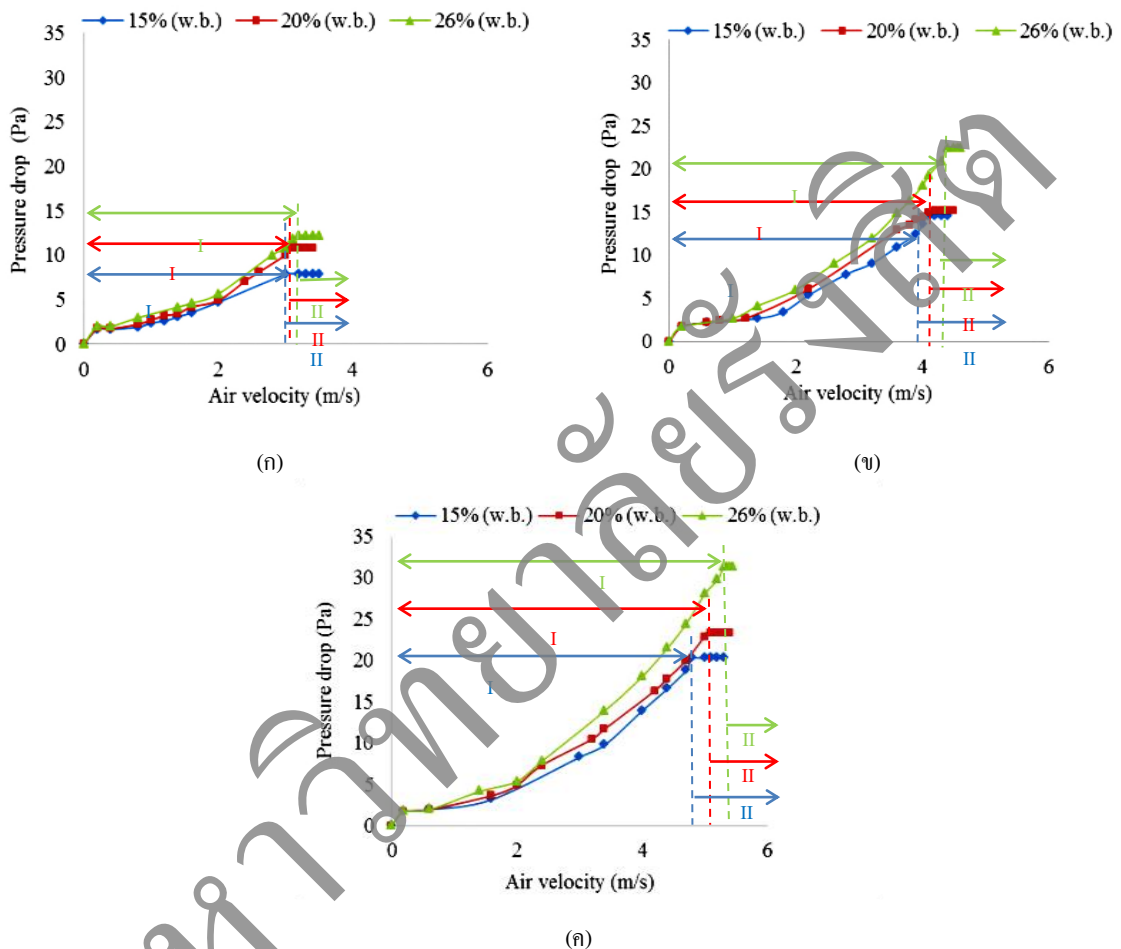
รูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมที่ความสูงเบดต่างๆ

(ก) ความชื้นเริ่มต้นที่ 15% (w.b.) (ข) ความชื้นเริ่มต้นที่ 20% (w.b.) (ค) ความชื้นเริ่มต้นที่ 26% (w.b.)

4.3 ผลกระทบของความชื้นเริ่มต้นที่มีต่อค่าความดันตกคร่อม

ในกรณีที่ข้าวเปลือกมีความสูงเบดเท่ากัน ค่าการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมเฉลี่ยที่ความชื้นเริ่มต้นต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4 จากผลการทดลองพบว่า ความชื้นเริ่มต้นส่งผลกระทบต่อความดันตกคร่อมเฉลี่ยทั้งช่วงที่ I และ II โดยความดันตกคร่อมช่วงที่ I จะเปลี่ยนแปลงตามระดับความชื้นเริ่มต้น กล่าวคือเมื่อความชื้นเริ่มต้นเพิ่มสูงขึ้น ความดันตกคร่อมเฉลี่ยจะเพิ่มสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของความดันตกคร่อมเฉลี่ยเมื่อความชื้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากน้ำหนักและค่าความพรุนของข้าวเปลือก กล่าวคือเมื่อความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้น้ำหนักของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 1 ในขณะที่ค่าความพรุนจะมีค่าลดลง (เกียรติศักดิ์ ใจโต, 2558) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้ข้าวเปลือกเกิดการลอยตัวได้ยากขึ้น ส่งผลให้ค่าความดันตกคร่อมเฉลี่ยของข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้นสูงมีค่าสูงกว่าค่าความดันตกคร่อมเฉลี่ยของข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้นต่ำ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐวุฒิ ชมโลก และคณะ (2559) ซึ่งได้ศึกษาผลของรูปแบบเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้าที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมในเครื่องทดสอบความเร็วลมต่ำสุด ในการเกิดฟลูอิดไลเซชัน ซึ่งพบว่าเมล็ดสารกาแฟมีค่าความดันตกคร่อม

สูงกว่าเมล็ดกาแฟสด เนื่องจากเมล็ดสารกาแฟมีค่าความพรุนน้อยกว่า นอกจากนี้ความชื้นเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเร็วลมที่ทำให้ความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้น มีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ดูได้จากช่วงที่ I จะกว้างขึ้น สำหรับช่วงที่ II ความดันตกคร่อมเฉลี่ยคงที่ พบว่าความชื้นเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความดันตกคร่อมเฉลี่ยคงที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงความดันตกคร่อมที่ความชื้นเริ่มต้นต่างๆ
(ก) ความสูงเบดที่ 5 cm (ข) ความสูงเบดที่ 10 cm (ค) ความสูงเบดที่ 15 cm

4.4 ความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไลเซชัน

ค่าความเร็วลมต่ำสุดที่ความชื้นเริ่มต้น 15 20 และ 26% (w.b.) และความสูงเบด 5 10 และ 15 cm แสดงดังตารางที่ 2 จากผลการทดลองพบว่า ความชื้นเริ่มต้น และความสูงเบดส่งผลกระทบต่อความเร็วลมต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือเมื่อความชื้นเริ่มต้น และความสูงเบดเพิ่มขึ้น ค่าความเร็วลมต่ำสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 15 20 และ 26% (w.b.) จะมีค่าความเร็วลมต่ำสุดอยู่ในช่วง 3.0-4.8 3.1-5.1 และ 3.2-5.3 m/s ตามลำดับ ค่าความเร็วลมต่ำสุดที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจาก น้ำหนักของข้าวเปลือก การเพิ่มขึ้นของความชื้นเริ่มต้น และความสูงเบด จะทำให้น้ำหนักของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 1 ส่งผลให้ความเร็วลมที่จะทำให้ข้าวเปลือกลอย

ตัวอย่างอิสระมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชันที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี พบว่าค่าความเร็วลมต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณมีค่าต่ำกว่าค่าความเร็วลมต่ำสุดที่ได้จากการทดลอง โดยค่าความเร็วลมต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 1.1 m/s

ตารางที่ 2 แสดงค่าความเร็วลมต่ำสุดที่ความชื้นเริ่มต้นและความสูงเบดต่างๆ

Initial moisture content (% w.b.)	Bed height (cm)	Minimum air velocity (m/s)
15	5	3.0 ± 0.14 ^a
	10	4.1 ± 0.25 ^b
	15	4.8 ± 0.24 ^c
20	5	3.1 ± 0.14 ^b
	10	4.2 ± 0.23 ^c
	15	5.1 ± 0.14 ^b
26	5	3.2 ± 0.14 ^b
	10	4.4 ± 0.28 ^d
	15	5.3 ± 0.28 ^a

^{a-c} Mean with different superscripts in the same column are significantly different (p < 0.05)

5. การอภิปรายผล

จากผลการทดลอง พบว่าค่าความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชันจะขึ้นอยู่กับความสูงเบดและความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก ดังนั้นก่อนการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดเซชันเบด จึงจำเป็นต้องทราบปริมาณการอบแห้ง และความชื้นเริ่มต้น จึงจะสามารถเลือกใช้ความเร็วลมที่เหมาะสมได้ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความเร็วลมต่ำสุดที่ได้จากการทดลองมีค่าแตกต่างจากค่าความเร็วลมต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณตามสมการของ Ergun โดยค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ทั้งนี้จะเป็นผลมาจากตัวแปรต้นของตัวอย่างข้าวเปลือกที่ไม่เท่ากัน เช่น ค่าความชื้นเริ่มต้น เป็นต้น ซึ่งตัวแปรดังกล่าวส่งผลต่อค่าความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชัน อย่างไรก็ตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วลมต่ำสุดที่ได้จากการทดลอง เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับงานวิจัยของ พัชรินทร์ ตาด้วง และ วีระ ฟ้าเพื่อวิทยากุล (2555) และ ณัฐวุฒิ ชมโลก และคณะ (2559)

6. บทสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความชื้นเริ่มต้นที่ 15 20 และ 26% (w.b.) และความสูงเบดที่ 5 10 และ 15 cm ต่อความเร็วลมต่ำสุดในเครื่องทดสอบการเกิดฟลูอิดเซชันของข้าวเปลือกสายพันธุ์เหลืองประทิว ซึ่งความชื้นเริ่มต้นและความสูงเบดของข้าวเปลือกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชันมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ตัวแปรทั้งสองส่งผลต่อน้ำหนักและความพรุนของข้าวเปลือก ส่งผลให้ความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกัน ค่าความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชันจึงมีค่าแตกต่างกัน ผลที่ได้จากการวิจัยนี้จะถูกนำไปสร้างสมการค่าความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดเซชันที่มีความสัมพันธ์กับความชื้นเริ่มต้นและความสูงเบดต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

8.เอกสารอ้างอิง

- เกียรติศักดิ์ ใจโต. (2558). การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดสำหรับอบแห้งมะพร้าวหูด. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ณัฐภูมิ ชมโลก ปองพล บุญนอม และ วิศ พนาสุวรรณรัตน์. (2559). เครื่องทดสอบความชื้นลมต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซนชันของเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้า. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร.
- พัชรินทร์ ดาดัง และ วีระ ฟ้าเพ็ญวิทยากุล. (2555). การอบแห้งเมล็ดงาโดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไอซ์เบด. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 4-5 เมษายน 2555, จังหวัดเชียงใหม่.
- พิรสิทธิ์ ทวยนาก มณฑล ชูโซนาท มุสตาฟา ยะกา และ ประช บุญยวนิชกุล. (2557). การทบทวนการพัฒนาการของความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม. วารสารวิศวกรรมศาสตร์. 9 (1): 68-74.
- วิศรา สารนิตย์ อริสรา เลียงประสิทธิ์ เอกนุช แยมเกสร และ วสันต์ อินทร์ตา. (2555). ผลของความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวบาร์เลย์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์ ณัฐพล แสนคำวงษ์ รัชชัย โคตรสาขา และ อุเทน สุวิชา. (2553). ศึกษาผลของน้ำหนักรองวัสดุที่มีต่อการเกิดฟลูอิดไอเซนชัน. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น.
- สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. (2559). การส่งออกข้าวสาร. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.thairiceexporters.or.th/>, เข้าดูเมื่อวันที่ 6/01/2560.
- Chungcharoen, T., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. and Tuntrakul, P. (2015). Quality attributes of germinated high amylose and waxy rices in superheated steam and hot air dryings. *Drying Technol.* 33: 876-885.
- Ergun, S. (1952). Fluid flow through packed columns. *Chem. Eng. Prog.* 48(2): 89-94.
- Nimmol, C. (2012). Energy efficiency of paddy dehydration process using pneumatic dryer with spiral-pipe drying column. *KKU Res. J.* 17 (1): 97-109.
- Smith, P.G. (2007). *Applications of fluidization to food processing*. Oxford: Blackwell Science.
- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Varanyanond, W. and Soponronnarit, S. (2009). Germinated brown rice drying by hot-air fluidization technique. *Drying Technol.* 29: 55-63.
- Taechapairoj, C., Prachayawarakorn, S. and Soponronnarit, S. (2006). Modelling of parboiled rice in superheated-steam fluidized bed. *J. Food Eng.* 76: 411-419.