

ผลกระทบของแผ่นกั้นต่ออัตราการอบแห้งเม็ดพริกไทยในเครื่องอบแห้ง ฟลูอิดไดซ์เบด

Effect of baffle on drying rate of peppercorns in a fluidized bed dryer

อาณัติ พิลลา บุญญฤทธิ์ คำภูมิ สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
เลขที่ 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10530

พิทักษ์ พร้อมไธสง

หน่วยวิจัยต่อความร้อนและออกแบบอุปกรณ์ทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
เลขที่ 41 ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย 44150

และ วรีสา ชูวัฒนกุล*

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10520

*Corresponding author: Email: varesa.ch@kmitl.ac.th

Manuscript received June 16, 2022

Revised June 27, 2022

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการอบแห้งของพริกไทยโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งแผ่นกั้นสร้างความปั่นป่วนที่มีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระยะห่างของแผ่นกั้น ($PR = 0.5, 0.55$ และ 0.6) ในระหว่างการทดสอบจะทำการวัดมวลของพริกไทยทุก ๆ 15 นาที เพื่อตรวจสอบหาการลดลงความชื้น จากการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้นลดลงอย่างมากในช่วง 20 นาทีแรก จากนั้นค่อย ๆ ลดลง และความชื้นจะมีค่าคงที่เมื่อผ่านไปเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงของการอบแห้ง นอกจากนี้ เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งแผ่นกั้นสร้างความปั่นป่วนสามารถลดความชื้นได้สูงกว่าเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบดั้งเดิมประมาณ 20% ในสภาวะเงื่อนไขของการทำงานที่ใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์ พริกไทย แผ่นกั้นสร้างความปั่นป่วน

ABSTRACT

This paper studied the characteristics of drying peppers using a fluidized bed dryer fitted with baffle turbulators at various pitch ratios ($PR = 0.5, 0.55$, and 0.6). During each test, the mass of pepper was measured every 15 minutes to determine moisture removal. It can be found that moisture content considerably decreased in the first 20 minutes and then gradually decreased before moisture became constant at 3 hr of drying. In addition, the fluidized bed dryer fitted with baffle turbulators gave a higher drying rate than a typical fluidized bed dryer (without baffle) by 20% at similar operating conditions.

Keywords: Fluidized bed dryer, peppercorn, baffle turbulators

1. ที่มาและความสำคัญ

พริกไทย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า “Piper nigrum” จัดว่าเป็นราชาแห่งเครื่องเทศ ที่มีคุณค่าทางสารอาหาร เป็นยารักษาโรค และนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหย เป็นพืชสมุนไพรของคนไทยที่มีมาอย่างช้านาน โดยมีถิ่นกำเนิดมาจากประเทศอินเดีย พริกไทยเป็นไม้เถาเลื้อยยืนต้น ลำต้นเป็นปล้อง มีรากฝอยตามข้อใช้ในการยึดเกาะ ใบเดี่ยว รูปรี ออกเรียงสลับตามข้อ และกิ่งปลายใบแหลม ขอบใบเรียบ คล้ายใบพลู มีดอกสีขาว ออกเป็นช่อตามข้อ ช่อดอกแต่ละช่อจะมีดอกฝอยประมาณ 70-85 ดอก ผลออกเป็นช่อทรงกระบอกกลมยาว ช่อผลเป็นสีเขียว เมื่อแก่เป็นสีเหลืองและแดง ภายในมีเมล็ดกลม มีลักษณะคือ ผลเป็นพวงเม็ดขนาดเล็ก และเป็นเครื่องเทศที่ให้รสเผ็ดร้อน มีกลิ่นหอม เราสามารถนำมาทำพริกไทยแห้งเป็นเครื่องปรุงสำหรับอาหาร ซึ่งถ้าทำแห้งทั้งเปลือกจะได้พริกไทยดำเนื่องจากผลของเปลือกเป็นสีดำปนอยู่ ส่วนพริกไทยขาวได้จากการลอกเปลือกออกก่อนทำเป็นผง ทุกส่วนของเมล็ดพริกไทยมีประโยชน์แทบทั้งสิ้น ดอกพริกไทยมีสรรพคุณใช้แก้ตาแดงเนื่องจากความดันโลหิตสูง เมล็ดพริกไทยมีสรรพคุณใช้เป็นยาช่วยย่อยอาหาร ย่อยพืชตกค้างที่ไม่สามารถย่อยได้ ขับเสมหะ บำรุงธาตุ แก้ท้องอืด แก้ปวดท้อง ขับเหงื่อ ขับปัสสาวะ แก้ลมอัมพฤกษ์และระดูขาว ในเมล็ดพริกไทยมีสารไปเปอริน และสารฟีนอลิกส์ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มีสรรพคุณช่วยป้องกันมะเร็ง มีฤทธิ์กระตุ้นประสาท และแก้โรคลมชักหรือลมบ้าหมูได้ ใบพริกไทย มีสรรพคุณใช้แก้ลมจุกเสียด แก้ปวดท้อง เถาพริกไทย ใช้แก้เสมหะในทรวงอกและอาการท้องร่วงขั้นรุนแรง และท้องเดิน รากพริกไทย ใช้ขับลมในลำไส้ แก้ปวดท้อง วิงเวียน และช่วยย่อยอาหารน้ำมันในพริกไทยช่วยลดน้ำหนัก และสามารถใช้นวดส่วนที่ต้องการลดได้ พริกไทยมีแคลเซียมในปริมาณที่สูงมาก โดยเฉพาะพริกไทยอ่อน ซึ่งแคลเซียมเป็นส่วนสำคัญในการบำรุงกระดูกและฟันให้แข็งแรงอยู่เสมอ และยังสามารถป้องกันการเกิดภาวะกระดูกพรุนได้อีกด้วย มีฟอสฟอรัสและวิตามินซี ซึ่งวิตามินซีนั้นเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของเซลล์ ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง มีเบต้าแคโรทีนซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการสร้างวิตามินเอ และมีส่วนช่วยในการมองเห็น [1] – [5]

พริกไทยที่นิยมปลูกในประเทศไทยมี 6 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ใบหนา พันธุ์ควายขวิด พันธุ์บ้านแก้ว พันธุ์ปรางอีธรรมดา พันธุ์ปรางอีใบหยิก และพันธุ์ขิงหรือพันธุ์ซาราวัก สำหรับที่นิยมปลูกที่สุด คือ

พันธุ์ขิงหรือพันธุ์ซาราวัก เพราะสามารถทนต่อโรครากเน่าได้ มีการปลูกมากที่สุดที่จังหวัดจันทบุรี จากคุณสมบัติของเมล็ดพริกไทยที่ได้กล่าวมานั้น นับว่าเมล็ดพริกไทยเป็นพืชสมุนไพรที่มีคุณประโยชน์มากมาย [6] ดังนั้น เพื่อที่จะแปรรูปผลิตภัณฑ์เมล็ดพริกไทยด้วยวิธีการอบแห้งเมล็ดพริกไทยสด และเมล็ดพริกไทยยังคงคุณค่าทางสารอาหาร เราจะต้องเลือกใช้วิธีเทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิดไรเซชัน เนื่องจากเทคนิควิธีนี้จะทำให้คุณสมบัติของอนุภาคหรือเมล็ดพริกไทยมีลักษณะทางกายภาพเป็นลูกทรงกลม จึงมีความเหมาะสมสำหรับการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไรเซชัน [7] – [8]

ซึ่งได้มีนักวิจัยหลายท่านดำเนินการพัฒนากระบวนการอบแห้งด้วยเทคนิคต่าง ๆ มาอย่างต่อเนื่อง เช่น งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งเมล็ดพริกไทยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไรเซชัน เช่น Kangsanthia และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาลักษณะของการอบแห้งเมล็ดพริกไทยด้วยเทคนิคลมหมุนควงที่ภายในหอบมีการติดตั้งใบพัด โดยทำการอบในหอบทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.17 เมตร สูง 1 เมตร ภายในหอบมีการติดตั้งครีบทวนตามแนวดิ่ง พบว่า ในการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไรเซชันแบบดั้งเดิม ความเร็วลมไม่มีผลต่อการอบแห้งของเมล็ดพริกไทย แต่ในการอบแห้งด้วยเทคนิคลมหมุนควงที่มีการใส่ครีบทวนในหอบทดลอง พบว่า ความเร็วลมมีผลต่อการลดความชื้นของเมล็ดพริกไทยและช่วยให้ความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดพริกไทยระเหยออกได้เร็วขึ้นเนื่องจากการติดตั้งครีบทวนทำให้เมล็ดพริกไทยมีการสั่นและไหลอย่างปั่นป่วนของลมร้อนและช่วยให้เกิดการกระจายตัวของเมล็ดพริกไทยในหอบทดลองเพิ่มมากขึ้น ทำให้เพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนทำให้การอบแห้งเร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 เทคนิคจะพบได้ว่าการอบแห้งเมล็ดพริกไทยด้วยเทคนิคลมหมุนควงที่มีการติดตั้งครีบทวนให้ผลที่ดีกว่าแบบเทคนิคฟลูอิดไรเซชันแบบดั้งเดิม ต่อมา Boon-Loi และคณะ [10] ทำการศึกษาเปรียบเทียบถึงคุณลักษณะของการอบแห้งเมล็ดพริกไทยด้วยเทคนิคฟลูอิดไรเซชันกับเทคนิคฟลูอิดไรเซชันแบบหวนวนเวียน ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้เมล็ดพริกไทย 200 กรัม มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 400% (มาตรฐานแห้ง) ทดลองที่อุณหภูมิ 80 °C โดยใช้ความเร็วของอากาศภายในหอบทดลอง 1.7, 2.1 และ 2.6 m/s และใช้เวลาการทดลองในแต่ละกรณี 180 นาที โดยทำการวัดความชื้นที่ลดลงของเมล็ดพริกไทยทุก ๆ 10 นาที ซึ่งผลจากการทดลองจะนำมาเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบฟลูอิดไรเซชันแบบดั้งเดิม พบว่า ความเร็วลมมีผลต่อ

การลดค่าความชื้นของเมล็ดพริกไทย โดยช่วยให้ความชื้นที่อยู่ในเมล็ดสามารถระเหยออกได้เร็วขึ้น เนื่องจากห่อผิวคลื่นทำให้เมล็ดมีการเคลื่อนที่ลักษณะของไหลแบบปั่นป่วน เกิดการสั่นและกระจายตัวในห่อทดลองเพิ่มมากกว่าเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบตแบบดั้งเดิม ทำให้เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงประมาณ 50%

Boon-Loi และ Promvong [11] ได้ทำการศึกษาค้นลักษณะของการอบแห้งเมล็ดพริกไทยด้วยเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบตที่มีแผ่นกระจายแบบเกลียวภายในห่อทดลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.13 เมตร สูง 1 เมตร ด้านล่างของห่อทดลองจะมีแผ่นกระจายเกลียว ซึ่งจะเป็นตัวทำให้เกิดการหมุนควงของลมร้อนภายในห่อ โดยในการทดลองแต่ละครั้งใช้เมล็ดพริกไทยที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 80% (มาตรฐานเปียก) มวล 0.2 kg ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 80 °C และใช้ความเร็วของอากาศภายในห่อทดลอง $1.3U_{mf}$, $1.6U_{mf}$ และ $2U_{mf}$ พบว่า ในการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบตแบบดั้งเดิม ความเร็วลมไม่มีผลต่อการอบแห้งของเมล็ดพริกไทยแต่ในการอบแห้งด้วยเทคนิคแบบฟลูอิดไคซ์เบตที่มีแผ่นกระจายแบบเกลียว พบว่า ความเร็วลมมีผลต่อการลดความชื้นของเมล็ดพริกไทย และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 รูปแบบ พบว่า การอบแห้งเมล็ดพริกไทยด้วยเทคนิคแบบฟลูอิดไคซ์เบตที่มีแผ่นกระจายแบบเกลียวให้ผลที่ดีกว่าแบบฟลูอิดไคซ์เบตแบบดั้งเดิม โดยสามารถลดเวลาในการอบแห้งได้ถึง 30% ต่อมา Promvong และคณะ [12] ทำการศึกษารอบแห้งเม็ดพริกไทยโดยใช้หลักการอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบต 2 รูปแบบ คือ การอบแห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบตทรงสี่เหลี่ยมและการอบแห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบตแบบผนังหักสามเหลี่ยม 2 ด้าน ผลของการทดลองพบว่า อุณหภูมิอากาศและความเร็วอากาศแสดงให้เห็นผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการอบแห้งทั้งสองชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิภายในเบตมีค่า 100 องศาเซลเซียส และ U^* เท่ากับ 2.0 การอบแห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบตแบบผนังหักสามเหลี่ยม 2 ด้านให้ผลที่ดีกว่าการอบแห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบตทรงสี่เหลี่ยม เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งที่เร็วและค่าเฉลี่ยของเวลาในการอบแห้งของเครื่องฟลูอิดไคซ์เบตแบบผนังหักสามเหลี่ยม 2 ด้าน ที่อัตราส่วนปิดล้อม (e/H) เท่ากับ 0.3125, 0.375 และ 0.4375 จะมีค่าเท่ากับ 29%, 36% และ 43% ตามลำดับ ต่อมา Ozbey และ Soylemez [13] ทำการศึกษารอบแห้งแบบเป็นช่วง (Batch) สำหรับการอบแห้งเมล็ดข้าวสาลี (Wheat grains)

ด้วยวิธีฟลูอิดไคซ์เบตโดยให้การไหลของตัวกลางในการอบแห้งเป็นแบบหมุนควง พบว่า การไหลแบบหมุนควงจะส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าในการหมุนควงอยู่ในช่วง 0.2 - 0.85 การดูดซับความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น 5-25% และค่าสมรรถนะในการอบแห้งเพิ่มขึ้น 38% เมื่อเปรียบเทียบกับกรอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบตแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.85 สำหรับในกรณีที่มีการอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบตที่ใช้เทคนิคการหมุนควง ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ทราบว่า การใช้วิธีสร้างความปั่นป่วนภายในห่อเบตสามารถทำให้เพิ่มอัตราการอบแห้งได้รวดเร็วและระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง และจะสังเกตได้ว่า ผลการทดลองในทุก ๆ เงื่อนไขจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่ากรณีที่ไม่มีการสร้างความปั่นป่วน ดังนั้น ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะออกแบบชิ้นงานใหม่ให้มีความแตกต่างภายใต้ความสอดคล้องและเป็นไปอย่างถูกต้อง ตามแนวทางของผู้วิจัยท่านอื่นๆ ที่ผ่านมา

2. ทฤษฎีการอบแห้ง

2.1 ความชื้นในวัสดุ (Moisture Content, M)

นิยามความชื้นในวัสดุจะสามารถหาได้ 2 แบบ คือ ความชื้นมาตรฐานเปียกและความชื้นมาตรฐานแห้ง โดยความชื้นมาตรฐานเปียก (M_w) เป็นที่นิยมใช้กันในเชิงพาณิชย์โดยจะอ้างอิงอยู่ในรูปของค่าเปอร์เซ็นต์

$$M_w = \frac{w - d}{w} \times 100\% \quad (1)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (M_d) นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะมวลแห้งจะมีค่าคงที่ตลอดช่วงของการอบแห้ง

$$M_d = \frac{w - d}{d} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ w คือ มวลของวัสดุ (kg)

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้นอยู่ภายในเมล็ด) (kg)

ความชื้นมาตรฐานแห่งนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งสามารถช่วยให้การคำนวณสะดวกและง่ายยิ่งขึ้น เป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้งที่ โดยเฉพาะผลผลิตทางการเกษตรส่วนมากจะเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการหายใจ จึงมีการเผาผลาญสารอาหารทำให้มวลแห้งลดลง และมวลแห้งจะลดลงเพียงเล็กน้อย

2.2 อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR)

อัตราการอบแห้ง คือ ความชื้นที่ออกจากวัสดุต่อช่วงเวลาการอบแห้ง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง หรือเป็นอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในวัสดุอบแห้งต่อเวลาในหน่วย kg/hr หาได้ดังสมการ

$$DR = d(M_t - M_{t+\Delta t}) / t \quad (3)$$

เมื่อ M_t คือ ความชื้นที่เวลา t (kg water)

$M_{t+\Delta t}$ คือ ความชื้นที่เวลา $t+\Delta t$ (kg water)

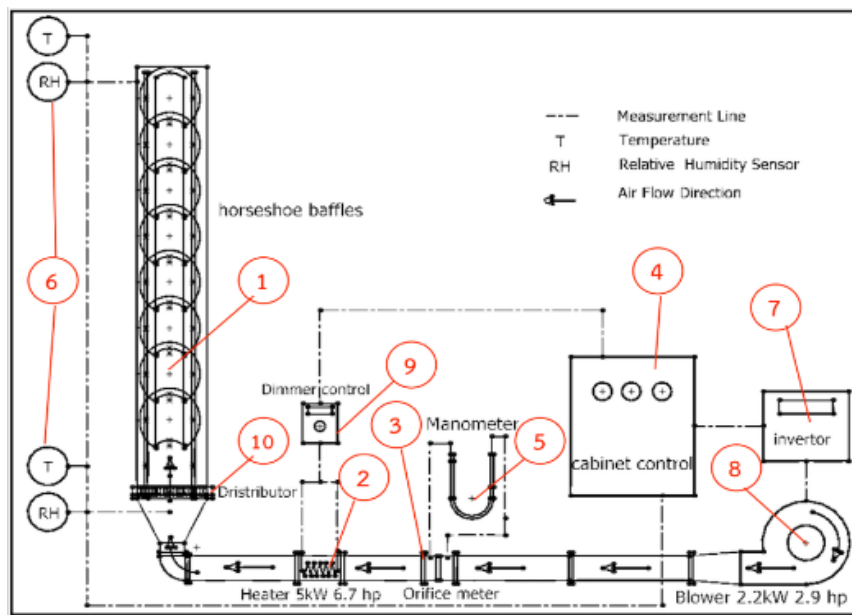
t คือ เวลา (s, min)

3. ชุดการทดลองและวิธีการทดลอง

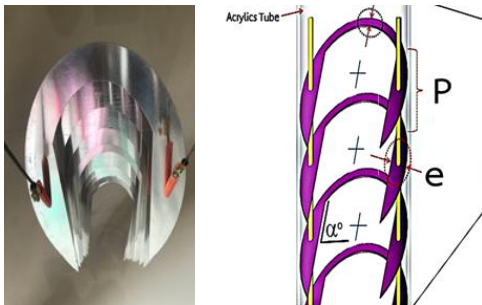
ในหัวข้อนี้จะนำเสนออุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย รายละเอียดขั้นตอนการออกแบบชุดแผ่นกันสร้างความปั่นป่วน วิธีการทดลองและหลักการทำงานเบื้องต้น โดยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งแผ่นกันสร้างความปั่นป่วนจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้

- 1) แผ่นกันสร้างความปั่นป่วน (Fitted baffle turbulator)
- 2) ชุดให้ความร้อน (Electrical heater)
- 3) ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ (Orifice flow meter)
- 4) ตู้ควบคุม (Cabinet control)
- 5) อุปกรณ์วัดความดันตกคร่อม (Pressure differential gage)
- 6) ชุดวัดความชื้นและอุณหภูมิ
- 7) ชุดควบคุมมอเตอร์ (Inverter)
- 8) บLOWER (Blower)
- 9) ชุดควบคุมความร้อน (Dimmer control)
- 10) แผ่นกระจายลม (Distributor plate)

รูปที่ 1 และ 2 แสดงรายละเอียดการทำงานของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งแผ่นกันสร้างความปั่นป่วน โดยการทำงานจะเริ่มจากการเปิดพัดลม (บLOWER) เพื่อสร้างอากาศให้ไหลเวียนในระบบ อากาศจะไหลผ่านชุดวัดอัตราการไหลของอากาศที่มีการแสดงผลผ่านอุปกรณ์วัดความดันตกคร่อมแบบดิจิตอล และใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วมอเตอร์ (อินเวอร์เตอร์) ในการปรับความถี่ของพัดลมตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ (มีการสอบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าความถี่ระดับต่างๆ กับปริมาณความเร็วของอากาศที่ต้องการ) โดยเครื่องวัดความเร็วของอากาศที่ใช้ในการทดลองจะมีช่วงของการวัดอยู่ที่ 0 - 30 m/s (ความแม่นยำ $\pm 2\%$) จากนั้นอากาศไหลผ่านท่อที่ติดตั้งขดลวดความร้อน (ฮีตเตอร์) ขนาด 2.5 kW ซึ่งความร้อนสามารถควบคุมได้โดยใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิให้ปริมาณความร้อนอย่างมีค่าคงที่และสามารถตั้งค่าตามอุณหภูมิที่กำหนด ในการวัดอุณหภูมิจะใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ RTD Pt100 เพื่อผลของอุณหภูมิที่แม่นยำ (ความแม่นยำในการวัด $\pm 0.15 + 0.02T$ °C) เมื่ออากาศไหลผ่านท่อขดลวดความร้อนจะทำให้อากาศที่ไหลผ่านเข้าไปในเบดมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยก่อนการเริ่มทำงานจะต้องนำเมล็ดพริกไทยไปใส่หอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด เมล็ดพริกไทยที่เตรียมไว้โดยจะต้องล้างทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่ติดมาด้วยออกให้หมดเสียก่อน จากนั้นพักให้สะเด็ดน้ำผึ่งให้แห้งแล้วนำหนักเมล็ดพริกไทยให้ได้มวล 200 g โดยการชั่งมวลของเบดทั้งชุด ตั้งค่าให้เครื่องชั่งวัดมวลให้เบดมีน้ำหนักเป็นศูนย์ เหตุผลที่ทำเช่นนี้ก็เพราะว่าให้ง่ายต่อการชั่งและบันทึกข้อมูลของมวลเมล็ดพริกไทย เครื่องชั่งดิจิตอลที่ใช้ในการวัดค่ามวลมีค่าความละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง (มีค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด ± 0.01 g) จากนั้นให้เมล็ดพริกไทยที่ชั่งไว้ก่อนหน้านี้ลงไปใส่ในเบด พร้อมทั้งสังเกตมวลรวมทั้งเบดและเมล็ดพริกไทยอยู่ที่ 200 g แล้วนำไปติดตั้งที่เครื่องอบแห้งที่ได้เปิดเครื่องไว้ก่อนหน้านี้ ขั้นตอนต่อมาจะทำการวัดและบันทึกค่าที่ได้จากการทดลอง โดยทำการวัดค่ามวลของเมล็ดพริกไทยทุกๆ 15 นาที จนถึงเวลา 3 ชั่วโมง (จนเสร็จสิ้นการอบแห้ง) และทำการวัดความดันตกคร่อมเบด (เครื่องมือวัดความดันตกคร่อมจะมีช่วงของการวัดความดันอยู่ที่ 0-0.1 in. wc. ที่มีความแม่นยำ $\pm 1\%$) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เช่น การลดลงของความชื้น อัตราส่วนความชื้น อัตราการอบแห้ง และความดันตกคร่อมเบดจะถูกนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองต่อไป



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรเซชันที่ติดตั้งแผ่นกั้นสร้างความปั่นป่วน



รูปที่ 2 รายละเอียดของท่อทดลองที่ติดตั้งแผ่นกั้นสร้างความปั่นป่วน

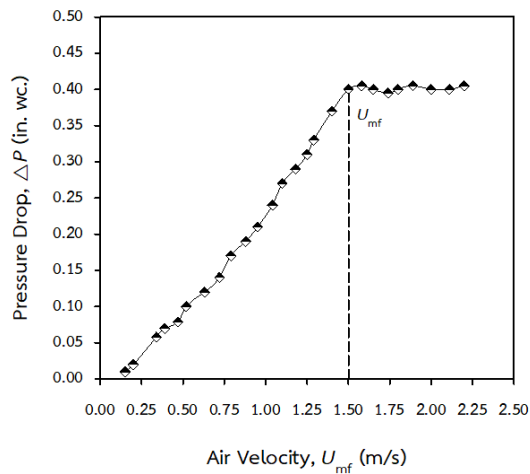
4. ผลการทดลอง

4.1 ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไรเซชัน

จากการทดลองผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาความเร็วต่ำสุดที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้กับการทดลองการอบแห้งเมล็ดพริกไทย โดยได้ความเร็วลมที่ 1.5 m/s ซึ่งในช่วงนี้เบดของเมล็ดพริกไทยเกิดการสั่นและเคลื่อนที่เนื่องจากแรงในการไหลของอากาศมากกว่าแรงต้านน้ำหนักของเมล็ดพริกไทย ซึ่งเราเรียกค่านี้ว่า

“ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไรเซชัน (Minimum fluidization velocity, U_{mf})”

ผลการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไรเซชันจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกความดันตกคร่อมยังคงที่ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น เมล็ดพริกไทยจะยังไม่ขยับตัว ซึ่งลักษณะแบบนี้เราจะเรียกว่า เบดนิ่ง (Fixed bed) และถ้าเพิ่มความเร็วของอากาศขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้เมล็ดพริกไทยเริ่มมีการขยับตัว จนกระทั่งที่ความเร็วลม 1.5 m/s การขยายตัวของเบดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ โดยค่าความดันตกคร่อมเบดจะมีค่าคงที่และทำให้เมล็ดพริกไทยเริ่มเคลื่อนที่แบบอิสระ ซึ่งจากการทดลองดังกล่าว จึงเลือกใช้ความเร็วเริ่มต้นที่ทำให้เกิดฟลูอิดไรเซชันที่ความเร็วลม 1.5 m/s จากนั้น ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยการเพิ่มความเร็วขึ้นไปอีกโดยกำหนดช่วงไว้คือตั้งแต่ $1.0U_{mf}$ จนถึง $2.0 U_{mf}$ ที่มีช่วงความเร็วของอากาศอยู่ที่ 1.5 m/s จนถึง 2.25 m/s (ค่าความดันตกคร่อมเบดมีค่าคงที่) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงกำหนดความเร็วเริ่มต้นห่างกันเป็นช่วงช่วงละ $0.2U_{mf}$ คือ $1.5U_{mf}$, $1.7U_{mf}$ และ $1.9U_{mf}$ โดยผลการทดลองหาความเร็วต่ำสุดหาได้จากผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3



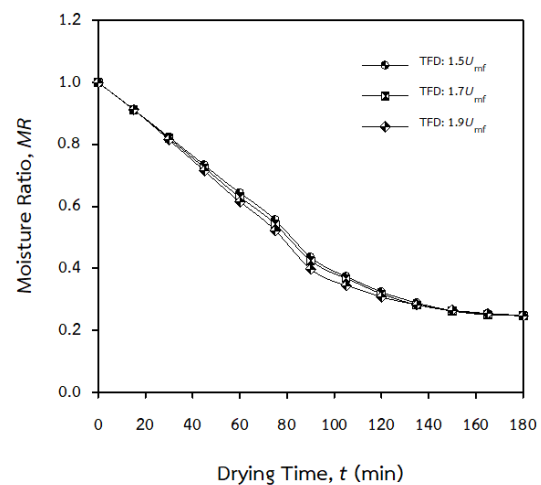
รูปที่ 3 ความเร็วเริ่มต้นที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน

4.2 ผลกระทบของความเร็วมต่อการลดลงของความชื้นในเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบดั้งเดิม

จากการทดลองการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศร้อนทางเข้าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบดั้งเดิม (Typical fluidized bed dryer, TFD) ที่มีการป้อนอุณหภูมิความร้อนทางเข้าหอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 80 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และทำการปรับเปลี่ยนความเร็วของอากาศอยู่ที่ $1.5U_{mf}$, $1.7U_{mf}$ และ $1.9U_{mf}$ พบว่า การปรับความเร็วมที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการลดความชื้นของเมล็ดพริกไทย ทำให้การอบแห้งเป็นไปได้อย่างช้าๆ และระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4

4.3 ผลกระทบของอัตราส่วนระยะห่างแผ่นกั้นต่อการลดลงของความชื้น

อิทธิพลของอัตราส่วนระยะห่างแผ่นกั้น ($P/D = 0.5, 0.55$ และ 0.6) ต่อการลดลงของความชื้นในเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งแผ่นกั้นสร้างความเป็นปั่นป่วน (Fluidized bed dryer with baffle turbulator, FBT) ได้ถูกนำเสนอด้วยรูปที่ 5 ภายใต้เงื่อนไขที่ความเร็วม $1.9U_{mf}$ และอุณหภูมิอบแห้ง 80 °C จากผลการทดลองปรากฏว่า อัตราส่วนระยะห่าง (P/D) เท่ากับ 0.6 สามารถลดความชื้นของเมล็ดพริกไทยได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เนื่องจากการปรับ



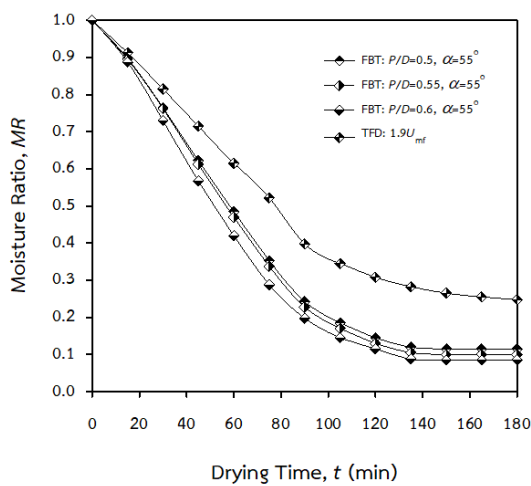
รูปที่ 4 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบดั้งเดิมที่อุณหภูมิ 80 °C

อุณหภูมิอบแห้งให้สูงขึ้นทำให้เป็นการเพิ่มความร้อนแฝงของการระเหยน้ำให้เพิ่มขึ้นด้วยและกระแสอากาศที่ไหลจะส่งผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่ามากขึ้นด้วย ซึ่งสามารถเห็นได้จากข้อมูลในรูปที่ 4 และเมื่อทำการเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบดั้งเดิม (TFD) กับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งแผ่นกั้นสร้างความเป็นปั่นป่วน (FBT) พบว่า อัตราส่วนระยะห่างของแผ่นกั้นมีผลกระทบต่อการลดลงของความชื้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งแผ่นกั้นสร้างความเป็นปั่นป่วน (FBT) ที่นำมาใส่ในชุดการทดลองจะสามารถลดความชื้นได้ดีกว่าเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบดั้งเดิม (TFD) เพราะการติดตั้งแผ่นกั้นในชุดทดลองทำให้เกิดการไหลของอากาศที่หมุนวนและปั่นป่วนอย่างรุนแรง ซึ่งเป็นตัวช่วยทำให้อัตราการอบแห้งของเมล็ดพริกไทยมีค่าเพิ่มขึ้นและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นลง

4.4 อัตราการอบแห้งของเมล็ดพริกไทย

จากการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดพริกไทยเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สำคัญเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งว่ามีผลการลดความชื้นที่ดีหรือไม่ โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีแนวโน้มของอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ดีจากการทดลองด้วย

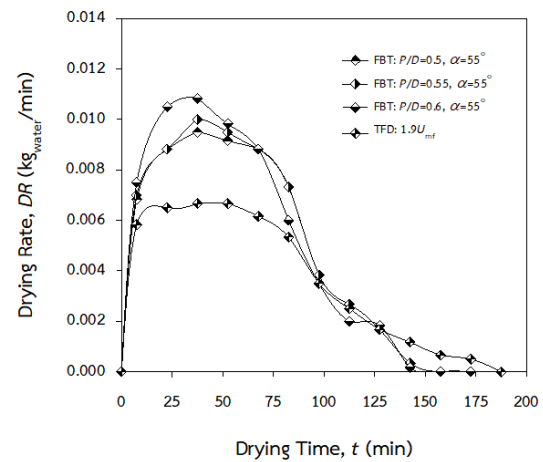
เงื่อนไขแบบต่างๆ ที่มีความแตกต่างกันไป โดยส่วนใหญ่แล้วให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งสามารถลดความชื้นของเมล็ดพริกไทยได้ดีมากขึ้น และจากสมมุติฐานงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงถ้าออกแบบเครื่องอบแห้งที่ติดตั้งแผ่นกันสร้างความปั่นป่วนแล้วจะสามารถส่งผลให้อัตราการอบแห้งเมล็ดพริกไทยอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจโดยวัดจากอัตราการลดลงของความชื้น ซึ่งเงื่อนไขที่ใช้ศึกษาและเปรียบเทียบผลการทดลองจะใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 80°C และทำการป้อนความเร็วของอากาศเข้าหอบแห้งอยู่ที่ $1.9U_{mf}$ โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา (TFD) กับโดยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งอุปกรณ์แผ่นกันสร้างความปั่นป่วน (FBT)



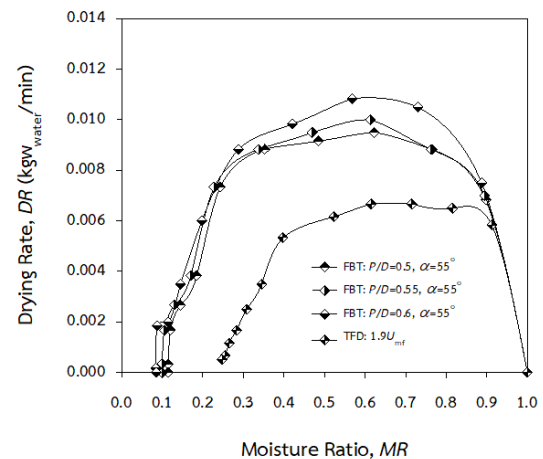
รูปที่ 5 ความชื้นที่ลดลงตามอัตราส่วนระยะห่างของแผ่นกันเทียบกับความเร็วลม $1.9U_{mf}$

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองของเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบดั้งเดิม (TFD) ที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่นกันสร้างความปั่นป่วนกับ เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งอุปกรณ์แผ่นกันสร้างความปั่นป่วน ผลการทดลองอธิบายได้ว่า ที่ความเร็วลม $1.9U_{mf}$ และอุณหภูมิอบแห้งที่ใช้ 80°C ในช่วงแรกที่เวลา 10-80 นาที อัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นความข้างสูงและมีค่าคงที่เนื่องจากมีความชื้นสูงที่ปริมาณผิวของเมล็ดพริกไทยค่อนข้างสูง จนเวลาผ่านไปเป็นเวลา 80 นาที จนถึงเวลา 180 นาที อัตราการอบแห้งจะเริ่มลดลง เนื่องจากอัตราส่วนระยะห่าง (P/D) จะไม่ค่อยส่งผลต่อการลดความชื้นภายในเมล็ดพริกไทย ซึ่งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงจะขึ้นอยู่กับปัจจัยของการแพร่ความชื้นภายในวัสดุ

แทน จึงทำให้เมล็ดพริกไทยยังคงมีความชื้นสูงอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์อัตราการอบแห้งเทียบกับเวลา ที่ $1.9U_{mf}$ และอุณหภูมิ 80°C



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของอัตราการอบแห้งเทียบกับอัตราส่วนความชื้นที่ความเร็วลม $1.9U_{mf}$ และอุณหภูมิ 80°C

รูปที่ 7 ผลการอบแห้งในเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งอุปกรณ์แผ่นกันสร้างความปั่นป่วน (FBT) ที่มีอัตราส่วนระยะห่างแผ่นกัน (P/D) เท่ากับ 0.5, 0.55 และ 0.6 พบว่า ในช่วงเริ่มต้นของเวลาเฉลี่ยที่ 0 - 10 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดพริกไทยสูงและมีค่าคงที่จนถึงเวลาเฉลี่ย 20 - 40 นาที ซึ่งจะสังเกตเห็นที่เงื่อนไขอัตราส่วนระยะห่างแผ่นกัน (P/D) เท่ากับ 0.6 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นสูงที่สุด รองลงมาคือเงื่อนไข

อัตราส่วนระยะห่างแผ่นกัน (P/D) เท่ากับ 0.55 และ 0.5 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาเฉลี่ยผ่านไปเป็น 60 - 130 นาที และเมื่อเวลาเฉลี่ยเข้าสู่ 50 นาทีสุดท้าย อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นเริ่มลดลงจนถึงเวลาเฉลี่ยที่ 180 นาที ดังนั้น ที่เงื่อนไขอัตราส่วนระยะห่างแผ่นกัน (P/D) เท่ากับ 0.6 มีอัตราการอบแห้งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอื่น ๆ เนื่องจากเป็นการเพิ่มความปั่นป่วนของเมล็ดพริกไทยภายในห้องอบแห้ง จึงส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น

5. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองของงานวิจัยพฤติกรรมการอบแห้งเม็ดพริกไทยในเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดโดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบดั้งเดิม (TFD) กับเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งแผ่นกันสร้างความปั่นป่วน (FBT) ซึ่งจากการทดลองเพื่อศึกษาการอบแห้งเม็ดพริกไทยด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) การอบแห้งพริกไทยในเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดแบบดั้งเดิม ที่มีการปรับเปลี่ยนค่าความเร็วลมอยู่ที่ $1.5U_{mf}$, $1.7U_{mf}$ และ $1.9U_{mf}$ พบว่า ความเร็วของอากาศไม่มีผลต่อการอบแห้งเม็ดพริกไทย

2) ผลของการอบแห้งในเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งแผ่นกันสร้างความปั่นป่วน (FBT) ที่มีอัตราส่วนระยะห่าง (P/D) เท่ากับ 0.5, 0.55 และ 0.6 องศาของแผ่นเอียง (α) เท่ากับ 55° ความเร็วลมอยู่ที่ $1.9U_{mf}$ และอุณหภูมิที่ใช้ทดลอง 80°C จากการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนระยะห่างแผ่นกัน (P/D) เท่ากับ 0.6 และองศาของแผ่นเอียงอยู่ที่ 55° ให้อัตราการอบแห้งสูงที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอื่น ๆ

3) เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ติดตั้งแผ่นกันสร้างความปั่นป่วนสามารถลดความชื้นได้สูงกว่าเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบดั้งเดิมประมาณ 20% ในสภาวะเงื่อนไขของการทำงานที่ใกล้เคียงกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Boyer, "Using Dehydration to Preserve Fruits Vegetables and Meats", *Virginia Cooperative Extension*, pp. 348-597, 2019.
- [2] สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์, "การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท (พิมพ์ครั้งที่ 7)", กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540.
- [3] D.B. Brooker, F.W. Bakker-Arkema, and C.W. Hall, "Drying and

storage of grains and oilseeds", *AVI Publishing*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.

- [4] A.V. Luikov, "Heat and mass transfer in capillary-porous bodies", *Pergamon Press*, Oxford, pp. 531, 1966.
- [5] V. Chuwattanakul, K. Wongcharee, M. Pimsarn, S. Chokphomphun, S. Chamoli, S. Eiamsa-ard, "Effect of conical air distributors on drying of peppercorns in a fluidized bed dryer: Prediction using an artificial neural network", *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 36, pp. 102188, 2022.
- [6] วันเพ็ญ หวานระรื่น, ภาณุพงศ์ บุญเพียร และณรงค์ อึ้งกิมบัว, "แบบจำลองการอบแห้งพริกไทยด้วยตู้อบลมร้อน", *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, ฉบับที่ 42, หน้า 533-536, 2554.
- [7] สมศักดิ์ ดำรงเลิศ, "ฟลูอิดไดเซชั่น (พิมพ์ครั้งที่ 1)", *จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2528.
- [8] S. Ergun, "Fluid flow through packed columns", *Journal of Chemical Engineering Progress*, vol. 48, pp. 89-94, 1952.
- [9] I. Kangsanthia, A. Boonloi, P. Kampanyim, and P. Promvong, "Drying of peppercorn in a vortexing fluidized bed with rib", *The 21st Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand*, pp. 33-38, 2007.
- [10] A. Boonloi, D. Panyakan, and P. Promvong, "Drying comparison between fluidized bed and fluidized wavy-surface bed", *The 22nd Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand*, pp. 212-216, 2008.
- [11] A. Boon-Loi, and P. Promvong, "Drying of peppercorns in a fluidized-bed with helical distributor plate", *The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment*, pp. 1-4, 2006.
- [12] P. Promvong, A. Boonloi, M. Pimsarn, and C. Thianpong, "Drying characteristics of peppercorns in a rectangular fluidized-bed with triangular wavy walls", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 38, pp. 1239-1246, 2011.
- [13] M. Ozbey, and M.S. Soylemez, "Effect of swirling flow on fluidized bed drying of wheat grains", *Energy Conversion and Management*, vol. 46, pp. 1495-1512, 2005.



ผศ.ดร.อนันต์ พิล่า สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมเครื่องกลจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันทำงานเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครในปี พ.ศ. 2549 มีความสนใจงานวิจัยในเรื่องเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน เทคโนโลยีการอบแห้งและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง



อ.บุญญฤทธิ์ คำภูมิ จบการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และระดับปริญญาโทสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปัจจุบันทำงานเป็นอาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยบริหารธุรกิจและการ

ท่องเที่ยวอุดรธานี



รศ.ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด สำเร็จการศึกษา
ระดับปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมเครื่องกลจาก
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง เริ่มทำงานที่ภาควิชา
วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหา
นครในปี พ.ศ. 2539 มีความสนใจงานวิจัยใน
เรื่องเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้
อุปกรณ์สร้างการไหลหมุนวน งานทางด้านของ
ไหลและความร้อน และงานด้านเทคนิค

visualization ต่างๆ



ผศ.ดร.พิทักษ์ พร้อมไธสง สำเร็จการศึกษาระดับ
ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกลในปี พ.ศ.
2554 ระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ. 2557 และระดับปริญญาเอก สาขา
วิศวกรรมเครื่องกล พ.ศ. 2560 จากสถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชา
วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มี

ความสนใจงานวิจัยในเรื่อง Computational Fluid Dynamics และ การเพิ่ม
การถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



ผศ.ดร.วริสา ชูวัฒนกุล สำเร็จการศึกษาระดับ
ปริญญาตรีจากมหาวิทยาลัยมหิดล สาขาวิชา
เทคโนโลยีชีวภาพ (หลักสูตรนานาชาติ) คณะ
วิทยาศาสตร์ ปี พ.ศ. 2548 ระดับปริญญาโทและ
เอกจาก Graduate School of Engineering,
Osaka University ประเทศญี่ปุ่นในปี พ.ศ.
2550 และ 2555 ตามลำดับ ปัจจุบันเป็นอาจารย์
ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรม
อาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ

ทหารลาดกระบัง มีความสนใจงานวิจัยในเรื่อง Food processing, Drying
technology และ Thermal Processing